

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

**Význam telematiky pro efektivní způsoby
hospodaření**

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

Autor práce: Viktoriia Gavrilova

© 2022 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Viktoriia Gavrilova

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Význam telematiky pro efektivní způsoby hospodaření.

Název anglicky

The importance of telematics for efficient farming methods.

Cíle práce

Hypotéza: "Efektivita výroby bude závislá na možnostech využití provozních dat".

Na základě záznamu provozních dat vyhodnotit možnosti efektivnějších způsobů hospodaření na půdních blocích oproti dosavadnímu pojetí managementu polní výroby.

Metodika

Zpracování literární rešerše na téma telematiky, BIG data a IT v zemědělství.

Pořízení záznamu o provozu strojů.

Hodnocení záznamu a dostupných informací o stávajícím provozu techniky na vybraném podniku.

Identifikace nedostatků v provozu techniky.

Návrhy opatření, které povedou k efektivnějšímu využití techniky.

Ekonomické zhodnocení opatření.

Statistické zpracování dat, diskuse výsledků a závěr.

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran včetně tabulek, obrázků a grafů

Klíčová slova

Telematika; GPS navigace; variabilní zásahy; data; půdní blok

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.
- SALAM, A. *Internet of things for sustainable community development : wireless communications, sensing, and systems*. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3030352905.
- 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 Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Význam telematiky pro efektivní způsoby hospodaření“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědomá, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědomá, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědomá že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 30.03.2022

Viktoriiia Gavrilova

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za odborné vedení, přínosné rady, trpělivost, ochotu a pomoc při konzultaci a tvorbě této diplomové práce.

Význam telematiky pro efektivní způsoby hospodaření

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce bylo na základě záznamu a využití provozních dat vyhodnotit možnosti efektivnějších způsobů hospodaření na půdních blocích a zjistit, jak možnosti využití telematických dat mohou ovlivňovat efektivitu rostlinné výroby.

V kapitole „Přehled řešené problematiky“ byly popsány základní informace a pojmy, které se týkají především telematiky, GPS navigace, precizního zemědělství, IoT a BIG data v zemědělství a také možnosti a přínosů využití jednotlivých telematických systémů v zemědělských strojích a soupravách.

Praktická část diplomové práce je věnována vyhodnocení provozních dat, získaných pomocí telematických systémů během postřiku cukrové řepy a variabilního setí pšenice na vybraném podniku. Telematické záznamy jízd získané při postřiku byly pak vyhodnoceny z hlediska překryvů jízd na souvracích a úrovně opakovaných ošetření, což následně posloužilo jako podklad pro modelové příklady optimalizovaného směru jízd pro příslušný pozemek. Bylo zároveň provedeno ekonomické zhodnocení úrovně opakovaných ošetření z hlediska nákladů.

Na základě dostupných informací o stávajícím provozu techniky na jednom z vybraných pozemků byl zajištěn variabilní výsev pšenice v rámci vyhodnocení možností efektivnějších způsobů hospodaření podle jednotlivých úrovní výnosových potenciálů. Výstupy z variabilního setí byly zhodnoceny z hlediska ekonomických úspor formou snížení množství osiva a navýšení výnosu oproti uniformnímu výsevu.

Klíčová slova: Telematika; GPS navigace; variabilní zásahy; data; půdní blok.

The importance of telematics for efficient farming methods

Abstract

The aim of this diploma thesis was to evaluate the possibilities of more efficient farming methods on land blocks based on the recording and use of operational data of agricultural machinery and to find out how the possibilities of using telematics data can affect the efficiency of crop production.

The theoretical part of my thesis describes basic information and concepts that relate mainly to telematics, GPS navigation, precision agriculture, IoT and BIG data in agriculture, as well as the possibilities and benefits of using individual telematics systems in agricultural machinery.

The practical part of the thesis is devoted to the evaluation of operational data obtained during sugar beet spraying and differential sowing of wheat using telematics systems. The telematics records obtained during spraying were then evaluated in terms of headland overlaps and levels of repeated treatments which subsequently served as a basis for model examples of the optimized direction of travel for the respective soil block. In terms of costs, an economic evaluation of the level of repeated treatments was also made.

Based on using telematics data within the evaluation of the possibilities of more efficient farming methods differential sowing of wheat was made on one of the selected soil blocks according to individual levels of yield potentials. The results of the differential sowing were then evaluated in terms of economic savings in the form of a reduction in the amount of seed and an increase in yield compared to uniform sowing.

Keywords: Telematics; GPS navigation; differential soil intervention; data; soil block.

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	3
3 Metodika práce	4
4 Přehled řešené problematiky	6
4.1 Telematika v zemědělství	6
4.1.1 Telematické systémy a sběr dat	7
4.1.2 Přínosy telematiky pro efektivní hospodaření	8
4.1.3 Využití Controlled Traffic Farming	10
4.1.4 ISOBUS	13
4.1.5 Význam Big Data a IoT v zemědělství	16
4.2 GPS navigace	19
4.2.1 Využití GPS v precizním zemědělství	19
4.2.2 Uživatelský segment GPS	21
4.2.3 Korekční systém RTK	21
4.2.4 Druhy navigací v systému řízení souprav	22
4.3 Precizní zemědělství	24
4.3.1 Půdní blok a jeho variabilita	25
4.3.2 Monitoring variability půdy	28
4.3.3 Variabilní zásahy	28
4.3.4 Výnosové a předpisové mapy	29
4.3.5 Nežádoucí zhutnění půdy a optimalizace trajektorie pohybu souprav	32
5 Vlastní zpracování	37
5.1 Postřik	37
5.1.1 Polní test s využitím systému CURVE-Control	38

5.1.2 Překryvy jízd během postřiku cukrové řepy	41
5.2 Variabilní setí pšenice	43
5.3 Přejezdy po pozemku	49
6 Výsledky a jejich hodnocení	52
6.1 Ekonomické zhodnocení postřiku	52
6.2 Ekonomické zhodnocení variabilního setí	53
6.3 Optimalizace směrů jízd	54
7 Závěr	56
8 Seznam použitých zdrojů	58
9 Seznam obrázků	62
10 Seznam grafů	64
11 Seznam tabulek	65

1 Úvod

Právě teď žije lidstvo v éře rozvoje nejnovějších technologií. Technologie doslova pronikají do všech oblastí našeho života a dělají ho mnohem snadnějším, zajímavějším a produktivnějším. Nyní si člověk již nedokáže představit svůj život bez mobilu, počítače, notebooku, tabletu, pračky a dalších inteligentních zařízení.

Dnes neexistuje taková oblast výroby a hospodaření, ve které by se nepoužívaly informační technologie. Rychlý rozvoj telekomunikačních technologií spolu s prudkým nástupem výpočetní techniky umožňuje zkvalitnit a zdokonalit výrobní proces a úplná nebo částečná automatizace usnadňuje práci. Lze říci, že v současné době proniká digitalizace do všech odvětví lidské činnosti. Zemědělství není výjimkou.

V průběhu lidské historie bylo zemědělství považováno za nejkonzervativnější odvětví ekonomiky s převládáním určité míry nejistoty. Nízké marže, vysoká rizika, velká závislost na kolísání cen hnojiv, paliv a hotových výrobků brání přílivu soukromých investic.

Všechno se za posledních několik let zásadně změnilo. "Analogové" období v zemědělství skončilo, začíná éra digitalizace a masové automatizace výrobních procesů. Analogicky s pojetím Průmysl 4.0 se dnes mluví o tzv. Smart Farming, což je nová koncepce, která je založena na využití moderních informačních a komunikačních technologií pro zvýšení produktivity a zároveň i kvality výrobku, při optimalizaci požadované lidské práce.

Pro tyto globální změny existuje několik důvodů. Jednou z hlavních příčin je stálý nárůst populace lidí a s tím rostoucí poptávka po hlavních plodinách, kterou už nadále nebude možné uspokojovat s využitím tradičních způsobů hospodaření a tradičních metod rozhodování v zemědělství. Jedním z dalších důvodů je také deficit volné půdy, omezení vyplývající s rozšiřováním pěstebních ploch, nedostatek vodních zdrojů. V současné době se do popředí dostává stále více problematika udržitelného zemědělství a snižování zátěže životního prostředí jakožto jedná z hlavních témat dnešní společnosti. Z toho vyplývá, že tradiční metody zemědělství už k novým vývojovým směrům nestačí.

Významným krokem v modernizaci způsobů hospodaření v zemědělství je telematika, technologický obor, který se zabývá transformací reálných fyzických objektů do virtuálního prostředí pod společnou infrastrukturou spolu s kombinací přenosu a zpracování dat mezi jednotlivými systémy a prostředky, přičemž jde o jejich oboustranné komunikaci.

Telematický sběr dat vycházející z monitorování aktivity strojů v reálném čase umožňuje uložit data na vzdálené uložení a následně, pomocí různých aplikací je vzdáleně

třídít, zpracovávat, analyzovat a vyhodnocovat a tím snížit zátěž obsluhy a počet nepracovních přejezdů, minimalizovat chyby v ošetření, optimalizovat jízdní trajektorie, predikovat poruchy, což následně vede k zajištění optimalizace práce, vyšší produktivitě a efektivitě provozu a co nejvýhodnějším způsobům hospodaření.

2 Cíl práce

Hypotéza: "Efektivita výroby bude závislá na možnostech využití provozních dat".

Hlavním cílem této diplomové práce bylo na základě provozních dat získaných během práce strojů vyhodnotit možnosti efektivnějších způsobů hospodaření na půdních blocích vybraného podniku.

Dílčím cílem práce bylo zpracovat veškeré dostupné informace o problematice telematiky a hodnotit její vliv na efektivitu zemědělské výroby, vysvětlit pojmy jako telematika, telematické systémy, GPS navigace, Big data a IoT v zemědělství, precizní zemědělství a s ním související pojmy.

3 Metodika práce

Metodika sledované problematiky této práce byla založena na zkoumání a následné analýze dostupné odborné literatury na vybrané téma. Praktická část práce se věnovala pořízení a následné analýze záznamů provozních dat během práce strojů na vybraných pozemcích podniku ACHP, spol. s r.o. v rámci uplatnění opatření pro dosažení efektivnějších způsobů hospodaření, tedy během postřiku cukrové řepy a variabilního setí pšenice ozimé.

Pro postřik byl pořízen moderní samojízdný postřikovač AGRIO DINO 6600 s možností vyrovnávání dávky postřikové kapaliny při průjezdu zatáčkami, možností variabilního ovládání sekcí aplikačního rámu a variabilního dávkování během aplikace. Pro účely ověření systému pro vyrovnávání dávky postřikové kapaliny v zatáčkách v rámci polního testu byl postřikovač vybaven systémem CURVE-Control. Byla sledována rovnoměrnost pokrytí plochy postřikovou kapalinou na základě hodnocení kapkového spektra zachyceného na voděcitlivých papírech. Byla následně sledována plocha pokrytí kapalinou a byly navzájem porovnány papírky při průjezdu zatáčkou o poloměru 30 m v režimu zapnutého a vypnutého systému CURVE-Control. V prostředí ArcMap byly připraveny modelové situace pro rozdílné poloměry zatáček, na základě kterých byly vypočítány rozdíly v plošných dávkách při průjezdech zatáčkami. Dále na základě reálného záznamu práce postřikovače na souvrati při postřiku cukrové řepy byl proveden výpočet úrovně opakovaných ošetření.

Pro účely variabilního setí byla navržena modernizace stávajícího secího stroje Väderstad prostřednictvím osazení stroje systémem pro výsev plodin na přesný počet jedinců při zajištění variabilního výsevu podle konkrétních podmínek pozemku. K přípravě variabilního setí byly využity hodnoty výnosového potenciálu pozemku, přičemž výsevek byl konzultován s agronomek na základě vlastností vybrané odrůdy pšenice. Pro variabilní setí zvolen tzv. režim zvýšení (navýšení hodnot výsevu na plochách s nižším potenciálem a naopak). Před sklizní byly odebrány opět vzorky rostlin pro stanovení odhadovaného výnosu a výnosotvorných prvků. Dále bylo provedeno porovnání výnosu u variabilního setí oproti uniformnímu.

Na základě statistického zpracování provozních dat a jednotlivých záznamů hodnot, které byly automaticky pořízeny telematickými systémy během práce strojů, bylo provedeno ekonomické zhodnocení postřiku a variabilního setí z hlediska nákladů a úspor a vyhotoven

návrh modelových trajektorií jízd pro vybraný pozemek. Výstupy byly dále shrnuty v závěru práce.

4 Přehled řešené problematiky

Teoretická východiska dané diplomové práce popisují základy pro analýzu dané problematiky. Tato kapitola se zaměřuje na telematiku v zemědělství a její využití, možnosti sběru telematických dat, přínosy telematiky pro efektivní hospodaření, vysvětluje pojmy jako CTF, ISOBUS, Big Data a IoT v zemědělství. Dále je zkoumána GPS navigace a možnosti využití GPS systémů, které jsou běžně užívané v precizním zemědělství. Následně je vysvětlen samotný obor precizní zemědělství a s ním související pojmy jako půdní blok, variabilní agrotechnické zásahy, výnosové a předpisové mapy a nežádoucí zhutnění půdy.

4.1 Telematika v zemědělství

Jistým trendem současného vývoje v oblasti výrobních a spotřebitelských trendů a komunikačních technologií je digitalizace, která představuje transformaci reálného světa fyzických objektů do objektů virtuálních a tím pádem sloučí jednotlivé dění pod společnou infrastrukturu. Digitalizace výrobních procesů přináší propojování jednotlivých informačních hladin z více zdrojů do společných databází, souvislostí a funkcionalit. Tento směr vývoje nám umožní kontrolu věcí kolem nás a zároveň udržet nás informovanými o stavu těch objektů. V současné době proniká digitalizace do všech odvětví. Zemědělství rozhodně nezůstává pozadu.

Je pro to několik důvodů. Prvním důvodem je, že dnešní doba je charakterizována prudkým nárůstem populace lidí a proto, aby byla zajištěna jejich obživa, bude nezbytné přijmout nové technologie, které budou umožňovat automatizaci sběru dat, efektivní využití zdrojů a řízení výrobních procesů. Druhým důvodem je stále rostoucí požadavky na kontrolu kvality a původu potravin, nároky na sběr a zpracování velkého objemu dat, snaha o omezování chemizace zemědělství a v neposlední řadě snižování zátěže životního prostředí (Brant et al., 2020).

V rámci těchto výzev budou určitě hrát moderní digitální technologie velkou roli. Však dosažení požadovaných cílů pouze s využitím tradičních metod zemědělství se ukazuje jako obtížné i proto, že máme omezené možnosti rozšiřování pěstebních ploch z hlediska životního prostředí (Schönfeld et al., 2018).

Tradiční rozhodování založené na zkušenostech farmáře bude nahrazeno rozhodováním za základě vývojové a výzkumní činnosti, tedy z algoritmů, které vychází z naměřených dat. V praxi to znamená pravidelný monitoring z autonomních bezpilotních prostředků a dalších strojů, které pracují na úrovni jednotlivých rostlin, z kancelářského

pracoviště. Jistým přínosem v tomto směru může být právě efektivní a šetrné hospodaření v krajině a významná úspora vstupů. K tomu nám může sloužit nová řada zemědělských zařízení, která je založena na autonomních strojích schopných dělat ty správné věci na správném místě ve správný čas.

Reálnou podobu těmto vývojovým trendům dává telematika a telematický sběr dat, který umožňuje jejich ukládání na vzdálená úložiště, třídění, správu, a zároveň i možnost vzdáleného přístupu k těmto datům (Brant et al., 2020).

V praxi to znamená zařazení telematického sběru a sdílení dat skrze vzdálené cloudové úložiště, se kterým budou komunikovat jednotlivé stroje a kancelářské počítače. Prostřednictvím telematiky budou navíc datové záznamy nebo předpisové mapy předávány oboustranně. Příkladem může být vzájemná komunikace se stroji, které zakládají porosty, porosty ošetřují nebo hnojí (Kroulík et al., 2021).

Nynější podstata telematiky v zemědělství spočívá v inovaci a modernizaci managementu zemědělské výroby v podobě monitoringu pohybu strojů, sledování jejich polohy, časového využití, výkonnosti, rychlosti souprav, parametrů sklizeného produktu nebo aplikovaných dávek na vstupech. Díky telematice můžeme také sledovat požadavky na údržbu a servisní úkony (Kroulík et al., 2019).

4.1.1 Telematické systémy a sběr dat

Telematické systémy kombinují telekomunikační a informační technologie s tzv. data science s cílem poskytovat informace o provozu v reálném čase a umožňovat monitorování a sledování pohybu strojů a zařízení.

Pomocí kombinace geolokačních funkcí s mobilním připojeným hardwarem přenášejí telematické systémy data ze strojů prostřednictvím telekomunikačních sítí na servery, kde jsou informace analyzovány (Telematics and Transportation IoT Solutions).

Předpokladem je rovněž oboustranná komunikace, s možností opačného směru přenosu dat, kterou zajistíme vzdálené bezdrátové řízení jednotlivých zásahů, včasné přípravy aplikačních úkonů a propojení na další vstupy během sezony, přičemž stroj může komunikovat s okolím bezdrátově přes Internet (Brant et al., 2020).

To se týče zaznamenávání telematických dat, tak může být prováděno pomocí senzorových zařízení umístěných na soupravách nebo v půdě, kdy měření spektrálních (či jiných) parametrů části porostu, zpracování dat, jejich interpretace a vlastní aplikace jsou prováděny v rámci jedné pracovní operace při přejezdu pozemku. Typickým příkladem je zařízení Yara N-Sensor®, které je upevněno na kabině traktoru nesoucí rozmetadlo hnojiv.

Toto zařízení zjišťuje stav porostu dle jeho spektrální odrazivosti, řídicí počítač vyhodnocuje data a stanovuje dávku hnojiva, které je následně aplikováno. Zde hovoříme o tzv. *on-the-go* online systémech (Lukas et al., 2012).

Telematická data lze získat pomocí různých nárazových čidel, například, za účelem mapování výnosů při sklizni zrnin. Výnosová čidla se dále dělí na hmotnostní, objemové a nárazové. Existují také další druhy čidel v závislosti na typu dat, které potřebujeme – čidlo pro měření pojezdové rychlosti, okamžité vlhkosti sklizeného zrna, čidlo pro měření náklonu sklízecí mlátičky ke korekci údajů z výnosového čidla atd (Kumhála, 2021).

V případě offline systémů jsou jednotlivé procesy časově odděleny. Tyto systémy jsou založeny na celoplošném mapování porostů v rámci jednotlivých pozemků. Příkladem může být využití leteckého snímkování pro variabilní aplikaci hnojiv. Na snímcích je přeletem letounu zachycena prostorová variabilita porostu. Data jsou následně zpracována a vyhodnocena na počítači. Potřebná dávka živin je pak v podobě aplikačních map nahrána do palubního počítače traktoru s rozmetadlem, které aplikuje hnojiva. Tato metoda je založena na principu bezkontaktního dálkového průzkumu za využití leteckého či satelitního snímkování, v menší míře také snímkování pomocí modelů letounů, vrtulníků či balónů. (Lukas et al., 2012).

Pro určování polohy v reálném čase se používá metoda Real Time Kinematics (RTK GPS). Z referenční aparatury umístěné na bodě o známých souřadnicích se pomocí radiového spojení vysílají data do pohyblivé aparatury, kde se vyhodnocují (Kumhála, 2021).

4.1.2 Přínosy telematiky pro efektivní hospodaření

Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole, telematika umožňuje využití oboustranné komunikace, s možností opačného směru přenosu údajů mezi jednotlivými stroji a uživatelem. Jedním z příkladů může být vzájemná komunikace se stroji zakládající porost, kdy samotné parametry nastavení secího stroje vycházejí z předem připravených aplikačních map výsevku, které jsou předávány strojům přes vzdálené uložení. Je také možné vyznačovat vyloučené zóny, kde je omezena chemická ochrana a hnojení. Nastavení lze vzdáleně upravovat podle aktuální situace. Během setí budou také využity předem definované jízdní trajektorie vycházející z tvaru a svažitosti pozemku, což přispívá ke snížení počtu nepracovních přejezdů a opakovaných aplikací přípravků a hnojiv v důsledku překrývání záběrů. To vše pomáhá snížit zátěž obsluhy a minimalizovat chyby v ošetření. (Brant et al., 2020).

Předem připravené aplikační mapy budou opět transportovány do palubního počítače postřikovačů a rozmetadel. K nastavení stroje dochází v okamžiku spuštění stroje nebo v okamžiku vstupu na pole díky znalosti polohy stroje. Ve strojích se zaznamenávají data o průběhu práce a zase se automaticky přenáší zpět. Tyto údaje je možné analyzovat, archivovat a případně používat v dalším rozhodování (Kroulík et al., 2021).

Jedním z praktických příkladů je operační středisko MyJohnDeere.com od společnosti John Deere, kde uživatelé mohou spravovat a připravovat data pro terminály zemědělských strojů (viz obr.1). Lze zde nahrávat a tvořit hranice a definovat trajektorie pohybu stroje po pozemku, spravovat seznam produktů, se kterými pracují. Tyto údaje mohou být přenášeny do stroje bezdrátově, kde se zaznamenávají data dokumentace o práci a zase se přenáší zpět s možností jejich následné analýzy (Brant et al., 2020).

Obr. 1: Operační středisko MyJohnDeere.com



Zdroj: Pinkas, 2020, upraveno.

Telematický přenos dat dále umožní jejich sdílení s dalšími zúčastněnými osobami a partnery (výrobce, prodejce zařízení nebo servisní středisko). Velký objem dat z rozdílných zdrojů, ke kterým bude přiřazen například režim a podmínky práce rovněž umožní vypracování předpokládaného scénáře vzniku závad. Včasná diagnostika a servisní zásahy budou vést ke zabránění možným poruchám, což opět vede k vyšší produktivitě a efektivitě, včetně optimalizace práce servisního technika (Brant et al., 2020).

4.1.3 Využití Controlled Traffic Farming

Jedním z hlavních problémů moderního zemědělství je nežádoucí zhutnění půdy, které je nejčastěji spojováno s přejezdy těžkou mechanizací a dnes představuje vpravdě celosvětový problém (Chan et al, 2006; Gysi, 2001). Zhutnění půdy má nejenom negativní vliv na výnos plodin, ale velmi závažné jsou i důsledky ekologické. V důsledku utužení půdy se snižuje její schopnost infiltrovat a akumulovat srážkovou vodu, což vede k jejímu zvýšenému povrchovému odtoku. Následkem toho je nejenom přímé poškození půd vodní erozí, ale z globálního hlediska také celkové snížení vodní jímavosti v zemědělské krajině, které přispívá ke vzniku povodní. Dalším negativním důsledkem zhutnění půd je také nárůst energetické náročnosti jejich zpracování (Kumhála et al., 2013).

Jednou z technologií, jejíž rozšíření má potenciál snížit některé negativní dopady na půdy je technologie jednotných jízdnic stop, známá pod zkratkou CTF z anglického Controlled Traffic Farming (Kroulík et al., 2019). Telematický systém Controlled Traffic Farming neboli řízený provoz zemědělských strojů na pozemcích představuje komplexní přístup farem, který je postaven na organizování jednotlivých jízd strojních souprav s využitím moderních navigačních možností. Tento provoz při zredukování přejezdů po půdě snižuje zatížení půdy a její následné poškození. V podstatě jde o řízený provoz zemědělských strojů po pozemcích s možným snížením vstupních nákladů (<https://www.bednar.com/blog/australsky-vyzkum-vyhody-hlubokeho-zpracovani-pudy/>).

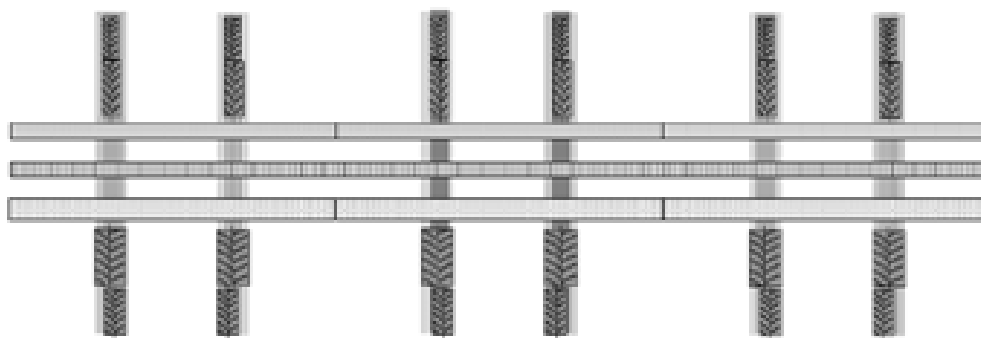
V praxi to znamená soustředění, pokud možno, co největšího množství přejezdů v rámci pozemku do totožných jízdnic stop (Kroulík et al., 2019). Systém CTF je v podmínkách zemědělského podniku uskutečnitelný při využívání přesného navigačního systému GPS s korekčním signálem RTK a s automatickým řízením strojů (Kovaříček et al., 2014).

Díky systému CTF si ve speciálním software pomocí počítače nebo přímo v navigaci lze vytvořit mapy pozemků, kde se v závislosti na tvaru, svažitosti a výskytu různých překážek (např. sloupů, skruží) naplánují trvalé kolejové řádky, po kterých se budou jednotlivé stroje (traktory, sklízecí mlátičky, samojízdné postřikovače aj.) při každé pracovní operaci jezdit (<http://www.agrisystem.cz/setrnost-na-prvnim-miste>).

Existuje několik způsobů kombinací přejezdů se stroji s daným rozchodem kol, což vyžaduje celkově jiný přístup farem založený na vysoké technologické kázni, důsledných změnách v organizaci jízd strojních souprav a využití moderních navigačních prostředků (Kroulík et al., 2019).

COMTRAC

Obr. 2: CTF se systémem ComTrac

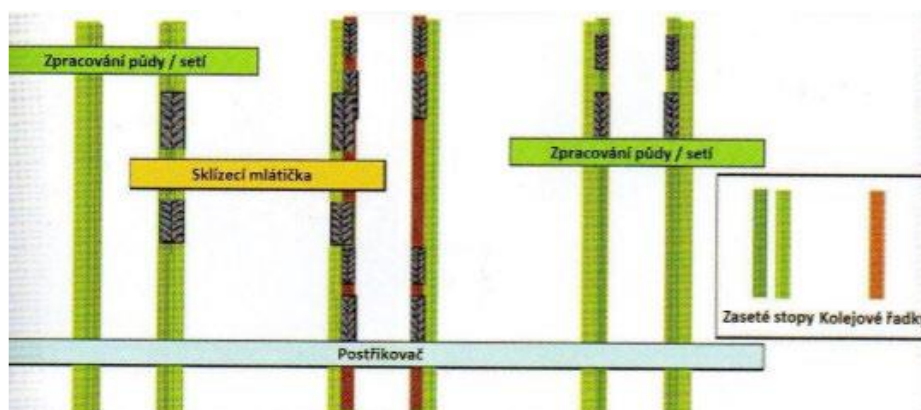


Zdroj: Kroulík et al., 2019.

Jedná se o ideální případ, kdy máme k dispozici stroje se shodným rozchodem kol či pásů. Toto opatření je ale technicky a finančně nejnáročnější. Zejména se jedná o sjednocení rozchodu kol traktorů a sklízecí mlátičky nebo sklízecích strojů obecně.

TWINTRAC

Obr. 3: CTF se systémem TwinTrac

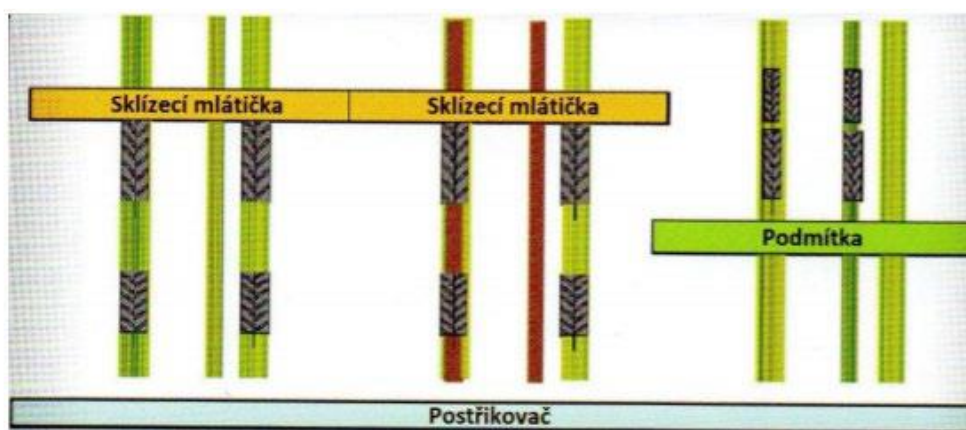


Zdroj: Kumhála et al., 2013.

Systém TwinTrac využívá pro stopy sklízecí mlátičky sousední stopy paralelních jízd. Z hlediska výkonnosti strojů tento způsob jízd je využíván především v případě malých pracovních záběrů strojů

ADTRAC

Obr. 4: CTF se systémem AdTrac

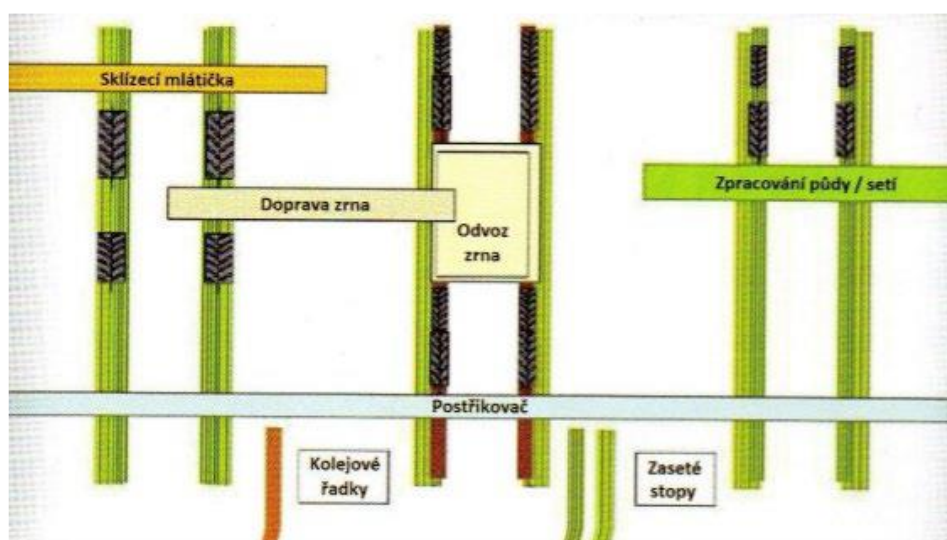


Zdroj: Chamen, 2009, upravil Kroulík.

V případě větších modulů pracovních záběrů strojů se využívá systém AdTrac, který za cenu větších záběrů používá třetí dodatečnou jízdní stopu.

OUTTRAC

Obr. 5: CTF se systémem OutTrac

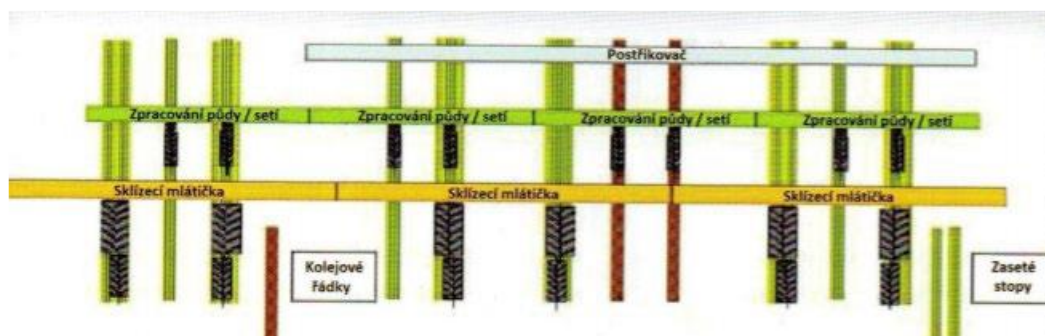


Zdroj: Chamen, 2009, upravil Kroulík.

Systém OutTrac je jeden z jednodušších aplikací systému CTF bez nutnosti sjednocení rozchodů kol. Jedná se o využití zemědělské techniky se standardním rozchodem při větší celkové šířce trvalých stop. Pozemek se rozděluje na tři oblasti s rozdílným počtem přejezdů. Jsou to oblast s nulovým přejezdem, oblast s minimálním přejezdem a oblast s intenzivními přejezdy.

HALFTRAC

Obr. 6: CTF se systémem HalfTrac



Zdroj: Chamen, 2006.

System HalfTrac využívá také dva rozchody náprav, kde jeden rozchod je polovinou druhého. Dále využívá tři šířky záběrů mechanizace (Kroulík et al., 2019).

4.1.4 ISOBUS

Značná část technologie vyvíjené pro aplikace v precizním zemědělství je založena na integrovaném protokolu ISOBUS. ISOBUS je standardizovaný elektronický komunikační systém pro účely použití v zemědělské technice, který vznikl podle normy ISO 11783.

Tento systém umožňuje dosáhnout kompatibility jednotlivých inteligentních prvků v zemědělských strojích, aby jednotlivá zařízení od stejného nebo od různých výrobců mohly mezi sebou komunikovat a vyměňovat data, a zároveň se mezi sebou řídit (Zhang, 2016).

ISOBUS jako mezinárodní standart pro komunikaci mezi traktorem, jeho nářadím a softwarem umožňuje nejen snadnější vzájemnou komunikaci produktů různých výrobců, ale také eliminuje řídicí zařízení, terminály a displeje specifické pro jednotlivé nářadí. Jedna monitorovací jednotka v kabině může kontrolovat všechna nářadí – sběrací lis pro válcové balíky, postřikovač, rozmetadlo atd. – a komunikovat s traktorem případně i se systémem pro management hospodaření (Neudert et al., 2015).

To znamená, že již není potřeba samostatný terminál pro každý stroj, stačí jeden terminál pro několik strojů. Můžeme okamžitě připojit stroj na jakýkoli traktor vybavený technologií ISOBUS. Prostřednictvím řídicích a provozních nastavení terminál uvede stroj automaticky do záběru (<https://cz.kverneland.com/iM-FARMING/About-ISOBUS>)

Obr. 7: ISOBUS propojení všech systémů pomocí universální sběrnice

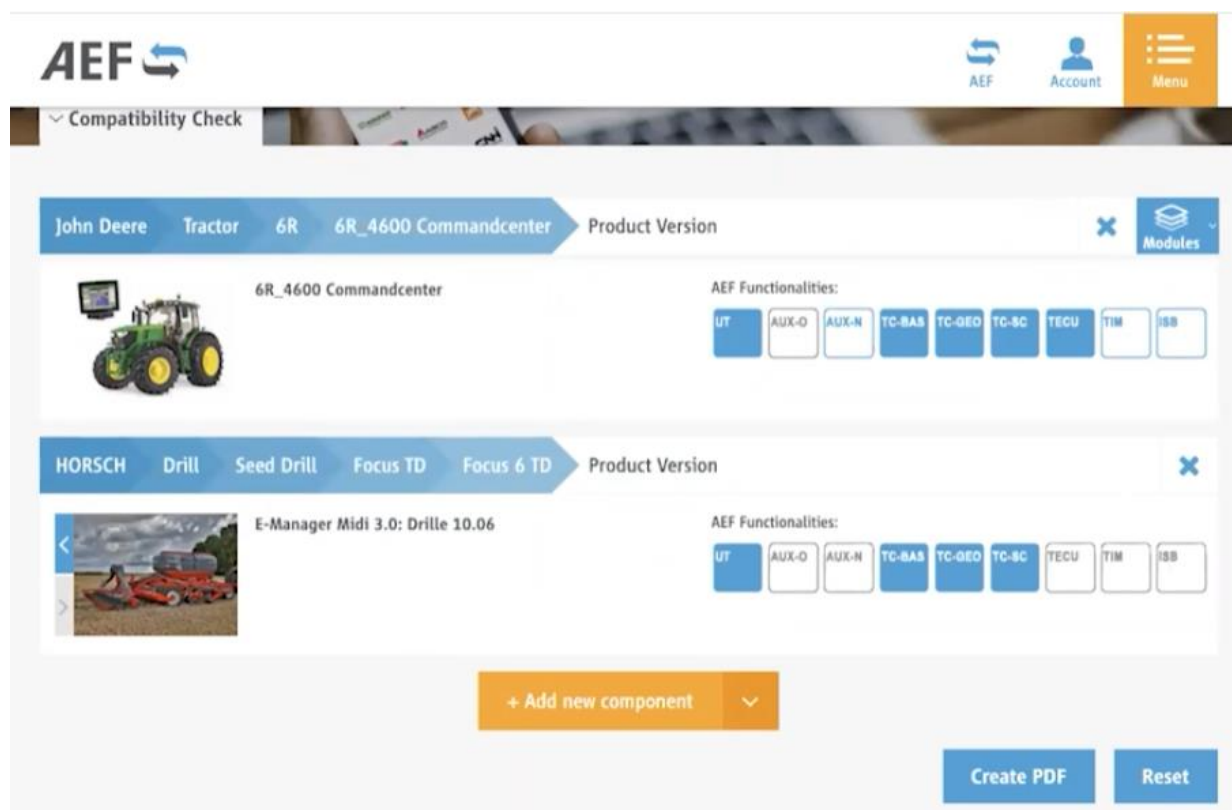


Zdroj: Neudert et al., 2015.

Každý traktor má svoji vlastní elektronickou ovládací jednotku, která poskytuje informace z traktoru pro všechna připojená zařízení. To také ovládá a poskytuje s vysokou kvalitou elektrické napájení pro připojená zařízení a elektrické funkce. Tato jednotka se nazývá TECU (Dvořák, 2020).

Kompatibilitu mezi traktory, stroji a terminály mohou si uživatelé ověřit na webových stránkách AEF ISOBUS Database. Táto databáze poskytuje cenné informace o certifikovaných produktech ISOBUS. Databáze je centrálním informačním fondem pro všechny uživatele ISOBUSU a je nástrojem, jak zprůhlednit ISOBUS pro zemědělskou veřejnost – výrobce, prodejce, zákazníky a zkušební orgány. Očekává se, želepší schopnosti prodejních a servisních organizací výrobců poskytovat odborné poradenství v oblasti využití ISOBUS zemědělskými zákazníky (Solutions for Intelligent and Sustainable Farming, 2011).

Obr. 8: Příklad ověření kompatibility mezi traktorem a secím strojem v databázi AEF ISOBUS



Zdroj: www.aef-isobus-database.org

Certifikace ISOBUS – AEF

- **UT**

Univerzální (virtuální) terminál pro všechna nářadí, tj. ovládá pomocí jednoho terminálu různá nářadí.

- **AUX-N / AUX-O - Pomocný vstup**

Univerzální ovládací zařízení / joystick pro všechna nářadí namísto tlačítek s možností přiřazení funkcí nářadí na joystick ve stroji (traktoru).

- **TC-BAS**

Provádí základní kontrolu úkolů (dokumentace informací o plnění úkolu). Popisuje dokumentaci celkových hodnot, které jsou relevantní pro vykonanou práci.

- **TC-GEO**

Kontroluje úkoly s využitím lokace a umožňuje přenos dat dokumentace s ohledem na GPS polohu stroje, například za použití předpisových a aplikačních map.

- **TC-SC**

Sekční kontrola, neboli automatické zapínání a vypínání sekcí stroje v závislosti na aktuální poloze, směru, rychlosti pohybu a překrytí.

- **TECU**

Napojení na řídicí jednotku traktoru. Předává do náradí informace o rychlosti (abychom dodržovali dávku hnojiva), RPM, apod.

- **TIM**

Kontrola traktoru náradím, např. řízení rychlosti. Umožňuje připojenému zařízení přímo ovládat funkce traktoru bez nutnosti zásahu traktoristy.

- **LOG**

Možnost záznamů dokumentace nezávisle na úkolu, například za celou sezónu. Tato funkcionality je v současné době ve stádiu vývoje.

(Pinkas, 2020)

4.1.5 Význam Big Data a IoT v zemědělství

V současné době už neexistuje taková oblast lidské činnosti, ve které by se neuplatnily informační technologie a lze s jistotou říci, že dnes proniká digitalizace a modernizace technologií do všech odvětví. Tento trend se nevyhýbá ani zemědělství (Kroulík et al. 2019). Principy precizního zemědělství postupně vedou podniky služeb a konečné uživatele k využívání informačních technologií pro sběr dat, přenos dat a jejich další zpracování a využití (Buřičová, 2009).

V souvislosti se sběrem dat se velmi často můžeme setkat s pojmem internet věcí (IoT) (Madakam et al., 2015). V dnešní době prudkého rozvoje IT je také možné sledovat, jak se pojmy jako například Big Data začínají využívat v potravinářském a zemědělském sektoru (Sonka, 2016).

Big Data je výraz, který se používá k označení masivního souboru strukturovaných a nestrukturovaných dat a je tak velký, že je obtížné ho zachycovat, spravovat a zpracovávat za použití běžných softwarových nástrojů v rozumném čase (<https://www.systemonline.cz/business-intelligence/big-data.htm>).

Ta data jsou tak velká a složitá, že k jejich zpracování vyžadují nové technologie, například umělou inteligenci. Data pocházejí z mnoha různých zdrojů. Mohou je například vytvářet lidé: v mobilních aplikacích a sociálních médiích, na webu, obchodních transakcích, atd.

Big Data mohou být zároveň generována stroji a shromažďována pomocí senzorů v objektech spojených s internetem věcí (zde hovoříme o chytrých automobilech, satelitech

GPS a satelitech shromažďujících údaje o počasí atd.). Prostřednictvím technologií jsou data shromažďována velmi rychle, téměř v reálném čase, a následně analyzována pro získání nových poznatků (<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20210211STO97614/velka-data-big-data-definice-vyhody-a-vyzvy-infografika>).

Velká data pravidelně vznikají ve firmě nebo farmě a některá z těchto dat můžeme analyzovat a následně využít. Komplikací při jejich zpracování a následné práce může být ale vysoká variabilita a složitost vstupních dat (Wolfert, 2017). K dalším problémům, které se u big dat vyskytují patří zejména stále ještě nevyspělé nástroje pro zpracování velkých objemů dat, absence podpory při práci s daty v reálném čase, nevyjasněné otázky ohledně bezpečnosti a soukromí a problémy nedostatku zkušených vývojářů pro práci s velkými daty (Dolejš, 2012).

Tato data nicméně mají potenciál zlepšit společnostem provoz, aby byl rychlejší a umožnil jim dělat rychlejší rozhodnutí. Když se tato data analyzují, mohou firmě pomoci získat užitečné poznatky o zvýšení výnosů, o získávání nebo udržení zákazníků a o zdokonalování procesů (<https://it-slovník.cz/pojem/big-data>).

Pokud jde o zemědělství, parametry pro rozhodování na farmě v rámci big data jsou dusík, P a K, vápnění, výběr hybridních odrůd, umístění na poli, normy variabilního setí a sázení plodin, výběr pesticidů (např. herbicidy, insekticidy, fungicidy), osevní postup (plán postupného střídání plodin na pozemcích), a zavlažování.

Data získaná z testování půdy, výnosových a půdních map, elektrické vodivosti na úrovni farmy a prostřednictvím satelitů mohou být řízena na různých úrovních. Na lokální úrovni údaje získané od zemědělců jsou určeny pro použití pouze zemědělci na úrovni jednotlivého pole, přičemž žádná agregace údajů se neprovádí. Na úrovni farmy jsou data agregována z různých polí v rámci farmy. Na úrovni regionální data, která byla shromážděna od zemědělců, lze kombinovat, aby bylo možné efektivně získat regionální poznatky. Data shromážděná na regionální úrovni mohou být kombinována s rozhodováním na národní úrovni a mohou být také použita při analýze budoucích trendů (Salam, 2020).

Jedním z dalších pojmů, se kterým se můžeme setkat, když hovoříme o chytrém zemědělství je IoT neboli Internet věcí. Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách této práce, informace o poloze není zdaleka jedinou informací, kterou získáváme prostřednictvím telematiky. Společně s monitoringem souprav může být přenášena i řada informací o provozních ukazatelích strojů. Lze s jistotou říci, že jde o jeden z prvků nového směru v zemědělství a tím je digitalizace výrobních procesů a naplňování nových myšlenek na

využití informací. Díky tomu se i v zemědělství budeme stále častěji setkávat s pojmem Internet věcí (Kroulík et al., 2019).

Definice pojmu IoT existuje celá řada. Mezinárodní organizace Internet Engineering Task Force definuje Internet of Things jako síť fyzických objektů nebo „věcí“ s vestavěnou elektronikou, softwarem, senzory a konektivitou umožňující objektům vyměňovat si data s výrobcem, operátorem a/nebo jinými připojenými zařízeními (Salam, 2020). V zemědělství to znamená síť strojů a nářadí, které jsou připojeny na Internet a vzájemně si vyměňují data.

Internet věcí představuje integraci bezdrátové senzorové sítě (WSN), mikroelektromechanických systémů (MEMS) a Internetu (Zhang, 2016).

Jedním ze záměrů na využití IoT je kontrola věcí kolem nás, informovanost o stavu věcí a vyšší efektivita v rozhodování, která bude fungovat na základě vnějších úsilí o kontrolu kvality a původu potravin, omezování chemizace zemědělství, snižování zátěže životního prostředí a krajiny, ale rovněž prohlubujícím se nedostatkem kvalifikovaných pracovníků v zemědělské prvovýrobě. Pro úspěšné dosažení těchto požadavků bude nutné pečlivě pracovat na sběru dat, jejich ošetření, třídění a interpretaci.

Příkladem fungování IoT v praxi mohou být data o režimu práce samotného zemědělského stroje – traktoru, respektive jeho motoru, pokud jde o hledisko kontrolních údajů. Zde se přímo setkáváme s ekonomikou provozu soupravy, která je vyjádřena přes spotřebu pohonných hmot. Záznam provozních parametrů stroje je tedy nástrojem ke kontrole a ke zlepšení provozu z pohledu ekonomického využití pracovních souprav. Pokud k těmto datům přidáme výnosovou mapu a údaje o vstupech během sezony, můžeme získat zcela jiný pohled na ekonomiku hospodaření na jednotlivých pozemcích a jejich částech.

Kromě traktoru významným zdrojem dat je také připojené nářadí, které je vybaveno senzorikou v podobě senzoru na secí botce pracující v těsném kontaktu s půdou. Jedná se o měření hloubky nebo intenzity zpracování půdy. Tento senzor poskytuje informace o variabilitě půdy, včetně teploty a vlhkosti půdy a slouží jako podklad pro nastavení hloubky setí. Práce je doprovázena záznamem polohy stroje, resp. botek (Kroulík et al., 2019).

S pokrokem IoT má rozvoj moderního zemědělství větší příležitosti než kdykoli předtím. Moderní zemědělství naléhavě vyžaduje, aby Internet věcí poskytoval digitální projektování, inteligentní řízení, přesné ovládání a vědecké řízení zemědělským prvkům v zemědělských odvětvích, jako je polní setí, chov hospodářských zvířat, akvakultura a zemědělská logistika. To vše přispěje k dosažení vysokých výnosů a efektivit, ekologické udržitelnosti a bezpečnosti (Zhang, 2016). Odhaduje se dokonce, že s novými technickými

možnostmi má internet větší potenciál zvýšit zemědělskou produktivitu do roku 2050 o 70 % (Kroulík et al., 2021).

4.2 GPS navigace

Dnes v zemědělství se začínají stále častěji uplatňovat moderní technologie, původně určené pro naprosto odlišná odvětví. Jedním z příkladů jsou systémy družicového navádění, dnes známé především pod zkratkou GPS, s původním uplatněním ve vojenství (Kroulík et al., 2019).

Global Positioning system (GPS), vojenský polohový družicový systém provozovaný ministerstvem obrany USA, bezesporu patří k nejrozšířenějším družicovým navigačním systémům. Vývoj tohoto navigačního systému byl zahájen v roce 1973, na přelomu 80. let začalo vypouštění 11 družic a v roce 1979 byl rozšířen počet družic z 18 na 24. V roce 1983, kdy sovětská stíhačka sestřelila ve vzdušném prostoru SSSR korejské civilní letadlo, rozhodl americký prezident Ronald Reagan o uvolnění GPS i pro civilní účely (Ruda, 2010).

GPS využívá pro určování polohy pasivní dálkoměrnou metodu, což znamená, že vzdálenost uživatele od jednotlivých družic jsou určovány pomocí doby potřebné k absolvování této dráhy radiovým signálem vysílaným družicemi.

V dnešní době tento družicový navigační systém nachází použití v celé řadě odvětví lidské činnosti – v silniční, železniční, vodní, letecké dopravě, v armádě, zemědělství, krizovém managementu, ve vědě a výzkumu, ve volnočasových aktivitách (Ruda, 2010).

S možností měření polohy v systému GPS byly položeny základy precizního zemědělství (Sparovek a Schnug, 2001). Často může být určování polohy pomocí GPS považováno za synonymum „Precizního zemědělství“ či „Precizního hospodaření“ (Kroulík et al., 2019).

4.2.1 Využití GPS v precizním zemědělství

V zemědělství se posledních letech začalo GPS využívat při navigaci pro navazování pracovních jízd při setí, hnojení, ochraně rostlin a dalších strojů. (Kumhála, 2021). Dále se využívají pro navigaci pracovních souprav při podmítce, předset'ové přípravě půdy a řízení sklizňových strojů (Kroulík et al., 2019).

V precizním zemědělství se používají přijímače GPS instalované na sklízecích strojích, např. sklízecích mlátičkách. Zařízení zaznamenává polohu a výnos obilí v daném místě. Záznam lze pro zpracování vložit do jiného zařízení, jehož součástí je opět přijímač

GPS, a které ovládá práškovací vůz (rozmetadlo). Zařízení řídí hnojení pozemku tak, aby se zlepšil výnos (Hrdina et al., 1996).

Při zpracovávání půdy zemědělskými stroji bez užití navigačního systému mohou nastat situace, kdy dochází k vynechávkám nebo překrývání přejezdů při vyšších pracovních záběrech strojů v důsledku toho, že obsluha není schopna přesného řízení soupravy, pokud se spoléhá pouze na své zkušenosti. Překrývání nastává, když pracovní záběr soupravy není plně využit a část přípojného zařízení obhospodařuje plochu pozemku, která již byla obdělána při předchozí jízdě. Naopak, vynechávka znamená, že část pozemku mezi jednotlivými jízdami není obhospodařena (vznikají neobdělané pruhy mezi jednotlivými jízdami) (Šprisl, 2017).

Když v důsledku nepřesnosti se vyskytují překryvy, vede to k nežádoucímu utužení půdy, opakovaným aplikacím přípravků a hnojiv a následně k nárustu ekonomických nákladů (Kroulík et al., 2019).

V případě využití navigačních systémů při setí a chemické ochraně plodin dochází k přesnějšímu vysévání rostlin a lepšímu pokrytí pozemku aplikovanými látkami. Funguje to tak, že obsluha je naváděna na co nejefektivnější využití záběru stroje. Když se ale vyskytuje překrývání, dochází k omezování rozhozu rozmetadla nebo vypínání jednotlivých sekcí trysek na postřikovači (Šprisl, 2017).

GPS systémy se také používají i pro účely mapování pozemků, např. když potřebujeme přesné vyměřit hranice obhospodařovaných ploch.

Za hlavní přínosy GPS navigace v zemědělství lze označit:

- snížení únavy řidiče: navigační systém snižuje úsilí potřebné k udržení správné trasy stroje,
- zvýšení produktivity: systém umožňuje vyšší operační rychlost, rychlejší otáčení na souvratích, což vede k úspoře prostředků,
- snížení nákladů v důsledku významného omezení překryvů a vynechávek,
- sníží se dopad na životní prostředí, šetrnější přístup k ošetřování rostlin,
- možnost efektivně pracovat přes noc noci kdy jsou špatné viditelnostní podmínky, vyšší bezpečnost,
- vyšší kvalita: řidič může zaměřit pozornost na kontrolu kvality práce (Kroulík et al., 2019).

4.2.2 Uživatelský segment GPS

Uživatelská sféra je tvořena jednotlivými přijímači, které jsou schopny přijímat signály z družic a následně tak získat informace o poloze, čase a rychlosti. Princip výsledné funkce tohoto GPS přístroje je založen na zjišťování doby příjmu signálu z družice. Z doby, která uplyne mezi vysláním a příjmem signálu, se určí vzdálenost přijímače od družic. Přijímač uživatele určí svou polohu na základě této vzdálenosti a také z polohy družic v daném okamžiku. Pro výpočet všech čtyř souřadnic (x , y , z a t) musí přístroj přijímat informace alespoň ze čtyř satelitů, čímž získá všechny neznámé pro řešení soustavy rovnic (zeměpisná poloha, nadmořská výška, datum a čas).

Podle přístupu ke kódovaným signálům se uživatele dělí na autorizované a ostatní. Autorizované uživatele představují vojenský sektor a vybrané spojenecké armády. Ostatní uživatele tvoří civilní sektor (Ruda, 2010).

Když ale samotný GPS systém z družic není k určení polohy dostatečný a je potřeba ho zpřesnit, jsou pak využívány korekční systémy, které slouží ke korekci základního signálu a případnému odstranění chyb v určování polohy.

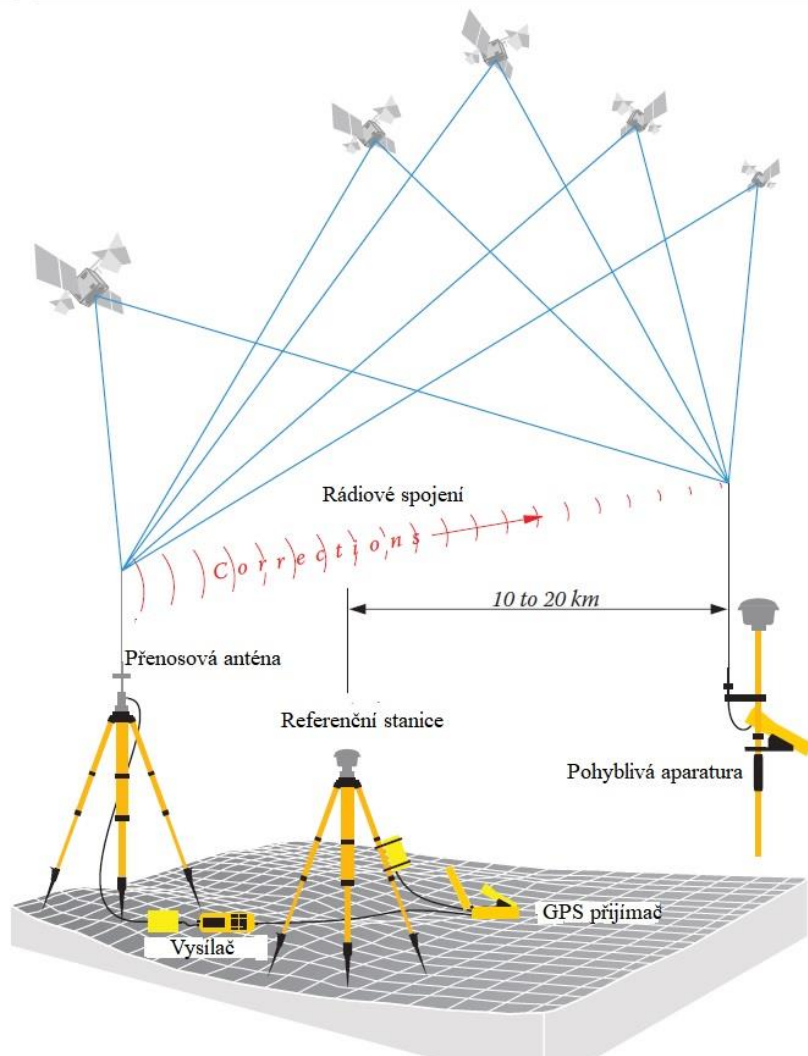
4.2.3 Korekční systém RTK

Název vychází z anglických slov „Real-Time Kinematic“. Jedná se o korekční systém, který se používá ke zvýšení přesnosti určení polohy navigačními systémy a spočívá v měření fáze signálu nosných vln od družic k získání korekčních dat.

Princip systému spočívá v příjmu GPS signálu pomocí dvou přijímačů. Jeden přijímač neboli referenční stanice je umístěn na přesně definované poloze se známými souřadnicemi. Druhý přijímač je mobilní a přijímá signál z družic a pomocí dalších pozemních komunikačních kanálů i korekční data z referenční stanice, který poté využívá při výpočtu polohy. Data jsou používána v reálném čase. Udávaná přesnost určení pozice pomocí použití RTK je 2,5 cm (Šprisl, 2017).

Prostorovou polohu získáváme v reálném čase při použití běžného rádio modemu do vzdálenosti přibližně 10 km. Dosah metody závisí zejména na dosahu rádio modemu. Pro zvýšení dosahu se používá GSM síť nebo internetu (Kumhála, 2021).

Obr. 9: Princip práce RTK



Zdroj: Sickle, 2015, upraveno.

RTK má své využití v mnoha odvětvích, zejména v oblasti robotických řídicích systémů. V precizním zemědělství je využití právě v asistovaných a automatických navigačních systémech, kdy jsou stroje automaticky řízeny pomocí počítače po přesně definovaných drahách, také v autonomních zemědělských strojích, které vykonávají svou činnost bez přítomnosti obsluhy (Šprisl, 2017).

4.2.4 Druhy navigací v systému řízení souprav

Podle způsobu řízení soupravy na předem definované trajektorie se druhy navigace dělí na manuální, asistované, automatické řízení a autonomní řídicí systémy. Kritériem pro výběr jednotlivých řídicích systémů jsou nároky na přesnost navigování soupravy a pořizovací náklady.

- **Manuální řízení**

Jedná se o ručním řízení soupravy obsluhou pomocí navigačního zařízení. Přesnost u tohoto způsobu se pohybuje v rozmezí 50 až 20 cm, však je nejlevnější ze všech dále uvedených. Nejčastěji se využívá při chemické ochraně rostlin například u postřikovačů a rozmetadel.

- **Asistované řízení**

Představuje řízení soupravy navigačním systémem s využitím elektromotoru, který je umístěn na volantu traktoru nebo sklízecího stroje. S tímto druhem navigace je možné použití korekčních DGPS dat. Doporučuje se ale využívání RTK systému, což ovlivňuje výši pořizovacích nákladů pohybujících se za hranicí 150 tisíc Kč. Výhodou tohoto způsobu je možnost přenositelnosti na jiné stroje.

- **Automatické řízení**

Automatické řízení spočívá v přímém navigování stroje (traktoru, popř. sklízecího stroje) potřebným komponentem - řídicím ústrojem. Moderní stroje jsou vybaveny elektrohydraulickým posilovačem řízení. Navigační zařízení je poté spojeno s řídicí jednotkou posilovače a při automatickém řízení řídí tok hydraulického oleje do pístu, který ovládá řízenou nápravu. Pro dosažení co nejpřesnější trajektorie inerciální snímače a čidla sledující natočení kol pomáhají navigačnímu zařízení vyhodnocovat další navigační kroky. Pak je navigační systém pomocí komunikačních sběrnic spojen s ostatními řídicími prvky, aby obsluha si mohla naprogramovat jízdní cyklus. V tomto případě může souprava vykonávat polní práci zcela samostatně. Pro korekci signálu je využíván RTK systém. Výhodou automatického řízení je poměrně přesné navigování soupravy (cca 2,5 cm) a maximální využití její pracovního záběru.

- **Autonomní řízení**

Předpokladem je zcela autonomní řízení zemědělského stroje při polních pracích bez přítomnosti obsluhy, kdy traktor je ovládán vzdáleně přes Internet pomocí telekomunikačních sítí. Vzdálený operátor zadá potřebné údaje o druhu prováděné polní operace, připojeném nářadí, nakonfiguruje parametry a cestu k pozemku. Pomocí ovládacího softwaru je souprava následně navedena na pozemek a vykonává přesně definovanou polní operaci. V případě výskytu jakékoli překážky může obsluha manuálně vyřešit situaci. S implementací konceptu autonomního řízení nastává problém spojený s legislativou jednotlivých států, která se týká provozu autonomních strojů na pozemních komunikacích (Šprisl, 2017).

4.3 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství (precision agriculture) je mezinárodně ujednocený název pro směry využívající nové technologie, které začaly být rozvíjeny koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let dvacátého století. Tato forma zemědělství se od ostatních způsobů hospodaření liší úrovní a způsobem řízení (managementu).

Tradiční způsoby hospodaření vycházejí z toho, že základní jednotkou agrosystému je pozemek (pole), který je považován za homogenní. Precizní zemědělství ale považuje každý pozemek za variabilní a snaží se uplatněním nových technologií využívat heterogenitu půdních podmínek v rámci pozemků i rozdílů v časové dynamice produkčních procesů. Řízení je zde uzpůsobeno pro malé plochy v rámci polí, což klade větší nároky na dodržování správných agronomických postupů. Důležitou součástí precizního zemědělství je proto práce s informacemi a velký důraz je kladen na využívání nových technologických prostředků spolu s vyspělou zemědělskou činností. Jde tedy o integrovaném přístupu k pěstování polních plodin, který se snaží dát do souladu druh a výši vstupů se skutečnými potřebami plodiny na malých plochách v rámci pozemku (Neudert et al., 2015).

Hlavním cílem precizního zemědělství je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním podmínkám stanoviště, přičemž zásadou je provádět pěstební opatření ve správnou dobu, správnou dávkou na správném místě, s využitím optimálního množství vstupních nákladů. V současné době nové technologie (zejména inteligentní řídicí prvky spolu s telematikou) umožňují realizaci tohoto cíle v zemědělské praxi a pomáhají zemědělcům brát v úvahu rozdíly v půdních podmínkách i rozdíly ve stavu porostu polních plodin v rámci jednotlivých pozemků (polí). Tyto rozdíly jsou zjišťovány novými senzory a také mapováním půdy, porostů a výnosů. Společně s dalšími daty a podporou satelitního navádění mohou být takové rozdíly v pěstebních opatřeních zaměřeny a provedeny. Tyto možnosti lze využít při konvenčním, integrovaném i ekologickém způsobu hospodaření. Provádění lokálně cílených opatření tak podporuje vývoj moderních produkčních technik v rostlinné výrobě. Výrobci zemědělské techniky, motivováni snahou o zvýšení odbytu svých výrobků, se snaží nalézt pro tyto nové přístupy technická řešení (Neudert et al., 2015).

Předpokladem dosažení výše uvedeného cíle je skutečnost, že zmiňovanou variabilitu umíme identifikovat a stanovit. Základním předpokladem pro využití tohoto způsobu hospodaření je nevyrovnanost pozemků. To znamená, že pozemky, které se jeví jako relativně vyrovnané, není nutné obhospodařovat diferencovaně, lze použít tradiční celoplošně uniformní přístup. Znalost variability určitého agronomicky významného znaku

(např. zásoba živin v půdě, zaplevelení) pak představuje základní vstupní informaci pro diferencované provádění pěstebních operací (variabilní aplikace hnojiv, herbicidů) (Lukas et al., 2011). Identifikace variability je tedy prvním a kritickým krokem v precizním zemědělství, neboť nelze při hospodaření zohlednit variabilitu, pokud ji neznáme (Pierce et al., 1999).

Získání znalostí o tom, jak ošetřovat různorodé části pozemku vyžaduje při tradičním přístupu založeném na využití zkušeností roky pozorování a ověřování. Dnes je navíc obtížné udržovat takovou úroveň znalostí o polních podmínkách z důvodu větší velikosti zemědělských podniků i změnám obdělávaných ploch (např. změny v pronájmech). Precizní zemědělství umožňuje zautomatizovat a zjednodušit sběr a analýzu informací, nabízí možnost rychlého rozhodování i následné variabilního provedení pěstebních zásahů a opatření (Neudert et al., 2015).

4.3.1 Půdní blok a jeho variabilita

Půdní blok představuje souvislou plochu zemědělsky obhospodařované půdy zřetelně oddělenou od jiných terénních prvků (Protierozní kalkulačka, 2017). Vznik půdního bloku je dán dlouhodobým vývojem působení člověka na krajinu a z hlediska optimalizace agrotechnických opatření lze ho považovat za základní klasifikační jednotku hodnocení v precizním zemědělství.

U půdního bloku lze hodnotit velké množství měřených a kalkulovaných parametrů, sloužících pro optimalizaci následných technologických postupů, které jsou prováděné při jeho zemědělském využití. Bez ohledu na daný hodnocený parametr lze však za primární informaci považovat variabilitu daného parametru na půdním bloku (Brant et al. 2020).

V tvaru a velikosti půdního bloku se odráží vztah člověka ke krajině při současné míře poznání a rozvoji technických možností společnosti. Však jeho umístění v krajinném prostoru v České republice většinou nerespektuje historii vývoje krajiny a na ní vázaných ekosystémů. Vede to následně ke spojování heterogenních částí krajinného prostoru, což zvyšuje především variabilitu půdních podmínek. Ettema a Wardle (2002) definují variabilitu jako prostorové (nebo časové) změny daného indikátoru. Variabilita půdních vlastností na půdním bloku je základním faktorem, který určuje hraniční podmínky pro pěstování polních plodin a zásadně modifikuje i výši rizik spojených s nepříznivým působením agrotechnických opatření na půdu (Brant et al. 2020).

Z hlediska pohledu na variabilitu půdního prostředí je však potřebné rozlišovat měřítko pohledu. Rozlišují se makrovariabilita, mezovariabilita a mikrovariabilita půdního

bloku. V současné době se nejčastěji sleduje makrovariabilita pozemku. Ze zemědělského hlediska jde o větší části půdního bloku, které mají shodné vlastnosti, nejčastěji rozlišené na základě klasifikačních tříd.

Makrovariabilita je dlouhodobě stabilní a pohybuje se v rozmezí desítek až stovek metrů. Její změny jsou spojeny s dlouhodobějším vlivem progresivních prvků krajinného prostoru (erozní procesy, vliv rostlinných společenstev, hnojení, zpracování půdy apod.). Jedním z typických příkladů makrovariability pozemku může být stanovení elektrické vodivosti, které umožňuje stanovení kvalitativně odlišných zón na hodnoceném pozemku nebo stanovení jeho výškové variability.

Mezovariabilita půdního bloku je spojena s vlivem zpracování půdy na změnu prostorového rozmístění půdní hmoty a je především určována vlivem pracovních nástrojů pro zpracování půdy. Sem patří i vliv přejezdů mechanizačních prostředků po pozemku. Mezovariabilita se vyznačuje periodickým opakováním daného stavu půdy v rámci makrovariabilního členění půdního bloku. V rámci půdního bloku se pohybuje ve stovkách milimetrů až metrů, přičemž horní hranice je ohraničena záběry strojů pro zpracování půdy. Obdělávání půdy ovlivňuje širokou škálu půdních parametrů, např. stabilitu půdních agregátů, objemovou hmotnost, penetrační odpor, pórovitost, rozložení organické hmoty, hydrauliku půdy, obsah živin apod (Brant et al., 2020).

Pokud jde o hledisko detailního pohledu, hovoříme o tzv. mikrovariabilitě, která je dána interakcí makro a mezovariability, ale je následně modifikována například vlivem kořenového systému, rozložením rostlinných zbytků, rozmístěním minerálních a organických hnojiv v půdě, systémem pórů, apod. Z časového hlediska je mikrovariabilita velmi nestálá, jsou to vlastně rychlé chemické reakce a fyzikální změny v časovém horizontu minut až měsíců. V rámci půdního bloku se pohybuje v desítkách až stovkách milimetrů. Určitý praktický význam pro účely precizního zemědělství má mikrovariabilita například při uplatnění systémů diferencovaného zonálního hnojení.

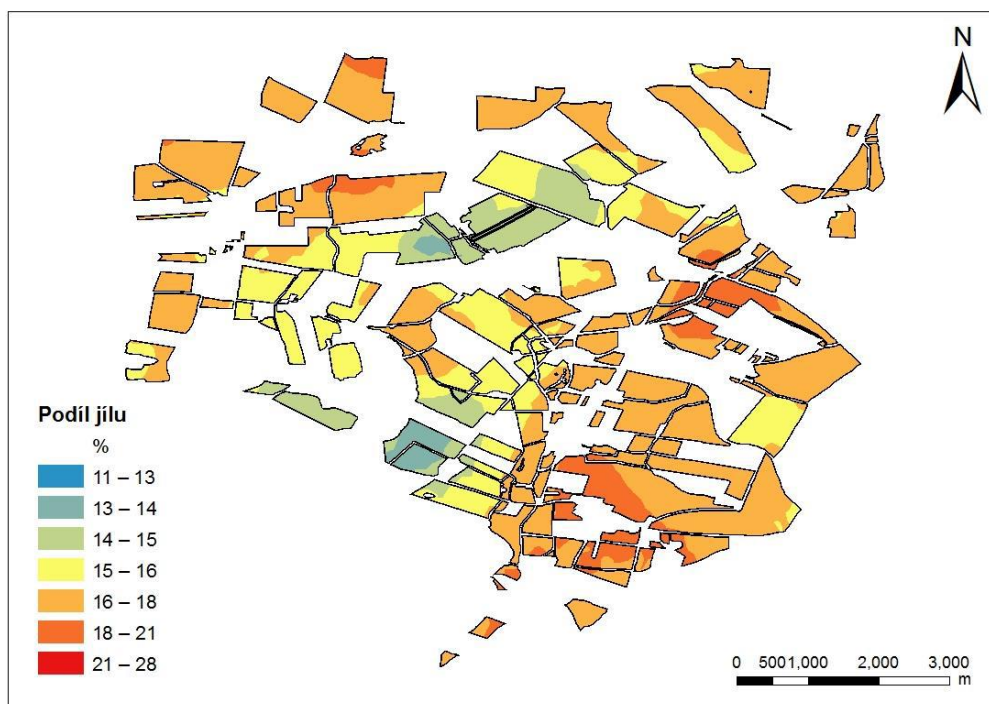
Variabilitu půdního prostředí ovlivňují i další faktory, a to faktory vegetační, například teplota půdy, obsah vody v půdě, rozložení a množství organické hmoty v půdě, rozložení a zásoba živin apod.). Znalost horizontální a vertikální variability výše uvedených faktorů ve vztahu k půdním podmínkám na daném půdním bloku je dalším z důležitých faktorů, který ovlivňuje optimalizaci agrotechnických opatření. Například, vláhové a teplotní podmínky jsou závislé na půdních podmínkách (typ půdy a její druh) a následně jsou upravovány při zpracování půdy změnou prostorového uspořádání půdní hmoty. Za primární

předpoklad k optimalizaci podmínek pro vývoj rostlin lze považovat znalost variability, kterou je možné dosáhnout na základě vyhodnocení vstupů pro jednotlivé či integrované vrstvy variability. (Brant et al., 2020).

Častým indikátorem heterogenity pozemků bývá rozdílná úroveň dosaženého výnosu plodiny zjištěná z výnosových map (Lukas, et al., 2011). Pokud není známa příčina rozdílného výnosu v rámci pozemku, je vhodné provádět pěstební zásahy uniformně. Lokálně cílené hospodaření lze doporučit, pokud prostorové struktury rozdílů výnosu jsou konzistentní po více let a odpovídají některým z agronomicky významných jevů (zásoba živin, topografie terénu, historie užívání pozemku, ...) (Adamchuk et al., 2010).

Jako základ hodnocení variability půdy často slouží bodový odběr, následná analýza a mapové vyjádření. Bodový odběr představuje vstup na pozemek za účelem odběru půdního nebo rostlinného materiálu, definovanou metodou odběru a v místech daných odběrovým schématem, případně v bodech zaměřených v průběhu obchůzky. Na obrázku 10 je vidět příklad variabilní mapy, která může být použita pro účely hodnocení úrovně variability pozemků a jako podklad pro rozhodovací procesy a pořízení inovativní technologie (Kroulík et al., 2019).

Obr. 10: Příklad variabilní mapy



Zdroj: Kroulík, 2019.

4.3.2 Monitoring variability půdy

Hodnocení variability pozemku vždy závisí na hustotě a struktuře hodnocených bodů na zájmové ploše. Při hodnocení parametrů makrovariability půdního bloku pomocí senzorů, které jsou umístěny na autonomních pozemních prostředcích, nebo přímo na soupravách zemědělské techniky, jsou konečná hustota sítě bodů a jejich počet na půdním bloku závislé na velikosti monitorované plochy použitým senzorem, počtem senzorů na pracovní soupravě, pracovním záběrem strojů apod.

Při monitoringu variability pozemku pomocí bezkontaktních metod s využitím snímkování pozemku je hustota sítě primárně závislá na rozlišovací schopnosti senzoru, která je základem budoucího rastru bodů. U parametrů, pro které využití kontinuální systémy měření a záznamu není možné a které jsou spojeny s bodovým odběrem vzorků či měření, vychází hustota vzorkování z metodických doporučení optimalizujících jejich počet k hodnocené ploše či subjektivního standardizovaného odhadu (Brant, et al., 2020).

Tradiční metodou hodnocení variability půdy je odběr vzorků půdy (odebrání pevného množství půdy z předem definované hloubky) pro laboratorní hodnocení mimo lokalitu. Relativně vysoké náklady na odběr vzorků půdy a laboratorní analýzu naznačují potřebu tzv. *on-the-go senzorů*, které by dokázaly detekovat kritické půdní vlastnosti a jejich heterogenitu na každém poli při přejezdu pozemku (Adamchuk, 2011).

On-the-go senzory lze seskupit podle principů měření:

- 1) elektrické a elektromagnetické, které se používají pro měření elektrického odporu, vodivosti a kapacity půdy;
- 2) optické a radiometrické, které využívají elektromagnetických vln k určení úrovně pohlcené nebo vyzářené energie půdy a jejich částic;
- 3) mechanické - měří odporovou sílu půdy při práci náradí;
- 4) pneumatické senzory pro měření propustnosti vzduchu;
- 5) akustické, které zaznamenávají produkované zvuky při práci náradí v půdě
- 6) elektrochemické využívající prvků a částic, které vytváří elektrické napětí jako odezvu na působení vybraných iontů; tak je možné sledovat například koncentrace vodíku, draslíku, dusíku v půdě (<https://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>).

4.3.3 Variabilní zásahy

Jedním z cílů precizního zemědělství je zefektivnění materiálových vstupů. Nástrojem k dosažení tohoto cíle jsou variabilní agrotechnické zásahy, které jsou prováděny

podle mapových podkladů. Jde především o variabilní setí, variabilní zpracování půdy, variabilní aplikace hnojiva a variabilní aplikace ochranných postřiků (Karásková, 2021).

Variabilní zásahy při hospodaření mají za účel zvýšení výnosnosti rostlinné produkce, zvýšení kvality produktů a ochrany přírodních zdrojů a životního prostředí (<https://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>).

K tomu jsou zapotřebí nové technologie, které jsou dnes již často součástí zemědělských strojů. Patří sem například přesné navádění souprav pomocí satelitní navigace, monitoring pohybu strojů po pozemku, automatické ovládání závěsného nářadí (ISOBUS), senzory diagnostiky porostů případně zařízení pro využití dalších dat.

Pro různé pěstební zásahy jsou vhodná různá vstupní data. Pro tvorbu aplikačních map pro variabilní hnojení jsou často využívány tzv. výnosové mapy, které identifikují výnosové hladiny daného pozemku a vznikají přímo při sklizni, kdy sklizňový stroj monitoruje aktuální tok zrna. Ne vždy ale je při sklizni k dispozici technika s touto schopností, anebo nastanou jiné problémy, zkrátka další možností je využít dat z dálkového průzkumu Země. Díky družicovému monitoringu především z družic LandSat a Sentinel 2 a výpočtu vegetačních indexů EVI vznikají mapy produkčních zón neboli relativních výnosů.

Tyto mapy z družic slouží jako podkladové mapy pro variabilní aplikaci zásobního hnojení a rovněž variabilní aplikaci dusíkatého hnojení, ovšem například při přihnojení během vegetace je doporučeno mapy ještě kombinovat s aktuální diagnostikou stavu porostů například z plodinových senzorů.

Na podkladu výnosových produkčních map je možné přizpůsobit výsevek a využít tak mapy k variabilnímu setí i když v tomto případě je také dobré mapové podklady kombinovat například s mapováním půdních vlastností. Variabilně zpracovat půdu je možné rovněž na podkladu produkčních map, ovšem i u této pracovní operace je žádoucí kombinovat mapy produkčních zón s mapováním struktury půdy. Pro variabilní aplikaci ochranných postřiků se doporučuje využití aktuální diagnostiky stavu porostů včetně například monitoringu povětrnostních podmínek (Karásková, 2021).

4.3.4 Výnosové a předpisové mapy

Vývoj sklízecí techniky v současnosti nabízí možnost celoplošného monitorování výnosu sklizené plodiny a jeho záznam do map. Jde o velmi cenné informace pro optimalizaci pěstebních technologií s ohledem na plošné diference dosahovaných výnosů (Lukas et al., 2021). Stroje sklízecí úrodu jsou vybaveny výnosovými senzory a softwarem pro obrazovou analýzu. To vše následně umožňuje další zpracování dat včetně statistického

zpracování. Výnosy lze změřit a zaznamenat v jakémkoli časovém úseku na poli společně s pozicí sklízecího stroje, přičemž nejčastěji jsou zaznamenávána data v časovém úseku 3 až 10 sekund.

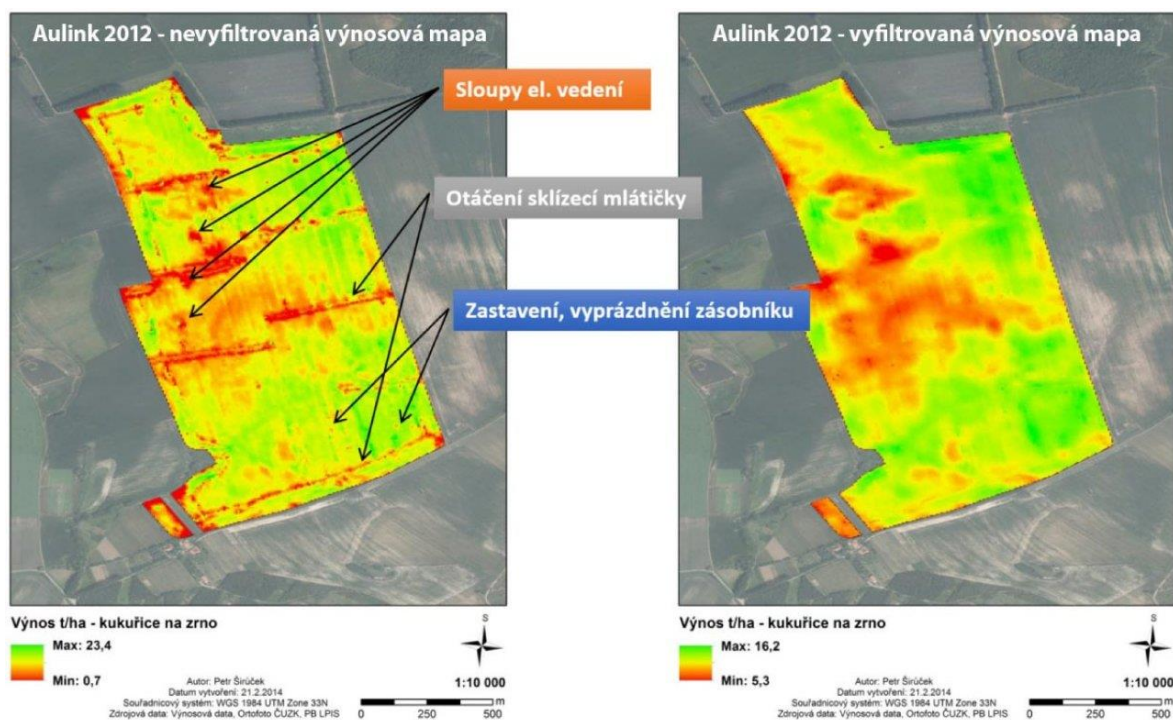
Kromě měření výnosu příslušné senzory současně zaznamenávají i další faktory, které mají vliv na snímání a velikost výnosu, například vlhkost zrna, pojezdová rychlost a šíře záběru sklízecího stroje, sklon stroje při sběru dat. Dále je výnos přepočítán na jednotku plochy (t/ha).

Údaje jsou následně zpracovány v palubním počítači a společně s údaji o pozici stroje uloženy na datových paměťových kartách. Pak jsou analyzovaná data přenesena do počítače, který je vybaven mapovacím softwarem, a mohou být z nich vytvořeny výnosové mapy. Na výnosových mapách je možné identifikovat pozemky s vysokým nebo naopak nízkým výnosem, aby v příští sezóně mohly být vstupy přizpůsobeny k dosažení maximální produktivity pole (Robinson, Metternicht, 2005).

Praktické využití výnosových map spočívá v tom, že obsahují data o množství vyprodukované plodiny a mohou být velmi důležitým nástrojem pro rozhodování managementu zemědělského podniku. Například, lze pomocí těchto map upravovat množství hnojiv, které budou dodávány do půdy. Kromě toho, údaje získané z výnosových map slouží jako základ pro zpracování aplikačních (předpisových) map pro variabilní setí, přípravu půdy, pro aplikaci minerálních dusíkatých hnojiv nebo pesticidů (Robinson, Metternicht, 2005).

Před použitím výnosových map v praxi je ale nezbytné záznamy dat ze sklízecí mlátičky upravit, neboť jsou zkresleny celou řadou vlivů. Je třeba provést odstranění chybových, nespolehlivých a odlehlých hodnot daných chybným záznamem polohy, záběru, objížděním překážek a otáčením apod. (Lukas et al., 2021). Z toho důvodu, že jsou výnosové mapy důležitým nástrojem pro rozhodování, je nutné klást velký důraz na správný sběr dat a jejich korekci (Robinson, Metternicht, 2005).

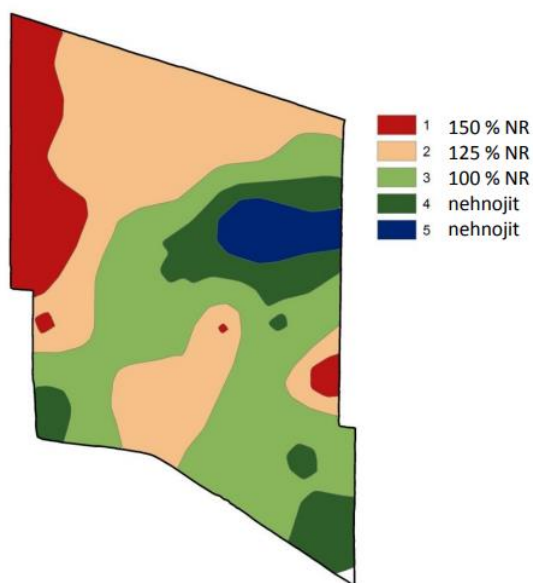
Obr. 11: Příklad nefiltrované a vyfiltrované výnosové mapy



Zdroj: Lukas et al., 2021.

Výnosové mapy obsahují celou řadu nepřesných záznamů, které je nutné před jejich dalším zpracováním odstranit. Obrázek 11 udává příklad nefiltrované a vyfiltrované výnosové mapy a výnos kukuřice na zrno v t/ha, kde jsou oblasti pozemku s nejvyšším výnosem označeny zeleně. Na obrázku 12 je vidět aplikační mapu pro aplikaci hnojiv.

Obr. 12: Příklad aplikační mapy Mg hnojiv



Zdroj: Lukas et al., 2014.

4.3.5 Nežádoucí zhutnění půdy a optimalizace trajektorie pohybu souprav

Zemědělská půda je stále více vystavována tlakům vyvíjeným pojezdovými ústrojími traktorů, sklizňových strojů a dopravních prostředků. S přejezdy těžkou mechanizací je také nejčastěji spojováno nežádoucí technogenní zhutnění půdy, které představuje jeden z hlavních problémů současného zemědělství. Rozumíme tím nežádoucí stlačení částí půdního profilu, kdy fyzikální vlastnosti půdy přesáhnou mezní kritické hodnoty působením strojů, které se v pěstitelských technologiích využívají. Zhutnění půdy je spojováno s intenzitou přejezdů, ale také s dobou, po kterou je půda vystavena zatížení pneumatikami.

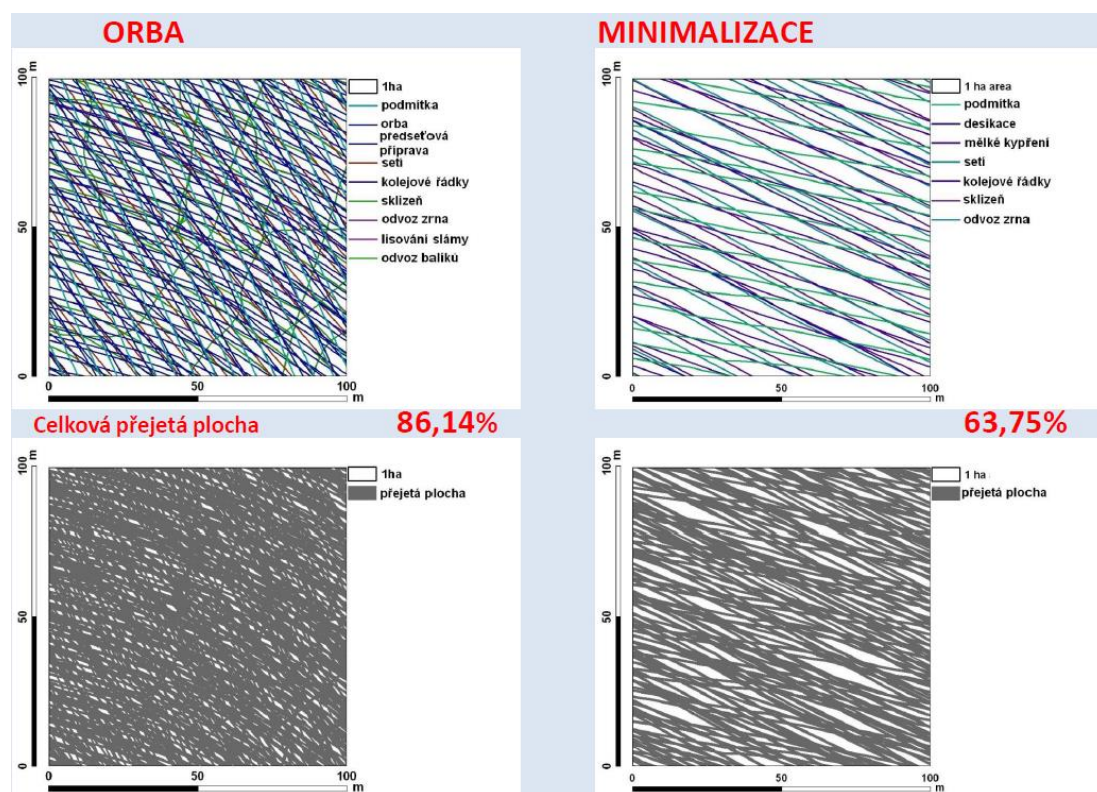
Současný rozvoj průmyslu, zemědělství, energetiky, obchodu, logistiky a dalších odvětví hospodářství při zavádění moderních prvků komunikace, záznamů a zpracování dat, předkládá možnost efektivnějšího využívání a kontrolu vstupů, což ve finále může představovat rozdílové úspory.

V moderním zemědělství jsou přejezdy po pozemcích nevyhnutelné. Zejména souvratě jsou vystaveny zvýšené intenzitě přejezdů. Jelikož celková hmotnost pracovních souprav narůstá, je naprosto nezbytné optimalizovat trajektorie pracovních jízd a omezit vstupy techniky na pozemek. V dnešní době je volba směru jízd založena především na zkušenostech řidičů nebo zvycích zemědělců (Kroulík a Brant, 2020).

Výsledky ze sledování intenzity přejezdů ukazují, že v závislosti na velikosti souprav a zvolené technologii 88,2 % plochy bylo pokryto stopami během jednoho roku, resp. sezóny v případě, že byla uplatněna orebná technologie. Pak bylo spočítáno, že tato, již jednou přejetá plocha byla vystavena opakovaným přejezdům. Na pozemku, kde byla uplatněná minimalizační technologie, klesla plocha přejetá pneumatikami na 65,2 % resp. 42,7 % u přímého setí. Se snížením intenzity, klesla plocha přejetá pneumatikami. I tak ale zůstávají v organizování přejezdů značné rezervy (Kroulík, 2019). Watson a Lowenberg-DeBoer (2004) uvádí až 90 % pěstební plochy přejeté pneumatikami, zatímco s uplatněním navigace klesá přejetá plocha na 30 %.

Na obr. 13 nahoře je vidět ukázkou záznamu pohybu mechanizace po pozemku, demonstrovanou na jednohektarovém výřezu. Jedná se o trajektorie jízd u orebné a minimalizační technologii. Pro názornost je na obrázcích dole znázorněno pokrytí plochy stopami pneumatik.

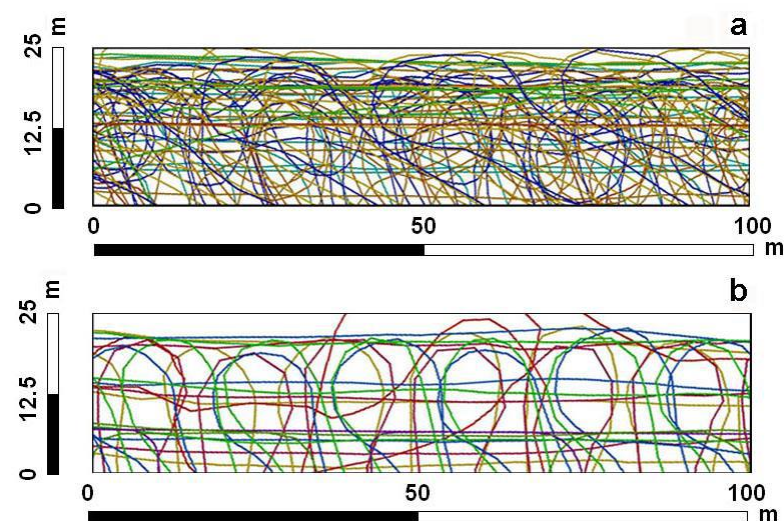
Obr. 13: Mapa záznamu pohybu mechanizace po pozemku a mapa přejeté plochy pozemku pojezdovými ústrojími



Zdroj: Kroulík et al., 2019, upraveno.

Na souvratích je četnost a opakování přejezdů ještě významnější, což je patrné na obrázku 14 (šířka 25 m).

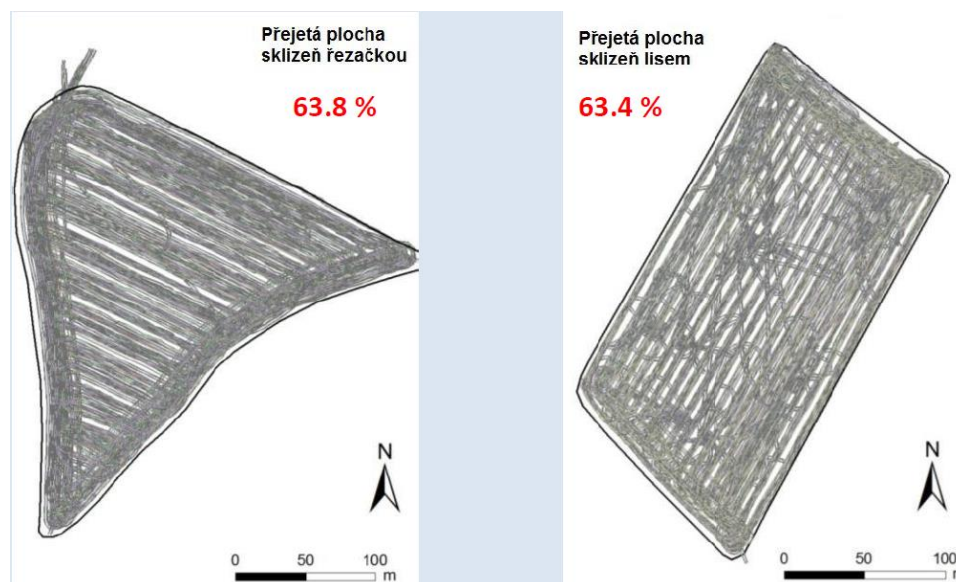
Obr. 14: Záznam přejezdů na souvratích u orebné technologie (a) a minimalizační technologie (b)



Zdroj: Kroulík et al., 2019, upraveno.

Problém intenzivních a náhodných přejezdů se dotýká také dalších plodin, jako jsou pícniny na orné půdě. V případě sklizně s využitím samojízdné řezačky bylo pneumatikami přejetu okolo 64 % sledované plochy. V případě nasazení svinovacího lisu bylo přejetu okolo 63 % plochy. Nejčastěji byly zaznamenány dvakrát opakované přejezdy.

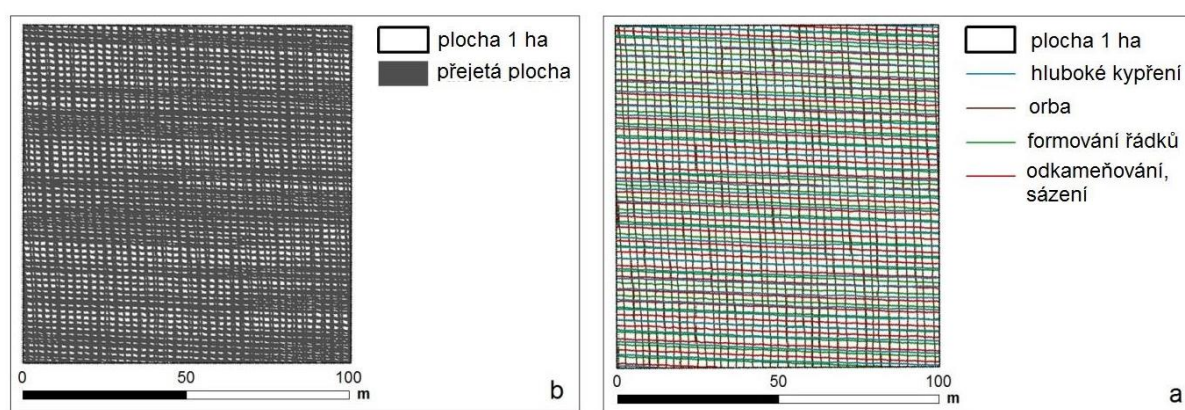
Obr. 15: Grafické vyjádření přejezdů při sklizni samojízdou řezačkou a svinovacím lisem



Zdroj: Kroulík et al., 2019, upraveno.

Velmi intenzivní technologii představuje zakládání porostu brambor. Tomu odpovídá podíl přejeté plochy technikou 84,4 %. Do výčtu ještě není zařazena sklizeň. Na obrázku 16 je vidět trajektorii a přejezdy pneumatikami na výřezu 1 ha.

Obr. 16: Záznam trajektorie jízdy (a) a stop pneumatik (b) při zakládání porostu brambor

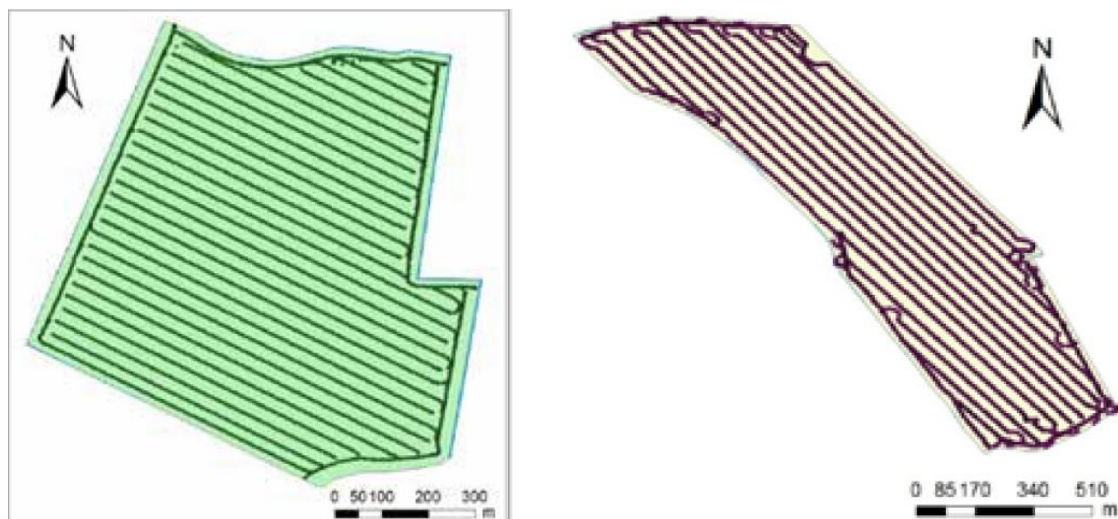


Zdroj: Kroulík et al., 2019, upraveno.

Jednou z technologií, která má potenciál snížit některé negativní dopady na půdy je technologie jednotných jízdních stop neboli Controlled Traffic Farming, která byla v detailu popsána v podkapitole 4.1.3 této diplomové práce.

Velmi užitečným nástrojem ke snižování přejezdů po pozemcích je také optimalizace jízdnic trajektorií souprav s ohledem na tvar pozemku, kdy pouhé vybavení stroje GPS přijímačem přináší pro uživatele zajímavé informace a možnosti využití. Následující obrázek prezentuje příklad tvaru pozemku se záznamem reálných trajektorií, získaných ze záznamu jízd během přihnojení porostu, vypracovaných Kroulíkem a kol, 2019.

Obr. 17: Záznamy reálných trajektorií souprav během přihnojení porostu



Zdroj: Kroulík et al., 2019, upraveno.

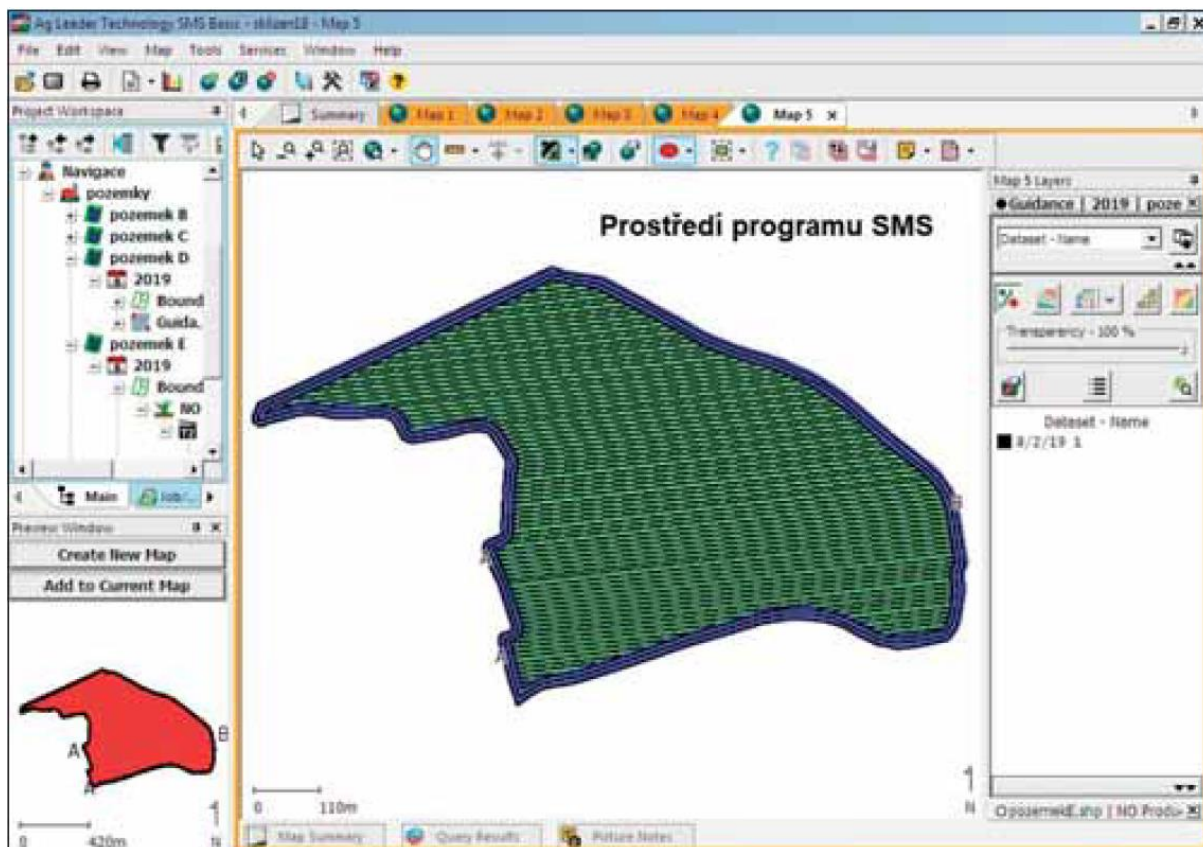
Na základě znalosti hranic pozemků, které byly získány z LPIS (Land Parcel Identification System), a také záběrů strojů, poloměrů zatáčení a počtu jízd na souvrati bylo možné udělat modelování jízdnic trajektorií. K tomu byl využit program OptiTrail od společnosti Leading Farmers a.s.

Pro jednotlivé trajektorie byly vypočítány délky pracovních a nepracovních jízd, počty otáček a délky jízd po souvrati. Na základě délky jízd byla vybrána nejvhodnější varianta a následně byla porovnána s variantou, která byla shodná se směrem jízd podle skutečného záznamu. V tomto případě byla hlavním měřítkem celková délka jízd a následně bylo zjištěno, že i minimální změna směru jízdy může přinést celkové zkrácení celkové délky jízd a snížení otáček na souvracích. Následně byly vypracovány návrhy optimalizovaných jízdnic trajektorií.

V dnešní době se nástroje pro tvorbu navigačních linií stávají součástí programů pro zpracování, interpretaci a ukládání dat ze souprav. Jde o velmi užitečný nástroj k využití potenciálu polních navigací, který pomáhá například minimalizovat počet neproduktivních jízd a otáček na souvracích, snižovat přejezdy po pozemcích a celkovou délku jízd, snižovat energetickou náročnost případně upravovat tvary pozemků.

Pro modelování a optimalizaci jízdnic trajektorií souprav se také používá prostředí softwaru SMSTM Basic od americké společnosti Ag Leader Technology. Software má možnost ukládat výstup ve formátech většiny současných značek výrobců zemědělské techniky. Praktickým výstupem optimalizace je příprava a export řídicí křivky, která se následně přenesou do polní navigace.

Obr. 18: Prostředí softwaru SMSTM Basic



Zdroj: Brant et al., 2020.

5 Vlastní zpracování

V praktické části této práce bylo provedeno zpracování a následná analýza měření, které byly provedeny při výkonu postřiku cukrové řepy a variabilního setí pšenice ozimé pomocí telematických systémů. Telematická data, která byla získána při vykonání operaci na vybraných pozemcích, byla dále importována do speciálních aplikací pro následnou analýzu.

První část se bude věnovat problému překryvů jízd při postřiku a vyhodnocení nákladů plynoucích z opakovaných ošetření postřikovou kapalinou. Bude zjištěno, zda má smysl ovládání sekcí postřikovače spolu s telematickým přenosem dat.

Dále, na základě znalosti jednotlivých hodnot výnosového potenciálu, bude na základě aplikační mapy provedeno variabilní setí pšenice ozimé a bude následně zkoumáno, jak telematický přenos dat a vzájemná komunikace mezi strojem a obsluhou přispívají k dosažení efektivnějších způsobů hospodaření, včetně ekonomických úspor.

V třetí části na základě vyhodnocení telematických dat pořízených při záznamu jízd techniky bude navržena optimalizace směrů jízd pro příslušný pozemek.

5.1 Postřik

Díky prudkému rozvoji moderních technologií je autonomie zemědělských strojů v současné době jistým trendem. Autonomní prvky, které stále více zasahují do řízení a ovládání souprav, mohou v konečném důsledku vést k významným úsporám. V dnešní době jedním z klíčových strojů pro intenzivní hospodaření je postřikovač, který je na jedné straně nástrojem pro zabezpečení kvalitní produkce plodin, zatímco na straně druhé společně s aplikovanými přípravky a hnojivy, vnímán jako prostředek negativní zátěže životního prostředí nebo kvality potravin.

Postupně dochází k omezování použití pesticidů v zemědělské výrobě a zavádění prvků integrované ochrany rostlin. K tomu napomáhá také technická výbava stroje (např. možnost vypínání a zapínání jednotlivých sekcí, variabilní aplikace, telematický sběr dat, záznam práce a provozních ukazatelů, plánování jízd, přesný záznam práce, konstrukční řešení postřikového rámu atd.). K naplňování uvedených požadavků výrazně přispívá také technická výbava stroje. K té patří možnost ovládání, resp. vypínání a zapínání jednotlivých sekcí, stále častěji trysek, možnost variabilních aplikací, plánování jízd, přesný záznam práce, telematika a v neposlední řadě konstrukční řešení postřikového rámu.

Jeden z faktorů se ale řeší stále omezeně, a to při práci na souvratích, nebo v zakřivených kolejových řádcích, kde dochází k příčné nevyrovnanosti dávky postřikové kapaliny. Jelikož jsou v našich podmínkách běžné pozemky s vysokou tvarovou variabilitou, tato nerovnoměrnost dávky zřetelně narůstá. V důsledku toho pak narůstají plochy s nedostatečným nebo naopak nadměrným ošetřením.

V rámci ověření možností vyrovnávání dávky postřikové kapaliny v zatáčkách a zakřivených trajektoriích byl proveden polní test s využitím systému CURVE-Control (Müller-Elektronik GmbH) na zatáčce o poloměru 30 m. Systém byl osazen na moderním samojízdném postřikovači AGRIO DINO 6600.

5.1.1 Polní test s využitím systému CURVE-Control

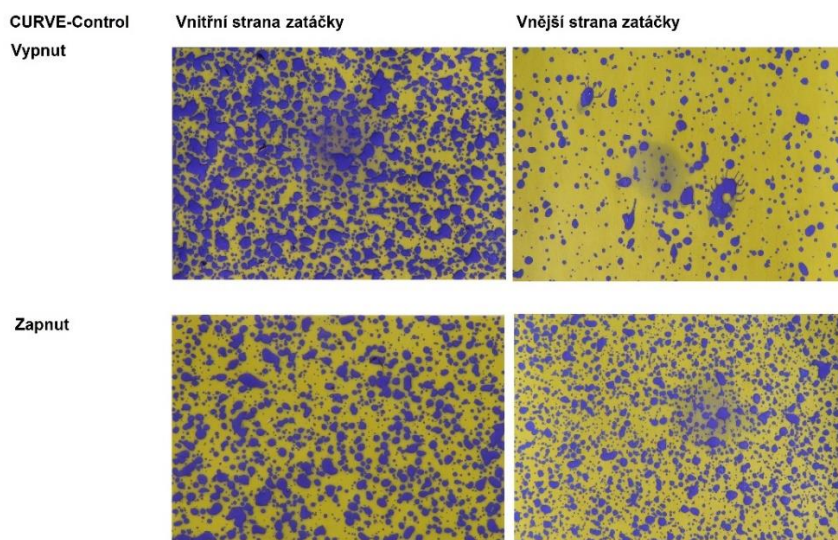
Během polního testu na záběr postřikovače 36 m byly po 2 m rozmístěny voděcitlivé kousky papíru (viz obr. 19), na kterých bylo následně vidět jednotlivé dopadající kapky postřikové kapaliny. Stroj se pohyboval rychlostí 8 km/h, přičemž bylo celkem měřeno 18 bodů a dávka kapaliny se rovnala 200 l/ha. První polovina jízdy proběhla v režimu bez vyrovnání, na druhé polovině dráhy byl zapnut systém CURVE-Control.

Obr. 19: Ověření práce systému CURVE-Control s využitím voděcitlivých papírů



Na obrázku č. 20 je vidět patrné rozdíly v pokrytí ošetřeného povrchu kapkovým spektrem u krajních sekcí ve dvou režimech práce postřikovače.

Obr. 20: Výsledek testu s vypnutým a zapnutým systémem CURVE-Control



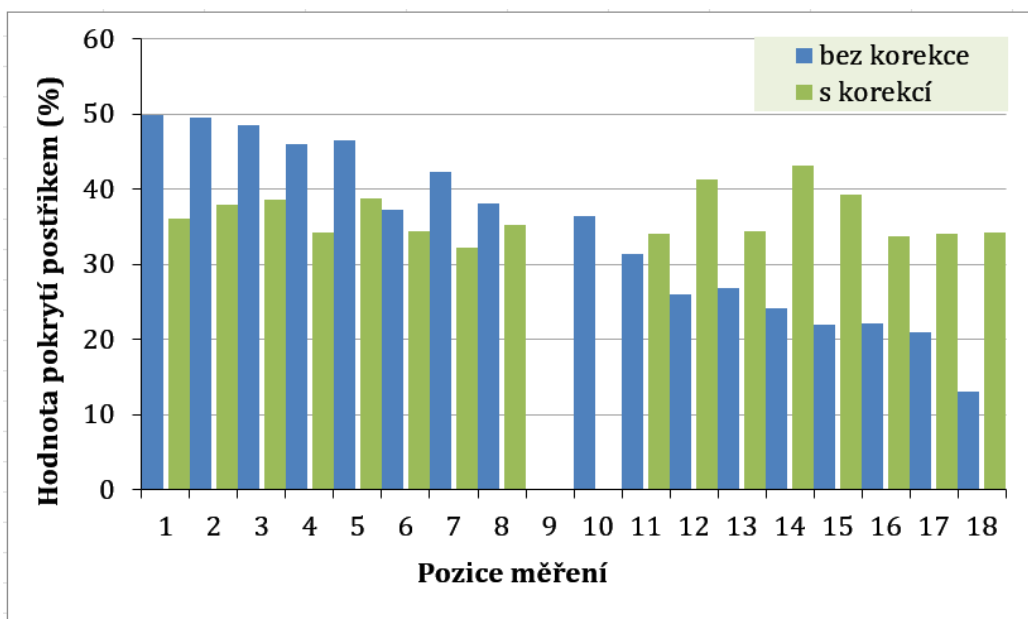
Následující graf ukazuje výsledky hodnocení pokrytí povrchu postřikovou kapalinou. Na základě převedení jednotlivých snímků na dvoubarevnou škálu černé a bílé byla vyjádřena plocha pokrytí.

Pozice č. 1 byla umístěna 1 m od konce postřikového rámu na vnitřní straně zatáčky. Odběry byly prováděny po dvou metrech. Body uprostřed byly ale poškozeny přejezdem.

Získané hodnoty v grafu demonstrují skutečnost, že v zatáčce na její vnitřní straně narůstá dávka u varianty bez korekce. Z naměřených hodnot je naopak patrné, že varianta s korekcí vykazuje vyrovnaný průběh hodnot v celé šíři záběru stroje. Pokud je uvažována střední hodnota, která se rovnala 34 %, jako dávka 100 %, potom dávka kapaliny na vnitřní straně ramene byla navýšena o 45 %. Korigovaná dávka se rovnala hodnotě 18 %.

Co se vnější strany týče, tak se hodnota pokrytí u běžné technologie rovnala 38 % pokrytí, zatímco u technologie CURVE-Control jsme na hodnotě pokrytí 88 %.

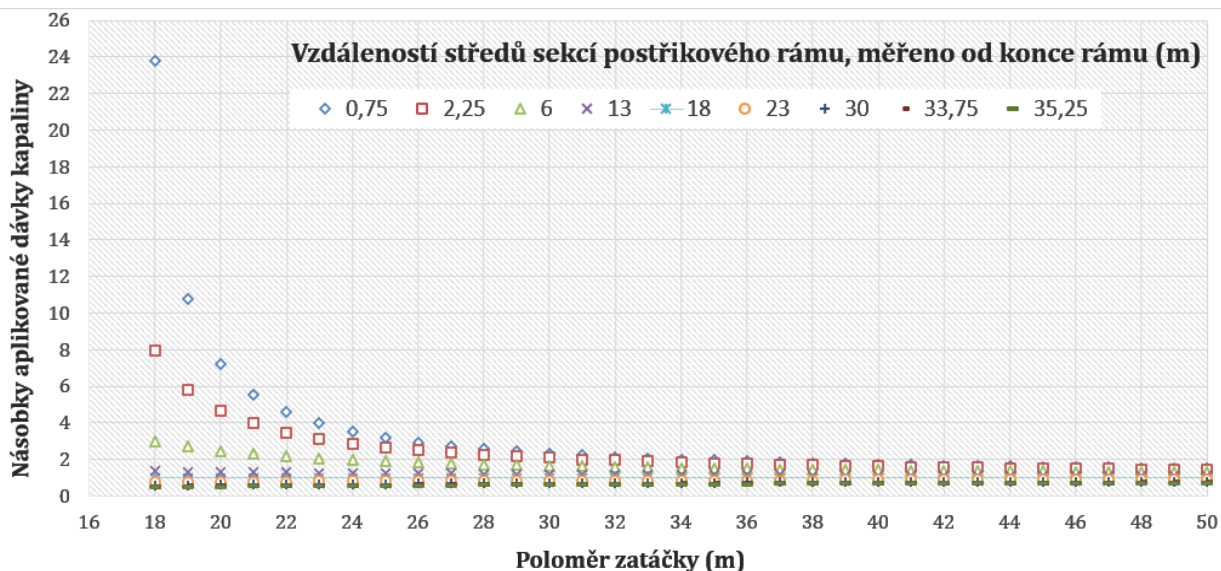
Graf 1: Výsledky hodnocení pokrytí povrchu kapalinou na základě obrazové analýzy voděcitlivých kousků papírů



Nárůst nebo pokles dávky postřikové kapaliny při průjezdech zatáčkami, které mají rozdílné poloměry, je možné stanovit na základě modelového výpočtu.

Graf č. 2 ukazuje, že tento pokles není lineární. Kromě toho, dávka postřikové kapaliny významně vždy narůstá především na vnitřních stranách postřikovače.

Graf 2: Nárůst/pokles dávky postřikové kapaliny v zatáčkách s rozdílnými poloměry



Středu postřikovače, kde je hodnota dávky kapaliny rovna násobku 1 (nastavená), odpovídají hodnoty na vzdálenosti 18 metrů.

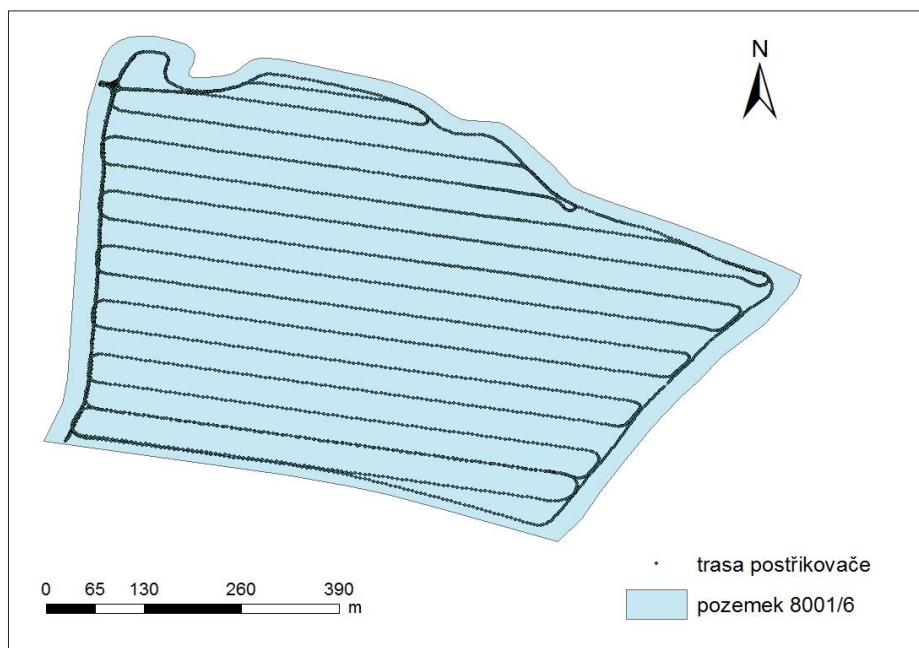
Na základě analýzy výstupů z polního testu lze říci, že průjezd zatačkou s sebou přináší negativní dopad ve formě opakovaného ošetření pozemku a je jednoznačně spojen s vyšší zátěží zasažené plochy a rizikem poškození nebo úhynu rostlin.

5.1.2 Překryvy jízd během postřiku cukrové řepy

Při pohybu postřikovače po zakřivené dráze dochází k opakovanému ošetření pozemků z důvodu snížení obvodové rychlosti ramen stroje. Následující příklad přináší modelovou situaci z práce samojízdného postřikovače na pozemku 8001/6, jehož tvar bude mít zásadní vliv na opakované ošetření vlivem jízd po zakřivené dráze.

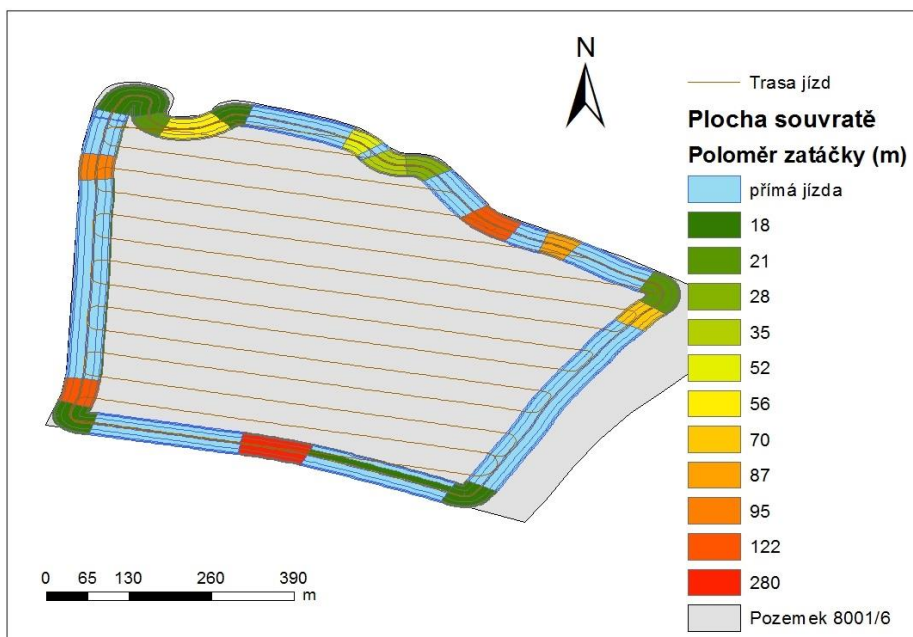
V našich podmínkách pravidelné pozemky, kdy jsou protiběžné strany rovnoběžné a na sebe kolmé, se téměř nevyskytují. Převládají ale pozemky tvaru nepravidelného. Na obrázku č. 21 je vidět záznam jízdy postřikovače, který byl pořízen pomocí telematického systému monitorování pohybu strojů Itineris na pozemku 8001/6 s cukrovou řepou. Naše hodnocení bylo zaměřeno na ošetření souvratí, během objíždění pozemku. Jízdy v rámci hlavní produkční plochy byly považovány za přímé.

Obr. 21: Záznam jízdy postřikovače pro pozemek 8001/6



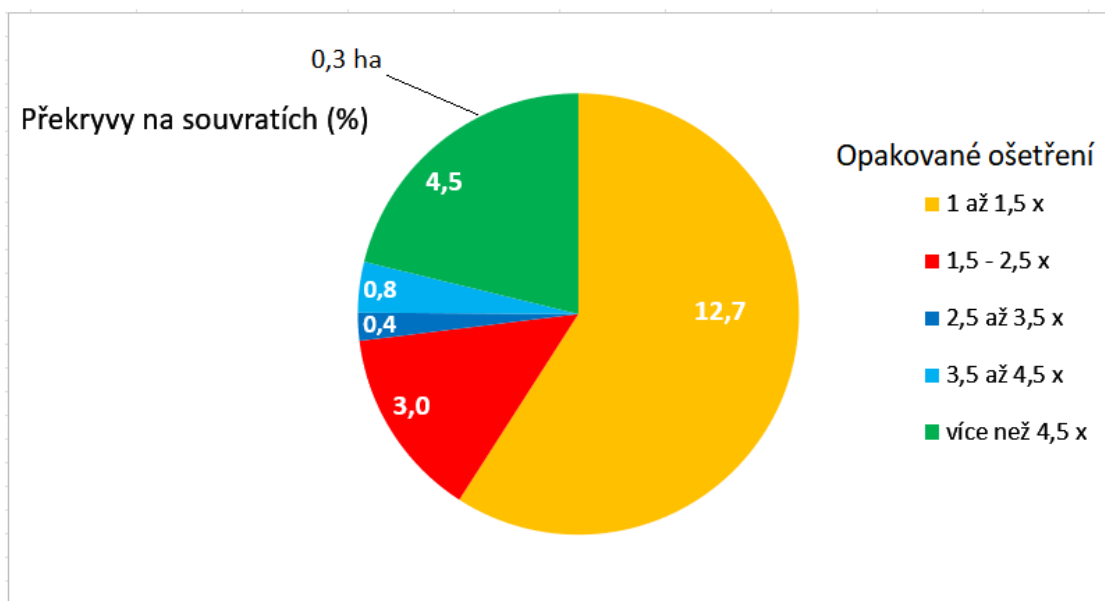
Plochu souvratě jsme rozdělili na jednotlivé díly, kdy šířka jednotlivých dílů, resp. pruhů odpovídala záběru příslušné sekce postřikovače. Byly stanoveny poloměry zataček jízd na souvratí. Na základě těchto údajů byl proveden výpočet opakovaně ošetřených ploch. Obrázek 22 zobrazuje práci postřikovače na souvratí.

Obr. 22: Zobrazení práce postřikovače na souvratích pro pozemek 8001/6



Po dosažení hodnot opakovaného ošetření pro příslušnou sekci a poloměr zatáčky byla zjištěna následující data, která je uvedena v grafu č. 3. Zde vidíme, že nejvyšší nárůst ošetření oproti nastavené dávce se pohybuje v rozmezí do 1,5 násobku nastavené dávky postřikové kapaliny. Další podíl zabírá vícenásobné ošetření, a to 4x a více. Svůj podíl má rovněž i dvojnásobné ošetření.

Graf 3: Podíl opakovaného ošetření pro pozemek 8001/6



Příslušný pozemek (8001/6) má výměru 29,7 ha. Plocha souvratí se rovná 6,6 ha, tedy okolo 22,6 %. Jde o poměrně významný podíl. Pokud to přepočteme na plochu, kde docházelo k vícenásobnému ošetření (4x a více), dostaneme plochu zhruba 0,3 ha.

S ohledem na skutečnost, že opakované ošetření pozemku může mít negativní dopad ve formě vyšší zátěže zasažené plochy a rizika následného poškození rostlin, lze tuto plochu považovat za ohroženou. Ostatní opakované ošetření mohou také způsobit poškození.

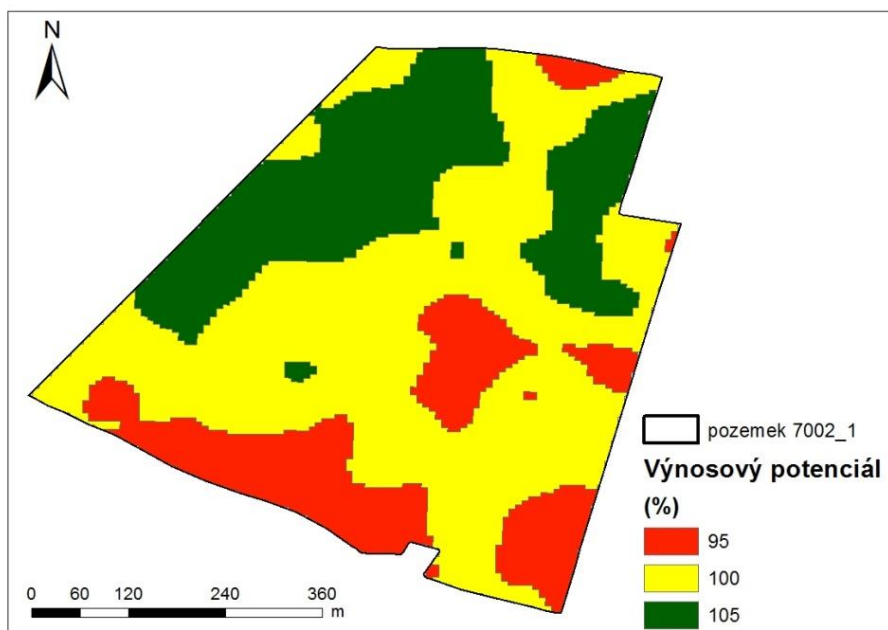
Vezmeme-li v úvahu tvar pozemku, lze předpokládat, že procent opakovaného ošetření bude vyšší než u modelové situací. Překryv při ošetření dosahuje hodnot okolo 6 % z výměry pozemku. Při vyjíždění nebo najíždění do záběru dochází k postupnému zapínání nebo vypínání sekcí stroje. Při daném záběru sekcí postřikovače se vždy vyskytuje částečný překryv. Režim práce a spouštění nebo vypínání sekcí vychází ze standardního nastavení, kdy dojde k aktivaci při 50% najetí nebo vyjetí sekce do požadované ošetřené plochy, přičemž velikost plochy bude odvislá od počtu sekcí. Úhel, který svírá trasa postřikovače s linií souvratě, také bude hrát určitou roli. Proto můžeme konstatovat, že pořízení moderního postřikovače s ovládáním sekcí je nanejvýš opodstatněný.

5.2 Variabilní sítě pšenice

Pro založení porostu pšenice ozimé byl vybrán pozemek (7002_1), vykazující na základě hodnot výnosového potenciálu hodnoty nad a pod 100 %.

Pozemek s jednotlivými hodnotami výnosového potenciálu uvádí obrázek 23.

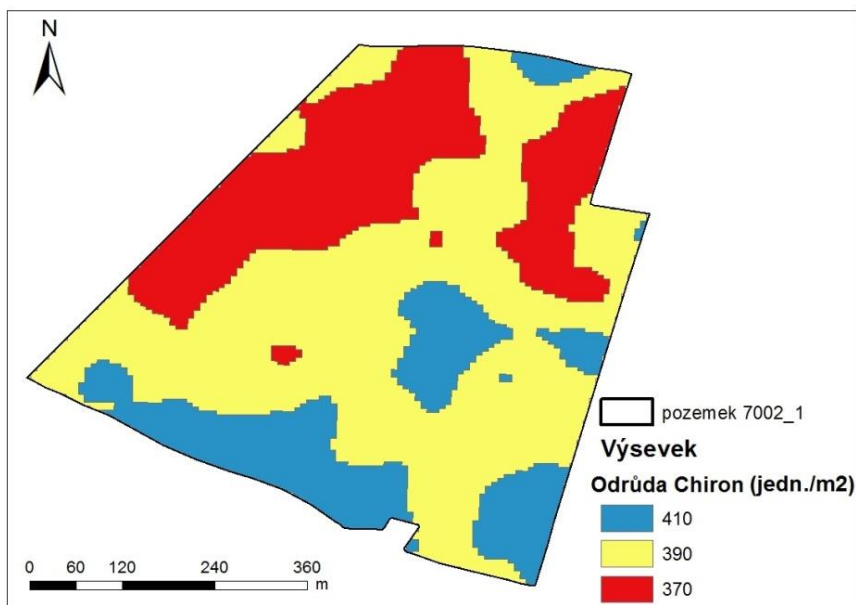
Obr. 23: Výnosový potenciál pozemku 7002_1



Setí bylo provedeno secím strojem Väderstad osazeným systémem pro výsev jedinců, a výsevky byly stanoveny pro jednotlivé úrovně výnosového potenciálu pozemku. Byl zvolen režim výsevu s navýšením hodnot výsevu na plochách s menším výnosovým

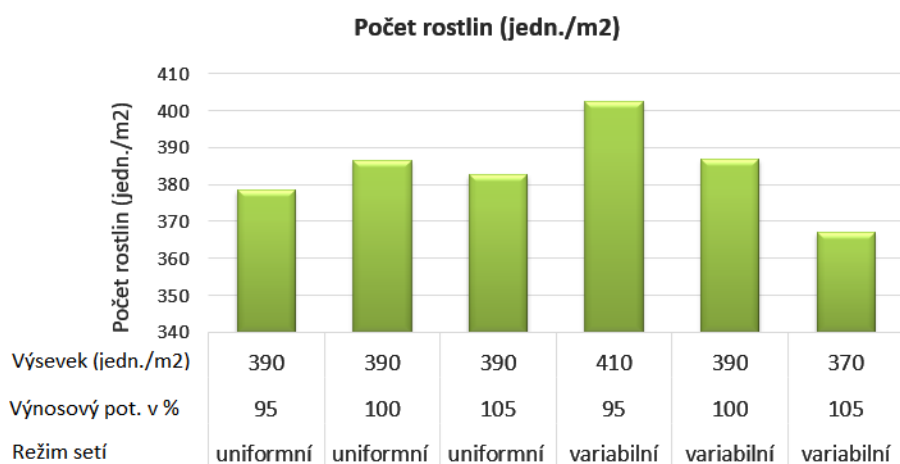
potenciálem a naopak (tzv. režim zvýšení). Na pozemek byla oseta odrůda Chiron. Pro uniformní setí byl zvolen výsevok 390 jedinců na m². Mapa výsevku je zobrazena na následujícím obrázku.

Obr. 24: Mapa výsevku pro pozemek 7002_1



Pro účely ověření dopadů variabilního setí byly na pozemku vysety pruhy s jednotným výsevem, které protínaly jednotlivé oblasti rozdílných výnosových potenciálů. Pro stanovení biometrických ukazatelů porostu byly na jaře odebrány z řádků rostliny. Graf č. 4 uvádí patrné rozdíly v počtu rostlin na sledovaných plochách.

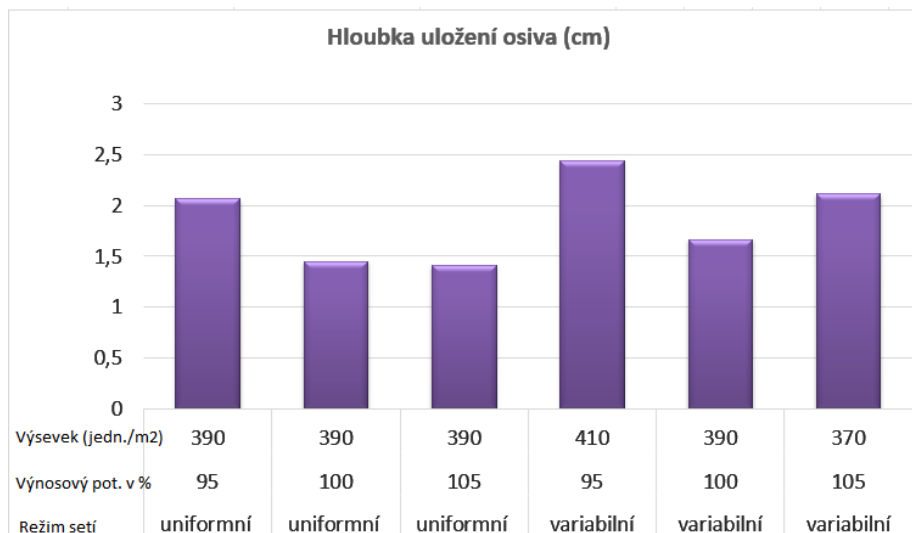
Graf 4: Počet rostlin na jednotlivých variantách výsevku



Je třeba poznamenat, že na některých plochách došlo k částečným propadům. Jednou z příčin mohla být nerovnoměrnost hloubky uložení osiva během setí (viz graf 5). Ukazuje se, že je to jeden z dalších úkolů, především tedy pro výrobně. Pro precizaci operací je to

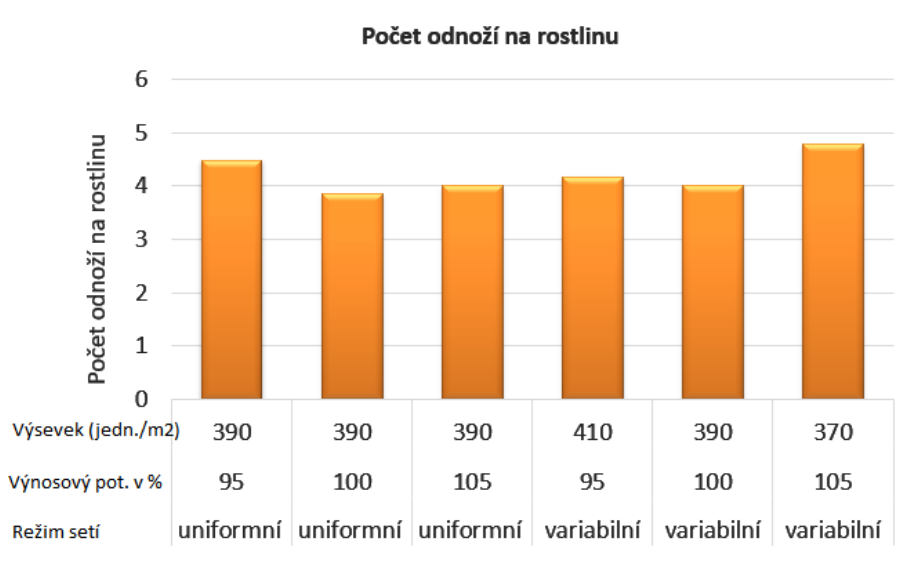
však důležité hledisko. Rovněž bude významný přístup obsluhy v otázce precizního seřízení stroje pro dané převažující podmínky pozemku.

Graf 5: Hodnoty hloubky uložení osiva



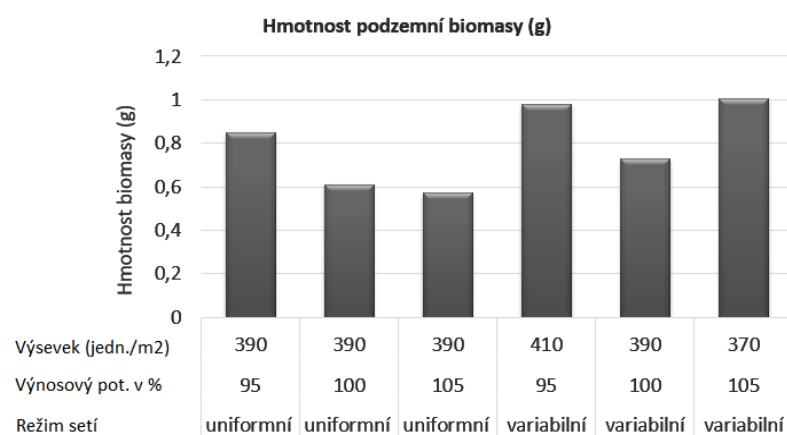
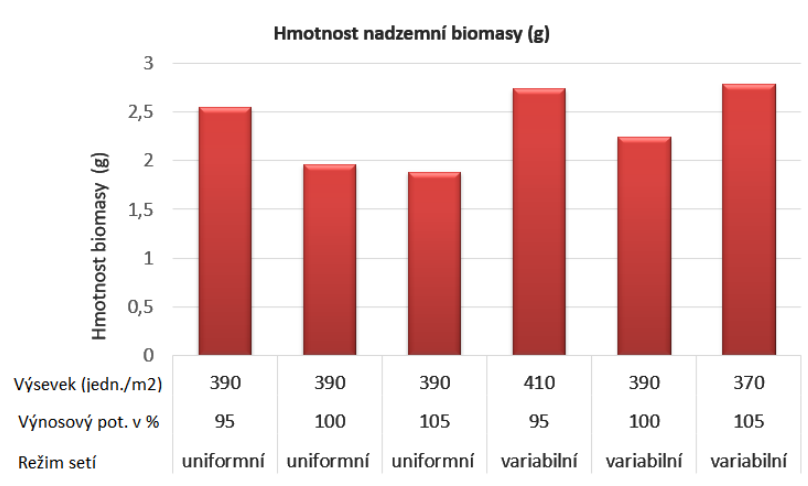
Co se týkalo průměrného počtu odnoží na jednu rostlinu, statisticky patrné rozdíly se neobjevily (viz graf 6).

Graf 6: Hodnoty počtu odnoží na rostlinu



Následující grafy dokládají jednotlivé hodnoty produkce nadzemní a podzemní biomasy porostu pšenice pro příslušný pozemek.

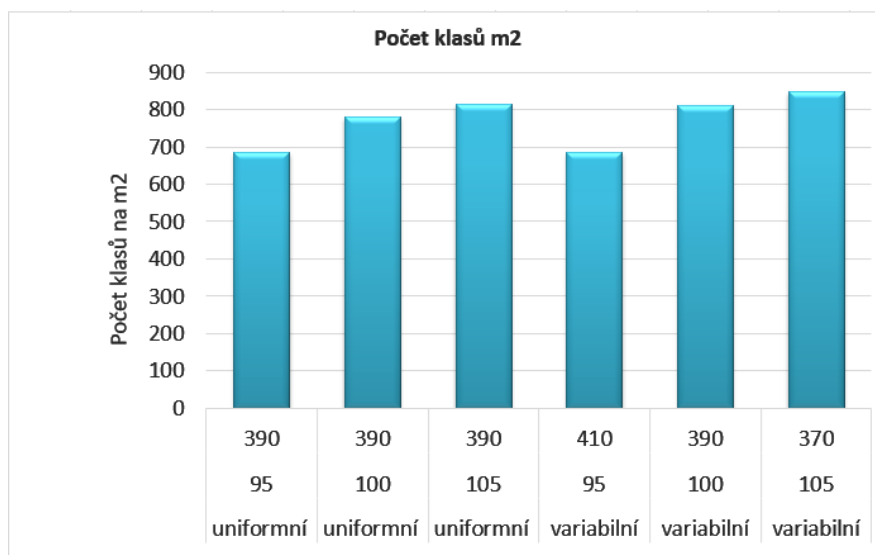
Graf 7 a 8: Produkce nadzemní a podzemní biomasy porostu pšenice



V obou variantech jsou významné rozdíly zejména směrem k variabilnímu výsevku. U uniformního výsevku vidíme, že tendence směrem k vyššímu výnosovému potenciálu je klesající.

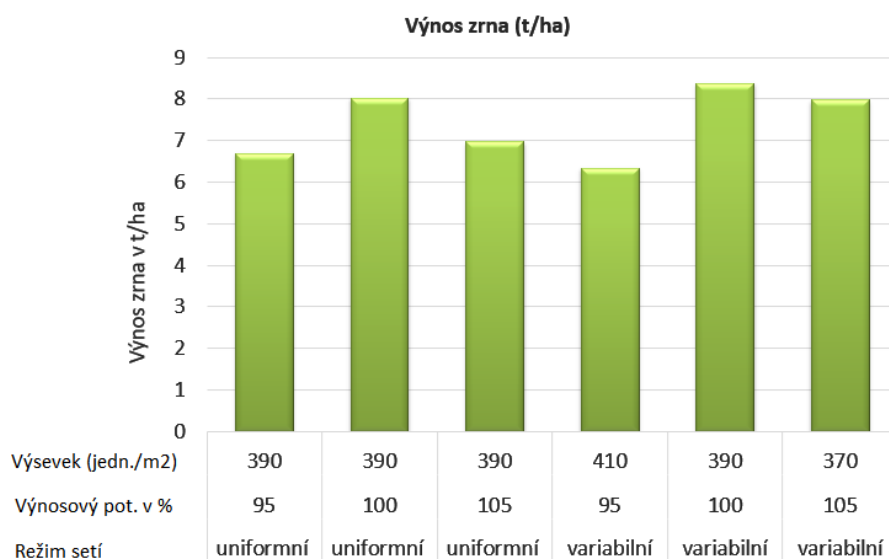
Před tím, než byl porost sklizen, byly odebrány opět vzorky rostlin pro stanovení odhadovaného výnosu a výnosotvorných prvků. Je třeba poznamenat, že ze všech ukazatelů je patrný zřetelný vliv úrovně výnosového potenciálu pozemku, oproti výsevku. Jedním z ukazatelů je hodnota počtu klasů připadajících na m², což v podstatě znamená počet fertálních odnoží (Graf 9).

Graf 9: Počet klasů na m²



Počet odnoží ovlivnila změna počtu odnoží výsevkem a výnosovým potenciálem. Jak je patrné z grafu 9, nižší výsevek vedl k navýšení počtu odnoží na ploše s vyšším výnosovým potenciálem. Zároveň se projevila tzv. kompenzační schopnost odrůdy vyseté pšenice, kterou lze považovat za jeden ze základních prvků, pokud chceme stanovit jednotlivé třídy výsevků. Následující graf představuje hodnoty odhadovaného výnosu zrna z jednotlivých ploch.

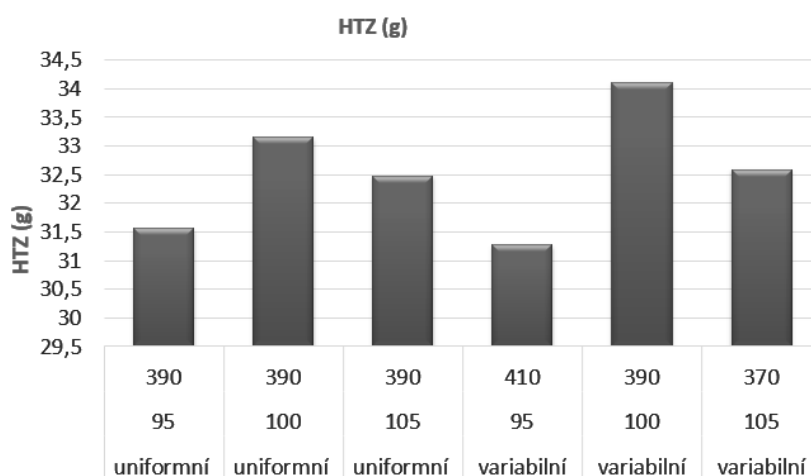
Graf 10: Odhadovaný výnos zrna v t/ha pro jednotlivé varianty výsevku



Výsledek do určité míry koresponduje s počtem odnoží. Je vidět, že výnos zrna na ploše s vyšším výnosovým potenciálem patrně narůstá. Na ploše s nižším potenciálem se ale projevil určitý propad výnosu. Příčinou může být navýšení vzájemné konkurence mezi rostlinami, kde na výnosově slabších plochách je tento vliv ještě patrnější.

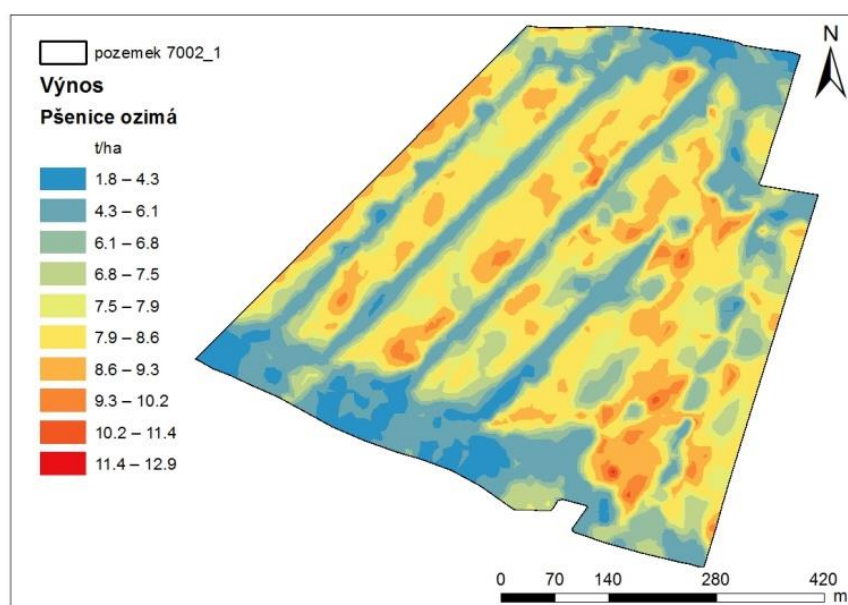
Shodné parametry měli i některé další ukazatele, jako například hodnoty hmotnosti tisíce zrn (HTZ), (Graf 11).

Graf 11: Hodnoty hmotnosti tisíce zrn pro jednotlivé varianty výsevku a výnosového potenciálu



Na obrázku č. 25 je vidět zobrazení celkového výnosu vyseté pšenice formou výnosové mapy pro pozemek 7002_1, která přináší jednotlivé variantní bloky.

Obrázek 25: Výnosová mapa pšenice pro pozemek 7002_1



Při hodnocení výnosu u variabilního setí bylo sledováno navýšení výnosu v průměru okolo 4,6 % oproti uniformnímu setí. Co se týče spotřeby semen, tak při vyjádření v procentech, kdy hodnota výsevu pro plochu v režimu uniformní setí představovala 100 %, u variabilního setí byla úroveň vysévaného množství na hodnotě 99,6 % oproti uniformnímu výsevu, což představovalo určitou úsporu semen.

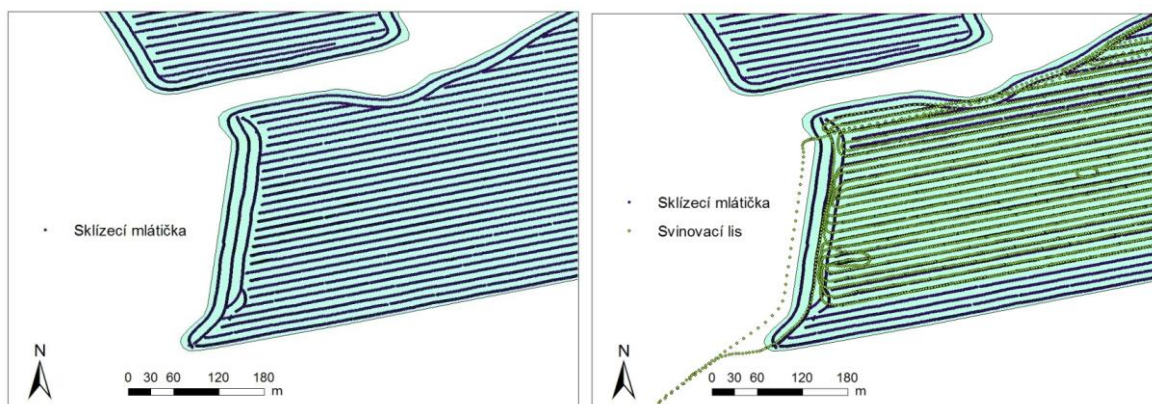
5.3 Přejezdy po pozemku

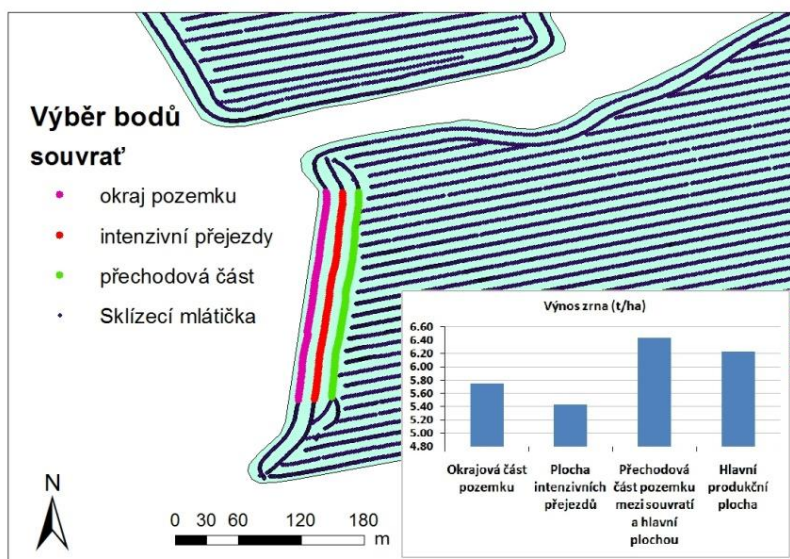
V současné době je souvrať běžně považována za jednotný celek. V tomto případě šířka souvrátí nejčastěji odpovídá šířce záběru stroje, tj. postřikovače nebo rozmetadla. Intenzita otáčení zemědělské techniky na souvrátích je velmi velká, a proto se tady vyskytuje řada negativních dopadů jako například zhoršené fyzikální a biologické vlastností půdy, vyšší dávky hnojiv a postřikových látek v důsledku překryvů, vysoká energetická náročnost prováděných operací, což může vést k nižšímu výnosu.

V tomto ohledu je souvrať také považována za souvislou plochu. Četnosti přejezdů nebo intenzita ošetření však rozdílně ovlivňují jednotlivé části souvrátí, což zároveň ovlivňuje celkový výnos.

Obrázky 26-28 zobrazují záznam z práce sklízecí mlátičky. Jak dále ukazuje záznam přejezdů soupravy s lisem, oblast souvrátí může být rozdělena na více částí. To jsou plocha okrajová, pak plocha, kde se vyskytuje intenzivní otáčení souprav, a plocha přechodová, která se nachází mezi částí s intenzivními přejezdy a hlavní produkční částí. Graf na obrázku ukazuje hodnoty výnosu zrna pšenice ozimé na jednotlivých částech ploch. Pro uvažované změny ve využití souvrátí mohou mít tyto údaje rovněž určitou váhu.

Obr. 26-28: Sledování provozních ukazatelů strojů ve vztahu k souvrátí





Přejezdy zemědělskými stroji výrazným způsobem zasahují do stavu půdního prostředí a jsou přímo spojeny s procesem navyšování nežádoucího technogenního zhuštění půdy. Na základě údajů o zatížení orné půdy přejezdy během roku nebo v rámci osevního postupu, které byly získány v rámci zpracování této kapitoly, bylo zjištěno, že v případě malého podniku nebylo přejezdy zatíženo 3,3 % povrchu půdy a 2,7 % povrchu bylo přejezdy jen jednou. 75 % povrchu bylo přejezdy dvakrát a více, 15 % povrchu bylo přejezdy 10x a 2% 27x a více. Co se týče velkých podniků, tak nebylo přejezdy mechanizace zatíženo skoro 11 % povrchu půdy a 1,3 % povrchu bylo přejezdy jen jednou. 76 % půdního povrchu bylo přejezdy 1x a více, 9 % půdy bylo přejezdy 8x a 2% 19x a více.

S využitím telematiky máme reálný záznam intenzity přejezdů, jejichž dopad můžeme pozorovat během celé vegetace, případně jsou dopady pozorovatelné po několik let, což může být patrné například na porostu cukrové řepy.

Obrázek 29 jsou přináší záznam trajektorií jízd techniky na pozemku 8001/6 s cukrovou řepou. Pokud by byla data vyjádřena formou skutečných stop pneumatik stroje, tak by se určitě vyrovnala výše uvedeným hodnotám.

Obr. 29: Záznam intenzity přejezdů po pozemku 8001/6 před založením porostu cukrové řepy



V podkapitole 6.3 bude následně představen návrh trajektorií jízd pracovních strojů po pozemku s porovnáním původních a modelových trajektorií.

6 Výsledky a jejich hodnocení

V této části diplomové práce bude provedeno ekonomické zhodnocení získaných výsledků během postřiku cukrové řepy a variabilního setí pšenice ozimé. V části týkající se přejezdů na souvratích bude pro příslušný pozemek navržena optimalizace směru jízd.

Ekonomické hodnocení vychází z jednotlivých záznamů hodnot, které byly pořízeny automaticky během práce strojů na pozemcích. Při hodnocení byly především uvažovány ceny za materiální vstupy, protože jednotlivé nákladové položky, které jsou spojené s fixními náklady a provozem techniky, budou při variabilním zásahu obdobné.

6.1 Ekonomické zhodnocení postřiku

V této podkapitole budeme hodnotit úroveň opakovaných ošetření, zejména herbicidními přípravky, které mají, v případě výrazného opakování aplikace fyto toxický účinek, což může mít za následek úhyn rostlin. Pro konkrétní příklad (pozemek 8001/6) byla plocha poškození v případě vícenásobného ošetření, a to 4x a více vyjádřena na 0,3 ha z celkové výměry 29,7 ha. Z nákladů na pěstování cukrové řepy činí položka na zhruba 9 556 Kč/ha. Pro příslušnou plochu se jedná o částku 2 867 Kč na postřiky, které budou vynaloženy na aplikaci plochy bez předpokládaného porostu.

Celkové náklady (vč. osiva, hnojiva a dalších vstupů na danou plochu), pokud bychom uvažovali, že z dané plochy nesklidíme produkci, činí 12 219 Kč. K tomu se také přičítá výnosová ztráta. Při výnosu 72,5 t/ha a ceně 762,03 Kč/t řepy bude činit ztráta pro danou plochu 16 574,2 Kč. Celkem se dostáváme na částku pro daný pozemek 12 219 Kč + 16 574 Kč = 28 793 Kč. Následující tabulka ukazuje výši nákladů pro jednotlivé četnosti opakovaných ošetření.

Tabulka 1. Ekonomické zhodnocení nákladů na postřik pro jednotlivé pozemky při daných úrovních opakovaného ošetření

Četnost opak. ošetření	Plocha v ha	N na postřiky pro danou plochu, Kč	Celkové náklady (osivo, hnojivo) Kč	Výnosová ztráta Kč	Celkem náklady Kč
1 až 1,5x	0,85	1 624	34 580	46 941	81 521
1,5 až 2,5x	0,2	765	8 150	11 049	19 199
2,5 až 3,5x	0,02	115	815	1 105	1 920
3,5 až 4,5x	0,05	406	1 955	2 762	4 717
více než 4,5x	0,3	2 867	12 219	16 574	28 793

Pokud spočítáme náklady na postřiky pro jednotlivé četnosti opakovaných ošetření, zjistíme, že nárůst ošetření oproti nastavené dávce přináší proporcionálně vyšší náklady na postřik v důsledku navýšení potřeby chemických přípravků.

Tvarové vlastnosti práce a zvolené směry jízd také budou ovlivňovat výši ztráty. Míra překryvů na souvratích se pohybuje na úrovni okolo 6 %, což představuje navýšení potřeby chemických přípravků, zátěž pro životní prostředí a výnosovou ztrátu. Každopádně precizní ovládání sekcí postřikovače má význam z toho důvodu, že s technologií ovládání sekcí úroveň překryvů se pohybuje okolo 1 %. Pokud vezmeme v úvahu poškození porostu, bude částka vyšší, ale i tak se jedná o významnou hodnotu.

6.2 Ekonomické zhodnocení variabilního setí

Na pozemku 7002_1 došlo u porostu pšenice k větším výsevkům na plochách s nižším výnosovým potenciálem a naopak, ke snižování výsevu s vyšším výnosovým potenciálem. Pro uniformní setí byl zvolen výsevek 390 jedn./m² (3 900 000 jedn./ha).

Výsevek:

U porostu pšenice byla úroveň vysévaného množství na hodnotě 99,6 % oproti uniformnímu výsevu. Docházelo tedy spíše k přerozdělení výsevu mezi plochami, ale i tak došlo k určité úspoře.

Při ceně 1 778,4 Kč/ha* včetně DPH použitého osiva pšenice odrůdy Chiron na pozemek 7002_1 s výměrou 21,1 ha by tedy připadala cena 37 524 Kč v případě uniformního setí. Při zmíněné úspoře 0,4 % osiva by se jednalo o úsporu 150 Kč.

*Při ceně osiva 10 600 Kč /t a hmotnosti tisíce zrn – 43 g.

Výnos:

Při hodnocení výnosu bylo shledáno navýšení výnosu v průměru okolo 4,6 %. Při průměrném výnosu 7,2 t/ha a výměře 21,1 ha by výnos na tomto pozemku o výměře 21,1 ha měl být okolo 151,9 tun. Při ceně 4 010, 21 Kč/t se jedná tedy o výnos 609 151 Kč.

Při uvedené výkupní ceně pšenice by tržba za navýšený výnos (tedy 158,9 tun) činila 637 222 Kč, tedy by došlo k navýšení výnosu o 28 071 Kč.

Pokud vezmeme v úvahu, že náklady na výsevek jsme snížili o 150 Kč, a byl výnos pšenice zvýšen o 28 071 Kč, zjistíme, že díky variabilnímu setí jsme ušetřili 28 221 Kč na pozemek o výměře 21,1 ha, tedy 1 337,5 Kč/ha.

Co se týče nákladů na osivo, variabilní aplikace s využitím přesného dávkování osiva na počet jedinců přispívá k optimalizaci rozmístění semen v řádku. Hustota porostu je

jedním z významných faktorů, které ovlivňují zdravotní stav porostu a následně výnos. Pořízená technologie má možnost autonomního ovládní vypínání a zapínání vždy poloviny secího stroje při výjezdu a njetí do záběru, což přispívá k úspoře osiva. Podpoří porost na souvratích, aby nedocházelo k zahušťování porostu. Jelikož k určitým mírám překryvů bude vždy docházet, i tak lze říci, že ovládní sekcí secího stroje na souvratích pomáhá dosáhnout určitou úsporu.

Pokud se jedná o variabilních aplikacích, je obecně známo, že navýšení výnosu u pšenice se pohybuje okolo 1 až 2 %. Uvedený příklad ukazuje význam, který je spojen s možností telematického přenosu a zajištění spolehlivého přenosu informací. Telematický přenos dat nejenom přispívá k minimalizaci rizika chyb a ekonomickým úsporám, ale může vést k přínosům z ekologického hlediska, které se však vyčíslují obtížně. Z toho vyplývá, že telematika a záznam dat budou hrát významnou roli v efektivním řízení výroby.

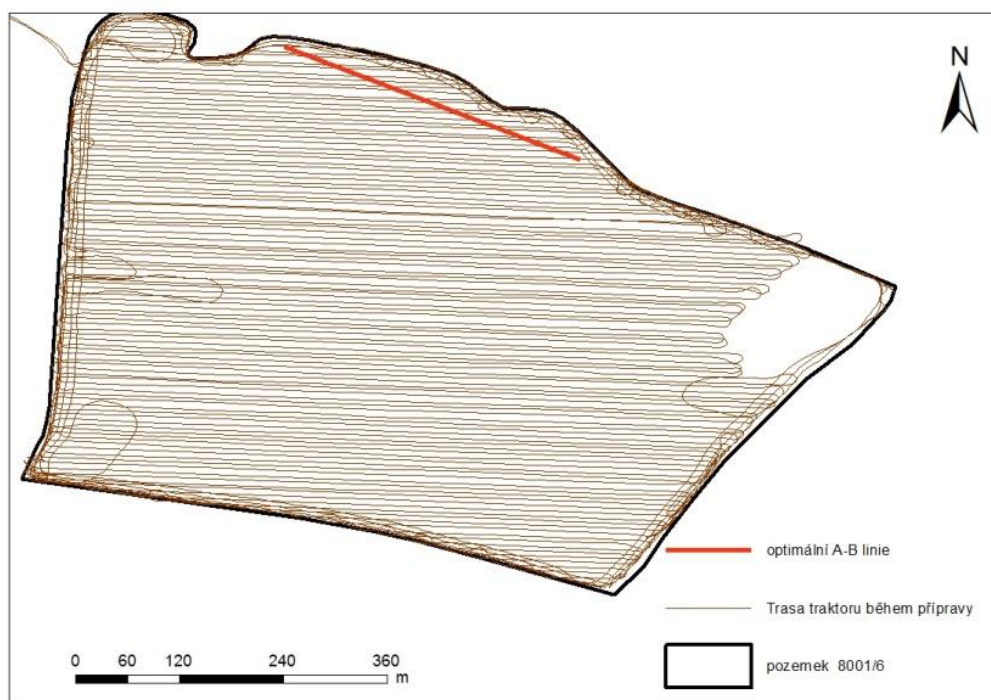
6.3 Optimalizace směrů jízd

Na základě dat získaných při záznamu jízd lze vytvářet i modelové příklady optimalizovaných směrů jízd, čím můžeme přispívat k úsporám pohonných hmot. Vliv na celkovou spotřebu má i vypínání a zapínání pracovního náradí při otáčení stroje. Díky tomu by pak nemuselo být prováděno tolik jízd po souvratí.

Pro vybraný pozemek (8001/6) byla na základě znalosti jeho hranic provedena optimalizace jízdnic trajektorií pomocí softwaru SMS Basic. Základním parametrem v daném případě byl zvolen tvar pozemku. Je nutné vzít v úvahu, že pokud nerespektujeme svažitost pozemku, jedná se v některých případech o řešení nevhodné. I v takovém případě je možné najít určitý kompromis, vzhledem ke skutečnosti, že délka jízd, otoček a přejezdů je počítána pro všechny směry s krokem 1°. Za velmi důležitou je také považována komunikace mezi vedoucím pracovníkem a obsluhou techniky, která má s pozemkem velké zkušenosti. Závěry a výsledky, které byly konzultovány oboustranně, jsou v tomto případě snadněji přijímány.

Na obrázku č. 30 je zobrazen návrh jízd pro příslušný pozemek a konfrontován s původními směry jízd.

Obr. 30: Modelová trajektorie jízdy strojů a původní jízdy pořizené záznamem u pozemku 8001/6



Tabulka č. 2 přináší výsledky porovnání původních a modelových trajektorií. Pokud porovnáme jednotlivé hodnoty, je patrné, že optimalizace přinesla určitá zlepšení, což znamená, že i minimální změna směru jízdy vede k výrazným změnám v efektivním využití techniky z hlediska zkrácení celkovou délkou jízdy, snížení počtu nepracovních přejezdů a úrovně opakovaných ošetření kvůli překrývání záběrů. To následně bude mít vliv na úroveň utužení půdy a její výnosnost, případně na kvalitu produkce, což kromě agrárního hlediska promítne i do stránky ekonomické.

Tabulka 2: Hodnoty modelových délek jízdy a srovnání s původními hodnotami

		Azimut	Délka celkem (m)	Linie pracovní (m)	Oblouky (m)	Počet oblouků	Souvratě (m)	Přejezdy (m)
Pozemek 8001/6	původní	100°	50204.93	38244.66	3329.96	92	8275.10	355.22
	návrh	120°	49895.52	38285.71	3148.98	87	8275.10	185.73

7 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala hodnocením významu telematiky pro dosažení efektivnějších způsobů hospodaření při znalosti variability pozemku.

V teoretické části této diplomové práce byly objasněny pojmy tykající se využití telematiky v zemědělství, telematických systémů a možností sběru telematických dat. Následně byly popsány přínosy spojené s využitím telematických dat na příkladě Operačního střediska MyJohnDeere.com a byl zkoumán význam Big Data a IoT v moderním zemědělství. Byly představeny základní informace spojené s GPS navigací a využitím korekčního systému RTK. Byly objasněny jednotlivé pojmy z oblasti precizního zemědělství jako půdní blok a variabilita pozemku, monitoring variability půdy a variabilní zásahy, výnosové a aplikační mapy. Na závěr byly představeny jednotlivé nástroje pro optimalizace jízdnic trajektorií souprav a snižování přejezdů po pozemcích v rámci opatření k omezení nežádoucího ztuhnutí půdy.

V praktické části této práce byla zpracována data, která byla pořízena telematickým systémem v rámci postřiku cukrové řepy na vybraném pozemku. Získaná data byla následně analyzována z hlediska nákladů a výnosových ztrát plynoucích z opakovaných ošetření v důsledku nežádoucích překryvů jízd. Bylo zjištěno, že nárůst ošetření oproti nastavené dávce má nejenom výrazný fyto toxický účinek, ale zároveň přináší vyšší náklady na postřik v důsledku navýšení potřeby chemických přípravků.

Na vybraném pozemku 8001/6 s plochou poškození 0,3 ha z celkové výměry 29,7 ha v případě vícenásobného ošetření, a to 4x a více došlo k částce 2 867 Kč formou postřiků, které vynaložíme na aplikaci plochy bez předpokládaného porostu. Celkové náklady, včetně osiva, hnojiva a dalších vstupů na uvedenou plochu činily 12 219 Kč. Co se týče výnosové ztráty, činila ztráta 16 574 Kč. Celkem jsme se dostali na částku pro daný pozemek 28 793 Kč.

Míra překryvů na souvratích se pohybuje na úrovni okolo 6 %, což vede k navýšení potřeby chemických přípravků, zátěži pro životní prostředí a výnosovým ztrátám. Absence vypínání sekcí, případně trysek vede k výraznému navýšení opakovaného ošetřování ploch na souvratích, objíždění překážek apod. Na základě toho můžeme konstatovat, že precizní ovládání sekcí postřikovače má význam, kdy s technologií ovládání sekcí se dostáváme na úroveň překryvů okolo 1 %.

V další podkapitole, díky znalosti variability výnosového potenciálu pozemku, byla sestavena aplikační mapa pro variabilní setí pšenice ozimé a bylo následně zkoumáno, zda

má variabilní setí s využitím telematického přenosu dat smysl z hlediska výnosu, spotřeby osiva a z toho vyplývajících ekonomických úspor.

Na pozemku 7002_1 bylo zjištěno, že v případě variabilního setí bylo shledáno navýšení výnosu v průměru okolo 4,6 % oproti uniformnímu setí a snížení úrovně vysévaného množství o 0,4 %, což potvrzuje význam variabilního setí. Díky variabilnímu setí tak došlo k úsporám 1 337,5 Kč/ha formou nižší spotřeby osiva a vyššího výnosu.

V případě zkoumání přejezdů po pozemku 8001/6 telematická data získaná při záznamu jízd posloužila jako podklad pro optimalizace směrů jízd. Na základě porovnání jednotlivých hodnot původních a modelových trajektorií jízd bylo zjištěno, že optimalizace přinesla zlepšení formou snížení délek opakovaných přejezdů. Z toho vyplývá, že i minimální změna směru jízdy vede k výrazným změnám v efektivním využití techniky.

Z výše uvedených příkladů je patrné, že pomocí telematického propojení bylo dosaženo snížení nákladů z ekonomického hlediska na základě znalosti jednotlivých úrovní výnosového potenciálu a následného využití těchto dat k vytvoření aplikačních map výsevku. Díky telematickým přístrojům je také možné s předstihem připravovat aplikační mapy a předem definované jízdí trajektorie, které budou transportovány do palubního počítače postřikovačů. Na základě optimalizovaných směrů jízd je tedy možné dosáhnout snížení počtu nepracovních přejezdů a úrovně opakovaných ošetření kvůli překrývání záběrů. To bude následně mít vliv na úroveň utužení půdy a výnos, což promítne i do stránky ekonomické. Telematika a záznam dat budou tedy hrát významnou roli z hlediska efektivních způsobů hospodaření, kdy efektivita výroby bude závislá na možnostech využití provozních dat.

8 Seznam použitých zdrojů

About ISOBUS. *Kverneland* [online]. [cit.2021-11-30]. Dostupné z: <https://cz.kverneland.com/iM-FARMING/About-ISOBUS>

ADAMCHUK, V. I. *On-the-go soil sensors – are we there yet?* The Second Global Workshop on Proximal Soil Sensing, 2011 Canada, Montreal.

ADAMCHUK, V. I., R. B. FERGUSON, G. W. HERBERT. *Soil Heterogeneity and Crop Growth*. In: Oerke, E. C. et al. (eds.) *Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity*, pp. 3-16, Dordrecht; Heidelberg [u.a.]: Springer, 2010. ISBN 9789048192762

Australský výzkum: Výhody hlubokého zpracování půdy. *BEDNAR* [online]. [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.bednar.com/blog/australsky-vyzkum-vyhody-hlubokeh-zpracovani-pudy/>

Big Data. *SystemOnLine* [online]. [cit.2021-12-05]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/>

BRANT, V., M. KROULÍK, V. KRČEK, et al. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, 2020, 284s. ISBN 978-80-87111-81-9.

BUŘIČOVÁ, M. *Aplikace GIS v precizním zemědělství: diplomová práce*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2009.

Co je to Big Data? *IT SLOVNÍK.CZ*. [online]. [cit.2021-12-07]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/big-data>

DOLEJŠ, R. *Sázka na jistotu*. *Computerworld*, 2012, s. 3. ISSN 1210-9924.

DVOŘÁK, P. *ISOBUS story - standardizace komunikačního rozhraní*. In: Praha, 2020 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://moodle.czu.cz/course/view.php?id=20223>

ETTEMA, C. E., D. A. WARDLE. *Spatial soil ecology*. *Trends in Ecology & Evolution*, 2002, 17. s. 177–183.

GYSI, M. *Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: field data and a critical state soil mechanics model approach*. Soil & Tillage Research, 2001, vol. 61 (3-4), s. 133-142.

HRDINA, Z., P. PÁNEK a F. VEJRAŽKA. *Rádiové určování polohy: družicový systém GPS*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01386-3.

CHAN, K.Y., A. OATES, A.D. SWAN, et al. *Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil*. Soil & Tillage Research, 2006, vol. 89, s. 13-21.

ISOBUS database. AEF [online]. [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.aef-isobusdatabase.org/>

KARÁSKOVÁ, M. *Precizní zemědělství a variabilní zásahy*. Mechanizace zemědělství [online]. [cit. 2021-12-10]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/precizni-zemedelstvi-a-variabilni-zasahy/>

KOVAŘÍČEK, P., J. HŮLA, Z. ABRHAM, et al. *Systém hospodaření s cílem omezit nežádoucí zhutnění půdy a zvýšit propustnost půdy pro vodu*. Praha-Ruzyně: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2014. ISBN 978-80-86884-78-3.

KROULÍK, M., V. BRANT, P. ZÁBRANSKÝ, et al. *Implementace navigačních technologií a aplikací s podporou GPS*. Praha: Agrární komora České republiky, 2019, 56 s. ISBN 978-80-88351-04-7.

KROULÍK, M., P. HAMOUZ a J. PINKAS, 2021. *Vývojové směry v oblasti precizního zemědělství*. Agromanual.cz [online]. [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/vyvojove-smery-v-oblasti-precizniho-zemedelstvi>

KUMHÁLA, F., D. GUTU, J. HŮLA, et al. *Technologie řízených přejezdů po pozemcích: uplatněná certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2013. ISBN 978-80-213-2425-1

KUMHÁLA, F. *Přednášky z předmětu Inteligentní řídicí prvky v zemědělské technice* [online]. In.: Praha: Česká Zemědělská univerzita v Praze, 2021 [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://moodle.czu.cz/course/view.php?id=20223>

LUKAS, V., P. RYANT, L. NEUDERT, et al. *Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. ISBN 978-80-7375-686-4.

LUKAS, V., L. NEUDERT, J. KŘEN. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 978-80-7375-562-1

LUKAS, V., et al. *Význam zpracování aplikačních map pro lokálně cílenou agrotechniku zemědělských plodin*. Agromanual.cz [online]. [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/vyznam-zpracovani-aplikacnich-map-pro-lokalne-cilenou-agrotechniku-zemedelskych-plodin>

MADAKAM S., R. RAMASWAMY, S. TRIPATHI. *Internet of Things (IoT): A literature review*. Journal of Computer and Communications, 2015, 3(05), 164.

MAŠEK, M., J. SEMORÁD, 2019. Šetrnost na prvním místě. *AGRISYSTEM* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <http://www.agrisystem.cz/setrnost-na-prvnim-miste>

NEUDERT, L. a V. LUKAS. *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-311-0.

PIERCE, F.J., P. NOWAK, L.S. DONALD. *Aspects of Precision Agriculture*. Advances in Agronomy, 1999, vol. 67, s. 1-85. ISSN 0065-2113

PINKAS, J. *Přenos dat ze stroje na server* [online]. In: Praha, 2020 [cit. 2021-11-26]. Dostupné z: <https://moodle.czu.cz/course/view.php?id=20223>

ROBINSON, T. P. a G. METTERNICHT. *Comparing the performance of techniques to improve the quality of yield maps*. Agricultural Systems, 2005 (85), s. 19-41.

RUDA, A. *Úvod do studia geografických informačních systémů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-427-3.

SALAM, A. *Internet of things for sustainable community development : wireless communications, sensing, and systems*. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3030352905.

SCHÖNFELD, M.V., R. HEIL, L. BITTNER. *Big Data on a Farm - Smart Farming*. In: Hoeren, T., Kolany-Raiser, B., Eds. *Big Data in Context*, 2018, s. 109–120.

Senzory pro měření půdních vlastností. *Zemědělec* [online]. [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

SICKLE, J.V. *GPS for Land Surveyors*. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4665-8311-5

Solutions for intelligent and sustainable farming: Conference Agricultural Engineering = Landtechnik AgEng 2011, Hannover, November 11-12, 2011. Düsseldorf: VDI Verlag, 2011. VDI-Berichte. ISBN 978-3-18-092124-2.

SONKA, S. *Big data: fueling the next evolution of agricultural innovation*. *Journal of Innovation Management*, 2016, 4(1), 114.

SPAROVEK, G., E. SCHNUG. *Soil tillage and precision agriculture - A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production*. *Soil & Tillage Research*, 2001, 61(12), s. 47–54.

ŠPRISL, J. *GPS navigace pro zemědělské stroje založená na platformě Arduino: diplomová práce*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017.

Telematics and Transportation IoT Solutions. *Telit* [online]. [cit. 2021-11-25]. Dostupné z: <https://www.telit.com/telematics-transport/>

Velká data (big data): definice, výhody a výzvy (infografika). *Evropský Parlament* [online]. [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20210211STO97614/velka-data-big-data-definice-vyhody-a-vyzvy-infografika>

Wolfert, S., L. Ge, C. Verdouw, M.J. Bogaardt. *Big data in SmartFarming – a review*. *Agricultural Systems*, 2017. 153: 69–80.

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

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Operační středisko MyJohnDeere.com	9
Obrázek 2: CTF se systémem ComTrac	11
Obrázek 3: CTF se systémem TwinTrac	11
Obrázek 4: CTF se systémem AdTrac	12
Obrázek 5: CTF se systémem OutTrac	12
Obrázek 6: CTF se systémem HalfTrac	13
Obrázek 7: ISOBUS propojení všech systémů pomocí universální sběrnice	14
Obrázek 8: Příklad ověření kompatibility mezi traktorem a secím strojem v databázi AEF ISOBUS	15
Obrázek 9: Princip práce RTK.....	22
Obrázek 10: Příklad variabilní mapy.....	27
Obrázek 11: Příklad nefiltrované a vyfiltrované výnosové mapy.....	31
Obrázek 12: Příklad aplikační mapy Mg hnojiv	31
Obrázek 13: Mapa záznamu pohybu mechanizace po pozemku a mapa přejeté plochy pozemku pojezdovými ústrojími.....	33
Obrázek 14: Záznam přejezdů na souvratích u orebné technologie (a) a minimalizační technologie (b)	33
Obrázek 15: Grafické vyjádření přejezdů při sklizni samojízdou řezačkou a svinovacím lisem	34
Obrázek 16: Záznam trajektorie jízd (a) a stop pneumatik (b) při zakládání porostu brambor.....	34
Obrázek 17: Záznamy reálných trajektorií souprav během přihnojení porostu.....	35

Obrázek 18: Prostředí softwaru SMS™ Basic.....	36
Obrázek 19: Ověření práce systému CURVE-Control s využitím vodčcitlivých papírů....	38
Obrázek 20: Výsledek testu s vypnutým a zapnutým systémem CURVE-Control.....	39
Obrázek 21: Záznam jízdy postřikovače pro pozemek 8001/6.....	41
Obrázek 22: Zobrazení práce postřikovače na souvratích pro pozemek 8001/6	42
Obrázek 23: Výnosový potenciál pozemku 7002_1	43
Obrázek 24: Mapa výsevku pro pozemek 7002_1	44
Obrázek 25: Výnosová mapa pšenice pro pozemek 7002_1	48
Obrázky 26-28: Sledování provozních ukazatelů strojů ve vztahu k souvratí	49-50
Obrázek 29: Záznam intenzity přejezdů po pozemku 8001/6 před založením porostu cukrové řepy.....	51
Obrázek 30: Modelová trajektorie jízd strojů a původní jízdy pořízené záznamem u pozemku 8001/6.....	55

10 Seznam grafů

Graf 1: Výsledky hodnocení pokrytí povrchu kapalinou na základě obrazové analýzy voděcitlivých kousků papíru	40
Graf 2: Nárůst/pokles dávky postřikové kapaliny v zatáčkách s rozdílnými poloměry.....	40
Graf 3: Podíl opakovaného ošetření pro pozemek 8001/6	42
Graf 4: Počet rostlin na jednotlivých variantách výsevku	44
Graf 5: Hodnoty hloubky uložení osiva	45
Graf 6: Hodnoty počtu odnoží na rostlinu	45
Grafy 7 a 8: Produkce nadzemní a podzemní biomasy porostu pšenice	46
Graf 9: Počet klasů na m ²	47
Graf 10: Odhadovaný výnos zrna (t/ha) pro jednotlivé varianty výsevku	47
Graf 11: Hodnoty hmotnosti tisíce zrn pro jednotlivé varianty výsevku a výnosového potenciálu.....	48

11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Ekonomické zhodnocení nákladů na postřik pro jednotlivé pozemky při daných úrovních opakovaného ošetření 52

Tabulka 2: Hodnoty modelových délek jízd a srovnání s původními hodnotami 55