



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra techniky a kybernetiky

Bakalářská práce

Precizní zemědělství

Autor práce: Jan Tampier

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Tupý, DiS.

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Jan Tampier

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na teoretické objasnění systémů precizního zemědělství. Na úvod práce se zaměřím na historický vývoj zemědělství a na telematické systémy používané v systémech precizního zemědělství. Dále se v práci zaměřím na stroje a systémy používané pro precizní zpracování půdy, setí, hnojení, ochranu rostlin a regulaci plevelů.

Klíčová slova: Vývoj zemědělství, precizní zemědělství, moderní technika v systémech precizního zemědělství, precizní zpracování půdy, precizní setí, precizní hnojení, precizní ochrana rostlin

Abstract

The bachelor's thesis is focused on the theoretical clarification of precision agriculture systems. At the beginning of the work, I will focus on the historical development of agriculture and telematics systems used in precision agriculture systems. Furthermore, in my work I will focus on machines and systems used for precise soil processing, sowing, fertilizing, plant protection and weed control.

Keywords: Development of agriculture, precision agriculture, modern technology in precision agriculture systems, precision tillage, precision sowing, precision fertilization, precision plant protection

Poděkování

Na úvod mé bakalářské práce bych rád poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Ondřeji Tupému, DiS. za konzultace a rady při hotovení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat paní Ing. Martině Tampierové za dodání potřebných odborných materiálů pro sepsání mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval vedoucímu prodeje společnosti AGRI CS panu Ing. Václavu Mádlovi za možnost účasti na semináři o technologiích precizního zemědělství a možnosti využití jeho odborných prezentací pro účely mé bakalářské práce a v neposlední řadě bych rád poděkoval celé zemědělské divizi společnosti Agrofert za dodání dat o zemědělských strojích a poskytnutí cenných informací a zkušeností ze zemědělské praxe.

Obsah

Úvod	7
1 Cíl a metodika bakalářské práce	8
2 Historický vývoj zemědělství	10
2.1 Výkonnost zemědělství v závislosti na populačním růstu	10
2.2 Technologický pokrok	11
3 Telematika v zemědělství, využití a přínos polních navigací	12
3.1 GPS navádění a monitoring strojů	12
3.1.1 Systém pro monitoring strojů v PRV koncernu Agrofert	13
3.2 Global Navigation Satellite System (GNSS)	16
3.2.1 Princip fungování GNSS	17
3.3 Získávání korekcí pro přesné navádění	17
3.4 Real Time Kinematic (RTK) signál	19
3.5 Vliv precizního zemědělství na ochranu půdy	20
3.6 Postup zavádění precizního zemědělství do podniku	23
3.7 Optimalizace trajektorií v precizním zemědělství	27
3.8 Použití dronů v systémech precizního zemědělství	27
3.9 Navigační systémy jako pomocník proti fyzické a psychické zátěži obsluhy	29
4 Regulace plevelů a ochrana rostlin v precizním zemědělství	31
4.1 Historie ochrany rostlin a regulace plevelů	31
4.2 Požadavky na aplikační techniku pro ochranu rostlin	32
4.3 Princip práce a základní komponenty postřikovačů	32
4.4 Technologie pro precizní aplikaci chemických postřiků	35
4.5 Variabilní aplikace prostředků na ochranu rostlin	36
4.6 Systémy používané pro precizní ochranu rostlin u postřikovačů AGRIO . .	36
4.7 Stroje používané pro mechanickou ochranu rostlin v precizním zemědělství	40
5 Setí a zpracování půdy v precizním zemědělství	41
5.1 Variabilní setí v precizním zemědělství	41
5.1.1 Technologie Strip-Till	41
5.1.2 Technologie No-Till	44
5.2 Variabilní zpracování půdy	46

6 Hnojení v precizním zemědělství	48
6.1 Variabilní aplikace při zásobním hnojení	48
6.2 Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv	49
6.3 Variabilní aplikace statkových hnojiv	50
7 Diskuze	54
Závěr	55
Seznam použitých zdrojů	57
Seznam obrázků	60
Seznam tabulek	62

Úvod

Precizní zemědělství je moderní přístup k zemědělství, který využívá technologie jako jsou GPS, GIS, drony a senzory. Díky těmto technologiím jsou zemědělci schopni získat přesné informace o stavu plodin a půdy. Tyto informace pomáhají zemědělcům lépe plánovat a řídit svou produkci, což vede k vyšší účinnosti a efektivitě prováděných operací.

V rámci precizního zemědělství se využívají technologie k měření a sledování parametrů, jako je vlhkost půdy, teplota, složení půdy a výživové hodnoty rostlin. Následně se tyto informace využijí k cílenému a optimalizovanému zásahům do plodin. Tyto zásahy mohou zahrnovat cílené aplikace hnojiv a pesticidů pouze tam, kde je to opravdu potřeba, což má za následek výrazné snížení spotřeby těchto látek.

Kromě toho precizní zemědělství umožňuje také sledovat růst a vývoj rostlin v reálném čase a přizpůsobit management plodin tak, aby se maximalizoval výnos. Tyto technologie také umožňují zemědělcům analyzovat a vyhodnocovat dlouhodobé trendy a údaje o svých obhospodařovaných pozemcích, což jim pomáhá přijímat informovaná rozhodnutí a vylepšovat svou produkci.

Výsledkem použití precizního zemědělství je vyšší účinnost, produktivita a efektivita, stejně jako snížení negativního vlivu na životní prostředí. Tyto výhody pomáhají zemědělcům produkovat více potravin s menšími náklady a zároveň chránit životní prostředí.

Precizní zemědělství také pomáhá zemědělcům při řešení výzev, jako jsou změny klimatu a stále rostoucí populační tlak na produkci potravin. Tyto technologie jim umožňují lépe sledovat a přizpůsobovat svou produkci podle měnících se podmínek, což jim pomáhá zachovat konkurenceschopnost a zároveň přispívat k udržitelnosti zemědělství.

Precizní zemědělství také přináší výhody pro spotřebitele, jako je zajištění vyšší kvality a bezpečnosti potravin. Tyto technologie umožňují zemědělcům lépe sledovat a zlepšovat kvalitu svých plodin, což přispívá k lepšímu zdravotnímu stavu populace a k udržitelnosti zemědělské produkce.

Závěrem úvodního slova lze říci, že precizní zemědělství je klíčovým nástrojem pro budoucnost zemědělství, který pomáhá zemědělcům produkovat více potravin s menšími náklady a zároveň chránit životní prostředí. Tyto technologie přinášejí řadu výhod pro zemědělce, spotřebitele a životní prostředí.

1 Cíl a metodika bakalářské práce

Cílem mé bakalářské práce bylo teoretické objasnění odborných termínů v systémech precizního zemědělství, pro odbornou i neodbornou veřejnost a jaký vliv mají na pěstování rostlin v zemědělském podniku. Do mé práce jsem zahrnul, jaký byl historický vývoj zemědělství a systémy precizního zemědělství v oblasti telematiky, regulace plevelů, ochrany rostlin, setí, zpracování půdy a hnojení. Dále jsem v mé práci provedl krátký výzkum o využití GPS jednotek, které zabezpečují monitoring strojů.

Postup pro zhotovení mé bakalářské práce byl následující. Na úvod jsem si o problematice precizního zemědělství nastudoval informace z odborných článků a prací, které jsem následně ověřil s dalšími zdroji informací.

Má práce je rozdělena na pět základních kapitol, které jsou následně rozděleny do dalších podkapitol, objasňující problematiku uvedenou v názvu základní kapitoly. Názvy mých základních kapitol jsou Historický vývoj zemědělství; Telematika v zemědělství, využití a přínos polních navigací; Regulace plevelů a ochrana rostlin v precizním zemědělství; Setí a zpracování půdy v precizním zemědělství; Hnojení v precizním zemědělství.

V úvodní kapitole mé práce jsem se zaměřil na historický vývoj zemědělství, jaké má zemědělství společenský význam, jaká bude zapotřebí výkonnost zemědělství s ohledem na populační růst a jaký bude muset být technologický pokrok v této oblasti. Z této kapitoly vyplývá, že pokud chceme uspokojit potřebu celé populace na obživu, je nutná šetrnější, efektivnější a produktivnější výroba potravin.

Dalším tématem, kterým jsem se v mé práci zabýval byla telematika, využití a přínos polních navigací v systémech precizního zemědělství. V této kapitole jsem popisoval, jaké jsou současné trendy v této oblasti, jak probíhá GPS navádění a monitoring strojů, co znamená pojem GNSS a na jakém principu funguje, jaký je postup pro získávání korekcí pro přesné navádění strojů na obhospodařovaných pozemcích a jaké jsou sítě referenčních stanic, které umožňují korekci signálu. Dále jsem v této kapitole objasnil pojem RTK signál. Dalším podstatným bodem této kapitoly jsou vlivy na ochranu půdy, které způsobují precizní technologie. Součástí této kapitoly je také krátký výzkum zaměřený na využití GPS jednotek, které zprostředkovávají monitoring strojů. Tento výzkum jsem prováděl na všech českých zemědělských prvovýrobách společnosti Agrofert. Pro doplnění podstatných informací tohoto tématu jsem zařadil do své práce i postup zavádění systémů precizního zemědělství do podniku. V poslední části této obsáhlé kapitoly jsem se zaměřil na optimalizaci trajektorií v systémech precizního zemědělství a používání dronů. Výstupem této kapitoly je, jak je možné používat systémy precizního zemědělství v podniku a jak zlepšují hospodaření na zemědělských pozemcích.

Třetí kapitolou mé práce je regulace plevelů a ochrana rostlin v precizním zemědělství. Do této kapitoly jsem zahrnul krátkou kapitolu o historii ochrany rostlin a regulaci plevelů, dále jaké jsou požadavky a princip práce aplikační techniky, jaké jsou technologie

pro precizní i variabilní aplikaci chemických postřiků a jaké jsou systémy a příslušenství používané v tomto sektoru. Na konec této kapitoly jsem popsal stroje používané pro mechanickou ochranu rostlin v systémech precizního zemědělství. Tato kapitola měla za úkol tedy popsání strojů pro precizní i variabilní aplikaci postřiků a jak se díky těmto systémům snižuje objem potřebných chemikálií, které snižují ekologičnost a zvyšují finanční náročnost těchto operací.

Čtvrtou kapitolou mé práce je téma setí a zpracování půdy v precizním zemědělství. Na úvod této kapitoly jsem se zaměřil na setí v precizním zemědělství. V této první části jsem objasnil termín variabilní setí a jaké stroje se používají pro technologii Strip-till a No-till a jaký mají vliv na půdu a agrotechnické postupy. Další částí této kapitoly je zpracování půdy v precizním zemědělství. Do této kapitoly jsem jako u předchozí objasnil termín variabilní zpracování půdy a dále jaký stroj je možný pro tuto technologii použít. Cílem této kapitoly bylo tedy zejména vyjádřit, jak precizní technologie v tomto odvětví snižují časovou a finanční náročnost těchto operací, oproti technologiím používaných v konvenčním zemědělství.

Poslední kapitolou mé práce je téma hnojení v precizním zemědělství. Tato kapitola je velmi úzce spojena s kapitolou regulace plevelů a ochrana rostlin, protože se v těchto systémech objevují podobné typy strojů. Na úvod této kapitoly jsem podrobně popsal, jak probíhá variabilní aplikace při zásobním hnojení a při hnojení dusíkatých hnojiv. Část kapitoly o variabilní aplikaci dusíkem jsem též doplnil o stroj, který využívá variabilní aplikaci. V další části této kapitoly jsem objasnil problematiku precizní aplikace statkových hnojiv. V těchto kapitolách jsem popsal, jaké problémy se vyskytují při precizní aplikaci statkových hnojiv a jaké stroje pro tyto aplikace používáme. Poslední částí nejen této kapitoly, ale i celé práce bylo téma variabilní aplikace kejdy. Výstupem této kapitoly tedy je, jak variabilní a precizní aplikace probíhá, jaké úkony jsou potřeba provést pro správné použití těchto technologií a jaká omezení v dnešní době stále přetrvávají při precizní aplikaci statkových hnojiv díky jejich nehomogenitě.

2 Historický vývoj zemědělství

Zemědělství je jedno z nejstarších a nejvíce se rozvíjejících se odvětví v historii lidstva. Tento obor výrazně přispěl k rozvoji lidské společnosti. Na počátku vývoje tohoto odvětví byly tzv. primitivní systémy hospodaření. Ty se od dnešního způsobu hospodaření výrazně liší, protože nejsou spojeny s dlouhodobou a cílenou péčí o půdu, díky absenci trvalého osídlení (Beneš, 2018).

Za zvyšováním výnosů a tím pádem i růstu populace stály osevnické postupy. Ty spočívaly v systematickém střídání plodin na obhospodařovaných pozemcích. Osevnické postupy a tím pádem i udržitelnost výnosů měly i obrovský dopad na vývoj celé společnosti, tyto změny vedly k tzv. pravým zemědělským systémům. Tyto systémy mají za následek opuštění trojpolního systému hospodaření a vedou ke střídavým osevnickým postupům (Lom, 1977).

Nedílnou součástí zvýšení produkovaných komodit v zemědělství je i rozvoj techniky a technologických postupů. Díky tomuto trendu se snižoval počet lidí, kteří se na produkci podíleli. Tento trend se objevuje i v dnešní společnosti (Brant et al., 2020).

Společenský význam zemědělství je multifunkční, tedy není omezeno pouze na produkční funkce, ale i na funkce mimoprodukční. Mezi produkční funkce lze zařadit produkci krmiv, potravin, vláken a mnoho dalších surovin. Ovšem díky zemědělství se naplňují i funkce mimoprodukční. Ty dále můžeme dělit na skupiny: environmentální a kulturně-sociální. Hlavní environmentální funkce jsou ochrana půdy, vody, ovzduší, biodiverzity a krajiny. Mezi hlavní kulturně-sociální funkce patří zaměstnanost, rozvoj venkova, rekreace a podobně (Holec et al., 2019).

2.1 Výkonnost zemědělství v závislosti na populačním růstu

V současné době dokáže zemědělství uživit každého člověka na planetě, díky dostatečné výkonnosti. V budoucnu by mělo být zemědělství schopno uživit až 12 miliard lidí, ovšem za předpokladu že bude rozumná spotřeba potravin na jednoho obyvatele a udržitelné využívání půdy a vody. Toto tvrzení vyplývá z údajů OSN (Holec et al., 2019).

Populační růst je úzce spjat s výrobou potravin. Zvyšování populace na planetě, viz. tabulka 2.1, je hlavně ovlivněn rychlejším produkováním potravin. Toto provázání je spjaté už z doby neolitické. Díky přechodu k zemědělství se populace rapidně zvyšovala (Holec et al., 2019).

Díky zvyšující se populaci, se taktéž zvyšují i nároky na půdu. Ovšem celková plocha zemědělské půdy se nezvyšuje takovým tempem jako se zvyšuje populace. Je to dáno tím, že většinu zemědělské půdy schopnou produkci již využíváme. Kvůli tomuto trendu se snižuje plocha orné půdy na jednoho obyvatele. V roce 1960 činila orná půda 1,4 miliardy

Tabulka 2.1: Vývoj počtu obyvatel na Zemi (Holec et al., 2019)

Období	Počet obyvatel
13-12 tis. let př. n. l.	5 000 000
6 tis. let př. n. l.	20 000 000
0	300 000 000
1500	500 000 000
1800	1 000 000 000
1925	2 000 000 000
1975	4 000 000 000
1999	6 000 000 000
2022	7 900 000 000

hektarů, což představovalo 0,44 ha orné půdy na jednoho obyvatele. V současnosti se orná půda zvýšila na 1,6 miliardy, ovšem díky rapidně se zvyšující populaci se orná půda na jednoho obyvatele i rapidně snížila (Holec et al., 2019).

2.2 Technologický pokrok

Pokud chceme pokrýt zvyšující se nárůst potřeby potravin, bez přeměny přirozených ekosystémů na ornou půdu, jsme nuceni investovat do rozvoje technologií, které umožní další intenzifikaci zemědělské produkce. Tuto poptávku mohou zvládnout jen systémy, které jsou efektivní a vysoce produktivní. Ovšem je nutno se vyvarovat nadměrnému zatěžování životního prostředí a zamezit kolapsu těchto systémů. Z tohoto tvrzení tedy vyplývá, že hlavním požadavkem na novodobé produkční systémy je dlouhodobá udržitelnost (Holec et al., 2019).

3 Telematika v zemědělství, využití a přínos polních navigací

Současným trendem nejen v zemědělství je transformace fyzických objektů do virtuálních a jejich následné sloučení. Tímto postupem jsme schopni mít nepřetržitou kontrolu a mít o stavu věcí dostatek informací. Nástupem moderních technologií, mezi které patří autonomní systémy, které jsou schopny sbírat a zpracovávat velké množství dat se oblast zemědělství dostala do vývojového směru známým pod pojmem Zemědělství 4.0. Díky moderním technologiím provádějící digitalizaci a automatizaci jsme také schopni velmi detailního monitoringu, vytvářet modely a mít informace o včasné signalizaci, abychom byli schopni provádět úkony ve vhodný čas a na vhodném místě. Tyto postupy, které se převádějí do praxe, se označují pojmem Smart Farming. (Brant et al., 2020).

Smart Farming tedy spojuje agronomii, řízení lidských zdrojů, nasazení personálu, nákupy, řízení rizik, skladování, logistiku, údržbu, marketing, odhady výnosu a mnoho dalšího do jediného systému. Inteligentní stroje a roboti tak představují vysoký potenciál využití (Brant et al., 2020).

Senzorová technika s GPS navigacemi a strojním viděním, představují pro farmáře správné řešení pro řízení všech polních prací. Díky těmto technologiím už nebude nutné se spoléhat na zkušenosti farmáře, jelikož tyto zkušenosti budou nahrazeny algoritmy vycházejících z naměřených dat pomocí autonomních prostředků a dalších strojů. Moderní senzory a monitorovací zařízení umožňují zemědělcům nepřetržité a přesné sledování (Brant et al., 2020).

Nedílnou součástí modernizace v zemědělství je zavádění systémů, které využívají CAN technologii pro elektronickou komunikaci. Díky těmto technologiím je možné provádět nemalé množství úkonů jako např. využívání traktorové navigace, ovládání a kontrola připojených strojů, řízení flotil strojů, výměnu dat mezi traktorem a strojem, ovládání za pomoci joysticku, sběr a ukládání dat o variabilním a autonomním řízení sekcí připojeného náradí a aplikace systému TIM, kdy stroj přebírá samotné řízení traktoru (Brant et al., 2020).

3.1 GPS navádění a monitoring strojů

Nejdůležitější součástí při automatizaci procesů je rozšiřování polních navigací. Pro tyto procesy jsou využívány družicové navigační systémy GPS v kombinaci s korekcemi RTK (Más et al., 2010)

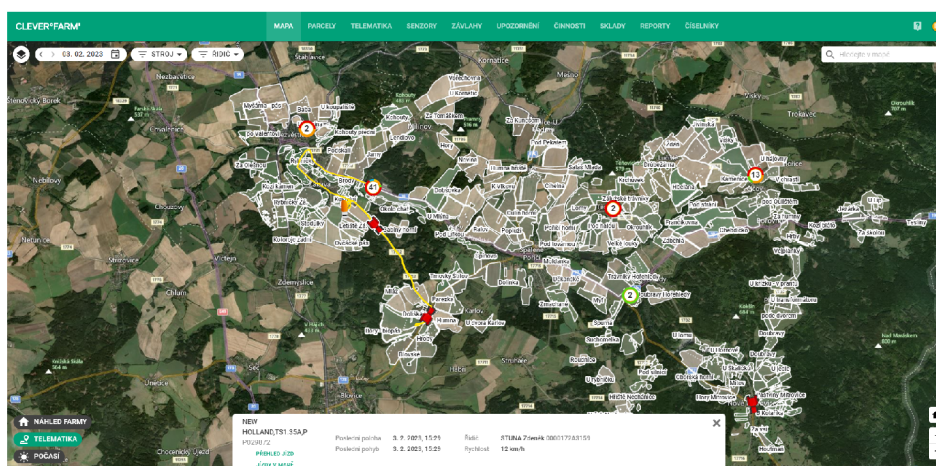
Navigace v zemědělství se uplatňují ve mnoha úkonech prováděných na poli. K těmto úkolům patří kvalitní souvratový management. Tyto úkoly mohou být prováděny okamžitě

díky neustálému snímání daného pozemku. Významnou součástí těchto moderních systémů je i zvýšení předvídativosti a předvídatelnosti v oblastech šíření chorob a škůdců (Brant et al., 2020).

Jak uvádí Brant et al. (2020) „Nynější podstata telematiky spočívá v inovaci a modernizaci managementu zemědělské výroby. Rovněž vychází z monitoringu pohybu strojů, jejich časového využití, pozice, výkonnosti v reálném čase. Společně s daty o poloze získáváme detailní přehled o rychlosti souprav, režimu práce stroje, spotřebě pohonných hmot, parametrech sklizeného produktu nebo aplikovaných dávkách na vstupech“.

Do skupiny těchto systémů provádějící monitoring strojů patří například software od firmy CleverFarm. V tomto softwaru je v rámci využití monitoringu strojů možné zobrazit mapu v reálném čase a zjistit pozici všech traktorů v podniku. Dále je možné v této mapě zobrazit trasu, kterou traktor za určitý čas urazil, jakou se pohybuje rychlostí nebo kdy byl zaznamenán jeho poslední pohyb, přesné označení stroje a jméno řidiče obsluhující stroj s jeho identifikačním čipem. Tyto údaje jsou odebírány 3.2.2023 z podniku ALIMEX NEZVĚSTICE a.s. Tyto údaje jsou vyobrazené na obrázku 3.1 (CleverFarm, 2023).

Jak probíhá import těchto dat do systému CleverFarm ve zkratce shrnu v následující kapitole, ovšem detailnější fungování tohoto systému a jaké funkce systém CleverFarm umožňuje, bych dále přiblížil ve své diplomové práci.



Obrázek 3.1: Zobrazení pohybu strojů (CleverFarm, 2023)

Nespornou výhodou využívání systémů pro monitoring a GPS navádění, je zpětná vazba o prováděných úkonech na pozemcích. Tyto systémy nám také umožňují přesné ohraničení pásem pro ochranu vody a jiných objektů, kde se nesmí používat postřiky pro ochranu rostlin, a tím se stroj automaticky přepne z manuálního ovládání do autonomního řízení (Brant et al., 2020).

3.1.1 Systém pro monitoring strojů v PRV koncernu Agrofert

Jako doplnění předchozí kapitoly jsem provedl výzkum napříč zemědělskými podniky nacházejících se na území České republiky, které spadají pod správu společnosti Agrofert, kde jsem zjišťoval celkový počet strojů, které mají v sobě zabudovaný systém na jejich monitoring.

Princip fungování tohoto systému je v zásadě velmi jednoduchý. Základním kamenem fungování celého systému je samotné osazení energetických strojů GPS jednotkou,

kteřá pravidelně odesílá data o své poloze a času. Dalším krokem je osazení všech přípoj-
ných zařízení čipy, které se následně zapojí do elektrické soustavy energetického zařízení
(zásuvky). Po těchto krocích následuje korektní zaevidování do ekonomického systému,
kde k příslušnému traktoru spárujeme jeho GPS jednotku a k příslušnému přípojnému
zařízení přidružíme jeho čip. Po tomto kroku následuje import těchto dat do systému Cle-
verFarm, kde se následně promítnou všechna dostupná data o daném stroji, viz. obrázek
3.2 (Agrofert, 2023).

Datum Délka (hod.)	Název stroje	Obdělaná plocha	Uprá vzdálenost	Čas				
4. 1. 2024 18:21	Case IH Puma 185 48171000	-	42,82 km	07:11 - 14:53				
Délka (hod.)	Jedná se pracovníka operujícího čip	Typ operace	Výrobní operace	Parcele/OPB Plocha	Plocha operace Plocha plochy	Uprá vzdálenost	Název přípojného zařízení	
01:15	PRACNÍ František 00001888F-43	Připrzd	VO-Připrzd na jore	4702/15 Pod vrboubrádnou Jedlozorní emie (s přeráhou jore)	3,81 ha	9,43 km	-	
02:33	PRACNÍ František 00001888F-43	Přice na parcele	VO-Přice na jore	4702/15 Pod vrboubrádnou Jedlozorní emie (s přeráhou jore)	3,81 ha	7,87 km	-	
05:41	PRACNÍ František 00001888F-43	Přiceprzd	VO-Přiceprzd na jore	6602/22 022000-000	37,43 ha	13,04 km	-	
02:09	PRACNÍ František 00001888F-43	Přice na parcele	VO-Přiceprzd na jore	6602/22 022000-000	37,43 ha	13,09 km	-	

Obrázek 3.2: Přehled jízd stroje (CleverFarm, 2023)

Jak už jsem předjímal v předchozí kapitole, detailnější popis fungování celého systému
monitoringu strojů, které zemědělské společnosti spadající do koncernu společnosti Agro-
fert využívají, bych popsal ve své diplomové práci. V následující části představím v datech,
kolik strojů v zemědělských podnicích spadající pod správu společnosti Agrofert využívá
monitoring strojů. Všechny tyto informace jsou přebírány z interních zdrojů společnosti
Agrofert (Agrofert, 2023).

Jako první a zároveň základní informací, je celkový počet strojů napříč všemi čes-
kými zemědělskými prvovýrobami společnosti Agrofert a jaký počet z nich je osazen
GPS jednotkou, vhodnou pro jejich monitoring. Data jsou čerpána z celkového počtu 66
zemědělských prvovýrob nacházejících se po celé České republice spadající pod správu
společnosti Agrofert. Do tohoto výčtu jsou zahrnuty všechny traktory, samohodné stroje
(postřikovače, sklízecí mlátičky atd.), manipulátory, vysokozdvížené vozíky a jiné ener-
getické stroje jako jsou třeba cisterny nebo autojeřáby. V neposlední řadě do tohoto výčtu
spadají i tzv. přenosné GPS jednotky, které se používají např. u tzv. službařských strojů.
Tento stav je představen v následující tabulce 3.1. Do výčtu energetických strojů jsem
nezapočítával osobní automobily, které jsou také součástí skupiny energetických strojů,
ovšem jsou využívány jako dopravní prostředky nikoliv jako pracovní prostředky (Agrofert,
2023).

Tabulka 3.1: Procentní zastoupení osazených energetických strojů oproti všem energetickým strojům v rámci všech českých zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023)

Počet prvovýrob	66
Celkový počet energetických strojů + přenosných GPS	2367
Celkový počet osazených energetických strojů	1299
Procentní zastoupení osazených energetických strojů	54,87

Z tabulky vyplývá, že počet všech energetických strojů v rámci českých zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (bez osobních automobilů) činí 2367 strojů. Počet osazených strojů činí 1299. Z těchto údajů vychází, že procentní zastoupení osazených energetických strojů na všech českých zemědělských prvovýrobách společnosti Agrofert představuje 54,87 procent. Toto číslo je ovšem stále nepřesně vypovídající o celkovém využití GPS jednotek u energetických strojů, jelikož jsou do celkového výčtu započítané i stroje jako jsou vysokozdvizné vozíky, různé manipulační stroje používané pouze v rámci areálu podniku, u kterých není potřeba osazení GPS jednotkami. Dalším aspektem, který negativně ovlivnil procentní zastoupení osazených energetických strojů, jsou přenosné GPS jednotky. Ty totiž nemají v interním ekonomickém systému vedené kódy samotných jednotek z důvodu, že při každé jejich nové aktivaci dojde ke změně kódu samotné jednotky (Agrofert, 2023).

Tudíž v následující tabulce 3.2 jsem se zaměřil pouze na ty stroje, které vykonávají podstatnou část své práce přímo na zemědělsky obhospodařovaných pozemcích nebo jsou využívány jako stroje do živočišné výroby. Tento počet následně porovnám s celkovým počtem osazených energetických strojů a vypočítám jejich procentní zastoupení v rámci českých zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023).

Tabulka 3.2: Procentní zastoupení osazených energetických strojů oproti všem energetickým strojům bez započtení přenosných GPS jednotek a nezemědělských strojů v rámci zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023)

Počet prvovýrob	66
Celkový počet energ. strojů bez přenosných GPS a nezemědělských strojů	1658
Celkový počet osazených energetických strojů	1299
Procentní zastoupení osazených energetických strojů	78,35

Z výsledků z tabulky 3.2 vychází, že se počet strojů při absenci vysokozdvizných vozíků, jiných speciálních strojů, které se používají jen v rámci areálu daného podniku, a hlavně při absenci přenosných GPS jednotek snížil z předchozího počtu 2367 na počet 1658, což při zachování stejného počtu osazených strojů v rámci všech českých zemědělských prvovýrob 1299, představuje 78,35 procent energetických strojů, které jsou osazeny GPS jednotkami vhodných pro jejich monitoring (Agrofert, 2023).

Ovšem i toto procento může být negativně ovlivněno stroji, které pracují výhradně v živočišné výrobě nebo stroji používaných do sadů a chmelnic. U nich se totiž v rámci nastavení pravidel v rámci divize zemědělské prvovýroby nedoporučuje jejich osazení z

důvodu nevyužitelnosti dat plynoucích z jejich monitoringu. Tudíž bych se v rámci další tabulky 3.3 zaměřil na procentní zastoupení osazených traktorů v rámci kategorie od 200 kW výkonu a větší. Tento typ traktorů má nejvyšší zastoupení v rámci využitelnosti pouze v rostlinné výrobě, kde je využití monitoringu pohybu strojů nejpodstatnější (Agrofert, 2023).

Tabulka 3.3: Procentní zastoupení osazených traktorů v kategorii od 200 kW výkonu a větší oproti všem traktorům v kategorii 200 kW výkonu a větší v rámci zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023)

Počet prvovýrob	66
Celkový počet traktorů o výkon 200 kW a větší	225
Celkový počet osazených traktorů o výkonu 200 kW a větší	199
Procentní zastoupení osazených energetických strojů	88,55

Z výsledků v tabulce 3.3 je patrné, že z celkového počtu 225 traktorů v kategorii 200 kW a větší, je celkem 199 traktorů osazeno GPS jednotou vhodnou pro jejich monitoring. Po převedení těchto hodnot na procenta nám vyjde, že 88,55 procent ze všech traktorů v kategorii 200 kW výkonu a větší je osazeno GPS jednotkou vhodnou k monitoringu pohybu. Toto číslo nám tedy ukazuje, že využití GPS jednotek na zemědělských prvovýrobách společnosti Agrofert, především pro stroje v rostlinné výrobě, je velmi využíváné a vedoucí pracovníci jsou tím pádem schopni tyto data, jakkoliv využít. Ať už pro kontrolu trajektorií prováděných operací, době pracovní doby daného traktoristy nebo pro obecný přehled, kde momentálně se stroje nacházejí (Agrofert, 2023).

3.2 Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS je označení pro každý satelitní systém, který se používá pro přesné určení geografické polohy uživatele pomocí družic kdekoli na světě. Mezi GNSS nepatří pouze obecně známá síť GPS, ale na světě existují i další sítě, které představím v následující tabulce 3.4 (Walterová a Ondráková, 2022).

Tabulka 3.4: GNSS ve světě (Walterová a Ondráková, 2022)

Stát a název systému	Počet družic
USA - GPS + WAAS	31
Rusko - Glonass	23
Čína - BeiDou	42
EU - Galileo + Egnos	24
Japonsko - QZSS	4
Indie - IRNSS	7

3.2.1 Princip fungování GNSS

Princip fungování GNSS je následující, kolem planety Země obíhá soustava družic v přibližné vzdálenosti 20 000 kilometrů s přesně danou polohou. Tyto družice vysílají k povrchu Země navigační zprávu, která obsahuje označení satelitu, jeho polohu a čas odeslání. Tyto navigační zprávy jsou generovány velmi přesnými atomovými hodinami 3.3 (Walterová a Ondráková, 2022).



Obrázek 3.3: Atomové hodiny (Walterová a Ondráková, 2022)

Navigační signály vysílané z družic jsou na Zemi přijímány GNSS přijímači, obecně známy pod pojmem GPSky (Walterová a Ondráková, 2022).

Pro určení přesné polohy pozemního přijímače je zapotřebí signál z minimálně čtyř různých družic. Vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem se vypočítává z rozdílu času vysílaném družicí a přijetí signálu přijímačem, následná poloha přijímače je určena principem protínání (v průsečíku kulových ploch se nachází přijímač a lze určit souřadnice). Čím více signálů z družic je zachyceno, tím je výsledek výpočtů určování polohy přesnější (Walterová a Ondráková, 2022).

Pro určování polohy GNSS používáme tři metody (Walterová a Ondráková, 2022):

- Kódové určování polohy - využívají kódový způsob měření (družice a přijímač vysílá a přijímá identickou řadu kódů na stejné frekvenci, dekodováním časových značek a rychlostí signálu je určena vzdálenost), tento systém určování polohy je obecně nejpoužívanější ovšem pro přesné určování polohy se používá druhý systém
- Fázové určování polohy - využívají fázový způsob měření (družice vysílá stejné kódy na jiné frekvenci, měření jednotlivých fází vln a vlnových délek mezi družicí a přijímačem a stanovit fázový posun)
- Kombinovaný systém určování polohy - tento systém využívá kombinaci dvou předešlých určování polohy

3.3 Získávání korekcí pro přesné navádění

Zdrojem korekcí využívaných v navigačních systémech pro zemědělství jsou permanentní referenční stanice. Z těchto stanic, které jsou trvale stabilizované na určitém místě, získáváme korekce, za které musíme platit licenční poplatky. Permanentní referenční stanice mají svůj stabilizovaný geodetický GNSS přijímač. Tento přijímač má určeny souřadnice s vysokou přesností. Samotné stanice provádí automaticky kontinuální měření v intervalu

jedné sekundy. Primárním účelem permanentních referenčních stanic je stanovení korekcí pro diferenční metodu měření. V České republice jsou aktuálně tři komerční sítě referenčních stanic. Společnosti, které vlastní tyto referenční stanice jsou - CZEPOS, TopNET a Trimble VRS Now Czech (Kačmařík, 2019).

Síť referenčních stanic Trimble VRS Now Czech je součástí komplexu evropské sítě referenčních stanic. Provozovatelem těchto referenčních stanic v České republice jsou firmy Trimble a GEOTRONICS Praha. Součástí této sítě je 29 referenčních stanic umístěných po celé České republice a 10 referenčních stanic umístěných v příhraničních oblastech Německa a Rakouska, se 100procentním pokrytím signálu celé České republiky (Walterová a Ondráková, 2022). Na následujícím obrázku 3.4 jsou znázorněny místa referenčních stanic.



Obrázek 3.4: Síť referenčních stanic Trimble VRS Now Czech (Walterová a Ondráková, 2022)

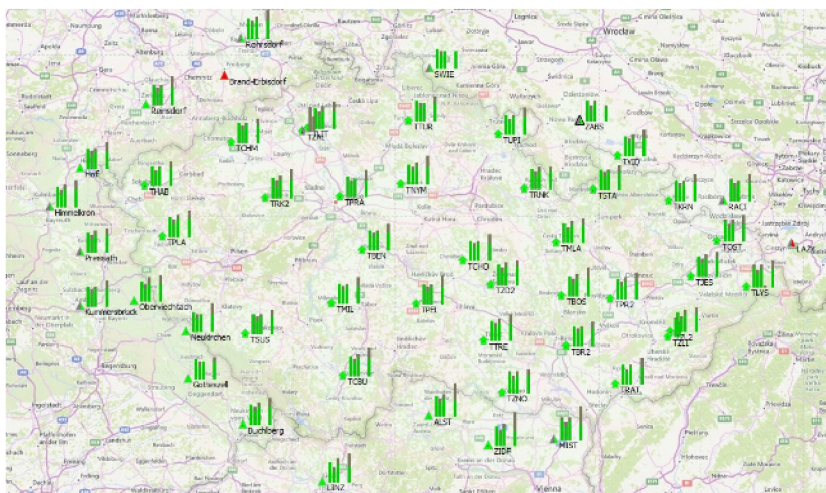
Síť referenčních stanic Czeapos spravovaná Českým Zeměměřickým ústavem obsahuje 28 referenčních stanic, které se nacházejí na území České republiky a dále obsahuje 27 příhraničních stanic (CZEPOS, 2021). Na následujícím obrázku 3.5 jsou znázorněny místa referenčních stanic.



Obrázek 3.5: Síť referenčních stanic Czeapos (CZEPOS, 2021)

Síť referenčních stanic TopNET je provozována firmou GB-geodezie. K dnešnímu datu je připojeno 32 stanic, které poskytují pokrytí po celé České republice. Dále jsou k síti připojeny i 4 polské stanice a 3 rakouské. Mezi správce stanic TopNET na území České republiky patří firma GB-geodezie, Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie

věd ČR a Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (GB-geodezie, 2023). Na následujícím obrázku 3.6 jsou znázorněny místa referenčních stanic.



Obrázek 3.6: Síť referenčních stanic TopNET (GB-geodezie, 2023)

3.4 Real Time Kinematic (RTK) signál

V základní konfiguraci se zařízení pro měření skládá z přijímače umístěného na známých souřadnicích v tzv. „base“ bodě a z pohyblivého přijímače, nazývaného „rover“, který se pohybuje mezi určenými nebo vytyčenými body. Měření probíhá v reálném čase, a mezi base a roverem musí být udržováno trvalé datové spojení, což se často realizuje pomocí radiomodemů nebo připojením k internetu přes GSM (Štroner, 2022).

Base přijímač lze nahradit sítí virtuálních stanic, v tomto případě se měření provádí pouze s jedním přijímačem, který je trvale připojen k internetu a získává korekce od poskytovatele. Toto řešení je v současné době nejrozšířenější a preferované (Štroner, 2022).

Dále je nutné uvést, jaké všechny atributy mají vliv v praxi na přesnost signálu. Tyto vlivy je možné rozdělit do dvou skupin, a to vlivy na straně systému a vlivy na straně uživatele.

Jak uvádí Říha (2014) "mezi vlivy na přesnost signálu na straně systému patří:

- Stav GNSS (počet a poloha družic, v případě příjmu diferenčních korekcí ze satelitu kvalita korekcí a poloha příslušné družice)
- Služba sítě (při používání sítí kvalita síťových řešení, plošné a VRS korekce a spolehlivost systému generující korekce)
- Kondice (jednotlivé prvky sítě - stav stanic, funkčnost serverů, casterů a mechanismů generující služby)
- Komunikace v síti (spojení a komunikace stanic s operačním centrem, komunikace casteru s klienty)

mezi vlivy na přesnost signálu na straně uživatele patří:

- *Stav GNSS (počty a poloha satelitů, kvalita příjmu signálu, atmosférické vlivy)*
- *Poloha klienta (vzhledem k permanentním stanicím nebo k vlastním bázím)*
- *Komunikace (dostupnost a kvalita datových služeb mobilních operátorů, komunikace s vlastní bází, komunikace s permanentní sítí, kvalita příjmu korekcí)*
- *Lokální podmínky (rušení, vícecestné šíření signálu, viditelnost satelitů, chvilkové zákryty satelitů, které způsobují lesy, infrastruktura, ulice atd.)*
- *Kondice přijímače (především stav hardware, funkčnost a vhodná verze operačního systému, firmware a software, stav komunikačního rozhraní)"*

3.5 Vliv precizního zemědělství na ochranu půdy

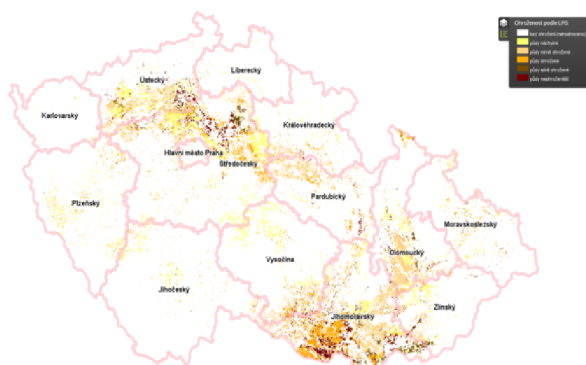
Díky různorodosti pozemků se odvíjí celá řada procesů, které na zemědělských pozemcích probíhají. Do této skupiny procesů patří zejména schopnost půdy vázat vodu a živiny. Tento hlavní proces nejvíce působí na stav vegetace a na samotný výnos pěstovaných plodin. Tyto předešlé vlastnosti jsou ovšem výrazně ovlivněny erozí, a to jak vodní, tak i větrnou a s tím i spojenými sedimentačními procesy. Jako majoritní degradační příčina, která se projevuje na většině zemědělských pozemcích na území České republiky je vodní eroze, tento jev dokazuje obrázek 3.7. Schopnost půdy vázat vodu a živiny ovlivňuje nejen vodní eroze, ale i další podmínky probíhající na určitých pozemcích, do této skupiny neodmyslitelně patří především geomorfologické a pedologické podmínky (výskyt a rozložení srážek a typ zemědělské produkce). Dalším faktorem degradace půdy, který ovlivňuje způsob hospodaření na pozemku, je utužení půdního profilu a podorničí (Brant et al., 2020).

Na následujících obrázcích 3.7 a 3.8, jsou znázorněny plochy ohrožené vodní erozí (zelená-neohrožené půdy, žlutá-mírně ohrožené půdy, červená - silně ohrožené půdy) ve vztahu ke koncepci DZES 5 a plochy ohrožené větrnou erozí (stupnice ohroženosti začíná bílou barvou jako velmi slabě ohrožené až po černou jako extrémně ohrožené). Obrázky byly použity z portálu eAgri ministerstva zemědělství ČR (eAgri, 2022).



Obrázek 3.7: Půdy ohrožené vodní erozí v ČR (eAgri, 2022)

Podle Brant et al. (2020) "je v možnostech precizního zemědělství přispět k ochraně pozemků před erozí minimálně těmito způsoby:



Obrázek 3.8: Půdy ohrožené větrnou erozí v ČR (eAgri, 2022)

- Při správném navržení tvarů pozemků a jejich členění z pohledu eroze i precizního zemědělství lze na řadě lokalit akcentovat vrstevnicové obdělávání omezující zrychlenou tvorbu povrchového odtoku a eroze.
- Při omezení počtu kolejových řádků a jejich spádnicové orientace lze omezit jejich fungování jako významných akceleratorů erozního procesu.
- Precizní zemědělství může přispět k omezení počtu pojezdů a tím snižovat utužení půdního profilu. Zde je významné zejména dbát na optimalizaci pojezdů po souvraťích a manipulační jízdy.
- Při správném návrhu parcel a jejich trvalém obdělávání v identických trajektoriích, lze dlouhodobě docílit vyrovnání variability porostů, a tím výrazně zvýšit ochranný účinek vegetačního krytu před kinetickou energií přívalových srážek.
- Monitoring variability porostů spojený s precizním zemědělstvím umožňuje lépe posoudit skutečné erozní riziko na rozsáhlých půdních blocích určením ploch s omezeným ochranným účinkem, zejména plochy holých půd.
- Omezení chybných výsevků a přestřiků během ošetřování porostů."

Konvenční způsob hospodaření v dnešní době negativně ovlivňuje produkční i mimoprodukční funkci půd. Hlavním negativním vlivem je zhutňování půdy. Mezi další negativní vlivy, které ovlivňuje zhutnění půdy, patří nedostatečná infiltrace srážkové vody, zvýšená energetická náročnost na zpracování a snížené výnosy pěstovaných plodin. Toto zhutňování půdy je způsobeno nevyhnutelnými přejezdy po pozemku. Tento problém není sezónního charakteru, ale tento problém se projevuje i s odstupem několika let (Kroulík et al., 2019).

Důležitými faktory ovlivňující odolnost půdy proti utužování patří:

- zrnitostní složení
- momentální vlhkost
- obsah organických látek
- struktura půdy

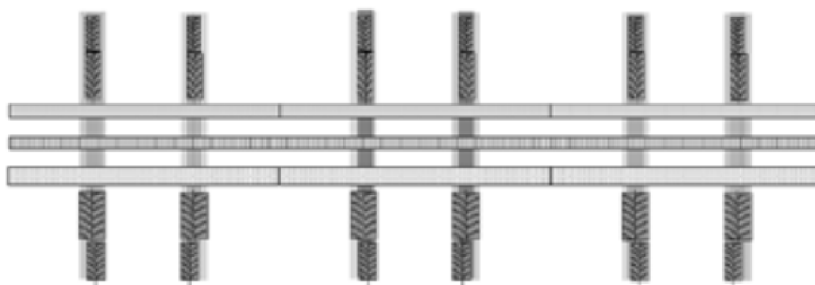
Pokud se po pozemku pohybuje těžká mechanizace je možné pozorovat snížené výnosy plodin právě v trajektoriích kolejových řádků (Kroulík et al., 2019).

V dnešní době je faktor zhutnění půdy a následná eroze pro většinu zemědělců důležitý. Působením strojů se stlačuje část půdního profilu, a to negativně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy. Tento negativní vliv se odborně nazývá technogenní zhutnění (Kroulík et al., 2019).

V oboru automatizace a kontrolních procesů v zemědělství došlo v posledních letech k výraznému pokroku. V oboru zemědělství je potřeba vyšší přesnost v určování polohy zemědělských strojů, než dodává signál GPS. Dalšími technologiemi, které jsou přímo závislé na velmi přesném určování polohy jsou technologie pro respektování sklonu pozemku nebo omezení přejezdů po pozemku. Vhodnými předpoklady pro zavádění podobných postupů jsou pozemky s velkou výměrou nebo vysoké procento svažitých pozemků (Kroulík et al., 2019).

Technologie, která zamezuje negativním dopadům na půdu je technologie jednotných jízdnicích stop. Tato technologie je v odborných kruzích známa pod zkratkou CTF (Controlled Traffic Farming). Vznik této technologie se datuje do minulého století a v praxi se jedná o sjednocení co největšího počtu přejezdů po pozemku do stejných jízdnicích stop. Tato technologie je založena na vysoké technologické kázni, důsledných změnách v organizaci jízd jízdnicích souprav a využití moderních navigačních prostředků (Kroulík et al., 2019).

Ideálem této technologie je systém ComTrac, viz. obrázek 3.9. V tomto systému jsou stroje se stejným rozchodem kol nebo pásů. Ovšem tento systém je technicky i finančně nejnáročnější, protože je nutné sjednotit rozchody kol traktorů i sklízecích strojů (Kroulík et al., 2019).

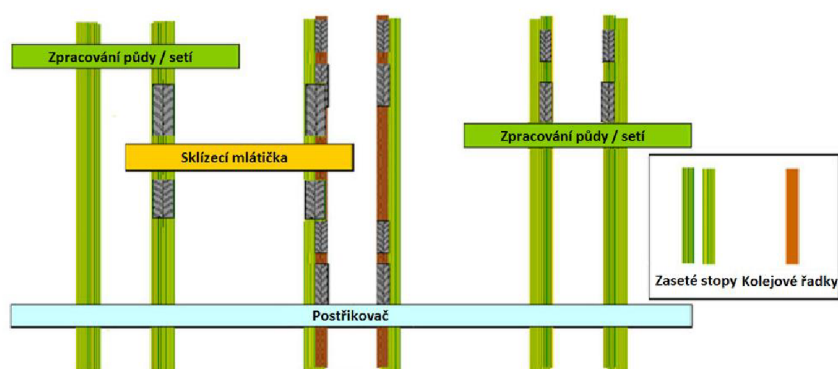


Obrázek 3.9: Schéma CTF technologie se systémem ComTrac (Kroulík et al., 2019)

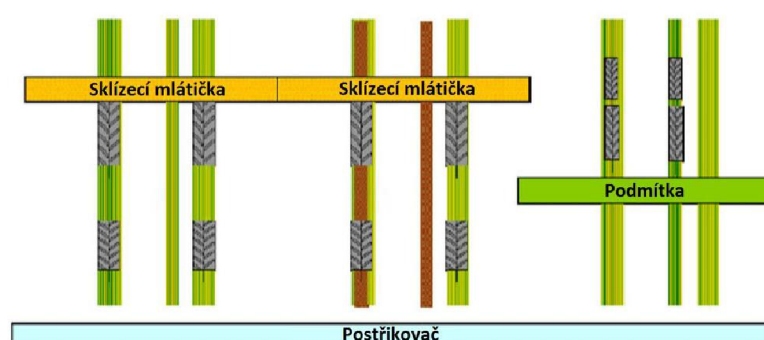
Dalším systémem technologie CTF je TwinTrac, viz. obrázek 3.10, využívající sousední stopy paralelních jízd pro stopy sklízecí mlátičky. Nevýhodou tohoto systému je omezení na stroje s malými pracovními záběry (Kroulík et al., 2019).

Dalším systémem je AdTrac, viz. obrázek 3.11. Tento systém je obdobný jako TwinTrac, ale zde se používá dodatečná jízdnicí stopa pro stroje s větším záběrem (Kroulík et al., 2019).

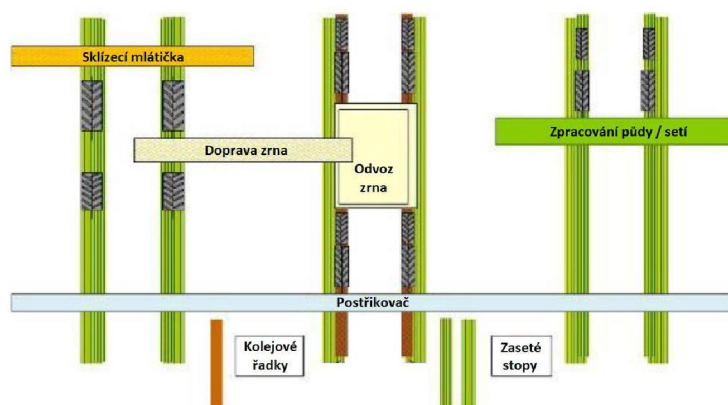
Tyto předešlé technologie jsou ovšem velmi technicky i finančně náročné, proto se v praxi využívají i jednodušší technologie. Do této kategorie spadá systém OutTrac, viz obrázek 3.12, kdy se nesjednocují rozchody kol, ale využívá se větší šíře trvalých stop. Následným krokem tohoto systému je rozdělení pozemku na tři oblasti, a to na ty s nulovým přejezdem, s minimálním přejezdem a s intenzivním přejezdem (Kroulík et al., 2019).



Obrázek 3.10: Schéma CTF technologie se systémem TwinTrac (Kroulík et al., 2019)



Obrázek 3.11: Schéma CTF technologie se systémem AdTrac (Kroulík et al., 2019)

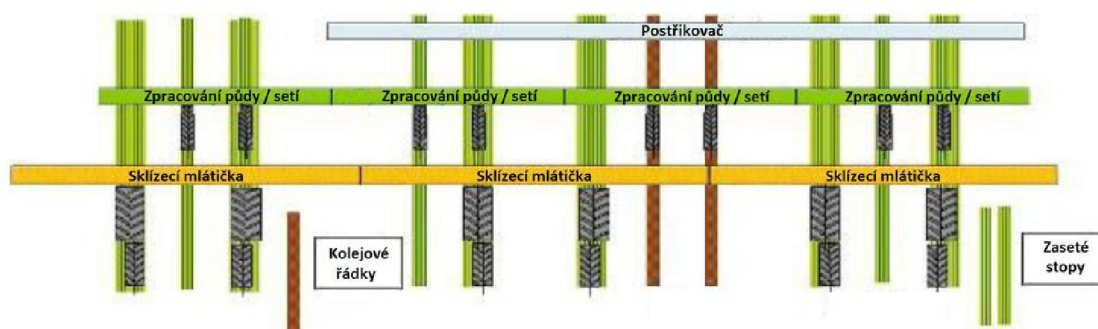


Obrázek 3.12: Schéma CTF technologie se systémem OutTrac (Kroulík et al., 2019)

Dalším systémem v této kategorii jednodušších CTF technologií je HalfTrac, viz. obrázek 3.13. Tento systém stejně jako OutTrac využívá dva rozchody náprav, přičemž jeden rozchod je polovinou druhého. Další částí tohoto systému je využití tří šíří záběrů mechanizace (Kroulík et al., 2019).

3.6 Postup zavádění precizního zemědělství do podniku

Pokud jsme se již rozhodli a jsme připraveni zavést v podniku systémy precizního zemědělství, musí se jako první úkol provést stanovení základních metodických postupů. Význam



Obrázek 3.13: Schéma CTF technologie se systémem HalfTrac (Kroulík et al., 2019)

stanovení základních metodických postupů spočívá například ve výběru vhodných plodin, které budeme na svých pozemcích pěstovat a budeme u nich využívat systémy precizního zemědělství. Dalším důležitým krokem při zavádění systémů precizního zemědělství do podniku je stanovení minimálních velikostí půdních bloků, u kterých jsme schopni využívat právě tyto systémy. Z praxe je známo, že pokud máme obhospodařované bloky menší než pět hektarů, nemají systémy precizního zemědělství význam, protože menší bloky nemají takovou variabilitu, jaká je u větších bloků. Na počátku zavádění systémů precizního zemědělství do podniku je požadováno upřednostnit používání pouze na některé pěstované plodiny, z důvodu vysokých nároků, které jsou kladeny na uživatele těchto technologií. Do skupiny upřednostňovaných plodin, jsou z praxe známi hlavně plodiny s nejvyšším uplatněním na trhu, a to je pšenice ozimá nebo řepka ozimá. Po úspěšném zavedení systémů precizního zemědělství u těchto plodin je možné používat tyto systémy i na ostatní plodiny, pěstované v podniku. (Brant et al., 2020).

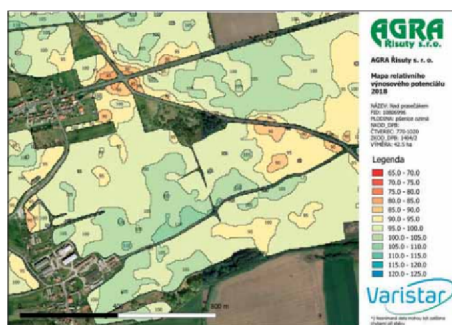
Vstupní sada dat

Pokud již používáme systémy precizního zemědělství, je nutné ukládání a následné analyzování všech dostupných dat, které nám právě tyto systémy dodaly. Do skupiny těchto dat můžeme například zahrnout jaký používáme osevní postup a jaké byly výnosy pěstovaných plodin. Informace z těchto dvou oblastí nám pomohou vytvořit mapy relativního výnosového potenciálu (RVP). Další skupinou dat, kterou je důležité ukládat a následně analyzovat jsou prováděné agrotechnické operace na našich pozemcích. Z těchto informací jsme schopni vytvořit mapu, jak byl pozemek v předchozích letech zatěžkáván stroji po něm se pohybujících. Podstatnou částí těchto dat jsou informace o použitých hnojivech a postřicích pro ochranu rostlin. V neposlední řadě můžeme zařadit do tohoto sběru dat i poznatky agronoma či jiných pracovníků v podniku. Důležité při zavádění systémů precizního zemědělství je i agrochemická analýza půd, které jsou podstatné pro vhodné určení hnojení. Posledním bodem pro sběr vstupních dat pro zavedení precizního zemědělství je mapový podklad modelu terénu získaný laserovým skenováním, toto skenování nám zjisti svažitost a sklonitost pozemků (Brant et al., 2020).

Mapy relevantního výnosového potenciálu (RVP)

Pokud jsme již vybrali pozemky vhodné pro zařazení do systémů precizního zemědělství, je pro ně důležité zpracovat kvalitní mapy RVP (Brant et al., 2020).

Díky družicím, které pořizují snímky pozemků několik let, jsme v dnešní době schopni tvořit mapy RVP. Abychom byli schopni vytvoření kvalitních map RVP z družicových snímků, využívá se rozdíl v odrazivosti v blízkém červeném spektru. Tento rozdíl nám umožňuje stanovit pokryvnost a stav porostu na daném pozemku, a to v řádu několika let, viz. obrázek 3.14. Následně jsme schopni, podle výnosové schopnosti daného místa, rozdělit všechny půdní bloky do skupin podle produkčních zón. Aby bylo možné vytvořit tyto sady map je nutné mít záznamy o pěstovaných plodinách a údaje o dosaženém výnosu. Důležité je i mít informace o různých anomáliích, které se v průběhu let na našich pozemcích staly. Tyto mapy jsou nejdůležitějším podkladem pro zavádění precizního zemědělství v rostlinné výrobě (Brant et al., 2020).



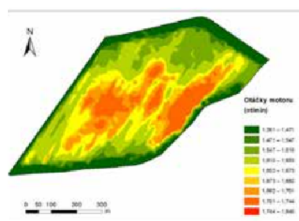
Obrázek 3.14: Mapa relativního výnosového potenciálu (Brant et al., 2020)

Získávání dat z pracovních souprav, půdních sond a senzorů

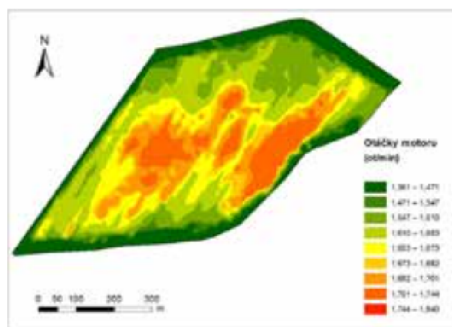
Další důležitou informací pro sběr dat je monitoring strojů. Do monitoringu strojů patří pohyby strojů po pozemcích, spotřeba paliva v daném místě, o zařazený rychlostní stupeň, otáčky motoru a další informace. Tyto informace nám pomůžou lépe pochopit a optimalizovat pohyb strojů po pozemku a vypoví nám o stavu obhospodařovatelných pozemků (Brant et al., 2020).

Například pokud jsou větší rozdíly při spotřebě pohonných hmot na jednom pozemku, tak nám tato informace značí stupeň utužení pozemku (Brant et al., 2020).

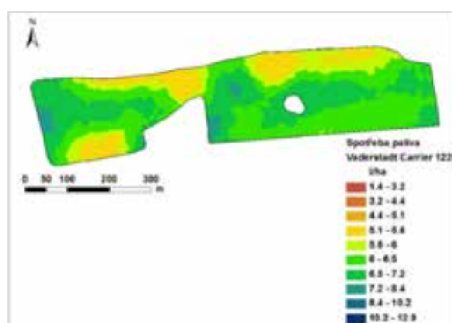
Režim práce motoru traktoru nám přináší velmi zajímavé informace do kontrolních údajů. Tyto údaje nám zvládnou lépe monitorovat ekonomiku provozu soupravy, jelikož jsme schopni přesně určit místa na pozemku, kde měl motor traktoru vysoké či nízké otáčky, viz. obrázek 3.15, jakou se pohyboval rychlostí, viz obrázek 3.16, a jakou měl spotřebu paliva, viz. obrázek 3.17. Tyto údaje jsme schopni díky moderním systémům přenést do interaktivní mapy a díky tomu například zhodnotit kvalitu odvedené práce (Kroulík et al., 2019).



Obrázek 3.15: Záznam otáček motoru při orbě (Kroulík et al., 2019)



Obrázek 3.16: Záznam rychlosti traktoru při orbě (Kroulík et al., 2019)



Obrázek 3.17: Záznam spotřeby paliva při orbě (Kroulík et al., 2019)

Mezi přístroje, které získávají data díky skenování pozemků patří například sonda Veris MSP, která je znázorněna na obrázku 3.18. Tato sonda je schopna dávat informace o kationtové výměnné kapacitě, obsahu organické hmoty, pH a dalších důležitých vlastností půdy. Sonda Veris MSP používá pro měření obsahu organické hmoty senzor NIR. Mapování textury půdy je možné díky měření elektrické vodivosti půdy. Toto měření se provádí v hloubkách od 0 do 30 centimetrů a dále od 0 do 90 centimetrů. Výsledkem tohoto měření jsou informace o stavu ornice, růstovém potenciálu a schopnosti půdy zadržovat vodu. Tento systém je vybaven přijímačem DGNS signálu, ale je možné ho také propojit se systémem RTK s možností komunikace přes tablet, který je možné umístit do kabiny traktoru (LeadingFarmers, 2021).



Obrázek 3.18: Mobilní sensorová platforma Veris MSP (LeadingFarmers, 2021)

Dále je možné použít senzor Topsoil Mapper, viz obrázek 3.19. Tento senzor pracuje na principu průběžného snímání půdy. Z tohoto snímání nám je senzor schopen dodat data o elektrické vodivosti, hloubce utužené vrstvy, druhu půdy a vlhkosti půdy. Senzor Topsoil Mapper se používá v kombinaci s hydraulicky nastavitelnými stroji pro zpracování půdy. Obsluha nastaví počáteční data o potřebném rozmezí zpracování půdy a poté díky snímání a vzájemné komunikaci mezi senzorem a připojeným strojem pro zpracování půdy se automaticky nastavuje ideální hloubka zpracování (Agri-precision, 2018).



Obrázek 3.19: Senzor Topsoil Mapper (Agri-precision, 2018)

3.7 Optimalizace trajektorií v precizním zemědělství

Tato poměrně jednoduchá technologie při správném provedení pomáhá snížit náklady na provoz, ale i zvýšit výkonnost. Princip optimalizace trajektorií spočívá ve vložení informací do příslušného softwaru. Do skupiny informací, které vkládáme do softwaru patří obrys bloku, zakreslené překážky na pozemku (např. stožáry vedoucí dráty vysokého napětí) a příjezdy na pozemek. Po vložení těchto dat software automaticky navrhne ideální trajektorie. Hlavním kritériem pro optimalizaci trajektorií je snížení otáček na souvratích a eliminace co nejvyššího počtu neproduktivních jízd. Pokud chceme, je možná ruční úprava automaticky vytvořených trajektorií pohybu. Tento případ nastává v situaci, kdy potřebujeme trajektorie upravit tak, aby více odpovídaly například směru vrstevnic na pozemku (Brant et al., 2020).

Pokud máme trajektorie nastavené v požadované kvalitě následuje krok kdy soubor vytvořený softwarem nahrajeme do terminálu traktoru vybaveným GPS naváděním s autopilotem. Podle trajektorií pohybu se vytvoří kolejové řádky, ve kterých se budu následně vykonávat operace na pozemku. Pokud máme vhodně nastavené trajektorie pohybu, výsledkem bude výrazný rozdíl v hektarové výkonnosti strojů (Brant et al., 2020).

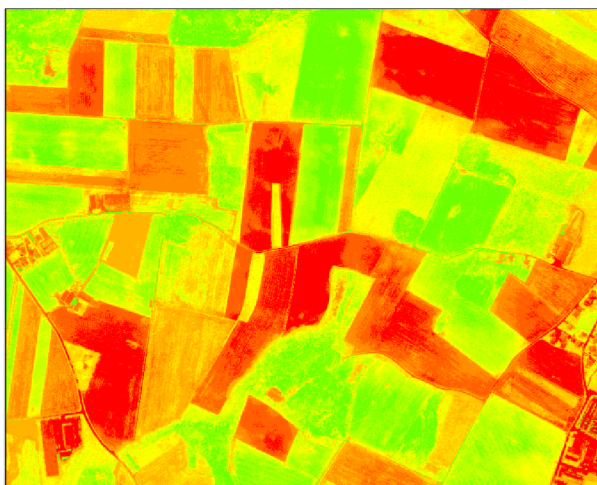
3.8 Použití dronů v systémech precizního zemědělství

V dnešní době je možné použití dronů v systémech precizního zemědělství. Tyto drony, viz obrázek 3.20, nám díky skenování pozemků dají možnost zjistit informace o heterogenitě pozemku. Díky snímkům pořízeným z dronů a následnému vyhodnocení snímků pomocí vegetačních indexů jsme schopni vytvářet výnosové mapy (Walterová a Ondráková, 2022).



Obrázek 3.20: Dron eBee SQ (Walterová a Ondráková, 2022)

Firma Geotronics Praha je dodavatel těchto dronů. V nabídce mají například dron od firmy senseFly s označením eBee SQ s multispektrálním senzorem Parrot Sequoia+. Firma Geotronics následně pro vytváření výnosových map ze snímků pořízených dronem používá vegetační index NDVI viz. 3.21 (Walterová a Ondráková, 2022).



Obrázek 3.21: Výnosová mapa vytvořená vegetačním indexem NDVI (Walterová a Ondráková, 2022)

Informace použité v následující tabulce 3.5, jsem převzal od Walterová a Ondráková (2022). V tabulce popíši jednotlivé vlastnosti dronu eBee SQ:

Pro úplnost popisu dronu eBee SQ je nutné popsat jednotlivé parametry senzoru Parrot Sequoia+, zobrazený na obrázku 3.22 který obsahuje jak multispektrální senzor, tak i světelný senzor pro světelnou korekci (Walterová a Ondráková, 2022).

Následující informace o senzorech jsem převzal od Walterová a Ondráková (2022). Parametry, které představím jako první jsou o multispektrálním senzoru - *4x 1.2 MP multispektrální senzor, 1 snímek za sekundu, 1x RGB 16 MP senzor, komplexní závěrka, 64 GB interní paměť, hmotnost 72g.*

Parametry, které představím jako druhé jsou o světelném senzoru, který je určen pro světelnou korekci - *vybaven GPS, IMU a magnetometr, 32 GB SD karta, hmotnost 35g.*

Tabulka 3.5: Dron eBee SQ (Walterová a Ondráková, 2022)

Parametry	Hodnoty
Hmotnost	1,1 kg
Dosah rádiového spojení	3 000 m
Letová rychlost	až $30,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Odolnost větru	do $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Maximální doba letu	3 300 s
Automatické přistání	Lineární přistání s přesností 5 m
Pokrytí z výšky 120 m	200 ha
Rozlišení snímků ze 120 m	Multispektrální snímek 12 cm/px RGB snímek 3,1 cm/px
Senzor	Parrot Sequoia+
Ovládací software	eMotion Ag



Obrázek 3.22: Senzor Parrot Sequoia+ (Walterová a Ondráková, 2022)

3.9 Navigační systémy jako pomocník proti fyzické a psychické zátěži obsluhy

Řidiči mobilních prostředků jsou po celou dobu práce vystaveni psychicky stresovému zatížení. Toto zatížení je spojení fyzických stresorů, sociálně-pracovních stresorů a samotných vlastností řidiče (Kroulík et al., 2019).

Mezi fyzické stresory, působící v kabině stroje, je možné zařadit hluk, vysoké teploty, nepohodlí, špatné ergonomické podmínky a mnohé další stresory (Kroulík et al., 2019).

Mezi sociálně-pracovní stresory patří vysoké požadavky od zaměstnavatele, práce na směny, pocity izolace, přesčasy, dodržení termínů a zodpovědnost za převážené zboží či osoby (Kroulík et al., 2019).

Mezi vlastnosti řidiče ovlivňující jeho vlastní pohodu patří impulsivita, odolnost vůči zátěži nebo adaptabilita (Kroulík et al., 2019).

Kroulík et al. (2019) prováděli výzkum, kdy byla měřena tepová frekvence řidičů zemědělské techniky, při práci na pozemku. Jako práce bylo zvoleno zpracování půdy. Do porovnání se zahrnuly dvě osoby. První osoba pracovala s kloubovým traktorem Case. Druhá osoba pracovala s pásovým traktorem Challenger. V první části výzkumu oba pracovníci pracovali bez použití navigace. V druhé části výzkumu oba pracovníci využívali navigační technologie. Z výsledků je patrné že při používání navigační technologie byla průměrná tepová frekvence nižší než při práci bez navigační technologie.

4 Regulace plevelů a ochrana rostlin v precizním zemědělství

V oblastech na pozemku, které jsou ošetřovány, může být intenzita regulačních zásahů buď jednotná, nebo se může dále přizpůsobovat hustotě plevelů. Například při aplikaci herbicidů je běžně upravována dávka přípravku podle aktuální hustoty plevelů. Efektivní používání těchto metod je možné za předpokladu, že disponujeme detailním zmapováním o rozšíření plevelů na pozemku. Při vytváření informací o výskytu jednotlivých druhů plevelů a jejich agregaci je klíčové dosáhnout co největší přesnosti, zároveň je však i nutné udržet nároky na čas co nejmenší. Současně je nezbytné při rozhodování o regulačním zásahu stanovit vhodný práh. Tento práh by měl být stanoven tak, aby nedocházelo k zbytečné aplikaci herbicidů v některých částech pozemku. Naopak by nemělo docházet k významným ztrátám výnosu plodiny na neošetřených plochách nebo k intenzivní produkci semen plevelů, což by mohlo vést k výraznému nárůstu plevelů v následujících letech. Podobně jako u konvenčních metod regulace plevelů platí, že práh škodlivosti je třeba posuzovat individuálně pro každý druh plevelu, a je také nutné samostatně regulovat skupiny plevelů s odlišnou citlivostí na herbicidy. Celý tento systém cílené regulace plevelů je poměrně komplexní a lze ho účinně využít pouze s pomocí moderní zemědělské techniky (Hamouz, 2014).

4.1 Historie ochrany rostlin a regulace plevelů

Průmyslová revoluce, která probíhala v 18. a 19. století, měla za následek rozvoj ochrany rostlin. V této době již lidé chápali důležitost ochrany rostlin, a proto tyto systémy vyžadovaly razantnější a účinnější postupy proti škodlivým organismům. Již v období průmyslové revoluce odborníci na ochranu rostlin formulovali dvě metody pro ochranu rostlin, a to formu preventivní a formu kurativní (Řehák et al., 2022).

Preventivní ochrana rostlin spočívala ve vhodných agrotechnických způsobech jako je volba pozemku, orba, vyvážené hnojení a péče o půdu a rostliny během vegetace (Řehák et al., 2022).

Na rozdíl od preventivní ochrany rostlin, kurativní ochrana určovala způsoby uplatňování biologických i chemických prostředků. V počátcích kurativní ochrany rostlin se jednalo o aplikování látek anorganického původu, mezi které se řadila síra, měď nebo vápno a látek biologického původu, jako byl nikotin z listů tabáku, kvasiový odvar z dřevní části keře hořkoně obecné nebo vodní odvar z plodů kaštanu koňského. V pozdějších dobách se již objevovaly sloučeniny rtuti, které byly schopny mořit osivo nebo pyretrový

prášek získávaný z kopretiny starčkolisté, viz. obrázek 4.1, který byl používán pro hubení škodlivého hmyzu (Řehák et al., 2022).



Obrázek 4.1: *Kopretina starčkolistá* (Fotodoma, 2023)

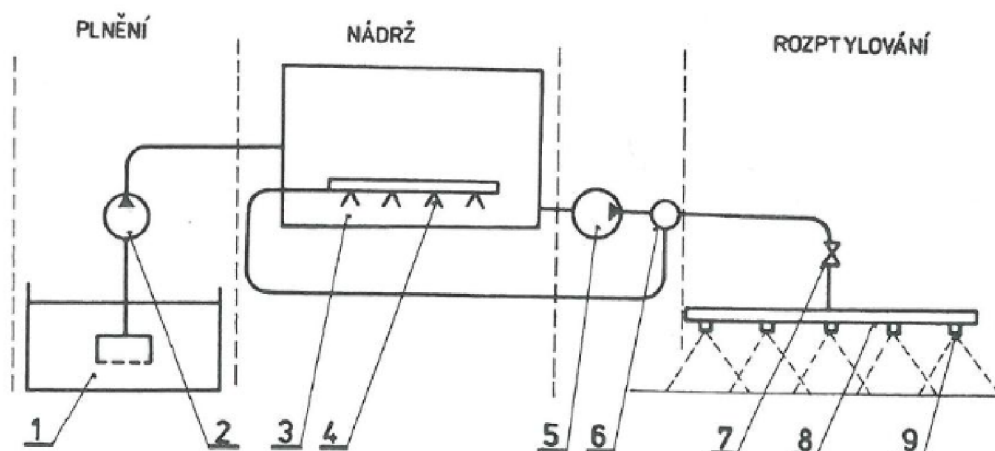
4.2 Požadavky na aplikační techniku pro ochranu rostlin

Zásadním úkolem aplikační techniky pro ochranu rostlin patří chránit rostliny před nežádoucími činiteli. Pro chemickou ochranu rostlin se používají postřikovače provádějící aplikaci ochranné jíchy. Na tyto stoje jsou kladeny vysoké požadavky v podobě přesného dávkování chemické látky tak aby byla zajištěna co nejnižší potřebná dávka, udržení předem definované koncentrace roztoku, rovnoměrné aplikace na povrch půdy nebo povrch rostlin a zamezit úletu chemických přípravků mimo ošetřovaný pozemek (Karásková, 2018a).

4.3 Princip práce a základní komponenty postřikovačů

Všechny typy postřikovačů pracují na podobném principu. Postřiková jícha je nasávána čerpadlem ze zásobní nádrže a pod tlakem je dopravována přes regulační ventil a potrubí k rozptylovačům (Karásková, 2018a).

Tlak a vysoká rychlost proudění kapaliny ve výstřikovém otvoru trysky způsobí náraz na okolní vzduch nebo pevnou nárazovou destičku trysky a dochází k vytvoření malých kapiček o průměru 0,15 mm (Karásková, 2018a). Na následujícím obrázku 4.2 je znázorněno zjednodušené schéma postřikovače.



Obr. VII-3. Schéma základních konstrukčních prvků a skupin postřikovače: 1 – nádrž na postřikovací kapalinu, 2 – plnicí čerpadlo, 3 – nádrž, 4 – míchací zařízení, 5 – čerpadlo, 6 – přepouštěcí ventil, 7 – uzavírací ventil, 8 – postřikovací rám, 9 – rozptylovače (trysky).

Obrázek 4.2: Zjednodušené schéma postřikovače (Neubauer, 1989)

Dále je nutné popsat základní komponenty postřikovačů. Mezi ně patří zásobní nádrž s přídatnými nádržemi, čerpadlo, potrubí s regulačními a kontrolními prvky, rozptylovače a další příslušenství, které je zde nejčastěji pro precizní aplikaci postřikové jichy (Karásková, 2018a).

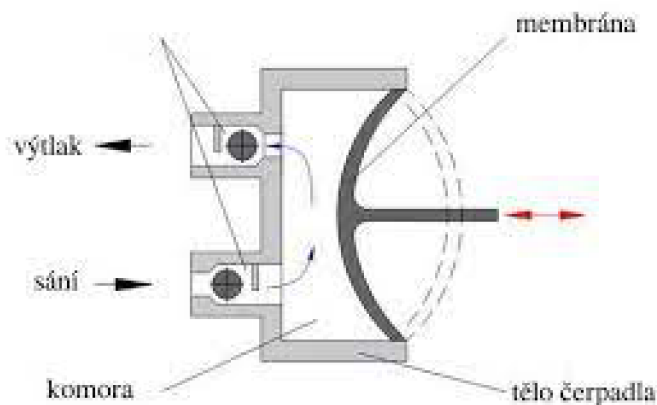
Nádrže postřikovačů

Objem nádrže postřikovače je základní parametr definující postřikovač. Trendem v dnešní době je zvětšování nádrží pro minimalizování prostojů. Tento trend ovšem negativně ovlivňuje vyšší hmotnost stroje a tím pádem větší utužení půdy. Tento problém se snaží výrobci kompenzovat například širšími koly. Samotné nádrže jsou vyráběné z materiálů odolných proti chemickým látkám, jakými jsou sklolaminát nebo polyetylen. Každá nádrž má ve svém vnitřku míchací zařízení, které zajistí kvalitní rozmíchání postřikové jichy (Karásková, 2018a).

Čerpadla postřikovačů

Postřikovače obsahují jedno čerpadlo nebo soustavu čerpadel pro dopravu postřikové jichy z nádrže do rozptylovačů, plnění nádrží, míchání postřikové jichy a proplachování potrubí a nádrže. Nejčastěji se u postřikovačů setkáme s pístovým nebo membránovým čerpadlem. Zásadním parametrem čerpadel u postřikovačů je jejich průtok zajišťující všechny výše vypsane funkce (Karásková, 2018a).

Na následujícím obrázku 4.3 je zobrazeno schéma membránového čerpadla. Schéma obsahuje i popis jednotlivých částí membránového čerpadla.



Obrázek 4.3: Membránové čerpadlo (Molák, 2019)

Ramena postřikovače

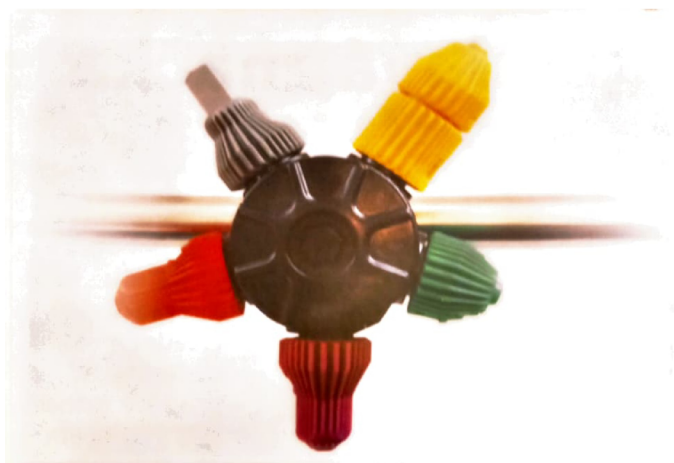
Ramena postřikovače jsou nejnamáhavější částí. Proto se pro jejich výrobu používají lehké konstrukce vyráběné z uzavřených tenkostěnných ocelových nebo hliníkových profilů. Aby byla zajištěna stálá výška ramen postřikovače nad porostem nebo povrchem, jsou ramena vybavena ultrazvukovými senzory, viz. obrázek 4.4 (Karásková, 2018a).



Obrázek 4.4: Ultrazvukový senzor zajišťující konstantní výšku nad porostem (Karásková, 2018a)

Rozptylovače postřikovačů

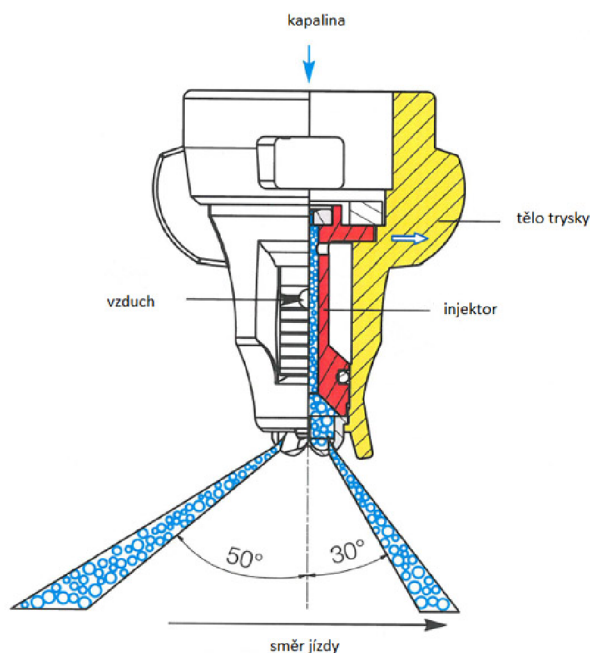
Rozptylovače jsou uloženy na ramenech postřikovače a jsou rozmístěny po 50 nebo 25 centimetrech. Dělení trysek je podle energetického způsobu rozptylu. V praxi se nejčastěji setkáme s hydraulickými tryskami. Funkční vložka trysky se vyrábí z otěruvzdorné keramiky nebo nerezové oceli, tato vložka je pak zapuštěna do barevného těla vyrobeného z plastu. Barva trysky označuje průtočnost trysky, viz. obrázek 4.5. Nejčastěji používané trysky jsou dvouštěrbinové, které oproti štěrbinovým, dokáží dostat postřikovou jichu jak na přední část rostlin, tak i na zadní (Karásková, 2018a).



Obrázek 4.5: Barevné označení trysek podle průtočnosti (Karásková, 2018a)

4.4 Technologie pro precizní aplikaci chemických postřiků

Trend dnešní doby je snižování dávek prostředků pro ochranu rostlin a jejich následná přesná aplikace. Nejdůležitějším aspektem tohoto trendu je v zásadě eliminace úletu drobných částic aplikované látky. Pro negaci tohoto aspektu je použití nízkoúletových trysek a injektorových trysek. Nízkoúletové trysky, jak už název napovídá, zamezují úletu postřikovaného přípravku. Injektorové trysky, viz. obrázek 4.6, které pasivně přisávají vzduch, který rovněž zamezí úletu (Karásková, 2018a).



Obrázek 4.6: Schéma injektorové trysky (Harašta, 2019)

Dalším řešením eliminace úletu postřiku je přiblížení ramen postřikovače co nejblíže povrchu. Jak je již zmíněno výše, optimální výšku ramen zajišťuje systém ultrazvukových

senzorů. Následně tento automaticky reguluje požadovanou výšku. Pro přesnější práci tohoto systému se používají technologie využívající systém GPS navigací (Karásková, 2018a).

Nedílnou součástí každého moderního postřikovače je automatické navádění a automatické vypínání sekcí či jednotlivých trysek. Běžnou výbavou jsou i ISOBUS terminály, zprostředkovávající komunikaci se strojem (Karásková, 2018a).

4.5 Variabilní aplikace prostředků na ochranu rostlin

V dnešní době je možné pořízení pulzních trysek, které díky svému rychlému otevírání a zavírání umožňují řízení aplikovaného množství u každé trysky a tím pádem je možná variabilní ochrana. Dalším zástupcem umožňující variabilní aplikaci postřiků na ochranu rostlin je přímá injektáž, ta nám umožní nejenom změnit koncentraci postřiku, ale tento systém nám při vybavení více nádržemi umožní změnit celou postřikovanou látku podle potřeb na obhospodařovaném pozemku. V dnešní době je možné tento prvek instalovat na většinu postřikovačů a je nezbytné mít postřikovač vybavený počítačem, který je schopen určit variabilitu postřiku nebo určit místa na pozemku kde se postřik nebude vůbec aplikovat. Tyto změny se provádí díky předpřipravené aplikační mapě (Brant et al., 2020).

4.6 Systémy používané pro precizní ochranu rostlin u postřikovačů AGRIO

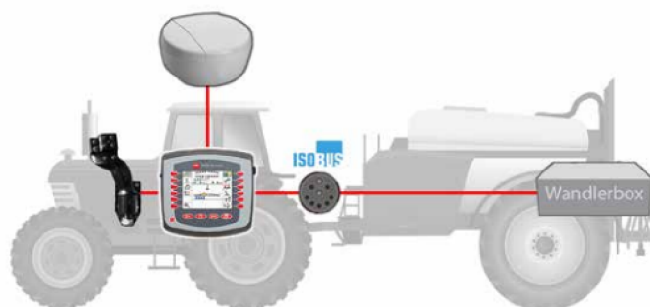
Aby bylo možné maximálního využití postřikovačů v precizním zemědělství je nutné mít vybavené pracovními počítači, terminály, navigací a příslušným softwarem. Tyto systémy zaručují nejpřesnější a nejkvalitnější aplikaci. V další části popíšeme systémy používané u postřikovačů AGRIO (Olšan, 2021).

Pro plnění nádrže a proplach samotného postřikovače se používá systém TANK-Control 3, viz obrázek 4.7, který má možnost ovládání funkcí na vnějším monitoru nebo terminálem umístěným v kabině. Tento systém nabízí dva programy. První program proplachuje pouze ramena čistou vodou a druhý program provádí proplach celého stroje. Mezi hlavní funkce TANK-Control 3 je výpočet požadovaného objemu postřiku na danou plochu, přepínání mezi sáním z hlavní nádrže a z nádrže na čistou vodu, oplach hlavní nádrže, ovládání ekomixéru, ukazatel hladiny v hlavní nádrži, ukazatel hladiny v nádrži na čistou vodu a zapínání postřikového čerpadla s možností nastavení dvou rychlostí otáček (výkonu čerpadla) (Olšan, 2021).



Obrázek 4.7: TANK-Control 3 (Olšan, 2021)

Mezi terminály používané v postřikovačích AGRIO patří TOUCH800, TOUCH1200 a BASIC-Terminal. Všechny terminály odpovídají standartu ISOBUS. Jak uvádí Olšan (2021) ISOBUS je "*Standardizovaný komunikační protokol určený pro zemědělské stroje založený na CAN sběrnici. Zajišťuje kompatibilitu mezi stroji různých výrobců. Jedním terminálem lze ovládat více ISOBUS kompatibilních strojů a naopak. Uspodňuje obsluhu použitím jediného kabelu např. mezi traktorem a postřikovačem*". Tyto terminály lze vybavit i aplikacemi TRACK-Leader a SECTION-Control. Aplikace TRACK-Leader je podle Olšan (2021) "*software navigátoru pro terminály, který umožňuje ve spojení s D-GPS přijímačem rovnoběžné, identické, vyhlazené a obrysové vedení stopy*". Aplikace SECTION-Control je podle Olšan (2021) "*software automatického vypínání sekcí u strojů s ISOBUS ve spojení s terminálem, TRACK-Leader a GPS signálem. SECTION-Control lze použít pro postřikovače, secí stroje a rozmetadla průmyslových hnojiv*". Pokud terminál vybavíme všemi aplikacemi, které jsou výše popsány jedná se o systém Stop-Spray ISOBUS, obrázek 4.8 (Olšan, 2021).



Obrázek 4.8: *Systém Stop-spray ISOBUS (Olšan, 2021)*

Nedílnou součástí systémů používaných u strojů pro chemickou ochranu rostlin jsou antény. U postřikovačů AGRIO se používají dva druhy antén. První D-GPS GLONASS AG 200 s odchylkou +/- 15-20 cm a druhá anténa D-GPS GLONASS SMART 6L 4.9, která je možná vybavit placenou RTK korekcí s přesností +/- 2 cm (Olšan, 2021).



Obrázek 4.9: *Anténa D-GPS GLONASS SMART 6L (Olšan, 2021)*

SELEJET

Tento systém, viz. obrázek 4.10, ovlivňuje přepínání různých velikostí trysek za jízdy. Pro správnou funkci tohoto systému je zapotřebí, aby obsluha zvolila požadovanou dávku (l/ha) a optimální tlak podle typu trysky (optimální kapkové spektrum). Ostatní procesy si

už řídí počítač automaticky. V praxi tento funguje tak, že pokud se stroj pohybuje pomalu je v pohotovosti nejmenší tryska, pokud se zvyšuje rychlost jsou automaticky přepínány trysky větší velikosti pro dosažení požadované dávky. Tento systém je nutný předpoklad pro variabilní dávkování podle aplikačních map, ovšem pouze tento systém je nedostatečný pro variabilitu hnojení, proto je nutné použití systémů CURVE-Control a MULTI-Rate (Olšan, 2021).

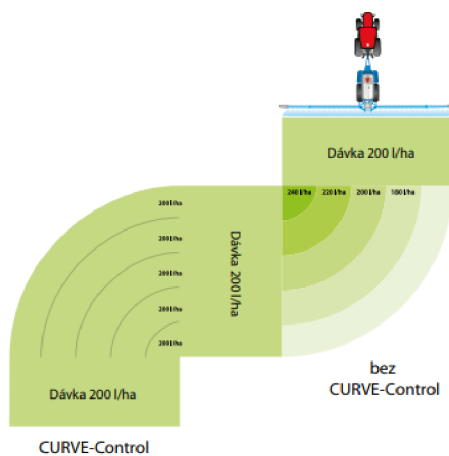


Obrázek 4.10: *Systém SELEJET (Olšan, 2021)*

CURVE-Control

Pokud postřikovač zatáčí tento systém zajistí konstantní dávku postřiku po celý pracovní záběr. Tato konstantní dávka je možná díky přepínání různých kombinací trysek v určité sekci. Aby bylo zaručeno přepínání trysek je nutné mít postřikovač vybavený vícenásobnými držáky trysek. Postřikovač je nutný mít i vybavený GPS přijímačem a přes terminál je určována přesná poloha ramen postřikovače díky přenosu signálu do počítače postřikovače. Tento počítač určí rychlost a poloměr zatočení pomocí gyroskopu. Díky těmto datům je počítač schopen vypočítat přesnou postřikovou dávku na jednu sekci (Olšan, 2021).

Na následujícím obrázku 4.11 je vyobrazený rozdíl práce postřikovače se systémem CURVE-Control a bez systému CURVE-Control.

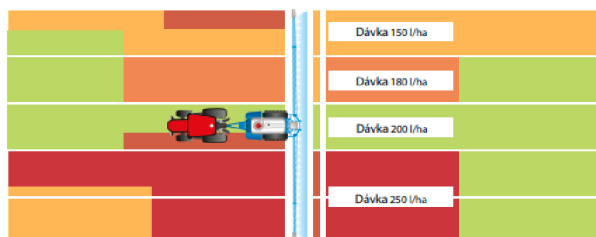


Obrázek 4.11: *Systém CURVE-Control (Olšan, 2021)*

MULTI-Rate

Tento systém používaný u postřikovačů AGRIO umožňuje přenos více cílových dávek současně. V praxi to znamená že je možné variabilně dávkovat po jednotlivých sekcích. Pro toto variabilní dávkování je ovšem nezbytné použití podkladových map precizního zemědělství. Tento systém je možný používat i v kombinaci s N-senzory (Olšan, 2021).

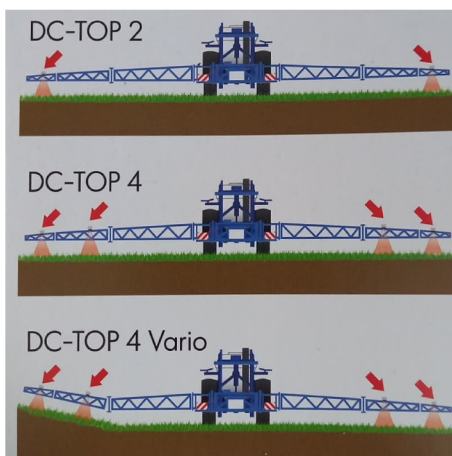
Na následujícím obrázku 4.12 je vyobrazena práce postřikovače se systémem MULTI-Rate.



Obrázek 4.12: *Systém MULTI-Rate (Olšan, 2021)*

Automatické vyrovnávání ramen DC-TOP

Základním požadavkem na každý postřikovač je klidná práce ramen bez kmitání. Další funkcí pro přesnou aplikaci prostředků je automatické kopírování náklonu pole. Tento problém řeší funkce DC-TOP, viz. obrázek 4.13. Tento systém je schopný umožnit optimální kopírování ramen každého typu postřikovače. Díky posunutí ultrazvukových čidel na kraje ramen a změně držáku čidel se zaručilo neustálé posílání informací do počítače. Pokud nebyly čidla na krajích ramen, byla možná absence posílání informací z krajů ramen do počítače, díky nedostatečné vzdálenosti ramen od porostu (Olšan, 2021).



Obrázek 4.13: *Systémy DC-TOP (Olšan, 2021)*

4.7 Stroje používané pro mechanickou ochranu rostlin v precizním zemědělství

Do strojů používaných pro mechanickou ochranu rostlin v precizním zemědělství patří například meziřádkové kypřiče schopné využívat navigačních systémů a automatického řízení. (Jedlička, 2021).

Kypřiče od firmy Lemken s označením Steketee EC-Weeder, najdou uplatnění v systémech precizního zemědělství. Tyto stroje jsou dodávány s výbavou umožňující automatické plečkování s řídicím systémem. Jedním z řídicích systémů je Section-Control, který zajistí automatické zvedání a následné spouštění stroje na souvratích tak, aby nebyly poškozeny rostliny. Tento stroj je také možné vybavit posuvným rámem, který je možné automaticky ovládat díky kamerovému systému IC-Light, viz. obrázek 4.14, který je propojen s navigačním systémem GPS. Pokud je použit meziřádkový kypřič s automatickým ovládáním snižuje se množství plevelů a zvyšuje se výnos oproti konvenčním způsobům (Jedlička, 2021).



Obrázek 4.14: *Kamerový systém IC-Light (Jedlička, 2021)*

Kamerový systém IC-Light

Tento systém se skládá z kamer, ovládacího terminálu, výpočetní techniky a posuvného rámu. Systém využívá kameru pro přesné navádění. Pro zajištění spolehlivého navádění v kulturách s různou barvou, je systém vybaven softwarem pro samovzdělávání. Postup přesného vedení kypřiče je následovný - vytvoření snímku řádků plodiny, odeslání snímků do terminálu ke zpracování, software v terminálu detekuje odstíny zelené barvy nebo spektrum RGB, následně zpracované snímky vytvoří obraz pro vedení kypřiče (Jedlička, 2021).

5 Setí a zpracování půdy v precizním zemědělství

5.1 Variabilní setí v precizním zemědělství

Další metodou využití variabilních technologií v rámci precizního zemědělství je adaptace výsevu podle konkrétních potřeb. Klíčovým prvkem pro dosažení této variability je dostupnost secího stroje s funkcí úpravy výsevu podle aplikační mapy. Pro vytvoření vhodné aplikační mapy je nezbytné použít mapu vodivosti půdy nebo mapu (RVP). Tuto mapu lze nahrát do ovládacího terminálu secího stroje nebo traktoru, který je propojen se secím strojem, aby mohly efektivně komunikovat. Při vytváření aplikační mapy je důležité zohlednit, v kterých částech osévaného pozemku má dojít ke změně výsevku, a dále je nutné zdůvodnit rozhodnutí o úpravě výsevku. Do aplikační mapy je též důležité zahrnout informace o plodině a její odrůdě, kterou má být pozemek oset (Brant et al., 2020).

5.1.1 Technologie Strip-Till

Díky stále silnějším výkyvům počasí, představuje eroze čím dál větší problém pro hospodaření. Pro zamezení erozních procesů se do praxe dostává technologie Strip-Till. Tato technologie spočívá v redukování zpracování, při které zůstanou na povrchu posklizňové zbytky a výsev se provádí do předem připravených pásů (Beneš, 2019b).

Půda při této technologii je kypřena jen v pásích a při tomto procesu probíhá i aplikace živin. Po těchto dvou procesech přichází na řadu samotný výsev cílové plodiny. Půda se při této technologii zpracovává optimálně v přímém směru ve směru vrstevnic. Šíře zpracovaných pásů není vyšší než 30 centimetrů, z toho vychází že podíl nezpracované půdy je kolem 60 procent. Pokryvnost půdy před vzejitím porostu by měla být 30 procent na nezpracované části (Beneš, 2019b).

Mezi hlavní přednosti technologie Strip-Till patří vhodnější podmínky pro výsev oproti technologii setí do nezpracované půdy. Tento efekt je zapříčiněn tím, že při pásovém zpracování půdy je v pásích vyšší teplota, je kvalitněji připraveno setivé lůžko a díky nakypřenosti a odstranění půdního ztuhnutí dochází k zachování vláhového režimu půdy. Další výhodou této technologie je úspora času a nákladů (Beneš, 2019b).

Stroje využívající technologii Strip-Till

Mezi stroj využívající technologii Strip-Till patří secí stroj DTS od firmy AGRI CS, viz. obrázek 5.1. V přední části tohoto stroje je zásobník o objemu 1900-3600 litrů. Objem zásobníku se odvíjí od šíře záběru, který je u těchto strojů od 3 do 9 metrů. Tento zásobník

je možné rozdělit na dvě stejné části, v jedné části je možné uchovat osivo a ve druhé části hnojivo. Stroj využívá šnekový výsevní systém ORGA. Dále je osivo dávkováno v rozmezí od 0,5 do 350 kg/ha pomocí elektromotoru. Díky vybavení stroje GPS snímačem rychlosti je možná automatická regulace dávky s možností variabilního dávkování (Adamčík, 2019).

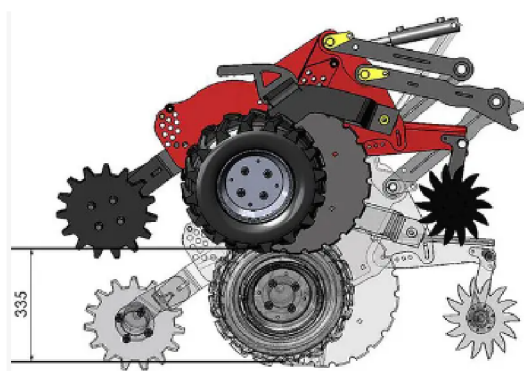


Obrázek 5.1: *Strip-till technologie setí pomocí stroje SUMO DTS do předem nezpracované půdy (Mádl, 2022a)*

Další částí stroje je nosný rám, který obsahuje koltry, slupice a secí botky. Koltry mají na tomto stroji za úkol narušit strukturu rostlinných zbytků pro jejich lepší rozklad, dále je díky těmto koltrům lepší průchodnost i v náročných podmínkách a v neposlední řadě vytváří drážky pro lepší proniknutí slupic do půdy (Adamčík, 2019).

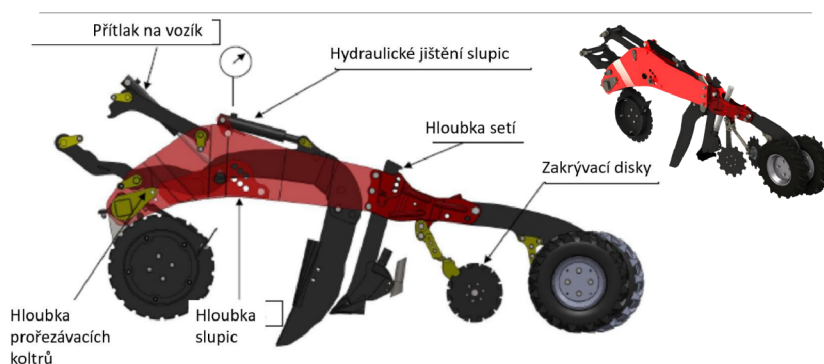
Úkolem slupic je kypření půdy do hloubky 25 centimetrů a tím vytváří podmínky pro kvalitní kořenový systém. Slupice jsou na tomto stroji rozmístěny s roztečí 33 centimetrů (Adamčík, 2019).

Secí botky mají nastavitelný přítlak a jsou uloženy na paralelogramu, viz. obrázek 5.2, díky čemuž je zajištěno vodorovné kopírování terénu s nezměněnou hloubkou uložení osiva. Secí botky mají mezi sebou rozteč 33 centimetrů ovšem u dvojřádkového setí mají rozteč 18 cm (Adamčík, 2019).



Obrázek 5.2: *Paralelogram (Mádl, 2021)*

Na konci celého stroje se nachází utužovací kolečka, která jsou do tvaru písmene V a tím dostávají osivo do kontaktu s půdní vláhou a zajistí snížení tlaku růstu plevelu přímo v místě uložení osiva. Detailní pohled na zadní část stroje je na obrázku 5.3 (Adamčík, 2019).



Obrázek 5.3: Detailní pohled na zadní část secího stroje SUMO DTS (Mádl, 2022a)

Porovnání porostu ozimé pšenice založeným konvenční technologií a technologií Strip-till

V tomto porovnání byl technologií Strip-Till porost zakládán přímo do strniště předplodiny. Před samotným setím pomocí technologie Strip-Till proběhla pouze herbicidní likvidace výdrolu a plevelu. U konvenčního zpracování proběhla klasická kultivace strniště před setím. Do tohoto zpracování patřilo použití talířových bran, radličkového kypřiče, desikace a následné setí. Tyto operace probíhaly 8.10.2021, na pozemku v okrese Mělník s výsevkem 170 kg/ha (Mádl, 2022b).

Po zasetí už porosty vykazovaly první rozdíly. U porostu zasetém technologií Strip-Till byly rostliny již více vzrostlé. Další výhodou oproti konvenčnímu postupu bylo ponechání strniště, které ušetřilo půdní vláhu využívanou pro další růst. Toto pozorování probíhalo dne 15.11.2021 (Mádl, 2022b).

Další porovnávání porostu probíhalo dne 11.2.2022. Rostliny, které byly vysévány technologií Strip-Till vykazovaly lepší kondici než porost založený konvenčním způsobem. Tato lepší kondice byla zapříčiněna výskytem posklizňových zbytků mezi zasetými pásy, které zabraňovaly nadměrnému odparu vláhy, ohřívání povrchu, vysušování, větrem a vodní erozí (Mádl, 2022b).

19.4.2022 probíhalo další porovnání a opět porost založený technologií vykazoval lepší kondici. U tohoto zkoumání se zjišťovala kvalita kořenového systému. U technologie Strip-Till vykazovala zemina lepší podmínky pro růst kořenového systému, díky její kyprosti, která byla ovlivněna podrytím výsevních pásů a následnému zbavení zhutněných vrstev (Mádl, 2022b).

Ve fázi metání rostlin se provedl další výzkum, a to přesně dne 25.5.2022. Díky technologii Strip-Till měly rostliny větší prostor pro vytváření mohutné biomasy (listů) a díky tomu rostliny mohli přijímat více slunečního svitu, potřebného pro fotosyntézu (Mádl, 2022b).

Další porovnání porostů probíhalo ve fázi pokročilé zralosti a to dne 4.7.2022. V této fázi výzkumu se zkoumala výška a zralost porostu. V této chvíli vykazovaly porosty stejné vlastnosti (Mádl, 2022b).

Posledním dnem výzkumu bylo 21.7.2022, kdy probíhala sklizeň. V tomto výzkumu se porovnával výnos a časová a finanční náročnost založení porostu. Výnos z obou zkoumaných částí dopadl stejně, ovšem podstatný byl rozdíl v úspoře času a financí při zakládání porostu. U technologie Strip-Till byla úspora času 59 minut/ha a finanční úspora byla

1382 Kč/ha. Do finančního zhodnocení se zahrnuly parametry - spotřeba paliva, mzda zaměstnance, amortizace traktoru a opotřebení dílů strojů (Mádl, 2022b).

5.1.2 Technologie No-Till

Tato technologie znamená v přeneseném významu přímé setí. U této technologie je absence zpracování půdy a porost se zakládá přímo do strniště předchozí plodiny nebo do zaseté meziplodiny. Touto technologií jsme schopni - zlepšit půdní podmínky, zvýšit úspory financí a času a v neposlední řadě také zvýšit ochranu životního prostředí (Mádl, 2021).

Mezi aspekty zlepšených půdních podmínek při použití technologie No-Till patří snížení utuženosti půdy, díky snížení počtu přejezdů po pozemku; redukce vodní a větrné eroze, v důsledku pokrytí meziřadí strništěm; snížené množství ztracené půdní vláhy v důsledku vypařování a snížení samotné teploty půdy, která ochlazuje krajinu. Další výhodou pokrytí meziřadí strništěm a posklizňovými zbytky je eliminace růstu plevelů vedle kulturních rostlin (Mádl, 2021).

Mezi aspekty zvýšených úspor financí a času patří nepochybně úspora paliva, ta je zapříčiněna menší tahovou náročností stroje, vyšší výkonností stroje a eliminace jakékoli přípravy půdy. Dalším aspektem úspory je nižší aplikace chemických postřiků. Posledním aspektem je snížení potřeby lidské práce (Mádl, 2021).

Posledním bodem výhod používání technologie No-Till je zvýšení ochrany životního prostředí. To je způsobeno snížením produkce oxidu uhličitého ze spalovacích motorů a snížením emisí oxidu uhličitého při pohybu s půdou. Dalším aspektem zvýšení ochrany životního prostředí jsou zvětšené mezery mezi jednotlivými řádky kulturní plodiny. Tyto větší mezery umožňují profukování větrem a tím je snížen výskyt chorob, které by se jinak musely chemicky ošetřit pro jejich eliminaci (Mádl, 2021).

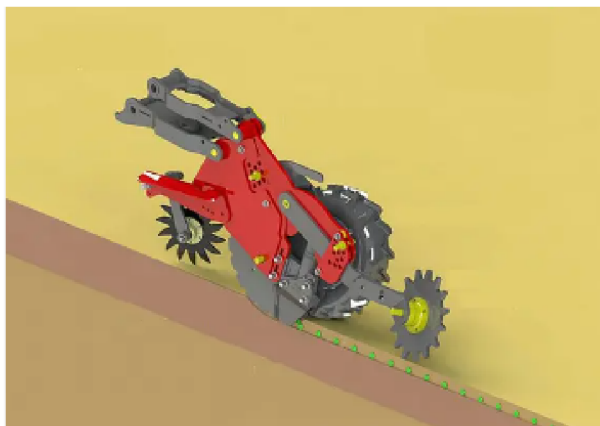
Stroje využívající technologii No-Till

Mezi stroj využívající technologii No-Till patří secí stroj od firmy AGRI CS s označením SUMO DD. U těchto secích strojů je možné využít zásobníky s kapacitou od 1900 litrů do 3600 litrů. Větší objemy zásobníků lze rozdělit na dvě stejné části pro osivo a hnojivo. Velikost zásobníku se přímo zvětšuje podle záběru secího stroje. Výsevní ústrojí u tohoto stroje je stejné jako u secích strojů SUMO DTS, které je zobrazeno na obrázku 5.4 (Mádl, 2021).



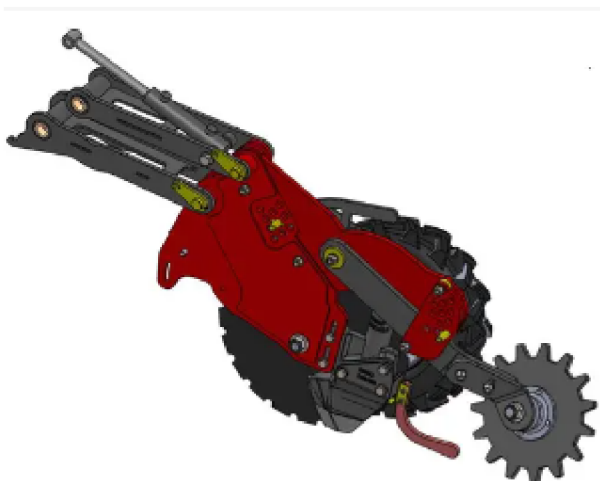
Obrázek 5.4: Výsevní ústrojí ORGA (Mádl, 2021)

Před samotnou výsevní botkou je možné stroj vybavit čistícím diskem, viz. obrázek 5.5, pro přípravu výsevní drážky. Tento disk je vhodné použít v situacích kdy je na pozemku velké množství posklizňových zbytků (Mádl, 2021).



Obrázek 5.5: Čistící disk pro přípravu výsevní drážky (Mádl, 2021)

Výsevní botky, viz. obrázek 5.6, jsou umístěny na paralelogramu, stejně jako je tomu u secích strojů SUMO DTS. Disk výsevní botky má za úkol otevření povrchu půdy. Vedle tohoto disku je ústí semenovodu zakončené otevíracím břitem s karbidovým ostřím. Za ústím semenovodu se nachází gumová destička zabráňující odskoku osiva z výsevní drážky. Za samotnou výsevní botkou se nachází kopírovací kolo. Toto kolo slouží pro nastavení hloubky výsevu a zamezí přílišnému otevření výsevní drážky a následnému porušení její boční stěny (Mádl, 2021).



Obrázek 5.6: Výsevní botky (Mádl, 2021)

Na konci celého secího stroje se nachází zahrnující ozubený kovový disk, zobrazený na obrázku 5.7. Ten zaručuje uzavření výsevní drážky, přikrytí osiva a utužení. Samotné nastavení utužení e závislé na nastavení aretačního čepu nebo může být půda přimačkávána vlastní vahou disku díky plovoucí poloze (Mádl, 2021).



Obrázek 5.7: Zahrnující ozubený kovový disk (Mádl, 2021)

5.2 Variabilní zpracování půdy

Zpracování půdy v rámci precizních zemědělských systémů je v současné době převážně ve fázi vývoje a není mezi zemědělci běžně rozšířeno. V současnosti se tyto systémy často používají při hlubší kultivaci nebo podrývání půdy. Pro dosažení optimálního efektu při těchto operacích je nezbytné správně nastavit parametry, jako je hloubka vytvořeného ztuhnutí půdy nebo charakteristika hloubky orničního profilu. Po zadání těchto hodnot do systému se automaticky upravuje hloubka zpracování během práce. Pro určení vhodné hloubky zpracování je nezbytné zmapovat půdu na daném pozemku pomocí specializovaných zařízení, například Topsoil Mapperu, který byl již zmíněn v předchozí části mé práce (Brant et al., 2020).

Stroj, který dokáže variabilně pracovat na pozemku je pluh od firmy Kverneland s označením 2500 i-plough. Díky inovacím je možné nastavení celého pluhu přímo z kabiny traktoru na příslušném monitoru. Díky propojení s ISOBUS je vidět na monitoru nabídka nastavení a je zde i zobrazen pracovní režim pluhu. Tento pluh nabízí 4 pracovní režimy (Fuka, 2017).

Pluhy této řady mají funkci FURROW-control umožňující vyrovnání brázdy v závislosti na trase mezi zvolenými body. Tento je schopen pracovat díky využívání RTK signálu. Pomocí satelitní navigace a skupině snímačů na pluhu je stroj schopen díky variosystému automaticky napřímit orbu. Jestliže je v počítači načtena i mapa obdělávaného pozemku, jsme stroj schopen díky technologiím měnit záběr s ohledem na orbu do klínu. Posledním zjednodušením práce s tímto pluhem je automatické nastavení pluhu i při nenadálé změně podmínek v půdě (Fuka, 2017).

První pracovní režim

Prvním pracovním režimem pluhu je orba, viz obrázek 5.8. V tomto režimu jsme schopni nastavit všechny hodnoty pro práci - záběr první radlice, hloubku orby, příčné nastavení pluhu, automatické otáčení na souvratí, přestavení půdního pěchu. Všechny tyto parametry se již nenastavují mechanicky ale pomocí hydrauliky nebo elektroniky (Fuka, 2017).



Obrázek 5.8: *Pluh Kverneland 2500 i-plough při práci (Fuka, 2017)*

Druhý pracovní režim

Druhým pracovním režimem u tohoto stroje je přeprava. V tomto režimu lze automaticky přestavit pluh z pracovní polohy do transportní a zase naopak. Tento pluh umožňuje zapřažený třetí bod i při přepravě díky sklopení tříbodového závěsu dělené závěsné hlavy, která je znázorněna na obrázku 5.9. Poté se pluh automaticky odjistí a jeho vlastnosti při přejezdu jsou jako u jednoosého přívěsu. Po přestavení z přepravního pracovního režimu do orebního pracovního režimu je díky ISOBUS pluh automaticky nastaven pro potřeby orby (Fuka, 2017).



Obrázek 5.9: *Dělená závěsná hlava (Fuka, 2017)*

Třetí pracovní režim

Třetí pracovní režim pluhu má za úkol připojení a zapojení pluhu k tažnému zařízení. V tomto procesu se pluhový závěs automaticky srovná do rovné polohy s podložkou, aby se zajistilo bezpečné a pohodlné zapřažení (Fuka, 2017).

Čtvrtý pracovní režim

Ve čtvrtém pracovním režimu se pluh přenastaví do takové pracovní polohy, aby pracovalo pouze poslední orební těleso a ve spojení s GPS vybavením vytvořilo brázdou, která je ve stejné vzdálenosti od kraje pozemku. Tento systém umožní obsluhu stroje snadné a přesné vyorávání pluhu na souvrati (Fuka, 2017).

6 Hnojení v precizním zemědělství

6.1 Variabilní aplikace při zásobním hnojení

Tato metoda aplikace je nejsnazší, pokud jde o variabilitu. V rámci tohoto systému jsou živiny, jako fosfor, draslík, hořčík a vápník, přidávány do půdy, což platí i pro konvenční zemědělství. Tento způsob hnojení má také další využití v rámci různých systémů hospodaření a nachází uplatnění při vápnění obdělávaných ploch. Pomocí tohoto postupu lze ovlivnit pH půdy. Rozptyl aplikace v tomto systému je zajištěn rozmetadlem pro anorganická hnojiva, které disponuje zařízením umožňujícím plynulou úpravu množství aplikační dávky během provozu na obdělávané ploše. (Brant et al., 2020).

Při tvoření aplikační mapy, se jako podklad používá mapa zásobenosti danými živinami. Tyto mapy nám následně prozradí přesná místa, kde je nízká nebo vysoká koncentrace dané živiny. Vytvoření mapy provádí společnosti zabývající se agrochemickým testováním půd. Tyto společnosti nám poté na základě výsledků dodají aplikační mapu, podle které budeme řídit hnojení na pozemku. Existují dva způsoby, podle kterých bychom se měli řídit při stanovování základní dávky. Prvním způsobem je nastavení základní dávky podle reálného zjištěného deficitu prvků v půdě. Druhým způsobem je nastavení základní dávky podle finančních možností podniku vložených do hnojiv (Brant et al., 2020).

Při zkoumání těchto map můžeme zjistit, že na místech s vysokými výnosy, chybí nejvíce živin, které bychom následně do půdy dostali. Ovšem tento jev má logické vysvětlení. Z důvodu vysokých výnosů odchází z půdy nejvíce živin a pokud provádíme plošnou aplikaci hnojiva, dochází k přehnojování málo produkčních míst a nedohnojení vysokoprodukčních míst. Tímto postupem bychom na svém pozemku nechali vzniknout výživové depresi (Brant et al., 2020).

Aby uživatel předešel této situaci, je vhodné využít systémy variabilního hnojení. V případě variabilního hnojení bude aplikován diferencovaný přístup na různých částech hnojené plochy. Je nezbytné správně nastavit aplikační mapu tak, aby na místech s nedostatečným obsahem živin došlo k jejich zvýšení, a naopak na místech s nadbytkem živin došlo k jejich snížení, nebo dokonce úplnému vynechání aplikace na místech s velmi vysokým obsahem živin. Díky tomuto systému se dosáhne vyrovnání výnosu na celé hnojené ploše (Brant et al., 2020).

Jak je již uvedeno v předchozí části, pro variabilní aplikaci je jediným požadavkem na rozmetadlo řízení aplikační dávky při práci. U výrobců je tento systém u nových rozmetadel standartním vybavením a díky možnosti nahrání aplikační mapy do příslušného terminálu je možná variabilní aplikace právě podle této mapy. Aplikační mapu je v dnešní době možno nahrát i do terminálu traktoru, ovšem za podmínky že využíváme systém ISOBUS, který zajistí komunikaci mezi traktorem a rozmetadlem (Brant et al., 2020).

Pokud toužíme po co nejpřesnější variabilní aplikaci hnojiv, není vhodné používat vícesložková hnojiva, protože se poté nemůžeme spolehnout na přesnost aplikace, kvůli nerovnoměrné zásobenosti živin na různých částech pozemku. To v praxi znamená, že není vhodné používat hnojiva typu NPK a jim podobné. Namísto toho je lepší používat jednosložková hnojiva (Brant et al., 2020).

6.2 Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv

Variabilní aplikace dusíku je u zemědělců prvním kontaktem se systémy precizního zemědělství, protože cena těchto hnojiv bývá vysoká a zemědělci se tím pádem poptávají po systémech v této oblasti nejčastěji. Nejjednodušším systémem pro variabilní hnojení dusíkem je tvorba aplikačních map z RVP map a následné stanovení základní dávky. Tento systém je využíván i při zásobním hnojení a je založen i na stejném principu (Brant et al., 2020).

Pokud je uživatel náročnější a přeje si vyšší účinnost a přesnost je možné využití online senzorů nebo používání dat z dálkového průzkumu země. Výhodou těchto systémů je aktuálnost informací oproti mapám RVP. Získávání takovýchto dat je založeno na snímání hnojeného území za pomoci bezpilotních prostředků neboli dronů, anebo používat snímky ze satelitů. Nevýhodou používání snímků ze satelitů oproti snímkům z dronů je možný výskyt oblaků nad zkoumaným pozemkem a z toho důvodu je nemožné následné použití snímků pro zemědělskou praxi (Brant et al., 2020).

Druhým a přesnějším způsobem pro získání informací o pozemku jsou cílené přelety dronů nad pozemkem. Tyto drony využívají širokospektrální kameru a díky ní je dron schopen snímat přesně ve chvíli, kdy uživatel potřebuje, a navíc ve větším rozlišení, než jaké mají snímky ze satelitu. Ovšem využívání dronů na větších plochách je v tuhle chvíli pomalý a finančně nákladný (Brant et al., 2020).

Poslední možností, jak skenovat pozemek pro následné variabilní hnojení je použití online senzorů umístěného přímo na traktoru nebo postřikovači. Tento senzor snímá během pohybu po pozemku stav porostu a podle získaných dat upravuje aplikační dávku. Princip ní je obdobný jako u dálkového průzkumu Země. U nových generací se již podařilo vyřešit nedostatky starších modelů jako byly náročná kalibrace nebo střídání světla a stínu. Do těchto senzorů je možné vložit i mapy RVP a tím pádem jsou schopny senzory zohlednit jak aktuální stav porostu, tak i dlouhodobý stav daného místa a tím pádem zvolit vhodnější aplikaci hnojiva. Tímto systémem se zamezuje zbytečnému vyhnojování neproduktivních částí pozemků (Brant et al., 2020).

Důležitým faktorem při variabilním hnojení je hodnocení výkonnosti jednotlivých bloků. Výkonnost jednotlivých bloků je založena na mapách RVP, které udávají relativní výkonnost daného místa. Tzn. že průměr jednotlivého pozemku je brán jako 100 procent a změny jsou oproti průměru zakresleny jako nárůst nebo pokles (Brant et al., 2020).

Dále je vhodné napsat shrnutí postupu stanovení dávky, která podle Brant et al. (2020) je následující:

- "výběr hnojiva vhodný pro danou plodinu a vegetační období
- *stanovení základní dávky (strategie, vývoj počasí, požadovaný výnos apod.)*
- *úprava základní dávky na základě kategorie pozemku*

- *úprava dávky dle mapy RVP*
- *úprava dávky dle skutečného stavu zjištěného plodinovým senzorem"*

Variabilní aplikace dusíku v praxi spočívá v osazení traktoru do zadního závěsu moderním rozmetadlem minerálních hnojiv a do předního tříbodového závěsu příslušným senzorem. V tomto případě byl v praxi použit traktor Case IH Maxxum 125 CVX a byl osazen senzorem CropXPlorer a odstředivým rozmetadlem Amazone 125 ZA-TS 4200, viz. obrázek 6.1 (Beneš, 2019a).



Obrázek 6.1: *Souprava pro variabilní hnojení minerálními hnojivy (Beneš, 2019a)*

Tento senzor, jak uvádí výrobce "*pracuje na principu měření technologie odrazivosti ve spektru červeného a blízkce červeného spektra tak, aby zajistil úroveň zásobení rostlin dusíkem. Senzor lze využívat pro homogenizaci porostu anebo k nalezení slabších míst (Beneš, 2019a).*"

Rozmetadlo Amazone ZA-TS 4200 je možné ovládat přes ISOBUS a má možnost ovládání až 128 sekcí. Variabilní dávkování hnojiva u tohoto stroje spočívá v tom, že výpadevový otvor se natáčí vůči rozmetacímu kotouči nezávisle na druhém otvoru. Nastavení variabilního i hraničního hnojení probíhá pouze v kabině traktoru na příslušné obrazovce. Konkrétní dávka, která by měla být použita na určitém místě pozemku se posílá do terminálu rozmetadla, díky elektronice senzoru CropXPlorer (Beneš, 2019a).

6.3 Variabilní aplikace statkových hnojiv

Variabilní aplikace tekutých statkových hnojiv je v dnešní době prozatím teoretické v rovině. Problémy s variabilní aplikací statkových hnojiv zahrnují nehomogennost aplikovaného materiálu, velké dávky a nepřesnost aplikace. Nicméně na trhu se v poslední době objevila nová technologie, která by mohla umožnit variabilní aplikaci. Jedním příkladem takového technologického zařízení je HarvestLab od společnosti John Deere, které je navrženo především k určení obsahu sušiny a dusíku při sklizni kukuřice. Toto zařízení je umístěno na sklízecí řezačce, ale lze ho též instalovat na aplikační jednotku, kde průběžně měří obsah dusíku v aplikovaném kapalném hnojivu a reguluje dávku prostřednictvím úpravy průtoku. Aby bylo možné tuto technologii využívat, je však nezbytné mít kompatibilní vybavení aplikační jednotky, které by dokázalo měnit dávku prostřednictvím úpravy průtoku (Brant et al., 2020).

Teoreticky by bylo možné realizovat variabilní aplikaci tuhých hnojiv na základě aplikačních map vytvořených podle mapy RVP a výsledků analýz aplikovaného materiálu. Avšak v praxi by tato technologie nebyla přesná kvůli nehomogenitě rozmetaného materiálu, a proto by se na ni nedalo spoléhat, i když by byla teoreticky proveditelná (Brant et al., 2020).

Rozmetadlo pro precizní aplikaci hnoje

Rozmetadlo pro precizní aplikaci statkových hnojiv v dnešní době využívá společnost Agroslužby Medera s.r.o. Výrobce tohoto rozmetadla je firma Annaburger s označením Teleliner HTS 22.79. Toto rozmetadlo je vybaveno hydraulicky odpruženou nápravou a ojí. Podvozek je vybaven pěti vážicími senzory, z toho čtyři senzory jsou umístěny na nápravách a pátý senzor je umístěn na oji rozmetadla. Díky těmto sensorům je možné upravovat rychlost podlahového dopravníku, díky měření okamžité hmotnosti naloženého materiálu a pojezdové rychlosti. Tímto systémem je zaručená přesná aplikační dávka, která u klasických rozmetadel nejde vždy přesně docílit díky rozdílné objemové hmotnosti materiálu. Variabilní dávka je možná i díky systémům precizního zemědělství jakými jsou aplikační mapy a tento stroj je schopen podle těchto map pracovat a zaručit přesnější dávku, nežli by bylo dosažené ze systému vážicích senzorů (Jedlička, 2019).

Dalším systémem moderního rozmetadla pro aplikaci statkových hnojiv jsou nízkotlaké pneumatiky s ventilky pro změnu tlaku, tato výbava je znázorněna na obrázku 6.2. Tímto systémem se zaručí snížení utuženosti půdy po přejezdu (Jedlička, 2019).



Obrázek 6.2: *Nízkotlaké pneumatiky s ventilky pro změnu tlaku (Jedlička, 2019)*

Aplikační ústrojí u tohoto rozmetadla se skládá ze třech frézovacích válců s vyměnitelnými noži dvou rozmetacích kotoučů se šesti lopatkami. Dalším prvkem aplikačního ústrojí rozmetadla je clona pro hraniční hnojení, viz. obrázek 6.3, která zabezpečí přesnou aplikaci tuhých hnojiv na souvratích pozemku (Jedlička, 2019).



Obrázek 6.3: *Rozmetací ústrojí vybavené clonou pro hraniční hnojení (Jedlička, 2019)*

Mezi možnosti nastavení aplikace patří přestavení lopatek na rozmetacím stole, které nám změní úhel odhozu a nastavení spodní části zadního čela, které změní dopad materiálu na rozmetací kotouče. Kombinace těchto parametrů mají vliv na šířku záběru a rozmetací obrazec (Jedlička, 2019).

Rozmetadlo je ISOBUS kompatibilní to znamená, že je možné ho ovládat přes dotykový tablet umístěný v kabině traktoru. Na obrazovce tabletu je tedy možné vidět základní parametry jako je aktuální rychlost podlahového dopravníku, aktuální hmotnost nákladu v rozmetadle, pojezdová rychlost, aplikační dávka, aplikované množství atd (Jedlička, 2019).

Aplikátor pro precizní aplikaci kejdy

V tomto případě byl v praxi použit traktor John Deere ze série 6R, za který byla připojena cisterna od firmy Fliegl s objemem 18 000 litrů, viz. obrázek 6.4 (Beneš, 2018).



Obrázek 6.4: Aplikátor kejdy Fliegl se šnekovým rozdělovačem (Beneš, 2018)

Cisterna byla vybavena šnekovým rozdělovačem Garant, který se používá pro pod-povrchovou aplikaci. Záběr stroje byl 15 metrů. Dalším bodem výbavy byl tandemový podvozek s řízenou zadní nápravou a s pneumatikami o velkém průměru. V neposlední řadě byl stroj vybaven průtokoměrem se systémem FlowControl, který posílal informace o množství hnojiva procházející cisternou do řídicí jednotky cisterny. Ovládání stroje probíhalo prostřednictvím ISOBUS (Beneš, 2018).

Pokyny pro obsluhu jsou v tomto případě jednoduché. Jediný parametr, který obsluha musí nastavit je požadovaná dávka na hektar a řídicí systém cisterny poté posílá informace traktoru o změně rychlosti jízdy, aby byla zachována požadovaná dávka (Beneš, 2018).

Ovšem v předchozím případě nezajistíme plnou přesnost hnojení podle potřeb pozemku, ale díky systému HarvestLab, je možné mluvit o přesné aplikaci, protože tento systém je schopen vyhodnocovat obsah dusíku, fosforu, draslíku, amonného dusíku a sušiny v kejďe a s frekvencí měření 4000krát za sekundu. Kejda není homogenní hnojivo, a proto je vhodné využívat pro přesnou aplikaci právě systém HarvestLab, který dokáže zajistit rovnoměrnou dávku dusíku. Požadavek na obsluhu takového stroje je nastavení požadované dávky dusíku na hektar a poté systém bude vyhodnocovat potřebné změny rychlosti soupravy pro přesnou aplikaci. Ovšem je i důležité v systému nastavit i ostatní hodnoty živin obsažených v kejďe, jinak by mohl docházet k překročení potřebné dávky právě těchto živin (Beneš, 2018).

Dalším systémem využívaným pro přesnou aplikaci živin je systém kombinující senzor HarvestLab a terminál CommandCenter čtvrté generace. Díky tomuto terminálu jsme schopni zjistit jakou dávku a na jakém místě se aplikace prováděla (Beneš, 2018).

Variabilní aplikace kejdy podle senzoru Isaria

V praxi, se již objevil i systém využívající senzor od firmy Isaria a cisternu od firmy Zunhammer vybavenou NIR senzorem pro sledování složení aplikovaného materiálu 6.5. Tento systém je schopen díky senzoru osazeném v předním závěsu traktoru monitorovat výživový stav porostu. Tyto data zaznamenával systém VAN Control a společně NIR systémem obsaženým právě v aplikátoru, upravoval variabilně dávku podle potřeb porostu (Karásková, 2018b).



Obrázek 6.5: *Souprava aplikátoru kejdy se senzorem Isaria (Karásková, 2018b)*

7 Diskuze

Jak je z obsahu mé bakalářské práce patrné, systémy precizního zemědělství jsou v dnešní době na velmi vysoké úrovni, co se týče možností využití. Nevýhodou systémů precizního zemědělství je jejich vysoká počáteční pořizovací cena, ovšem při správném používání a využití systémů precizního zemědělství se nám zefektivní a v určitých případech i zlevní procesy zemědělské výroby, např. snížení pojezdů po pozemku, nižší aplikační dávka hnojiv nebo postřiků na ochranu rostlin a tak dále. V další části diskuze se budu zabírat hlavním problémem systémů precizního zemědělství, který v dnešní době na drtivé většině podniků převládá.

Hlavním problémem systémů precizního zemědělství je jejich implementace do zemědělské praxe. Z té je známo, že majoritním důvodem, proč se systémy precizního zemědělství v dnešní době neobjevují u více zemědělců, je absence kvalifikovaného pracovníka, který by se v zemědělském podniku právě těmto systémům věnoval.

V dnešní době práci s těmito systémy přebírá ředitel společně s agronomem a mechanizátorem, což v praxi není vhodné řešení, z důvodu vysoké časové náročnosti na zpracování a zhodnocování dat ze všech systémů precizního zemědělství, které podnik využívá nebo by mohl využívat. Z tohoto důvodu jsou dnes vedoucí pracovníci zahlceni celou řadou informací plynoucích z těchto systémů a následně nemají dostatek času pro svou vlastní práci anebo nejsou schopni správně zpracovat data, které nám systémy precizního zemědělství nabízejí.

Vhodným řešením tohoto problému by bylo, vytvořit novou pracovní pozici, která by zahrnovala práci s daty ze systémů precizního zemědělství. Tím by se mohli ostatní vedoucí pracovníci věnovat svým povinnostem a byla by i záruka správného zhodnocení dat, které plynou ze systémů precizního zemědělství. Následně by se tento pracovník podílel na vytváření plánu prací v podniku společně s ředitelem, agronomem, mechanizátorem a dalšími vedoucími pracovníky. Důležitým bodem náplně práce tohoto pracovníka by byla i následná komunikace s agronomem, mechanizátorem a dalšími vedoucími pracovníky, pro zefektivnění prací prováděných na pozemcích, nebo objasnění určitých anomálií, ke kterým může na pozemcích docházet.

Příkladem z praxe může být podnik, který si každoročně platí za analýzu půdy na svých obhospodařovaných pozemcích. Ovšem díky absenci kvalifikovaného pracovníka, který by v podniku následně data zpracoval, správně zhodnotil a mohl díky nim navrhnout vhodné technologie pro práci na pozemcích, jsou finanční prostředky využívané pro analýzu půd naprosto zbytečně utracené.

Závěr

Závěrem této bakalářské práce lze s jistotou konstatovat, že systémy precizního zemědělství přináší mnoho výhod nejen pro zemědělce, ale i pro samotné spotřebitele a v neposlední řadě i pro životní prostředí. Díky cílenému a systémovému využívání technologií precizního zemědělství je možné nejenom zvýšit úrodu pěstovaných plodin, ale i významně snížit náklady na samotnou produkci potravin.

Díky široké škále využití systémů precizního zemědělství a jejich přítomnosti ve všech procesech rostlinné výroby (od přípravy půdy až po sklizeň), mají jejich uživatelé zlepšené výrobní procesy, a to se pozitivně projevuje v následném výnosu pěstovaných plodin, ale také v ekologičnosti celé výroby, tzn. minimalizování dopadů negativních vlivů na životní prostředí. Do této kategorie patří například znečištění vody, znečištění půdy a znečištění ovzduší.

Vzhledem k masivnímu nárůstu počtu lidí na planetě v posledních letech, je význam precizního zemědělství stále větší. Potřeba zvýšit produkci potravin, pro uspokojení potřeb všech obyvatel planety Země, při současném snižování negativních dopadů na životní prostředí představuje velkou výzvu, na kterou je nutné se zaměřit. Precizní zemědělství je jedním z řešení, které přináší inovativní přístupy v tradičním zemědělství.

Vzhledem k tomu, že precizní zemědělství je relativně novým přístupem v zemědělství, existuje stále mnoho oblastí, které je nutné dále prozkoumat a rozvíjet. Mezi tyto oblasti patří například vývoj nových technologií, zlepšování datových analýz, optimalizace využívání zdrojů a zlepšování komunikace a spolupráce mezi zemědělci a výrobci technologií.

Další významnou otázkou je dostupnost a přístupnost precizních zemědělských technologií pro menší zemědělské podniky. Zatímco velké zemědělské podniky mohou investovat do nákladných technologií a využívat výhod, které přináší precizní zemědělství, menší podniky se s těmito náklady často nedokážou vyrovnat. Proto je důležité, aby se vývoj precizních technologií zaměřoval také na zlepšování dostupnosti a přístupnosti pro menší zemědělské podniky.

Nevýhodou dnešních systémů precizního zemědělství jsou nároky na správné a cílené zavedení těchto technologií do běžné zemědělské výroby. Do této kategorie s jistotou patří absence kvalifikovaných pracovníků v zemědělství, kteří by zpracovávali a správně využívali data, které nám systémy precizního zemědělství poskytují.

Významným bodem při využívání systémů precizního zemědělství je nutnost věřit prováděným operacím na pozemcích, protože v praxi i přes vhodně zvolenou technologii, se požadovaný efekt nemusí pokaždé dostavit okamžitě, ale může se pozitivně projevit až po určitém časovém období.

V závěru bych chtěl zdůraznit, že precizní zemědělství není jen technologií, ale také přístupem k zemědělství, který vychází z přesného poznání potřeb rostlin a zvířat. Výhody,

které přináší, jsou mnohostranné a díky nim je možné zlepšit kvalitu produkováných potravin, zvýšit efektivitu a udržitelnost zemědělství a přispět k ochraně životního prostředí.

Seznam použitých zdrojů

- Adamčík, O. (2019). Cesta k řešení větrné a vodní eroze pomocí půdoochranné technologie. *Mechanizace zemědělství: Precizní zemědělství*, 69(2):62–63.
- Agri-precision (2018). TOPSOIL Mapper - regulace hloubky podryvání. [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.agri-precision.cz/aktuality/101-topsoil-mapper2>.
- Agrofert, a. (2023). Mechanizace (Evidence vozidel). [cit. 2023-12-29]. Dostupné z: interní zdroj.
- Beneš, J. (2018). Počátky zemědělství ve Starém světě. *The origins of agriculture in the ancient world*. České Budějovice.
- Beneš, P. (2018). Novinky v oblasti navigací. *Mechanizace zemědělství: Postřikovače*, 68(12):72–73.
- Beneš, P. (2019a). Hospodařit precizně a efektivně. *Mechanizace zemědělství: Precizní zemědělství*, 69(5):74–75.
- Beneš, P. (2019b). Konference poukázala na problémy. *Mechanizace zemědělství: Zpracování půdy a setí*, 69(2):64–65.
- Brant, V., Kroulík, M., Křeček, V., Krása, J., Kapička, J., Hamouz, P., Lukáš, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Škeřík, J., Job, Z., Lang, J., a Petrus, D. (2020). *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. Kurent, s.r.o., České Budějovice, 1st ed. edition.
- CleverFarm (2023). App.cleverfarm.cz. [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://app.cleverfarm.cz/farm/41875800322287873/map>.
- CZEPOS (2021). Sít' permanentních stanic GNSS České Republiky. [online]. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <http://czepos.cuzk.cz/specifikace.aspx>.
- eAgri (2022). eAgri Půda. [online]. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/puda/aplikace-mapove-podklady/mapy/>.
- Fotodoma (c2023). Kopretina starčekolistá. [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <http://www.fotodoma.cz/rostliny-plantae/kopretina-starckolista/>.
- Fuka, V. (2017). Chytré stroje na zpracování půdy. *Mechanizace zemědělství: Zpracování půdy a setí*, 67(2):82–84.

- GB-geodezie (2023). TopNET. [online]. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <http://www.gb-geodezie.cz/pageid=107>.
- Hamouz, P. (2014). Metody regulace zaplevelení pro precizní zemědělství. [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://metodiky.agrobiologie.cz/PDF/KAB/METODY-REGULACE-ZAPLEVELENI-PRO-PRECIZNI-ZEMEDELSTVI.pdf>.
- Harašta, P. (2019). Články. [online]. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/zemedelske-trysky-standardni-nebo-protiuletove>.
- Holec, J., Poláková, J., Černý, J., Čítek, J., Čítková, D., Dvořák, P., Faměra, O., Hamouz, P., Hnilička, F., Janošíková, M., Kohout, P., Kouřimská, L., Kožnarová, V., Matula, S., Pazderů, K., Penízek, V., Ptáček, M., Pulkrábek, J., Rajmon, R., Sabolová, M., Soukup, J., Tyšer, L., Urban, J., Vaněk, A., Zádorová, T., a Zita, L. (2019). *Zemědělství a potraviný*. Profi Press s.r.o., Praha, 1st ed. edition.
- Jedlička, M. (2019). Variabilní aplikace tuhých hnojiv dobývá Česko. [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/variabilni-aplikace-tuhych-hnojiv-dobyva-cesko-na-organickou-hmotu-se-casto-zapomina-rika-majitel-agrosluzeb>.
- Jedlička, M. (2021). Precizně odstraní plevel i při vysoké rychlosti. Plečka Steketee EC-Weeder využívá pokročilý kamerový systém. [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/precizne-odstrani-plevel-i-pri-vysoke-rychlosti-plecka-steketee-ec-weeder-vyuziva-pokrocily-kamerovy-system>.
- Karásková, M. (2018a). Aplikační technika pro ochranu rostlin. *Mechanizace zemědělství: Postřikovače*, 68(12):40–41.
- Karásková, M. (2018b). Novinky v rodině senzorů Isaria. *Mechanizace zemědělství: Postřikovače*, 68(12):63.
- Káčmařík, M. (2019). Úvod do oblasti zpracování přesných GNSS měření. [online]. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/113165319-Uvod-do-oblasti-zpracovani-presnych-gnss-mereni-ing-michal-kacmarik-ph-d-pokrocile-metody-zpracovani-gnss-mereni-prednaska-1.html>.
- Kroulík, M., Brant, V., Zábranský, P., a Škeříková, M. (2019). *Implementace navigačních technologií a aplikací s podporou GPS*. Agrární komora České republiky, Praha.
- LeadingFarmers (2021). MOBILNÍ SENZOROVÁ PLATFORMA VERIS MSP3. [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/mobilni-senzorova-platforma-msp3>.
- Lom, F. (1977). *Ekonomika osevních postupů*. Praha.
- Más, F. R., Zhang, Q., a Hansen, A. C. (2010). *Mechatronics and intelligent systems for off-road vehicles*. Springer Science & Business Media.

- Molák, F. (2019). ZTRÁTY V POTRUBÍ PŘI PŘEČERPÁVÁNÍ KONDENZÁTU A JEJICH VLIV NA PRACOVNÍ BOD KONDENZÁTNÍHO ČERPADLA. [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/wwwbase/zavpracessouborverejne.php?fileid=190003>.
- Mádl, V. (2021). SUMO DD. [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.agrics.cz/traktory/zpracovani-pudy-a-seti/seci-stroje/sumo-dd>.
- Mádl, V. (2022a). Agronomický systém, který má smysl. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: interní zdroj.
- Mádl, V. (2022b). POROSTY zaseté secím strojem SUMO DTS. [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.agrics.cz/porostyds>.
- Neubauer, K. (1989). *Stroje pro rostlinnou výrobu 719*, p. SZN, Praha.
- Olšan, I. (2021). Postřikovací technika AGRIO. [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.agrio.cz/share/download/prospekty/brochury-2021/552.pdf>.
- Walterová, J. a Ondráková, K. (2022). Ruční GNSS a drony v zemědělství. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: interní zdroj.
- Řehák, V., Harašta, P., Hnízdil, M., Kocourek, F., Nedělník, J., Prokinová, E., Raškovský, V., Stejskal, V., a Zahradník, P. (2022). *Rostlinolékařství v kostce*. Česká společnost rostlinolékařská, z. s. Praha, Praha, 1st edition.
- Říha, J. (2014). Moderní přístrojová technika. [online]. [cit. 2023-01-06]. Dostupné z: <https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf>.
- Štroner, M. (2022). Globální navigační satelitní systémy (GNSS). [online]. [cit. 2024-01-13]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/wp-content/uploads/2022/01/GNSSobs.pdf>.

Seznam obrázků

3.1	Zobrazení pohybu strojů (CleverFarm, 2023)	13
3.2	Přehled jízd stroje (CleverFarm, 2023)	14
3.3	Atomové hodiny (Walterová a Ondráková, 2022)	17
3.4	Sít' referenčních stanic Trimble VRS Now Czech (Walterová a Ondráková, 2022)	18
3.5	Sít' referenčních stanic CzePOS (CZEPOS, 2021)	18
3.6	Sít' referenčních stanic TopNET (GB-geodezie, 2023)	19
3.7	Půdy ohrožené vodní erozí v ČR (eAgri, 2022)	20
3.8	Půdy ohrožené větrnou erozí v ČR (eAgri, 2022)	21
3.9	Schéma CTF technologie se systémem ComTrac (Kroulík et al., 2019)	22
3.10	Schéma CTF technologie se systémem TwinTrac (Kroulík et al., 2019)	23
3.11	Schéma CTF technologie se systémem AdTrac (Kroulík et al., 2019)	23
3.12	Schéma CTF technologie se systémem OutTrac (Kroulík et al., 2019)	23
3.13	Schéma CTF technologie se systémem HalfTrac (Kroulík et al., 2019)	24
3.14	Mapa relativního výnosového potenciálu (Brant et al., 2020)	25
3.15	Záznam otáček motoru při orbě (Kroulík et al., 2019)	25
3.16	Záznam rychlosti traktoru při orbě (Kroulík et al., 2019)	26
3.17	Záznam spotřeby paliva při orbě (Kroulík et al., 2019)	26
3.18	Mobilní sensorová platforma Veris MSP (LeadingFarmers, 2021)	26
3.19	Senzor Topsoil Mapper (Agri-precision, 2018)	27
3.20	Dron eBee SQ (Walterová a Ondráková, 2022)	28
3.21	Výnosová mapa vytvořená vegetačním indexem NDVI (Walterová a Ondráková, 2022)	28
3.22	Senzor Parrot Sequoia+ (Walterová a Ondráková, 2022)	29
4.1	Kopretina starčkolistá (Fotodoma, 2023)	32
4.2	Zjednodušené schéma postřikovače (Neubauer, 1989)	33
4.3	Membránové čerpadlo (Molák, 2019)	34
4.4	Ultrazvukový senzor zajišťující konstantní výšku nad porostem (Karásková, 2018a)	34
4.5	Barevné označení trysek podle průtočnosti (Karásková, 2018a)	35
4.6	Schéma injektorové trysky (Harašta, 2019)	35
4.7	TANK-Control 3 (Olšan, 2021)	36
4.8	Systém Stop-spray ISOBUS (Olšan, 2021)	37
4.9	Anténa D-GPS GLONASS SMART 6L (Olšan, 2021)	37
4.10	Systém SELEJET (Olšan, 2021)	38
4.11	Systém CURVE-Control (Olšan, 2021)	38

4.12	System MULTI-Rate (Olšan, 2021)	39
4.13	Systémy DC-TOP (Olšan, 2021)	39
4.14	Kamerový systém IC-Light (Jedlička, 2021)	40
5.1	Strip-till technologie setí pomocí stroje SUMO DTS do předem nezpracované půdy (Mádl, 2022a)	42
5.2	Paralelogram (Mádl, 2021)	42
5.3	Detailní pohled na zadní část secího stroje SUMO DTS (Mádl, 2022a)	43
5.4	Výsevní ústrojí ORGA (Mádl, 2021)	44
5.5	Čistící disk pro přípravu výsevní drážky (Mádl, 2021)	45
5.6	Výsevní botky (Mádl, 2021)	45
5.7	Zahrnující ozubený kovový disk (Mádl, 2021)	46
5.8	Pluh Kverneland 2500 i-plough při práci (Fuka, 2017)	47
5.9	Dělená závěsná hlava (Fuka, 2017)	47
6.1	Souprava pro variabilní hnojení minerálními hnojivy (Beneš, 2019a)	50
6.2	Nízkotlaké pneumatiky s ventilky pro změnu tlaku (Jedlička, 2019)	51
6.3	Rozmetací ústrojí vybavené clonou pro hraniční hnojení (Jedlička, 2019)	51
6.4	Aplikátor kejdy Fliegl se šnekovým rozdělovačem (Beneš, 2018)	52
6.5	Souprava aplikátoru kejdy se senzorem Isaria (Karásková, 2018b)	53

Seznam tabulek

2.1	Vývoj počtu obyvatel na Zemi (Holec et al., 2019)	11
3.1	Procentní zastoupení osazených energetických strojů oproti všem energetickým strojům v rámci všech českých zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023)	15
3.2	Procentní zastoupení osazených energetických strojů oproti všem energetickým strojům bez započtení přenosných GPS jednotek a nezemědělských strojů v rámci zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023)	15
3.3	Procentní zastoupení osazených traktorů v kategorii od 200 kW výkonu a větší oproti všem traktorům v kategorii 200 kW výkonu a větší v rámci zemědělských prvovýrob společnosti Agrofert (Agrofert, 2023)	16
3.4	GNSS ve světě (Walterová a Ondráková, 2022)	16
3.5	Dron eBee SQ (Walterová a Ondráková, 2022)	29