

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra zemědělských strojů**



# **Diplomová práce**

**Hodnocení úrovní sekční kontroly postřikovačů a  
selektivních aplikací na úsporu prostředků na ochranu  
rostlin**

**Bc. Jan Slanec**

© 2024 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Slanec

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Hodnocení úrovní sekční kontroly postřikovačů a selektivních aplikací na úspory prostředků na ochranu rostlin**

Název anglicky

**Evaluation of sectional sprayer boom control and selective applications for savings in plant protection products**

### Cíle práce

Cílem práce bude porovnat úsporu prostředků na ochranu rostlin při použití rozdílně velkých sekcí ramen postřikovačů, včetně hodnocení selektivních aplikací. V práci bude rovněž hodnocen vliv tvaru pozemku nebo půdního bloku na úroveň překryvů a opakovaného ošetření ploch.

### Metodika

V práci bude využito telematických záznamů provozních údajů postřikovačů, na základě kterých bude hodnocena úroveň opakovaného ošetření plochy při výjezdu a nájezdu do pracovního záběru postřikovače. Hodnocení bude vypracováno na základě technického řešení a úrovně sekčních kontrol postřikovače a rovněž tvaru pozemků nebo půdních bloků. Pro selektivní aplikace budou využívány podkladové mapy získané s využitím dat z bezpilotních prostředků. Po každé aplikaci bude stanoveno množství aplikovaných prostředků, plocha pokrytí a bude stanovena úroveň úspory přípravků.

Osnova

1. Vypracování literárního přehledu na uvedené téma.
2. Vypracování podrobné metodiky měření.
3. Definování možných typů sekční kontroly ramen postřikovače a teoretický předpoklad úspor pro rozdílné úhly výjezdů postřikovačů na souvratích.
4. Praktické měření a pořizování záznamů práce postřikovačů.
5. Příprava podkladů a realizace selektivních aplikací.
6. Hodnocení úrovně překryvů a úspor pro varianty sekčních kontrol ramen postřikovačů
7. Hodnocení dopadů rozdílných úhlů trajektorií jízd vůči souvratím na úsporu přípravků.
8. Ekonomické zhodnocení, vycházející z naměřených hodnot.
9. Diskuse.

10. Závěr.



**Doporučený rozsah práce**

50 až 60 stran včetně tabulek, obrázků a grafů

**Klíčová slova**

Přípravky na ochranu rostlin; překryvy; optimalizace; mapování; lokálně cílené zásahy

**Doporučené zdroje informací**

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

**Předběžný termín obhajoby**

2023/2024 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 20. 2. 2023

**prof. Dr. Ing. František Kumhála**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hodnocení úrovní sekční kontroly postřikovačů a selektivních aplikací na úsporu prostředků na ochranu rostlin" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2024

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing Milanovi Kroulíkovi, Ph.D. za odborné vedení této práce a za poskytnutí důležitých rad a znalostí při jejím vypracování. Dále bych chtěl poděkovat společnostem ZD Krásná Hora, Statek Chyšé s.r.o., ASTUR Straškov a.s. a STROM Praha a.s. za umožnění výzkumu a poskytnutí telematických dat.

# **Hodnocení úrovní sekční kontroly postřikovačů a selektivních aplikací na úsporu prostředků na ochranu rostlin**

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením úrovní sekční kontroly postřikovačů a selektivních aplikací s cílem optimalizace používání prostředků na ochranu rostlin. Velmi obsáhlou a důležitou částí této práce je obecné představení aplikační techniky a technologií s ní spojených, sekční kontroly, variabilních a lokálně cílených aplikací, dálkového průzkumu země a v neposlední řadě precizního zemědělství a greendealu. Důvodem detailního popisu těchto částí a technologií je přiblížení a rozšíření problematiky čtenáři. Dále jsou představeny a zvoleny metody pro posuzování reakční doby sekční kontroly, regulace dávky postřikové kapaliny v zatačkách a páskové aplikace. V praktické části práce jsou zároveň použita telematická provozní data, která slouží k vzájemnému porovnání různých velikostí sekcí. Součástí je i hodnocení selektivní aplikace, kdy potřebné pokladové materiály jsou získány pomocí bezpilotních prostředků. Poslední část diplomové práce je věnována ekonomickému zhodnocení sekční kontroly a jejímu porovnání se selektivní aplikací.

**Klíčová slova:** Přípravky na ochranu rostlin, překryvy, optimalizace, mapování, lokálně cílené zásahy



# **Evaluation of the levels of section control of sprayers and selective applications on plant protection product savings**

## **Abstract**

This thesis deals with the evaluation of the levels of section control of sprayers and selective applications to optimize the use of plant protection products. A very comprehensive and important part of this thesis is the general introduction of application technology and the technologies associated with it, sectional control, variable and locally targeted applications, remote ground sensing and finally precision agriculture and greendeal. The reason for the detailed description of these sections and technologies is to introduce and expand the reader to the subject matter. Furthermore, methods for assessing the reaction time of sectional control, controlling the spray liquid dose in curves and band applications are introduced and selected. In the practical part of the work, telematic operational data are also used to compare different section sizes with each other. It also includes an evaluation of selective application, where the necessary treasure materials are obtained by unmanned means. The last part of the thesis is devoted to the economic evaluation of sectional control and its comparison with the selective application.

**Keywords:** Plant protection products, overlays, optimization, mapping, locally targeted interventions

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>13</b>
	<b>Cíl práce a metodika</b> .....	<b>15</b>
1.1	Cíl práce .....	15
1.2	Metodika .....	15
<b>2</b>	<b>Teoretická východiska</b> .....	<b>18</b>
2.1	Aplikační technika .....	18
2.1.1	Vývoj aplikační techniky.....	18
2.1.2	Aplikační technika využitelná pro selektivní aplikace.....	19
2.1.3	Využití GNSS.....	20
2.1.4	Technologie Curve-Control.....	22
2.1.5	Protiúletové systémy .....	22
2.1.6	Systémy on-the-go.....	23
2.2	Sekční kontrola .....	24
2.2.1	Princip sekční kontroly.....	25
2.2.2	Základní pojetí tvarů pozemků a půdních bloků .....	27
2.3	Selektivní aplikace .....	27
2.3.1	Páskový postřik .....	28
2.4	Dálkový průzkum Země.....	30
2.4.1	Družice .....	31
2.4.2	Volně dostupné satelitní systémy .....	32
2.4.3	Komerční satelitní systémy .....	33
2.4.4	Bezpilotní prostředky .....	33

2.5	Zpracování a analýza dat.....	35
2.5.1	Fotogrammetrie .....	35
2.5.2	Spektrální analýza .....	36
2.6	Precizní zemědělství.....	37
2.7	Greendeal .....	38
<b>3</b>	<b>Vlastní práce .....</b>	<b>40</b>
3.1	Úroveň pokryvnosti při zapínání / vypínání ventilů .....	40
3.1.1	Samojízdný postřikovač – rychlost 15 km/h .....	40
3.1.2	Samojízdný postřikovač – rychlost 25 km/h .....	42
3.1.3	Tažený postřikovač – rychlost 15 km/h.....	44
3.1.4	Tažený postřikovač – rychlost 25 km/h.....	46
3.2	Regulace v zatáčkách .....	48
3.2.1	Bez regulace v zatáčkách.....	49
3.2.2	S regulací v zatáčkách .....	50
3.3	Pásková aplikace .....	51
3.4	Porovnání velikosti sekcí .....	53
3.4.1	Farma 1 – individuální ovládání trysek.....	53
3.4.2	Farma 1 – ovládání jednotlivých sekcí.....	54
3.4.3	Farma 2 – individuální ovládání trysek.....	55
3.4.4	Farma 2 – ovládání jednotlivých sekcí.....	56
3.5	Selektivní aplikace .....	57
3.6	Ekonomické zhodnocení .....	61
3.6.1	Ekonomika sekční kontroly.....	61
3.6.2	Ekonomika selektivní aplikace.....	62
	Závěr.....	63

<b>4</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>65</b>
----------	-------------------------------------	-----------

# 1 Úvod

V dnešní době, kdy roste potřeba zabezpečit dostatek potravin pro stále rostoucí světovou populaci, je kladen stále větší důraz na efektivní a udržitelné metody v zemědělství. Ochrana rostlin před škůdci, chorobami a konkurenčními rostlinami je jedním z klíčových faktorů, které ovlivňují úrodu a kvalitu plodin. Nicméně tradiční metody aplikace pesticidů a herbicidů, které často spočívají v plném pokrytí pole, mohou být nákladné a zároveň přinášet negativní dopady na životní prostředí a lidské zdraví.

V tomto kontextu se sekční kontrola postřikovačů a selektivní aplikace jeví jako inovativní přístup k aplikaci chemických prostředků na ochranu rostlin, který slibuje optimalizaci využití agrochemikálií a minimalizaci environmentálního dopadu. Namísto tradičního přístupu, kdy jsou chemikálie aplikovány rovnoměrně na celé pole, sekční kontrola umožňuje aplikovat prostředky na ochranu rostlin pouze na určité části pole, kde jsou skutečně potřebné, anebo různé dávky postřikové kapaliny v různých částech pozemku. Selektivní aplikace pak cíleně aplikuje chemikálie pouze na cílové rostliny, čímž minimalizuje nežádoucí účinky na ostatní rostliny a životní prostředí.

Tyto technologie aplikace chemických prostředků v zemědělství otevírají cestu k efektivnějšímu a udržitelnějšímu využití agrochemikálií, což má pozitivní dopad jak na ekonomiku zemědělství, tak i na životní prostředí a lidské zdraví. Tato diplomová práce se zaměřuje na detailní zkoumání a hodnocení různých aspektů sekční kontroly postřikovačů a selektivních aplikací, s cílem poskytnout komplexní přehled o stavu a perspektivách využití těchto inovativních metod v praxi.

Nejprve se práce zabývá teoretickými východisky, kde pojednává o problematice aplikačních techniky, jejímu vývoji a technologiím s tím spojených. Popisována je sekční kontrola, její historie, vývoj a typy. Na to navazuje téma variabilních a lokálně cílených aplikací včetně páskových aplikací. V závěru teoretické části je řešena problematika dálkového průzkumu země, získávání dat pomocí satelitních systémů či bezpilotních

prostředků a jejich zpracování a analýza. Zahrnuto je též téma precizního zemědělství a greendealu.

V druhé části se práce zaměřuje na hlavní cíle práce, tedy na získání telematických provozních dat z aplikačních postřikovačů a jejich následné zanalyzování. Následně jsou mezi sebou porovnány aplikace s rozdílnými velikostmi sekcí. Závěrem se práce zabývá ekonomickým zhodnocením právě sekční kontroly a selektivní aplikace, kdy jsou spočteny a porovnány ekonomické úspory pro jednotlivé typy aplikace.

# **Cíl práce a metodika**

## **1.1 Cíl práce**

Hlavním cílem této diplomové práce bude na základě získaných telematických a provozních dat porovnat úsporu prostředků na ochranu rostlin při použití rozdílně velkých sekcí aplikačních ramen postřikovačů a do porovnání bude zahrnuto i použití technologie lokálně cílených aplikací. Zároveň budou hodnoceny i další parametry spjaté s tématem precizní aplikace a úspory prostředků na ochranu rostlin, jako například reakční doba ventilů ovládajících sekční kontrolu či jednotlivé trysky, regulace dávky postřikové kapaliny při průjezdu zatáčkami a páskové aplikace. Dílčím cílem práce bude seznámit čtenáře s teoretickými východisky a daná témata jim co nejvíce přiblížit.

## **1.2 Metodika**

Metodika sledované problematiky této diplomové práce byla připravena dle předchozího zkoumání a následné analýzy odborných článků a postupů k vybranému tématu. V první části se práce věnuje aplikační technice, jejímu vývoji a moderním technologiím, které nám umožňuje – využití k variabilním či lokálně cíleným aplikacím prostředků na ochranu rostlin nebo hnojiv. Dále práce pojednává o problematice a principech sekční kontroly, její historii a vývoji, součástí jsou i selektivní a páskové aplikace. Součástí teoretické části práce je i odvětví dálkového průzkumu země, což zahrnuje získávání dat pomocí satelitních systémů anebo bezpilotních prostředků. Do práce je zahrnut i proces zpracování a analýzy těchto dat. Teoretická východiska jsou uzavřena tématem precizního zemědělství a greendealu. Zdrojem informací v této části práce jsou odborné články, výzkumy a předepsaná literatura.

V druhé části práce bude nejdříve zkoumána reakční doba ventilů ovládajících sekční kontrolu daného postřikovače. Pro měření této problematiky bude vytvořen v rámci systému MyJohnDeere zkušební pozemek obdélníkového tvaru, na jehož delších stranách budou

umístěny papíry senzitivní na vodu, na kterých bude zaznamenána rovnoměrnost pokrytí plochy postřikovou kapalinou na základě hodnocení kapénkového spektra. Tento pozemek bude odeslán do zkušebních strojů, které budou jeho hranici překonávat vždy kolmo na delší strany obdélníkového pozemku, tudíž kolmo na testovací plochu s papíry senzitivními na vodu. Získaná pokryvnost na každém jednotlivém papírku bude zaznamenána a poté vyhodnocena v grafu. Toto měření bude prováděno s dvěma typy aplikačních postřikovačů, kdy jedním bude samojízdný postřikovač John Deere R4150i se záběrem postřikových ramen 24 metrů, systémem čerpadel PowrSpray a vybaven technologií pulzní šířkové modulace. Druhým zástupcem bude tažený postřikovač John Deere R952i, opět se záběrem ramen 24 metrů a systémem čerpadel PowrSpray. Tažený postřikovač bude v agregaci s traktorem John Deere 6R 250. Pro účely tohoto měření bude aplikace prováděna při rychlostech 15 a 25 km/h.

Dalším zkoumaným prvkem bude technologie Curve control neboli systém vyrovnávání dávky postřikové kapaliny při průjezdu zatáčkou. V tomto případě budou na poloměru zatáčky rozmístěny misky, obsahující papíry senzitivní na vodu, v pravidelných intervalech a vzdálenosti dvou metrů. Na těchto pozicích bude opět zaznamenávána míra pokryvnosti plochy postřikovou kapalinou. Měření bude prováděno pomocí samojízdného postřikovače John Deere R4150i, jenž tuto technologii umožňuje díky systému pulzní šířkové modulace, které poskytuje v zatáčkách rozdílnou dávku postřikové kapaliny v rámci jednotlivých trysek. Budou provedena dvě měření, kdy v prvním případě bude systém regulace dávky v zatáčkách vypnut a v druhém případě bude zapnut. Výsledky těchto dvou měření budou následně porovnány v příložených grafech.

Součástí vlastní práce bude i zkoumání přesnosti při využití páskové aplikace. Toto měření bylo opět ověřeno pomocí papírů senzitivních na vodu, ovšem v tomto případě z nich bude vytvořen pás, na který bude kolmo najíždět postřikovač a bude zaznamenána míra pokryvnosti pod aktivními tryskami (simulace řádkové plodiny) a zároveň i pod těmi neaktivními (meziřádek). V tomto případě bude využita souprava značky John Deere, konkrétně traktor 6R 250 a postřikovač R952i, jenž tento výzkum umožňuje, jelikož je



osazen tryskami s rozestupem 25 centimetrů. Získaná data z měření budou opět zaznamenána do výsledného grafu.

Další částí praktického výzkumu bude využití telematických záznamů provozních údajů postřikovačů, dle kterých bude hodnocena úroveň opakovaného ošetření plochy při aplikaci členitých pozemků. Hodnocení bude vypracováno na základě technického řešení a úrovně sekčních kontrol postřikovače. Porovnávány budou 2 odlišné typy sekční kontroly, kdy v prvním případě půjde o standardní sekce o záběru 3 metry a v druhém případě se jedná o individuální ovládání trysek, tudíž je ovládána každá tryska jednotlivě. Pro selektivní aplikace budou využívány podkladové mapy získané s využitím dat z bezpilotních prostředků. Po každé aplikaci bude stanoveno množství aplikovaných prostředků, plocha pokrytí a úroveň úspory přípravků.

## **2 Teoretická východiska**

### **2.1 Aplikační technika**

Základním cílem v oblasti technologie ochrany rostlin je ochrana plodin před škodlivými faktory, jako jsou choroby, škůdci a plevelé. Postřikovače, jakožto zemědělské stroje, jsou pověřeny odpovědností za dávkování postřikových roztoků. Jsou navrženy tak, aby zajistily přesné dávkování chemikálií, dodržely předepsanou koncentraci roztoku, rovnoměrně aplikovaly přípravek na cílové povrchy rostlin nebo do půdy a zabránily úletu chemikálií za určené hranice ošetření. [5]

#### **2.1.1 Vývoj aplikační techniky**

Použití přípravků na ochranu rostlin může mít podobu buď cílené ohniskové aplikace, kdy je přípravek podáván výhradně v oblastech, kde jsou identifikovány škodlivé organismy, nebo plošné aplikace. Dalším způsobem je plošná aplikaci relativně nákladných přípravků, obvykle zaměřena na specifické druhy vytrvalých plevelů vyskytujících se v určitých oblastech, zatímco zbývající části pozemku jsou ošetřeny levnějšími přípravky určenými k boji proti běžným druhům plevelů. [6]

Vývoj zařízení na ochranu rostlin zahrnuje neustálé úpravy konstrukce i funkčnosti. Změny jsou pozorovány jak v jejich konstrukčních aspektech, tak ve funkčnosti zařízení, které se často upřesňují. V případě aplikace herbicidů se přístup běžně opírá o detekci pomocí polních senzorů nebo snímků dálkového průzkumu Země. Například systémy využívající senzory fluorescence vegetace, které aktivují trysky při rychlostech dosahujících až 20 km/h. Příkladem tohoto systému je společnost Amazone a její technologie zvaná Amaspot. Stanovení dávky závisí na zvoleném režimu aplikace, který může být přísně ohniskový (dávka 0 nebo 100 %) nebo plošně nízká dávka (například 40 %) s postupnými úpravami v oblastech zvýšené potřeby. Řízení celkové aplikace herbicidů usnadňují systémy jako Trimble Weedseeker nebo H-senzor vyvinutý společností Agricon GmbH, který

funguje pomocí objektové analýzy obrazu, přičemž se opírá o morfologii listů a spektrální charakteristiky. To umožňuje aplikaci selektivních herbicidů v raných fázích vývoje plodin. [6]

### **2.1.2 Aplikační technika využitelná pro selektivní aplikace**

Pokrok v technologii ochrany rostlin klade důraz především na dosažení přesného dávkování přípravků a zvýšení efektivity provozu prostřednictvím integrace prvků precizního zemědělství. V ochraně rostlin dochází k výraznému posunu směrem k aplikaci přípravků pouze v případě potřeby a za ideálních podmínek. To znamená ošetření maximální plochy v krátkém časovém horizontu, podání vhodného přípravku v optimální dávce a zajištění aplikace během ideální růstové fáze a klimatických podmínek. [8]

Pro zajištění flexibility při úpravě aplikační dávky podle aktuálních potřeb rostlin lze provádět různé úpravy. Řadí se mezi ně úprava rychlosti pojezdu a tlaku v postřikovém vedení, zavedení přímé injeckáže nebo výběr pomocí kombinování trysek přímo z kabiny postřikovače. Přístup spočívající v úpravě rychlosti pojezdu a tlaku je použitelný pro jakýkoli postřikovač vybavený dálkově ovládaným ventilem pro regulaci tlaku. Jedná se o nákladově efektivní metodu, která nevyžaduje žádné další vybavení a vyznačuje se rychlou reakční dobou. Mezi nevýhody však patří omezená variabilita dávky a nemožnost aplikovat různé přípravky s odlišnými koncentracemi v důsledku předem namíchaného postřikového roztoku v nádrži. [7, 8]

Mechanismus přímé injeckáže zahrnuje výhradně čistou vodu nebo kapalně hnojivo v hlavní postřikové nádrži a koncentrovaný produkt ve specializovaných maloobjemových nádobách. Řídící jednotka určuje dávku vody nebo kapalného hnojiva i jednotlivých produktů. Během aplikace jsou jednotlivé produkty dávkovány do sání primárního čerpadla, čímž je zajištěno důkladné promíchání s nosnou kapalinou před jejich dopravou k regulačnímu ventilu. Rozhodujícím požadavkem pro použití přímého vstřikování je využití co nejmenšího průřezu hadice a co nejvyšší reakční rychlosti regulačního ventilu. Dávkování produktů musí být plně automatizováno. Významnou výhodou systému přímého

vstřikování je, že v případě přerušení práce, např. v důsledku nepříznivých povětrnostních podmínek, zůstává v hlavní postřikové nádrži pouze čistá voda, čímž odpadá nutnost obsluhy řešit problematiku smíšení kapalin. [9]

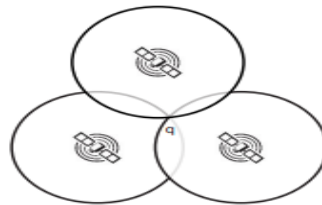
Pomocí systému volby trysek přímo z kabiny postřikovače se v nádrži smíchá předem stanovená koncentrace postřikové kapaliny a aplikační množství se upraví změnou kombinace trysek. Na ramenou postřikovače je v pravidelných odstupech nainstalováno několik tryskových jednotek a každá sada trysek je individuálně pneumaticky nebo elektricky řízena pomocí řídicí jednotky počítače. Ve skutečnosti každá trysková jednotka obsahuje několik klasických trysek agregovaných vedle sebe nebo za sebou tak, že mohou být mezi sebou libovolně přepínány. Standardně každá z trysek je jiné velikosti, průtoku či jiných vlastností postřiku, což nám umožňuje zvolit vhodnou kombinaci trysek na základě požadované dávky a dalších vlastností postřiku. Řídicí jednotka během aplikace aktivuje zvolenou kombinaci trysek, aby bylo dosaženo požadované postřikové dávky. Systém vyžaduje k provozu mapovou kartu a přijímač GNSS. V současné době jsou stroje na ochranu rostlin obvykle vybaveny počítači, které řídí dávku postřiku a je zřejmý trend využívání komunikačního kanálu založeného na sběrnici ISO-BUS. [8, 9]

### **2.1.3 Využití GNSS**

Inovativní technologie, jenž přináší vysoké zlepšení v přesnosti a produktivitě zemědělství je paralelní navádění strojů. To přináší možnost řídit a navigovat zemědělské stroje s vysokou přesností. K přesnému určení směru stroje a jeho polohy již není využíváno klasického ovládání strojů manuálně, avšak paralelní naváděcí systémy využívají GNSS (globální navigační satelitní systémy), což umožňuje i provoz autonomní strojů po trase, která je předem definována. V aplikační technice hraje navigační systém klíčovou roli při přesné lokalizaci strojů na poli a dokumentaci ošetřených ploch. Pomáhá také určit vhodnou dávku postřiku podle předpisové mapy a deaktivuje postřikovací mechanismus v zónách, kde je ošetření nežádoucí nebo kde bylo již aplikováno. Některé stroje obsahují automatický systém řízení závislý na navigačním systému, který umožňuje autonomní vedení bez zásahu

obsluhy. Ve spojení s možností vypínání jednotlivých aplikačních sekcí nebo individuálním vypínáním trysek tento systém účinně řídí šířku aplikace postřikovače a zabraňuje zbytečnému přestřiku na dříve ošetřených plochách. [8, 19]

Polohu strojů na Zemi, které jsou vybaveny pasivními GNSS přijímači lze určit pomocí schéma na obrázku číslo 1.



$$p_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} + c(dt - dT_1)$$

$$p_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} + c(dt - dT_2)$$

$$p_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} + c(dt - dT_3)$$

$$p_4 = \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} + c(dt - dT_4)$$

$p_n$  ... vzdálenost od satelitu

$x_n, y_n, z_n$  ... pozice satelitu

$c$  ... rychlost světla

$dT$  ... známý satelitní čas

$dt$  ... neznámý rozdíl satelitního času přijímače

$x, y, z$  ... pozice objektu

Obrázek 1 – Schéma GNNS [15]

Avšak k autonomnímu pohybu zemědělských souprav po pozemcích je nutná vyšší přesnost, které lze dosáhnout pomocí diferenciálních korekcí. K tomu je použito georeferencovaných známých bodů vypočítávajících korekci, která se přenáší díky mobilnímu, satelitnímu, anebo radiovému signálu přímo do stroje. Díky této korekci se mohou pohybovat zemědělské soupravy strojů po poli s odchylkou maximálně 2 cm od reálné souřadnice. Autonomní paralelní navádění je řízeno skrze ovládací terminál, kde je

možnost nadefinovat parametry jízdy, jako je záběr nářadí, ohraničení obdělávaných oblastí, či nastavení automatického otáčení na souvrati, což umožňují pokročilejší systémy. [15]

#### **2.1.4 Technologie Curve-Control**

Zástupcem moderních prvků aplikačních technologií je systém Curve-Control, který zajišťuje homogenní aplikační dávku při manévrování v zatáčkách, ať už na vnějších nebo vnitřních plochách pole – objíždění souvratě pole či překážek uvnitř pole. Této funkce je dosaženo aktivací různých kombinací trysek v rámci každé sekce nebo dokonce každé trysky, což můžeme vidět například u pulzního systému ExactApply známého ze samojízdných postřikovačů společnosti John Deere. Pomocí senzorů měří palubní počítač rychlost a zakřivení zatáčky a následně podle toho vypočítá vhodnou aplikační dávku pro každou sekci či jednotlivou trysku. [9]

#### **2.1.5 Protiúletové systémy**

Snížení nežádoucího úletu je bezpochyby zásadním problémem při aplikaci zemědělských přípravků. V současné době jsou k dispozici různé strategie pro zmírnění tohoto rizika, od tradičních postřikovačů, u nichž je pro aplikaci bez úletu nezbytná pečlivá pozornost věnovaná povětrnostním podmínkám, až po zabudování komponentů proti úletu nebo celých konstrukcí a příslušenství. Základním opatřením použitelným na jakýkoliv typ postřikovače či aplikační systém jsou protiúletové trysky. Úlet lze omezit i dalšími způsoby, jako je vzduchová asistence na ramenou či využívání deflektorů nebo jiných senzorů. Zásadní je uvědomit si význam satelitní navigace, stanic pro sledování počasí a dalších nástrojů pro omezení úletu kapek postřiku a zvýšení účinnosti aplikace. Vzduchové asistenční systémy, jako je například systém Twin Hardi, slouží jako cenné vylepšení aplikačních postřikovačů, které umožňují lepší ošetření vzešlých plodin, snižují úlet, omezují závislost větrných vlivů a snižují spotřebu vody na hektar. Pomocníkem, který nám může pomoci se snížením vlivů počasí a hlavně povětrnostních podmínek, je i systém

ExactApply od společnosti John Deere. Jedná se o systém pulzní regulace dávky, kdy je dávka řízena frekvencí pulzů každé trysky za stálého konstantního tlaku v postřikovém vedení. Právě možnost změny tlaku z kabiny řidiče nám zároveň umožňuje měnit velikost kapénkového spektra a velkou měrou nám to pomáhá v boji s povětrnostními podmínkami. [9]

### **2.1.6 Systémy on-the-go**

Výrobci postřikové techniky se přizpůsobují nejnovějším trendům v cílených aplikacích a vyvíjejí senzorové systémy on-the-go. Příkladem je technologie See & Spray představená společností John Deere. Technologie See & Spray využívá kamery instalované na postřikovacích ramenech k identifikaci barevných rozdílů na poli. Kamery a další hardwarové komponenty jsou integrovány do ramen nebo podvozku stroje. Na každý metr pracovního záběru je nainstalována kamera, která rychle snímá zelené rostliny. Snímky jsou zpracovány procesory a trysky jsou aktivovány jednotlivě pro přesné bodové ošetření. Tento systém umožňuje cílenou aplikaci preemergentních herbicidů na základě detekce zeleně na půdě. Kamery navíc detekují všechny plevelé viditelné pouhým okem, což usnadňuje komplexní detekci plevelů. Tento systém se neomezuje pouze na preemergentní ošetření, ale lze jej použít i v řádkových plodinách po jejich erozi. Postřikovač má schopnost vymezit řádky plodin pro cílené ošetření plevelů v meziřádkových prostorech. Tento přístup je použitelný v různých fázích růstu a u všech odrůd řádkových plodin až do uzavření porostu. Systém See & Spray obsahuje dokumentaci o aplikaci herbicidů přímo na displeji v kabině postřikovače. Tento displej generuje mapu pokrytí s podrobným popisem oblastí, kde byl herbicid aplikován. Tato funkce umožňuje identifikovat dílčí oblasti vykazující vyšší výskyt plevelů, což usnadňuje optimalizaci budoucích opatření a zásahů. [10]

Přesný postřikovač ARA společnosti Ecorobotix představuje specializovanou technologii postřiku přizpůsobenou pro cílené aplikace. Tento postřikovač se záběrem 6 metrů a rozdělením na 3 sekce je určen pro aplikaci pesticidů v širokořádkových plodinách. S využitím pokročilých algoritmů umělé inteligence využívá systém rozpoznávání obrazu

k detekci a selektivní aplikaci herbicidu výhradně na plochy osídlené plevelem. Přesnost detekce plevelů na úrovni centimetrů vede k pozoruhodnému snížení objemu aplikovaného herbicidu až o 95 %. Postřikovač navíc nabízí funkci reverzního režimu, kdy vyhledává a aplikuje látky, jako jsou fungicidy a listová hnojiva, výhradně na plodiny, což dále zvyšuje jeho univerzálnost. [16]



*Obrázek 2 - Přesný postřikovač ARA [16]*

## **2.2 Sekční kontrola**

Řízení sekčí je technologie precizního zemědělství, která optimalizuje způsoby jízdy za účelem snížení nebo eliminace překryvů, mezer nebo nerovnoměrné dávky v celé šířce záběru aplikačních ramen. Hlavním cílem systémů řízení sekčí je omezit nadměrnou aplikaci přípravků na ochranu rostlin automatickým vypínáním sekčí ramen postřikovače při průjezdu nad dříve ošetřenými plochami.



Mezi hlavní vlastnosti a výhody systémů řízení sekcí patří:

- a) Snížení nadměrné aplikace přípravků na ochranu rostlin, což vede k úsporám nákladů a přínosům pro životní prostředí.
- b) Zajištění přesného umístění prostředků na ochranu rostlin a hnojiv.
- c) Omezení překryvů a minimalizace vynechání. [1, 2]

Systémy sekčního řízení jsou v současné době k dispozici od mnoha výrobců a jsou vhodné pro aplikaci na samojízdných postřikovačích, tažených postřikovačích nebo nesených postřikovačích v tříbodovém závěsu traktoru. Systémy fungují tak, že mapují ošetřované oblasti při průjezdu postřikovače po poli a sekce ramen se automaticky vypnou, když projíždějí přes dříve ošetřované oblasti. Hardware potřebný pro automatický systém řízení sekcí zahrnuje:

- a) Řídicí jednotku a uživatelské rozhraní, které obsahuje software pro generování map pokrytí, ovládání sekcí ramen a řízení rychlosti aplikace.
- b) Elektronickou řídicí jednotku (ECU) pro ovládání sekcí.
- c) Ventily sekcí ramen nebo ventily jednotlivých trysek pro ovládání sekcí.

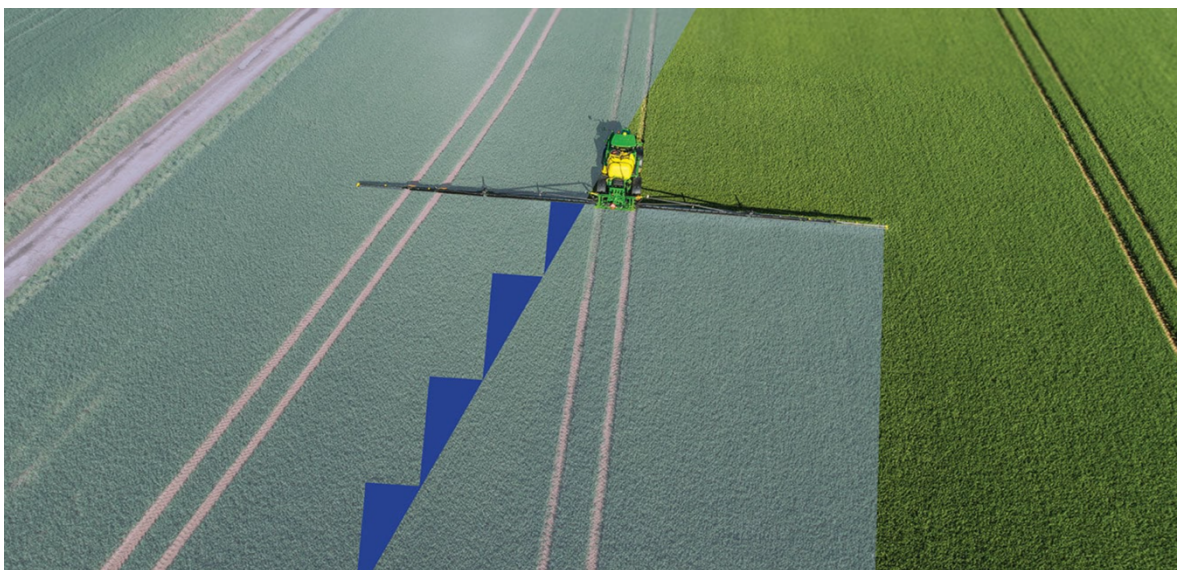
Většina stávajících postřikovačů využívá nějakou formu regulace dávky postřiku, kterou lze modernizovat pro použití se systémy automatického řízení sekcí. [1, 2]

### **2.2.1 Princip sekční kontroly**

Systémy automatického řízení sekcí postřikovačů mohou omezit nadměrnou aplikaci (např. pesticidů nebo hnojiv) tím, že vypínají sekce aplikačního zařízení při průjezdu nad dříve ošetřenými plochami. Některé systémy mají schopnost postřikovat pouze v předem zadaných hranicích pole nebo hranicích zaznamenaných obsluhou během prvního průjezdu kolem pole. Tato funkce zajišťuje, že sekce ramen jsou vždy vypnuté, když projíždějí přes hranice mimo obdělávané oblasti pole. Další výhodou této funkce mapování hranic je, že některé systémy umožňují operátorovi mapovat vnitřní oblasti pole, aby se zabránilo aplikaci například v pásmech podél vodních toků nebo ochranných pásmech. [3, 17]

Systémy řízení sekce fungují tak, že mapují ošetřované oblasti v reálném čase, zatímco postřikovač projíždí po poli. Aplikovaná plocha je uložena pomocí souřadnic z přijímače GPS. I při probíhající aplikaci na poli řídicí jednotka průběžně kontroluje, zda některé sekce ramen postřikovače neprocházejí přes dříve zmapované polygony nebo za zmapovanou hranici pole. Když sekce ramen postřikovače prochází těmito oblastmi, je vypnuta. Zapne se až když prochází zpět přes oblasti bez předchozí aplikace. Většina systémů také umožňuje operátorovi zvolit procento zapnutého/vypnutého pokrytí pro sekce ramen postřikovače. Při nastavení 100 % je zajištěno plné pokrytí, zatímco při nastavení 50 % se sekce ramen postřikovače vypne (nebo zapne), když polovina této sekce vstoupí do dříve aplikované oblasti. [3, 17, 18]

Systémy řízení sekce musí také udržovat aplikační dávku regulací průtoku rameny postřikovače při zapnutí nebo vypnutí sekci. Řídící jednotky kompenzují postřikové dávky změnou rychlosti nebo řízením průtoku do ramen postřikovače na základě zpětné vazby z průtokoměru a snímače rychlosti. Rychlost může být řídicí jednotce dodávána též pomocí přijímače GPS. Systémy řízení sekci vyžadují integrovanou řídicí jednotku pro regulaci dávky postřiku, která upravuje celkový průtok do sekci ramen postřikovače při jejich zapnutí nebo vypnutí. [17, 18]



Obrázek 3 - Sekční kontrola [24]

### 2.2.2 Základní pojetí tvarů pozemků a půdních bloků

Tvary půdy a půdní bloky jsou důležitými faktory, které ovlivňují úsporu přípravků na ochranu rostlin v zemědělství. Tvary terénu označují fyzikální vlastnosti půdy, jako jsou kopce, údolí a roviny, zatímco půdní bloky označují různé typy půdy, které se nacházejí v určité oblasti. Vliv tvarů terénu a půdních bloků na úsporu přípravků na ochranu rostlin lze shrnout takto:

**Eroze půdy:** Půdní tvary, jako jsou kopce a svahy, mohou vést k půdní erozi, která může mít za následek ztrátu cenné svrchní vrstvy půdy a živin. To může vést ke snížení výnosů plodin a k potřebě zvýšené aplikace přípravků na ochranu rostlin, aby se kompenzovala ztráta živin.

**Kvalita půdy:** Půdní bloky mohou mít různý obsah živin a fyzikální vlastnosti, což může ovlivnit účinnost přípravků na ochranu rostlin. Například půda s vysokým obsahem jílu může zadržovat více vody a živin, což snižuje potřebu dodatečné aplikace přípravků na ochranu rostlin.

**Ochranné pásy:** Ochranné pásy, což jsou pásy vegetace umístěné v krajině za účelem ovlivnění ekologických procesů, mohou pomoci chránit půdní zdroje, zlepšit kvalitu ovzduší a vody, zlepšit životní prostředí ryb a volně žijících živočichů a zkrášlit krajinu. Tyto pásy mohou také pomoci snížit potřebu další aplikace přípravků na ochranu rostlin tím, že snižují erozi půdy a zlepšují její kvalitu.

Souhrnně lze říci, že reliéf a půdní bloky mohou mít významný vliv na úsporu přípravků na ochranu rostlin v zemědělství. Pochopením vlivu těchto faktorů mohou zemědělci činit informovaná rozhodnutí o používání přípravků na ochranu rostlin a zavádět postupy, které pomáhají snižovat potřebu dalších aplikací. [4]

## 2.3 Selektivní aplikace

Selektivní aplikace znamená cílené použití prostředků, jako jsou přípravky na ochranu rostlin, na konkrétních místech, kde jsou potřeba, namísto jejich rovnoměrného použití na

celém pozemku. Tento přístup pomáhá minimalizovat plýtvání, snižuje dopad na životní prostředí a zvyšuje účinnost procesu aplikace. Selektivní aplikace se zaměřuje na použití prostředků na ochranu plodin nebo živin pouze tam, kde jsou potřeba, čímž mohou zemědělci optimalizovat množství používaných přípravků, a to vede ke zvýšení účinnosti a úspoře nákladů. Tato technologie též pomáhá minimalizovat dopad přípravků na ochranu rostlin na životní prostředí tím, že snižuje množství použitého přípravku a možnost odtoku do vodních toků. [1, 20]

Systémy navádění zemědělských strojů nenabízejí pouze autonomní paralelní navigaci strojů po poli, ale také přesné řízení náradí v závislosti na zeměpisné poloze v rámci zemědělského pozemku. S využitím letecké fotogrammetrie nebo senzorů rozpoznávání obrazu v reálném čase (on-the-go senzory) lze identifikovat konkrétní oblasti pole vyžadující chemickou ochranu. Pomocí těchto dat lze přesně vytyčit oblasti výskytu plevelů, kde je žádoucí aplikace prostředků na ochranu rostlin k jejich odstranění. Aby byla tato aplikace možná je nejdříve potřeba data převést do předpisové mapy, která umožňuje ovládání náradí. V porovnání s tradičními metodami zahrnujícími konstantní dávku účinných látek v rámci celého pozemku může lokálně cílená aplikace postřiku přinést až 80 % úsporu. Trysky postřikovačů jsou automaticky aktivovány v místech pozemku, kde je to potřebné a optimalizuje tak využití zdrojů. [13, 20]

### **2.3.1 Páskový postřik**

Páskový postřik představuje metodu ošetřování řádkových plodin. Řádkové plodiny jsou pěstovány v řádcích, kdy nejběžnější jsou rozteče 75 cm, 50 cm a 45 cm. Kukuřice a brambory jsou pěstovány v řádcích s roztečí 75 cm. S roztečí 50 cm je pěstováno mnoho druhů zeleniny a luskovin (sója, fazole, čočka). Aplikací postřiku pouze do jednotlivých řádků je možné dosáhnout významných úspor. Páskový postřik se provádí v době, kdy plodiny ještě nevytvářejí hustý porost, což znamená, že půda ještě není úplně pokryta vegetací plodin. V těchto fázích vývoje plodiny lze provést páskový postřik, který lze provádět dvěma způsoby. První možností je postřik řádků plodiny, kdy aplikujeme

herbicidy, insekticidy nebo fungicidy. Druhou možností je aplikace mezi meziřádků plodin, kdy je zpravidla aplikován herbicid. [11]

Proč zvolit možnost aplikace páskového postřiku postřikovačem, a ne v kombinaci s plečkováním? Dvěma hlavními parametry, které nám na tuto otázku odpoví jsou výkonost a načasování. Z hlediska výkonosti je pracovní záběr plečky často omezen pracovním záběrem, jenž zpravidla nepřesahuje 8 metrů a pracovní rychlost se pohybuje mezi 5 a 12 km/h. Naopak postřikovač dokáže dosáhnout daleko vyšší výkonosti při záběrech až 36 metrů a aplikačních rychlostech až 30 km/h. Z pohledu načasování by u plečkování mělo být dosaženo co nejlepšího okopávání a kořeny okopávaných plevelů by měly co nejrychleji osychat. Toho je docíleno pouze pokud není půda příliš vlhká, a tudíž se provádí ideálně za slunečného počasí. Naopak optimální podmínky pro aplikaci postřikovačem jsou za mírného počasí a vyšší vlhkosti, což je důležité k ideálnímu působení půdních herbicidů. [11]



Obrázek 4 - Pásková aplikace [14]

## 2.4 Dálkový průzkum Země

Jednou z nejčastěji používaných metod pro získávání geografických informací o povrchu Země je dálkový průzkum Země. Ten lze zjednodušeně označit jako metodu získávání informací o objektech, půdách a jevech na zemském povrchu prostřednictvím dat shromážděných zařízeními, která s těmito prvky komunikují bez přímého kontaktu. Je však důležité poznamenat, že tradiční fotografie, při níž je snímek pořízen přímo na povrchu, do dálkového průzkumu nespadá. Místo toho se v anglické literatuře používá termín "proximal sensing", který znamená snímání z blízké vzdálenosti a zahrnuje použití různých senzorů a zařízení umístěných v blízkosti cílového objektu, jako jsou například vegetační senzory namontované na zemědělských strojích – systémy on-the-go. Tento termín se v českém jazykovém kontextu běžně nepoužívá, zahrnujeme proto tyto techniky do oblasti dálkového průzkumu Země (DPZ). [12]

V širším kontextu však dálkový průzkum Země (DPZ) zahrnuje více než jen sortiment metod zaměřených na získávání konkrétních informací na dálku. Zahrnuje také procesy spojené s dálkovým průzkumem Země a následnou interpretaci vedoucí k požadovaným výsledkům. Kromě toho jsou v rámci tohoto zohledněny i všechny složky celého řetězce zpracování dat. Mezi nosiče různých kamer a senzorů mohou patřit letadla, bezpilotní letouny, družice i zemědělské stroje. Jednotlivé kamery, senzory, radary a skenery umístěné na těchto nosičích usnadňují měření nebo zachycení požadovaných informací. Technická infrastruktura, obvykle zahrnující počítače a související hardware umožňuje příjem, kontrolu, správu, ukládání a vyhledávání získaných dat i vytváření výsledných produktů. Software, zahrnující počítačové programy, aplikace nebo naprogramované skripty jsou nápomocné při příjmu, zpracování, analýze a interpretaci získaných informací. [12]

Dálkový průzkum zahrnuje použití fyzikálních měření ke shromažďování údajů o vzdálených objektech nebo oblastech, podobně jako fungují jiné fyzikální přístroje nebo lidské smysly, například sluch nebo zrak. V rámci dálkového průzkumu se často používá měření elektromagnetického záření, běžně označovaného jako světlo. Elektromagnetické

záření se v přírodě vyskytuje v různých formách, které přesahují viditelné světlo vnímané lidským okem. Viditelné světlo lze zachytit pomocí světlo citlivých materiálů, které reagují na osvit a zaznamenávají obraz pomocí chemických procesů, podobně jako tradiční filmová fotografie. Současné metody se však při zachycování světla spoléhají na digitální čipy. Světlo, ať už přirozené nebo umělé, může dopadat přímo na snímač nebo interagovat s povrchem, kde struktura, tvar nebo barva objektu mění jeho absorpční, transmisní nebo odrazové vlastnosti. Snímač pak zachycuje toto odražené světlo, přičemž množství zachyceného světla poskytuje informace o vlastnostech objektu. Tento proces odráží principy běžné černobílé fotografie, kde se intenzita světla používá k rozlišení typů objektů. Na barevné fotografii jsou zachyceny odlišné segmenty viditelného světla, což umožňuje určit barvu objektu. Kromě viditelného světla zahrnuje elektromagnetické záření širší spektrum záření, jako jsou například rentgenové, ultrafialové, infračervené a mikrovlnné záření. Přestože jsou tyto formy záření pro lidské oko neviditelné, zůstávají elektromagnetickými, i když mají různou vlnovou délku. Toto rozsáhlé elektromagnetické spektrum je rozděleno do různých oblastí záření. V závislosti na vlastnostech studovaného objektu dochází při interakci se světlem v různých oblastech vlnových délek k různým procesům nebo odrazům. Díky záznamu i neviditelných forem záření umožňují techniky dálkového průzkumu sledovat objekty na celém zemském povrchu. [12]

#### **2.4.1 Družice**

V oblasti dálkového průzkumu Země (DPZ) se tradičně nejčastěji využívají družicová data. Tato data jsou přenášena umělými družicemi obíhajícími kolem Země. Geostacionární družice umístěné na geostacionárních oběžných drahách ve výšce přibližně 36 000 km nad zemským povrchem udržují synchronní rotaci se Zemí, což jim umožňuje vznášet se nad pevnými místy. Nabízejí sice vysoké časové rozlišení, které umožňuje nepřetržité snímání, ale jejich prostorové rozlišení je relativně nízké. Proto se tyto systémy používají především pro meteorologické účely, příkladem je rodina družic Meteosat. Naopak pro aplikace dálkového průzkumu Země se upřednostňují systémy umístěné na subpolárních oběžných drahách ve výškách kolem 700-1 000 km nad zemským povrchem. Tyto družice, které

obíhají v meridionálním směru nad zemskými póly, se obvykle pohybují po heliosynchronních drahách, čímž se jejich průlet nad určitým místem vyrovnává se Sluncem, což usnadňuje sběr dat v optimální denní dobu. Načasování a místo snímání dané oblasti na Zemi je určeno trajektorií družice a zorným polem senzoru. Svou roli však hraje i zeměpisná šířka, neboť blízkost pólů zvyšuje pravděpodobnost snímání díky většímu překrytí snímacích drah. Zvýšení frekvence doby vrácení lze dosáhnout rozmístěním více družic se stejnými parametry. Využití dvou družic může například zkrátit dobu opakovaných přeletů na polovinu. V důsledku toho se doba vrácení může pohybovat od hodin, jako je šestihodinový interval meteorologické družice NOAA, až po dny, jak je vidět na 16denní revizi družice Landsat 8 nebo 5denním cyklu konstelace Sentinel 2. [12]

V zemědělských aplikacích se jako převládající technologie prosadily optické multispektrální systémy. Ty jsou schopny detekovat záření v různých spektrálních pásmech, obvykle zahrnujících viditelné a blízké infračervené spektrum a příležitostně zasahujících do krátkovlnného infračerveného pásma. Od počátku družicového snímání bylo nasazeno mnoho družicových systémů různých konfigurací a původu. Tyto systémy se vyvíjely směrem k používání citlivějších a přesnějších senzorů, i když často na úkor prostorového rozlišení nebo frekvence opakovaných snímání na stejné ploše. V současné době nabízí řada komerčních systémů data s mimořádně vysokým rozlišením a častými revizemi. Například konstelace mikrosatelitů Planet, včetně několika mikrosatelitů Cubesat, nyní poskytuje denní snímky s rozlišením 3 metry na pixel. Přesto se mnoho vědeckých a praktických aplikací stále více spoléhá na volně dostupná data, zejména z amerického programu Landsat nebo nověji z evropského programu Copernicus, zejména z rodiny družic Sentinel, přičemž Sentinel-2 je zvláště zajímavý v oblasti optického multispektrálního zobrazování. [12]

#### **2.4.2 Volně dostupné satelitní systémy**

První satelit, který bylo možno využívat pro dálkový průzkum země byl satelit Landsat, jenž byl do vesmíru uveden v roce 1972 a sloužil již ke kvalitnímu monitoringu povrchu země. Tento satelit se neustále vyvíjí až dodnes, kdy jeho poslední verze Landsat 8



umožňuje získávat důležitá data pro výzkum a zároveň pro farmáře s přesností 30 metrů na jeden pixel. Přesnější možností jsou satelity Sentinel, které byly spuštěny do vesmíru v roce 2014 Evropskou kosmickou agenturou a přinášejí výrazně větší přesnost až 10 metrů na jeden pixel. S pomocí těchto dvou satelitů mohou farmáři monitorovat a sledovat veškeré změny na jejich pozemcích (sucho či změny stavu porostu). Zároveň satelity Landsat a Sentinel přináší možnost sledovat i menší lokální vegetační změny. I tato skutečnost má vliv na to, že jsou to dva nejrozšířenější bezplatné satelitní systémy, které jsou využívány v zemědělství. [12]

#### **2.4.3 Komerční satelitní systémy**

Pokud má zemědělec zájem o ještě vyšší preciznost, musí zvolit některý z komerčních satelitních systémů dosahujících větší přesnosti. Zástupcem komerčních satelitních systémů je soukromá firma Planet, která byla uvedena na trh v roce 2010 s cílem získávat snímky zemského povrchu z vesmíru ve velmi vysoké kvalitě rozlišení. Planet založili 3 absolventi NASA (Willie Marshall, Chris Boshuizen a Robbie Schingler) a společně se specializují na výrobu a provoz malých satelitů pro monitoring zemského povrchu. Tento tým vytvořil flotilu menších satelitů, pod názvem "Doves", jež poskytují pravidelný průzkum země s vysoce kvalitním rozlišením kamer. Z důvodu svých malých rozměrů a zároveň menších výrobních nákladů jsou tyto satelity obvykle nazývány jako "CubeSats". Satelity Doves obíhají po oběžné dráze Země a v předem daném intervalu jednoho dne poskytují snímky celé planety s rozlišením 3 metry na jeden pixel. Ještě vyšší přesnost nabízí další z komerčních satelitních systémů, kterým je SkySat poskytující přesnost 1 metr na jeden pixel. [12]

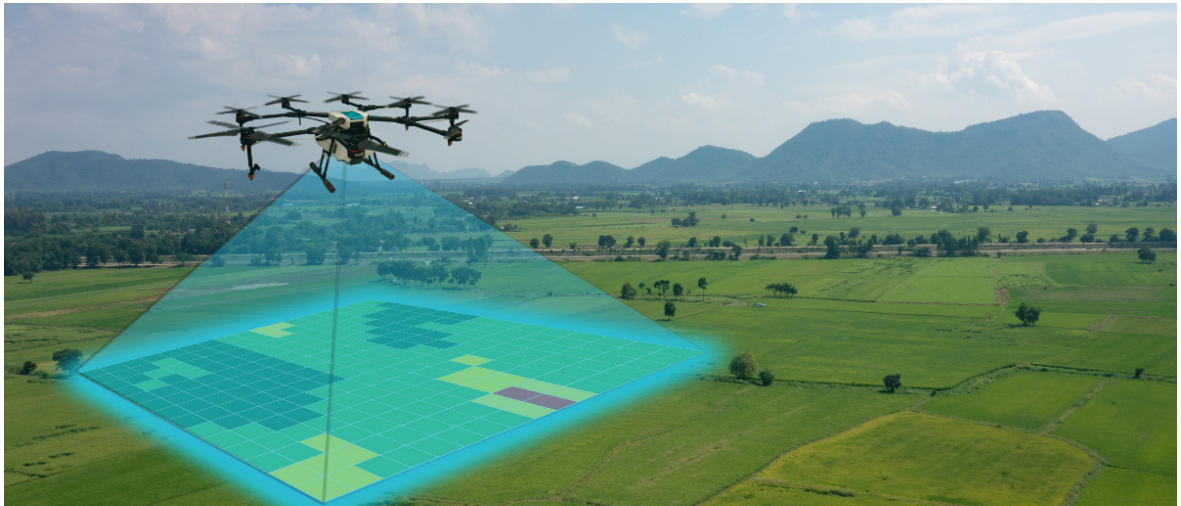
#### **2.4.4 Bezpilotní prostředky**

Bezpilotní prostředky nebo celé bezpilotní letecké systémy představují prostředky určené k bezpilotnímu letu. Protože však jejich pohyb obvykle není plně autonomní, ale spíše dálkově řízený, je pro tyto systémy výstižnější označení dálkově řízené letecké systémy. Kromě toho se v této souvislosti často používá hovorový výraz "drony". Tyto

systemy nabízejí rozmanitou škálu užitečného zatížení, které je schopno nést různé typy senzorů. Pokroky v miniaturizaci digitálních komponent rozšířily rozsah aplikací dálkového průzkumu Země, díky čemuž se bezpilotní prostředky staly nedílnou součástí široké škály úkolů. Tyto systémy jsou ceněny zejména pro svou vysokou provozní účinnost, relativně nízké náklady na sběr dat a přizpůsobivost. V závislosti na nosnosti bezpilotního letounu jej lze vybavit celou řadou senzorů, od běžných kamer pro základní monitorování krajiny a zemědělství až po multispektrální nebo termální systémy pro složitější analýzy půdy a plodin. Získávání, provoz a zpracování dat z bezpilotních prostředků vyžaduje specifické znalosti a dovednosti nebo přístup k příslušnému softwaru. Moderní bezpilotní systémy jsou však rychle nasaditelné a mají širokou škálu využití. Zemědělci mohou tyto prostředky využívat buď pro vlastní činnost, nebo mohou využít služeb různých poskytovatelů služeb v této oblasti. Při samostatném provozu bezpilotních letounů je nicméně nutné dodržovat bezpečnostní opatření a je nezbytné dodržovat platné předpisy upravující jejich používání. Přestože existují určitá omezení, zejména v zemědělské krajině mimo letiště a jiné zakázané oblasti, provoz bezpilotních letadel zůstává do značné míry bez překážek. [12]

Využití bezpilotních prostředků se ukazuje jako zvláště výhodné ve scénářích vyžadujících detailní pohled na stav půdy nebo vegetace s vysokým prostorovým rozlišením. V závislosti na výšce letu mohou bezpilotní letouny dosáhnout prostorového rozlišení na úrovni centimetrů, což v některých aplikacích umožňuje přesné zaměření až na úroveň jednotlivých plodin. Bepilotní letouny rovněž vynikají v situacích, kdy je nezbytný rychlý sběr dat, protože jejich provoz nabízí pozoruhodnou flexibilitu a je omezen především meteorologickými faktory, jako je vítr a nízké teploty, s výjimkami v zakázaných nebo omezených zónách. Bepilotní letecké prostředky však mají často omezenou kapacitu pokrytí, přičemž rozsah území, které lze snímkovat, závisí na faktorech, jako je kapacita baterie, hmotnost letu, nadmořská výška a zásoba baterie u modelů poháněných vrtulí. Pro pokrytí větších území jsou vhodnější bezpilotní letouny s křídly, které jsou známé svým delším doletem. V současné době je k dispozici pestrá škála bezpilotních letounů, od komerčně vyráběných modelů až po zakázkové konstrukce. Stejně tak je s nasazením

bezpilotních prostředků kompatibilní celá řada kamer a senzorů. Nicméně v případě přesnějších a multifunkčních zařízení je třeba vzít v úvahu vyšší pořizovací náklady spojené s těmito technologiemi. [12]



Obrázek 5 - Bezpilotní prostředek – dron [25]

## 2.5 Zpracování a analýza dat

### 2.5.1 Fotogrammetrie

Letecká fotogrammetrie je nedílnou součástí v technologiích zpracování obrazů a geografických informačních systémů (GIS). Pomocí této metody lze letecké snímky přetvářet na trojrozměrné mapy, prostorová data nebo modely terénu. Díky této metodě lze získat trojrozměrný model, který vzniká pořizováním snímků z různých úhlů – nazýváno principem paralaxy. Data jsou zpravidla zaznamenána pomocí digitálních fotoaparátů, multispektrálních senzorů nebo LiDARu a nosičem těchto zařízení jsou obvykle letecké prostředky (letadla nebo bezpilotní prostředky), jejichž přesná geografická poloha je během snímkování též zaznamenávána. Výhodou této technologie je především rychlost, jakou jsou informace získávány a jejich přesnost a zároveň kvalita rozlišení dat. Naopak mezi hlavní nevýhody této metody spadá vysoký objem dat a také v případě časově náročnějšího měření nutnost kalibrovat senzory. [21]

Hlavní výstupem fotogrammetrie je zpravidla digitální model terénu (DTM), který lze vytvořit kombinací několika snímků pořízených z leteckých prostředků nebo přesnější model, jenž využívá LiDAR data. Předností tohoto modelu je poskytování přesného obrazu zemského povrchu, a to je zcela zásadní pro využití nejen v zemědělství, ale i v mnoha dalších odvětvích (například v hydrologii nebo urbanismu). Výstupem jiného typu je poté přesná geotagovaná orthomosaika zemského povrchu. Ta může být ve více formách – první je ve viditelném spektru RGB a užívá se většinou na mapových portálech, kdežto druhá forma využívá multispektrální data a zpracovává je pomocí spektrální analýzy s využitím vegetačních indexů. Fotogrammetrie má mnoho využití v praxi – měření plochy a objemu v oboru stavebnictví, tvorba 3D modelů, polohová analýza nebo monitoring stavu povrchu země (obory zemědělství, lesnictví a vodohospodářství). Tato metoda se postupem času stále více rozšiřuje a stává dostupnější. Děje se to primárně díky velkému rozvoji satelitů, a hlavně bezpilotních prostředků. Do budoucna lze očekávat využití strojového učení a pomoc umělé inteligence, a to povede k zrychlení analýzy dat a automatizaci procesů. [21]

### 2.5.2 Spektrální analýza

Mezi metody dálkového průzkumu země spadá také mapování porostů. Pomocí této metody získáváme reálné podklady k provádění okamžitých aplikací či prvotní predikce výnosu. Tyto podklady jsou získávány díky kvalitativnímu hodnocení stavu porostu dle zdravotního stavu nebo využití analýzy hustoty porostu. [21]

Při spektrální analýze je standardní užívání vegetačních indexů, které nám umožňují vyjádřit charakteristiku dané vegetace pomocí číselné podoby. Díky těmto indexům nám je z multispektrálního obrazového snímku zobrazena hodnota, jenž charakterizuje stav a přítomnost porostu dané vegetace. Hodnota vegetačního indexu zahrnuje charakteristiku mnoha ekologických procesů, mezi které patří koloběh uhlíku či fotosyntéza. Je několik typů vegetačních indexů – například rozdílové (DVI), poměrové (NDVI) anebo ortogonální (vznikají lineární kombinací několika spektrálních pásem). Vždy je zásadní, jaký je pro danou plodinu a danou růstovou fázi zvolen vhodný vegetační index. [21]

Index	Název	Využití	Vzorec
<b>DVI</b>	Difference Vegetation Index	Rozdílový vegetační index pro kontrastní analýzu malé části pozemku	$DVI=NIR-Red$
<b>RVI</b>	Ratio Vegetation Index	Poměrový vegetační index, který byl použit jako první. Hodnoty nabývají od 0 do nekonečna.	$RVI=NIR/Red$
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index	Nejznámější vegetační index vypovídající o zdravotním stavu rostlin. Hodnoty nabývají od -1 do 1. Citlivý na rané fáze růstu a v pozdější růstové fázi dochází k saturaci.	$NDVI=(NIR-Red)/(NIR+Red)$
<b>SAVI</b>	Soil Adjusted Vegetation Index	Index který minimalizuje rušivý šum (jas) půdy. Vhodné využití v rané fázi růstu. Hodnota L = 1 se používá pro nízkou vegetaci, L = 0 pro vysokou vegetaci.	$SAVI=((NIR-Red)/(NIR+Red+L))\times(1+L)$
<b>EVI</b>	Enhanced Vegetation Index	Index vypovídající o množství chlorofylu, který je ve srovnání s NDVI více citlivý na pokryvnost. Je vhodné využití i u řepky, kde mohou být ostatní indexy přesaturované.	$EVI=2.5*\frac{(NIR-Red)}{((NIR+6*Red)-(7.5*Blue)+1)}$

Obrázek 6 - Vegetační indexy[22]

## 2.6 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství je kombinací tradičního způsobu hospodaření a moderních technologií včetně analytických nástrojů. Přináší především zvýšení efektivity, výnosů a udržitelnosti. Během posledních let probíhá velký vývoj zemědělství, a to přináší nové výzvy a potřeby pro všechny farmáře. Narůstající popularitě se hlavně díky svým inovativním přístupům těší obor precizního zemědělství. Jedná se o způsob moderního pojetí hospodaření, který si zakládá na tradičních znalostech, které spojuje s moderními technologiemi za účelem zvýšení výnosů a optimalizaci negativních dopadů na životní prostředí. Obor precizního zemědělství nám umožňuje zjišťovat specifické potřeby porostů a detailně analyzovat pole nebo jejich části pomocí analytických nástrojů či použití mnoha technologií. To umožňuje přesnou a lokálně cílenou aplikaci pesticidů, hnojiv či jiných prostředků na ochranu rostlin, což velmi kladně ovlivňuje množství aplikovaných látek a tím pádem i šetří náklady a dopad na životní prostředí. [12]

Velkou roli v precizním zemědělství hraje použitá technika jako jsou především drony, senzory a navigační systémy. Právě navigační systémy slouží k přesnému řízení strojů, které se pohybují po poli a tím efektivnějším a preciznějším operacím. Senzory měří důležitá data (vlhkost, obsah živin, teplotu půdy), která slouží opět k co nejefektivnějšímu nastavení způsobu hospodaření. Variabilitu polí či jiné viditelné anomálie na pozemcích lze monitorovat pomocí dronů. Jejich pomocí lze přesně identifikovat problém (nedostatek vody, přítomnost škůdců) a oblast, kde se vyskytuje. [12]

Nedílnou součástí precizního zemědělství je i analytika (analytické nástroje) a využití softwarů. Ty slouží ke sběru a analýze dat o půdě a jejích vlastnostech, růstu rostlin a počasí. Data z těchto analýz využívají zemědělci k optimalizaci plánování a přizpůsobení postupů a principů jejich hospodaření pomocí přesných agroekonomických modelů. Cílem precizního zemědělství je jak snížení negativních dopadů na životní prostředí, tak zároveň zvýšení výnosů. Ke snižování znečištění půdy a vody přispívají velkou měrou právě lokálně cílené aplikace prostředků na ochranu rostlin a hnojiv, přičemž monitoring a správa vody a půdy vede k striktnímu respektování udržitelné zemědělské praxe. Dle některých studií je prokázáno snížení nákladů na prostředky na ochranu rostlin, vodu a palivo až o 20% díky využití technologií precizního zemědělství. [12]

## **2.7 Greenddeal**

Green Deal, který byl představen Evropskou komisí, je strategickým plánem s cílem dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality v Evropské unii. Tento ambiciózní plán zahrnuje širokou škálu opatření, která mají snížit emise skleníkových plynů, zvýšit energetickou efektivitu a podpořit udržitelné zemědělství. Jedním z klíčových aspektů této strategie je snížení používání chemických prostředků v zemědělství, včetně prostředků na ochranu rostlin. Za problematické lze označit negativní dopad na životní prostředí a lidské zdraví některých z mnoha tradičních chemických prostředků na ochranu rostlin. Jsou spojeny s rizikem kontaminace půdy, vody a potravin, a mohou mít nežádoucí účinky na biodiverzitu a ekosystémy. Z tohoto důvodu se Green Deal snaží podpořit přechod

k udržitelnějším metodám ochrany rostlin, které minimalizují použití chemických prostředků a zároveň zajišťují udržitelnost zemědělských systémů. [23]

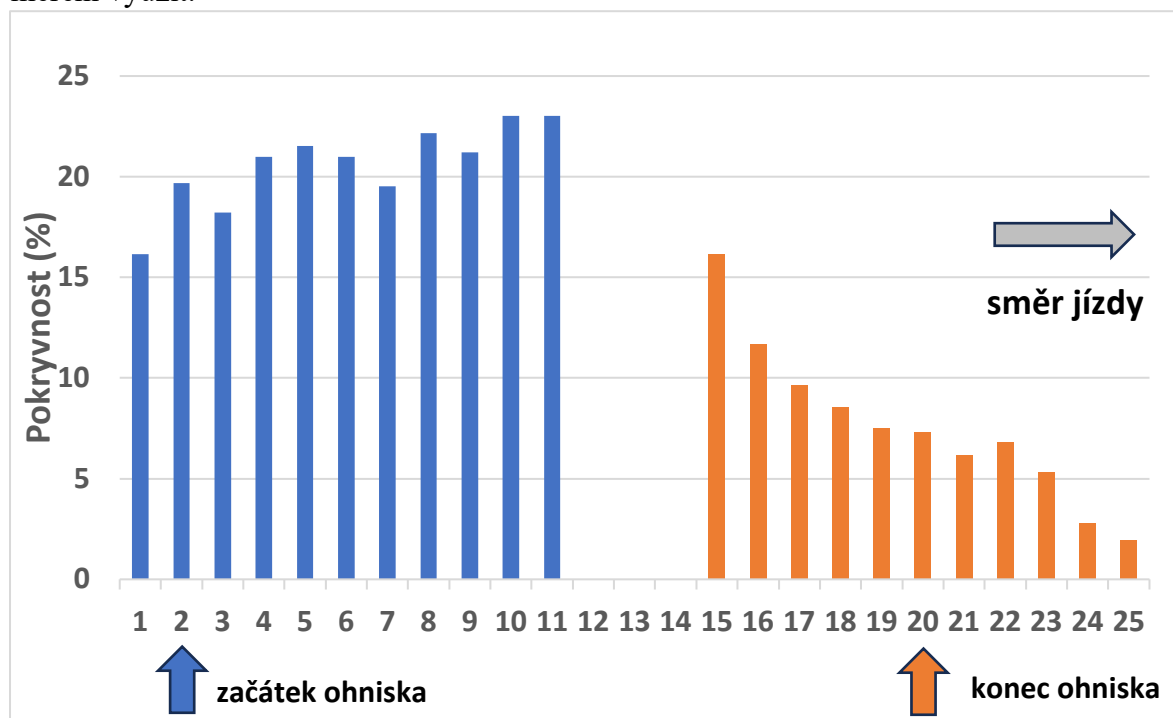
Implementace této politiky může mít několik důsledků pro zemědělce a průmysl ochrany rostlin. Na jedné straně může vést ke zvýšené poptávce po alternativních metodách ochrany rostlin, jako jsou biologické přípravky, použití přirozených predátorů, agroekologické postupy a technologie, jako jsou například variabilní a selektivní aplikace. Tyto metody mohou být méně toxické a mohou mít menší environmentální dopad. Na druhé straně může přechod k udržitelnějším metodám ochrany rostlin vyžadovat investice do nových technologií, což může být pro některé zemědělce finančně náročné. Mohou se objevit také výzvy v oblasti technického a agronomického vzdělávání, aby zemědělci byli schopni úspěšně implementovat nové praktiky. Celkově lze říci, že zavedení politik obsažených v Green Dealu může vést k postupnému snižování používání chemických prostředků na ochranu rostlin v Evropské unii a posílení udržitelnosti zemědělských systémů. Nicméně je důležité zajistit podporu a podmínky pro přechod k alternativním metodám, aby bylo dosaženo ekonomického i environmentálního prospěchu pro zemědělce a společnost jako celek. [23]

### 3 Vlastní práce

#### 3.1 Úroveň pokryvnosti při zapínání / vypínání ventilů

##### 3.1.1 Samojízdný postřikovač – rychlost 15 km/h

V této kapitole je popisován průběh pokryvnosti porostu při zapínání ventilů trysek v rámci najíždění do ohniska, na které má být aplikováno a vypínání ventilů trysek při vyjíždění z ohniska. V tomto případě byla posuzována pokryvnost u samozjídného postřikovače John Deere R4150i při rychlosti 15km/h. Postřikovač je vybaven jednotlivým ovládním trysek a systémem pulzní šířkové modulace ExactApply, jenž byl při tomto měření využit.



Graf 1 - Samojízdný postřikovač, rychlost 15 km/h

V první části přiloženého grafu počáteční hranici ohniska představuje pozice číslo 2 a zároveň v rámci tohoto grafu je směr jízdy samozjídného postřikovače zleva doprava. Nutno podotknout, že vzdálenost mezi jednotlivými pozicemi představuje vzdálenost 76

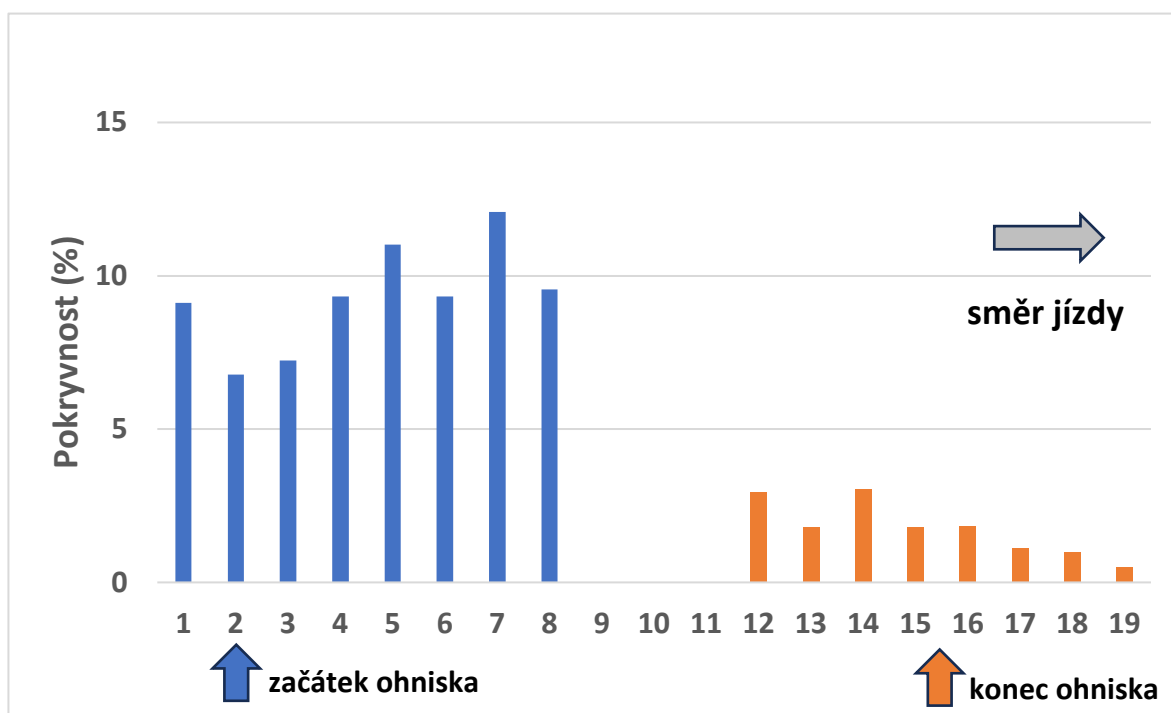


milimetrů. Pokryvnost byla částečně zaznamenávána již před počáteční hranicí ohniska a primárně po překročení této hranice. Z grafu tedy plyne, že s dostatečným předstihem došlo k sepnutí ventilu trysky a již jednu pozici před reálnou hranicí ohniska dosáhla pokryvnost postřiku hodnoty 16,16 %. V počátečním bodu hranice ohniska je pokryvnost již 19,68 % a s přibývajícím vzdáleností od počátku ohniska se, kromě menších výkyvů, hodnota pokryvnosti zvyšuje až na 23,03 %. Této hodnoty je dosaženo v místě poslední měřené pozice zapínání, tudíž ve vzdálenosti 68,4 centimetru od počátku ohniska (pozice číslo 2). Průměrná hodnota pokryvnosti při spínání byla 21 %.

V druhé části grafu je znázorněn průběh vypínání ventilů trysek při opouštění ohniska, jehož konečná hranice je v tomto případě na pozici 20. Již 5 pozic (38 centimetrů) před koncem ohniska je zaznamenán mírný pokles hodnoty pokrytí oproti hodnotám, které byly dosaženy v průběhu zapínání ventilů na začátku ohniska, což ukazuje na fakt, že k reálnému vypnutí ventilů trysek dochází již s částečným předstihem před hranicí ohniska, aby nedocházelo k nadměrným překryvům. Až na jednu výjimku v průběhu celého šetření opouštění ohniska dochází k poklesu hodnot pokrytí, a to již od pozice 15, kde je dosaženo pokrytí 16,15 % až k poslední zaznamenané hodnotě na pozici 25, která dosahuje hodnoty pokrytí pouhých 1,97 %. V místě hranice ohniska (pozice 20) bylo dosaženo pokrytí 7,32 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při vypínání byla 10,1 %.

### 3.1.2 Samojízdný postřikovač – rychlost 25 km/h

Stejně jako výše zmíněná kapitola, tak i tato se zabývá mírou pokryvnosti na porostu při spouštění ventilů sekcí (v tomto případě jednotlivých trysek) při najíždění do ohniska a poté při vypínání ventilů jednotlivých trysek při opuštění ohniska. I v tomto případě byla posuzována pokryvnost u samojízdného postřikovače John Deere R4150i, avšak tentokrát při aplikační rychlosti 25km/h. Postřikovač je taktéž vybaven sekční kontrolou (jednotlivým ovládním trysek) v tomto případě zastávanou systémem pulzní šířkové modulace ExactApply.



Graf 2 - Samojízdný postřikovač, rychlost 25 km/h

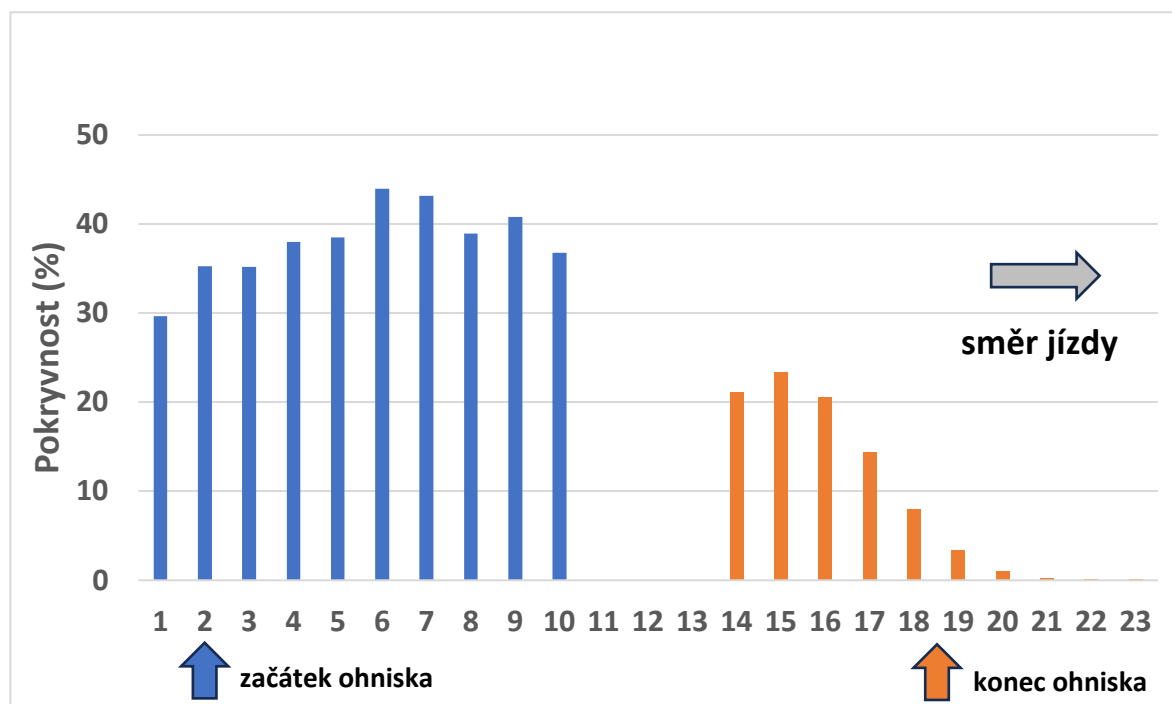
V první části následujícího grafu sledujeme průběh hodnot pokryvnosti při najíždění do ohniska, na které má být aplikováno. Směr pohybu postřikovače v rámci grafu je zleva doprava, přičemž začátek ohniska je naznačen na pozici 2. Vzdálenost mezi jednotlivými pozicemi je v rámci tohoto měření 76 milimetrů. V tomto případě je zaznamenán výkyv pokryvnosti směrem nahoru již před samotnou počáteční hranicí ohniska až na

hodnotu 9,11 %, což značí včasné spuštění ventilů trysek. Poté je zaznamenán mírný pokles v místě začátku ohniska (pozice 2 – pokryvnost 6,77 %) a dále s přibývajícím vzdáleností od počátku ohniska se hodnoty téměř rovnoměrně zvyšují a končí na hodnotě pokryvnosti 9,55 % v posledním měřeném bodě spouštění ventilů (pozice 8) ve vzdálenosti 45,6 centimetru od začátku ohniska. Nejvyšší hodnota v rámci zapínání ventilů trysek při najíždění do ohniska byla zaznamenána ve vzdálenosti 38 centimetrů po překonání začátku ohniska (pozice 7), a to hodnotou pokryvnosti 12,09 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při spínání byla 9,3 %.

V druhé části grafu pozorujeme hodnoty pokryvnosti při opouštění hranice ohniska, tedy při vypínání ventilů trysek. V rámci tohoto měření je konec ohniska vyznačen v grafu přesně mezi pozicemi 4 a 5. Již od první zaznamenané hodnoty (pozice 1 – pokryvnost 2,94 %), ve vzdálenosti 34,2 centimetru před koncem ohniska, sledujeme postupný pokles hodnot až k poslední zaznamenané hodnotě (pozice 8 – pokryvnost 0,51 %) ve vzdálenosti 34,2 centimetru za koncem ohniska. V místě konce ohniska (mezi pozicemi 4 a 5) se hodnota pokryvnosti pohybuje mezi 1,79 až 1,84 %. Ojedinelým výkyvem a zároveň nejvyšší dosaženou hodnotou v rámci vypínání ventilů je pokryvnost ve vzdálenosti 11,4 centimetru před ohniskem (pozice 3), jež dosahuje hodnoty 3,03 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při vypínání byla 2,3 %.

### 3.1.3 Tažený postřikovač – rychlost 15 km/h

V této části práce jsou zkoumány hodnoty pokrývnosti na porostu a jejich průběh v rámci detekovaného a předem určeného ohniska, na kterém má dojít k aplikaci. Zaznamenávají jsou nejdříve hodnoty při najíždění do ohniska, tudíž při spouštění ventilů ovládajících sekce a následně i hodnoty při opouštění ohniska, tedy při vypínání ventilů sekcí. V tomto případě ovládání sekcí znamená ovládání každé trysky zvlášť, jelikož postřikovač, jenž byl na měření těchto dat použit je vybaven systémem ovládání jednotlivých trysek. Použit byl konkrétně tažený postřikovač John Deere R952i v agregaci s traktorem John Deere 6R 250 a toto měření bylo prováděno při aplikační rychlosti 15 km/h. V tomto případě nebyl postřikovač vybaven systémem pulzní šířkové modulace, avšak konvenčním aplikačním systémem.



Graf 3 - Tažený postřikovač, rychlost 15 km/h

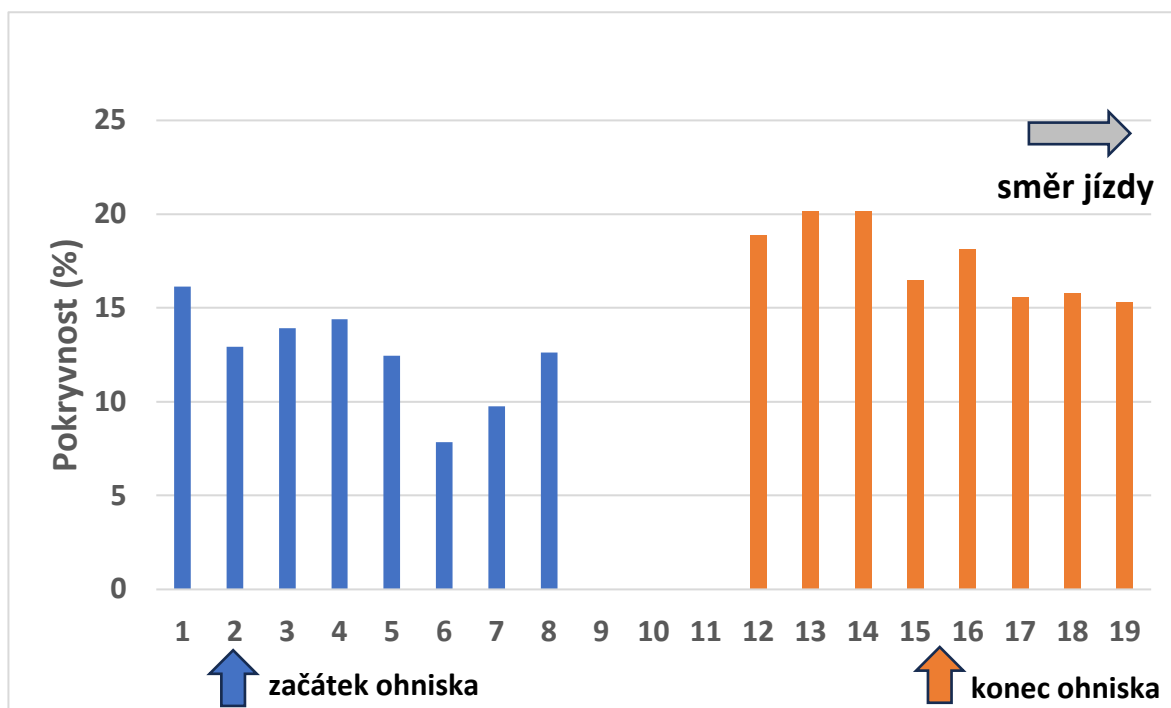
Součástí výše zmíněného grafu jsou 2 části. Pro obě z nich platí, že v rámci grafu se postřikovač pohybuje zleva doprava a rozdíl mezi jednotlivými zaznamenanými pozicemi je

vzdálenost 76 milimetrů. V levé části grafu pozorujeme vývoj hodnot pokryvnosti těsně před začátkem ohniska, a poté dalších 60,8 centimetru po jeho překonání. Začátek ohniska je v tomto případě na pozici číslo 2. Nejnižší zaznamenaná hodnota pokryvu je, jak bylo předpokládáno, ještě před začátkem ohniska (pozice 1 – pokryvnost 29,67 %), a poté se plynule zvyšuje až k pozicím 4 až 5, kde dosahuje hodnot 38 – 38,5 % a postupně se ustaluje až k poslední zaznamenané hodnotě (36,75 %) na pozici 10 – vzdálenost 60,8 centimetru od začátku ohniska. Maxima při spouštění ventilů trysek je dosaženo ve vzdálenosti 30,4 centimetru od začátku ohniska (pozice 6), kde je zaznamenaná hodnota pokryvnosti 43,98 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při spínání byla 38,2 %.

Druhá část grafu, vyznačena oranžovou barvou, zobrazuje průběh hodnot pokryvnosti při opouštění ohniska. Data jsou zaznamenaná již 34,2 centimetru před konečnou hranicí ohniska a zároveň i 34,2 centimetru po překonání této hranice. Konec ohniska je v grafu vyobrazen šipkou, která představuje přesný střed mezi pozicemi 5 a 6. Celkový průběh této části grafu má jednoznačně klesající tendenci, pokud pomineme jediný výkyv, a to nepatrný vzestup mezi hodnotami na pozicích 1 a 2. Ze vzdálenosti 26,6 centimetru před ohniskem (pozice 2), kde je dosaženo vůbec nejvyšší míry pokryvnosti (23,37 %), dále dochází k prudkému poklesu až do vzdálenosti 11,4 centimetru za ohniskem, kde už je hodnota nižší než 1 procento (konkrétně 0,99 %). Na dalších třech pozicích se hodnota pokryvu již téměř blíží nule – postupně je dosaženo hodnot 0,25; 0,16 a 0,06 % pokrytí. V místě konce ohniska se pokryvnost pohybuje mezi hodnotami 3,35 až 7,98 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při vypínání byla 17,4 %.

### 3.1.4 Tažený postřikovač – rychlost 25 km/h

V této části práce jsou opět zobrazeny a popisovány procentuální hodnoty pokryvu porostu. Tyto hodnoty jsou zkoumány ve dvou fázích – v první fázi je zobrazen průběh hodnot pokryvnosti při zapínání ventilů sekcí (v tomto případě jednotlivých trysek) při najíždění do ohniska, kde má být provedena aplikace a poté i při opouštění tohoto ohniska, a tedy při vypínání ventilů trysek na základě sekční kontroly. Pro účely tohoto měření a získání dat byl využit, stejně jako ve výzkumu z předchozí kapitoly, tažený postřikovač John Deere R952i a byl agregován s traktorem John Deere 6R 250. Tento postřikovač je vybaven konvenčním aplikačním systémem a v rámci sekční kontroly systémem ovládání jednotlivých trysek. Při získávání těchto dat byla aplikace prováděna rychlostí 25 km/h.



Graf 4 - Tažený postřikovač, rychlost 25 km/h

Tak jako v předchozích několika kapitolách, i zde je graf koncipován stejným způsobem, tudíž je rozdělen do dvou částí. Nicméně pro obě části platí, že v rámci grafu se tažený postřikovač pohybuje zleva doprava tak, jak jdou vzestupně označené pozice. Důležitým faktorem pro vyhodnocení je též vzdálenost mezi jednotlivými pozicemi označenými v grafu, která je 76 milimetrů. V první části grafu opět sledujeme vývoj hodnot pokryvnosti při najíždění do ohniska již 7,6 centimetr před reálnou hranicí ohniska a data pokryvnosti jsou zaznamenána ve vzdálenosti 45,6 centimetru po překročení této hranice (pozice 8). V tomto případě není průběh grafu tak jednoznačný, jako tomu bylo v předchozích případech a rozhodně nelze říct, že by měl stoupající tendenci. Spíše naopak tendence hodnot je spíše klesající, avšak s velkými výkyvy hodnot. Ještě před začátkem ohniska (pozice 1) je hodnota pokryvnosti nejvyšší z celé zkoumané oblasti – dosahuje hodnoty 16,14 %. Poté hodnoty až na lehký výkyv spíše klesají až do vzdálenosti 30,4 centimetru od začátku ohniska (pozice 6), kde hodnota pokryvnosti dosahuje minima 7,86 %. V dalších dvou měřených pozicích opět pokrytí stoupá až na hodnotu 12,61 %, jež je dosažena ve vzdálenosti 45,6 centimetru od překročení ohniska (pozice 8). V místě začátku ohniska je dosaženo hodnoty pokrytí 12,93 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při spínání byla 12,5 %.

V druhé polovině grafu jsou naopak sledovány hodnoty pokryvnosti při vypínání ventilů sekční kontroly (v tomto případě jednotlivých trysek) při vyjíždění z ohniska. Konec ohniska je opět vyznačen v grafu šipkou a představuje přesný střed mezi pozicemi 4 a 5. Hodnoty jsou opět zaznamenány jak před koncem ohniska, tak i po jeho překonání. První data jsou zobrazena ve vzdálenosti 26,6 centimetru před hranicí ohniska a poslední data naopak 26,6 centimetru po překonání této hranice. Celkově mají tato data sestupný vývoj, avšak rozdíly mezi jednotlivými hodnotami nepřesahují 5 procent. Mezi hodnotami 1–3 dochází k mírnému nárůstu hodnot pokryvnosti, kdy na první měřené pozici je pokryvnost 18,89 % a směrem k pozici 3 se zvyšuje až na hodnotu 20,19 %, což je maximum v tomto měřeném úseku. Následně hodnoty nabírají sestupnou tendenci a až na zanedbatelné výkyvy hodnoty klesají až k poslední zaznamenané hodnotě, která je již ve vzdálenosti 26,6

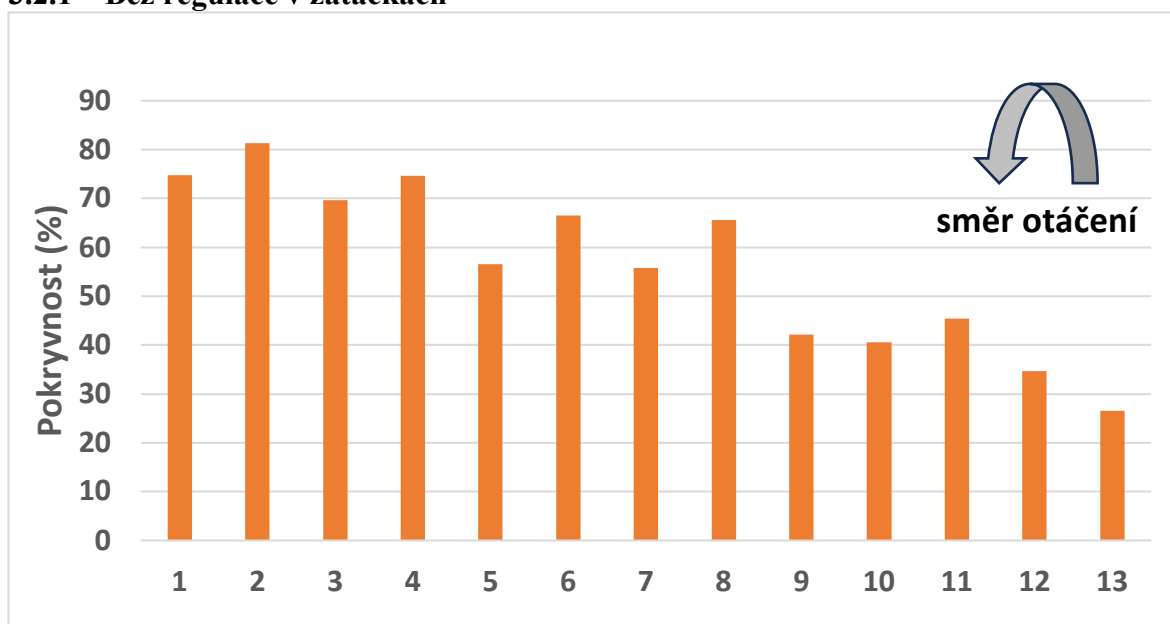
centimetru od konce ohniska, dosahuje pokryvnosti 15,31 % a je zároveň minimem tohoto grafu. Pokryvnost v místě konce ohniska se pohybuje mezi hodnotami 16,49 až 18,16 %. Průměrná hodnota pokryvnosti při vypínání byla 18,9 %.

### **3.2 Regulace v zatáčkách**

Tato technologie (Curve control), která umožňuje aplikovat homogenní dávku v celém záběru postřikovače při průjezdu zatáčkami nebo při objíždění sloupů a jiných překážek na pozemku, byla již zmíněna v teoretické části této práce. Těto funkce je dosaženo aktivací různých kombinací trysek v rámci každé sekce nebo dokonce každé trysky, popřípadě využitím systému pulzní šířkové modulace. Pomocí senzorů měří palubní počítač rychlost a zakřivení zatáčky a následně podle toho vypočítá vhodnou aplikační dávku pro každou sekci či jednotlivou trysku. V této kapitole je popsána procentuální míra pokryvnosti v rámci celého záběru a porovnání právě těchto pokryvností mezi sebou. Též dochází k porovnání pokryvností při průjezdu zatáčkou mezi konvenčním aplikačním systémem, a právě mezi systémem, jenž umožňuje využití technologie Curve Control, tedy regulace dávky při průjezdu zatáčkou. K získání těchto dat byl využit samojízdný postřikovač John Deere R4150i s pracovním záběrem postřikových ramen 24 metrů, který je vybaven právě zmíněným systémem pulzní šířkové modulace ExactApply a umožňuje aplikaci při frekvenci až 50 Hz.. Porovnány byly právě 2 průjezdy tohoto samojízdného postřikovače ve zkušební zatáčce, která měla naprosto stejné parametry při obou průjezdech. První průjezd byl pomocí konvenčního aplikačního systému, jenž neumožňuje využití technologie regulace v zatáčkách. Druhé měření bylo provedeno s totožným samojízdným postřikovačem, avšak v tomto stroji byl aktivován systém pulzní šířkové modulace, který na základě měnící se aplikační frekvence každé jednotlivé trysky, umožňuje regulaci dávky postřiku v zatáčkách, tudíž aplikování homogenní dávky v celém záběru stroje. Tato aplikace byla prováděna v obou případech totožnou aplikační rychlostí 15 km/h.



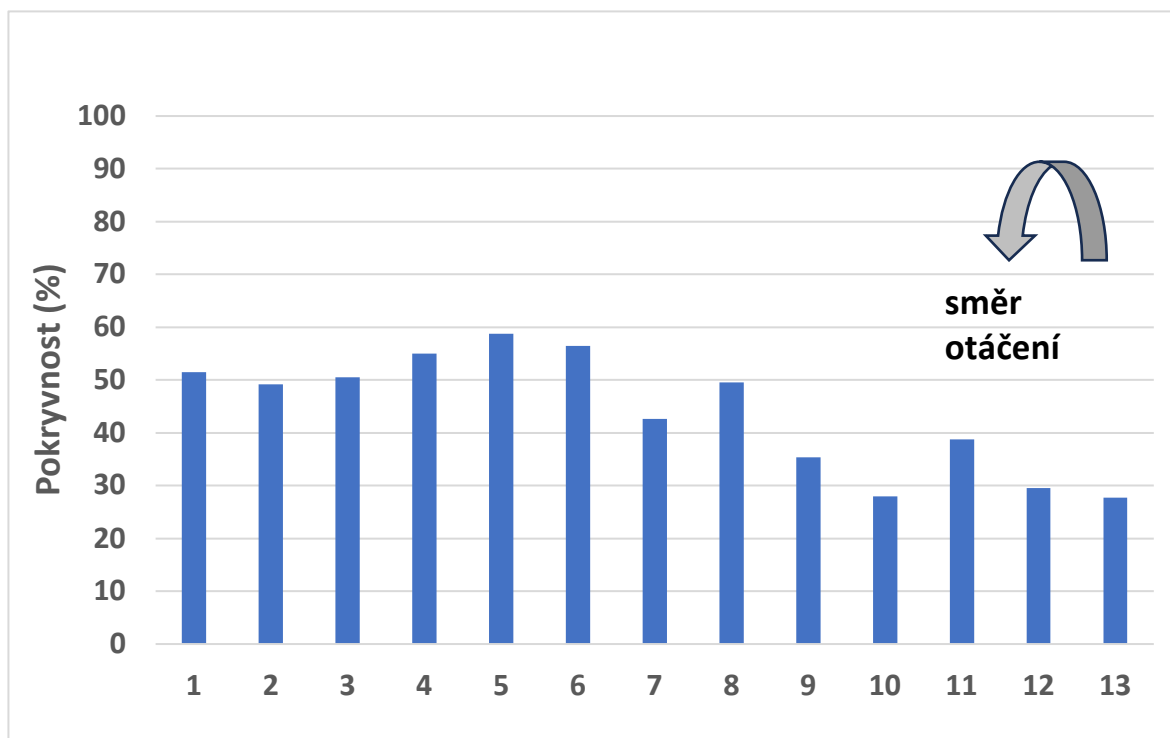
### 3.2.1 Bez regulace v zatáčkách



Graf 5 - Bez regulace v zatáčkách

Ve výše zobrazeném grafu jsou zaznamenány procentuální míry pokryvnosti na porostu při průjezdu zatáčkou bez použití systému regulace dávky v zatáčkách. Pro tento graf platí, že směr jízdy samojízdného postřikovače je odspodu nahoru a směr zatáčení je doleva. Označení (číslovky 1-13) vyobrazené na vodorovné ose grafu představuje jednotlivé pozice, na kterých byla zaznamenávána úroveň pokrytí. Tyto pozice jsou rozmístěny v šíři celého záběru stroje v pravidelných intervalech dvou metrů. Pokud je graf brán jako celek, tak dochází k postupnému snižování úrovně pokryvnosti z levého kraje postřikových ramen až na pravý konec ramen. Příkladem je pokryvnost na pozicích, které jsou umístěny na vnitřním okraji zatáčky a postupně tam také byly zaznamenány nejvyšší hodnoty: pozice 1 (74,82 %), pozice 2 (81,35 %), pozice 3 (69,6 %) a pozice 4 (74,65 %). Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány na opačném konci zatáčky, tedy na vnější: pozice 10 (40,51 %), pozice 11 (45,4 %), pozice 12 (34,71 %) a pozice 13 (26,54 %). V místě průjezdu samotného stroje (pozice 7) byla zaznamenána hodnota pokryvnosti 55,76 %.

### 3.2.2 S regulací v zatáčkách



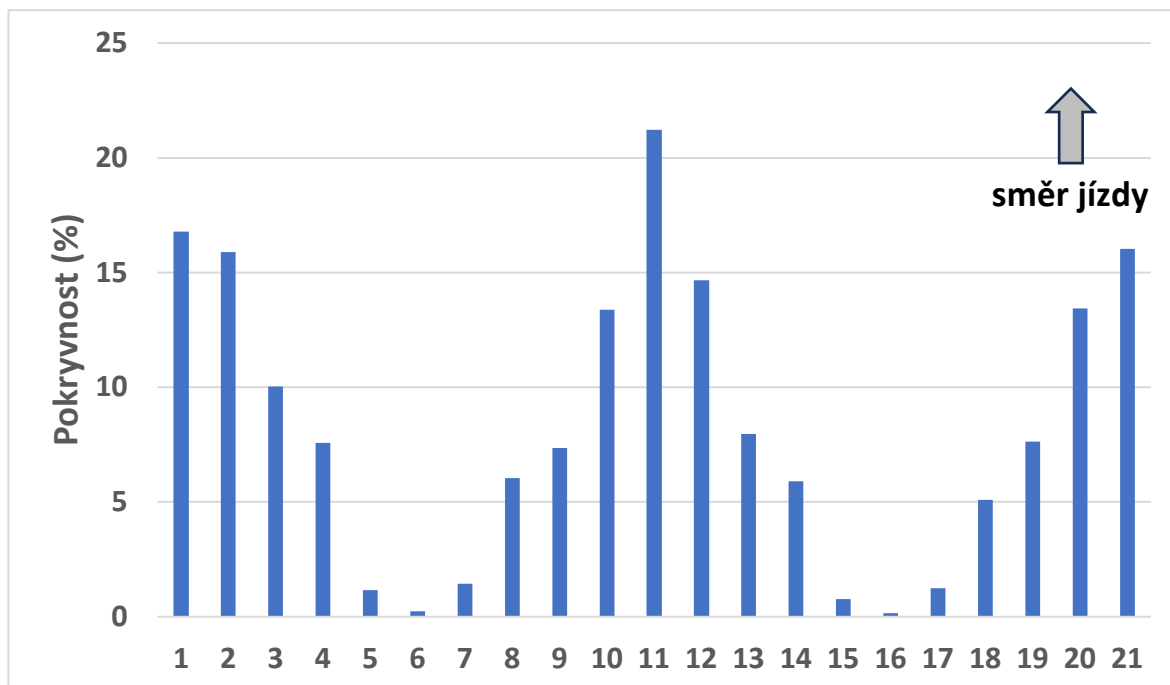
Graf 6 - S regulací v zatáčkách

V grafu číslo 6 můžeme sledovat procentuální vyjádření pokryvnosti, v předem definovaných částech pracovního záběru, při průjezdu zatáčkou a za použití systému regulace dávky v zatáčkách. I v tomto případě opět platí, že směr samojízdného postřikovače v rámci grafu je odspodu nahoru a směr zatáčení je doleva. Číselná označení na vodorovné ose (1-13) představují pozice záznamu pokryvnosti, které jsou rozmístěny v pravidelných intervalech po celém záběru aplikačních ramen postřikovače. Vzdálenost mezi těmito pozicemi je opět 2 metry. Při hodnocení grafu je zřejmé, že na vnitřní části zatáčky dochází ke kvalitní regulaci dávky a nedochází k nadměrnému pokrytí. Hodnoty na pozicích 1-8 se drží v nízkém rozmezí mezi hodnotami pokryvnosti 42,68 % až 58,79 %. Avšak na vnější části zatáčky pozorujeme plynulý pokles hodnot pokryvnosti, až na výjimku na pozici 11. Již od pozice 8 (49,54 %) se hodnoty snižují a nejnižší hodnota pokryvnosti (27,78 %) je dosažena právě na poslední zaznamenané pozici číslo 13, jenž je umístěna na úplném konci postřikového ramene. Tento pokles v rámci vnější části byl pravděpodobně způsoben

nadměrnou rychlostí při průjezdu zatáčkou, kdy již při frekvenci 15 Hz nebylo možno dorovnat dávku v celém záběru aplikačních ramen samojízdného postřikovače. V místě průjezdu samotného stroje, tedy ve středu aplikačních ramen, byla dosažena úroveň pokryvnosti 42,68 %.

### **3.3 Pásková aplikace**

Jak již bylo zmíněno v teoretické části této práce, páskové aplikace přinášejí jiný pohled na aplikaci širokořádkových plodin. Tímto způsobem lze dojít k vysokým úsporám, ať už aplikujeme do meziřádku (herbicidy), anebo pouze na samotný řádek (herbicidy, insekticidy, fungicidy). Rozteče řádků a širokořádkových plodin mohou být různé, avšak nejčastější jsou varianty rozestupu 25, 50 nebo 75 centimetrů. Tyto míry jsou logické už z toho důvodu, že drtivá většina výrobců aplikační techniky nabízí své postřikovače s rozestupem trysek na aplikačních ramenech právě 25 nebo standardně 50 centimetrů. Pro využití k páskové aplikaci je samozřejmě ideální varianta s rozestupem trysek 25 centimetrů, která nabízí více možností aplikace. I z toho důvodu byl právě pro výzkum a měření dat v této kapitole použit postřikovač, který tuto variantu umožňuje. Stejně jako již v některých předešlých kapitolách byl využit tažený postřikovač John Deere R952i se záběrem ramen 24 metrů, a právě již zmíněným rozestupem trysek 25 cm. Tento postřikovač je zároveň vybaven systémem ovládání jednotlivých trysek, což umožňuje stálou deaktivaci vybraných trysek tak, aby bylo dosaženo právě potřebného rozestupu mezi tryskami, které budou naopak aktivní. Pokud je aplikováno například na řádky s rozestupem 75 centimetrů, jsou standardně deaktivovány vždy dvě trysky vedle sebe (ty, které by pokrývaly meziřádek) a aktivována je každá třetí, tudíž ta, která je přímo nad řádkem. V případě aplikace do meziřádku je to přesně opačně, což znamená že jsou aktivní vždy dvě trysky nad meziřádkem a jedna tryska nad řádkem zůstává deaktivována.



Graf 7 - Pásková aplikace

V přiloženém grafu jsou zobrazeny procentuální hodnoty pokryvnosti na porostu při využití technologie páskové aplikace. V rámci grafu se souprava s taženým postřikovačem pohybuje odspodu nahoru a aplikační rychlost je 10 km/h. Tento graf, narozdíl od předešlých, nepředstavuje celou šířku záběru, ale pouze vybraný úsek (široký 152 centimetrů), který dostatečně slouží k demonstraci a výzkumu páskové aplikace. Důležitou informací je též definování jednotlivých číselných pozic vyobrazených na vodorovné ose – každá číslovka představuje pozici, na které byla pokryvnost zaznamenávána a vzdálenost mezi jednotlivými pozicemi je vždy 76 milimetrů. Při prvním pohledu na graf je zjištěno, že využitá technologie funguje tak, jak bylo předem očekáváno. Trysky, které byly v tomto případě využity k aplikaci jsou umístěny nad pozicemi 1, 11 a 21. Správnou funkčnost technologie ukazuje to, že na těchto pozicích bylo dosaženo nejvyšších hodnot pokrytí – pozice 1 (16,78 %), pozice 11 (21,21 %) a pozice 21 (16,04 %). Naopak se zvyšující se vzdáleností od těchto aplikovaných pozic dochází k postupnému snižování hodnot pokryvnosti až k hodnotám na pozicích 6 a 16, které vždy představují střed mezi

dvěma aplikovanými řádky. Na těchto pozicích je pokrývnost téměř nulová – pozice 6 (0,23 %) a pozice 16 (0,15 %).

### 3.4 Porovnání velikosti sekcí

#### 3.4.1 Farma 1 – individuální ovládání trysek

V tabulce číslo 1 jsou zobrazeny výsledky analýzy telematických dat, které byly získány na první ze dvou hodnocených farem. V tomto případě byla hodnocena data získaná ze samojízdného postřikovače John Deere R4150i, vybaveného pulzní šířkovou modulací ExactApply, která umožňuje individuální ovládání trysek. V rámci této farmy bylo 10 různě velkých pozemků, kdy nejmenší byl o výměře 4,3 ha a největší o výměře 71,7. U těchto pozemků nelze jednotně určit jejich pravidelný tvar, ani je přiřadit do skupin podobného tvaru, jelikož tato data byla získána na velmi členitých a originálních pozemcích.

	<b>Celkem</b>	<b>Rozdíl</b>
<b>Celková plocha (ha)</b>	<b>259,8</b>	
<b>Aplikovaná plocha (ha)</b>	<b>261,2</b>	<b>1,4</b>
<b>Cílová dávka (l/ha)</b>	<b>163,96</b>	
<b>Reálná dávka (l/ha)</b>	<b>164,38</b>	<b>0,42</b>
<b>POR - cíl (l)</b>	<b>43 985</b>	
<b>POR - použito (l)</b>	<b>44 030</b>	<b>45</b>

*Tabulka 1 – Farma 1, individuální ovládání trysek*

Celkové výměra těchto deseti hodnocených pozemků činí 259,8 ha a aplikovaná byla plocha 261,2. Výsledkem je celkové překrytí 1,4 ha. V případě cílové dávky mělo být dosaženo průměru 163,96 l/ha, avšak realita byla 164,38 l/ha. Rozdíl v tomto případě tedy činí pouhých 0,42 l/ha. Poslední sledovanou hodnotou bylo množství aplikovaných prostředků na ochranu rostlin – aplikováno mělo být celkem 43 985 litrů a aplikováno bylo o pouhých 45 litrů více, tudíž celkových 44 030 litrů.

### 3.4.2 Farma 1 – ovládání jednotlivých sekcí

V této kapitole byla opět zaznamenána provozní a telematická data ze stroje, pro vzájemné porovnání jednotlivých parametrů. Tato data byla opět získána na farmě číslo 1, ze dvou hodnocených farem. Aby mohlo dojít k regulárnímu a vypovídajícímu porovnání rozdílného ovládání sekcí, je nutností porovnávat hodnoty na stejných pozemcích, ať už z hlediska celkové výměry pozemků nebo primárně z důvodu rozdílného reliéfu. Z toho důvodu byly i v tomto případě data získána ze stejných deseti pozemků, jako tomu bylo v předchozí kapitole. Jediným rozdílem oproti předchozí kapitole je užití stroje. Tím je v tomto případě opět samojízdný postřikovač značky John Deere, avšak v tomto případě starší model R4040i. Tento postřikovač neumožňuje individuální ovládání trysek, tudíž je ovládán po sekcích o záběru 3 metry.

	<b>Celkem</b>	<b>Rozdíl</b>
<b>Celková plocha (ha)</b>	<b>259,8</b>	
<b>Aplikovaná plocha (ha)</b>	<b>261,1</b>	<b>1,3</b>
<b>Cílová dávka (l/ha)</b>	<b>178</b>	
<b>Reálná dávka (l/ha)</b>	<b>180,22</b>	<b>2,22</b>
<b>POR - cíl (l)</b>	<b>41 973</b>	
<b>POR - použito (l)</b>	<b>42 723,7</b>	<b>750,7</b>

*Tabulka 2 - Farma 1, ovládání jednotlivých sekcí*

V tabulce číslo 2 jsou zaznamenány hodnoty jednotlivých parametrů, které byly získány opět na stejných deseti pozemcích, jako v předchozí kapitole, o celkové výměře 259,8 ha. Aplikovaná plocha byla 261,1 ha, tudíž překryvy v tomto případě činí 1,3 ha. Při pohledu na průměrnou aplikovanou dávku si lze povšimnout, že oproti cílové dávce 178 l/ha bylo aplikováno 180,22, tedy o 2,22 l/ha více. Z hlediska prostředků na ochranu rostlin byl cíl 41 973 litrů, avšak bylo použito 42 723,7 litru. Z toho plyne, že bylo aplikováno o 750,7 litru více, než bylo cílem.

### 3.4.3 Farma 2 – individuální ovládání trysek

V rámci této kapitoly jsou, stejně tak jako v těch předchozích dvou, získávána telematická provozní data z konkrétního aplikačního postřikovače. Tím je v rámci této farmy znovu samojízdný postřikovač John Deere R4150i, vybavený systémem pulzní šířkové modulace poskytující individuální ovládání trysek, což umožní jednoduché srovnání oproti předchozí farmě, avšak na odlišných pozemcích. V případě této konkrétní farmy, druhé z hodnocených farem, byla získána data opět z deseti různých pozemků. Tentokrát nejmenší z nich má výměru 12,9 ha a největším je pozemek o výměře 30,4 ha. Pozemky nelze zařadit do jednotlivých skupin dle tvaru, jelikož jsou opět členité a s různým reliéfem.

	<b>Celkem</b>	<b>Rozdíl</b>
<b>Celková plocha (ha)</b>	<b>268,5</b>	
<b>Aplikovaná plocha (ha)</b>	<b>268,9</b>	<b>0,4</b>
<b>Cílová dávka (l/ha)</b>	<b>173</b>	
<b>Reálná dávka (l/ha)</b>	<b>173,74</b>	<b>0,74</b>
<b>POR - cíl (l)</b>	<b>46 465</b>	
<b>POR - použito (l)</b>	<b>46 669,7</b>	<b>204,7</b>

*Tabulka 3 - Farma 2, individuální ovládání trysek*

Ve výše přiložené tabulce (Tabulka 3) jsou zobrazena zanalyzovaná telematická data získaná v rámci testovací farmy číslo 2. V rámci deseti již zmíněných pozemků činí součet jejich celkových výměr 268,5 ha, avšak v tomto případě bylo aplikováno na 268,9 ha. Celkové překryvy na těchto pozemcích tedy pokrývají plochu 0,4 ha. V případě průměrné cílové dávky byl cíl 173 l/ha. Aplikováno bylo o 0,74 l/ha a tím pádem celkových 173,74 l/ha. Posledním zaznamenaným parametrem v této kapitole je množství cílových a reálně aplikovaných prostředků na ochranu rostlin, kdy cíl byl 46 465 litrů, avšak reálně aplikované množství bylo 46 669,7 litru. Aplikováno tedy bylo o 204,7 litru více, než bylo předpokládáno.

### 3.4.4 Farma 2 – ovládání jednotlivých sekcí

Tato část práce obsahuje data o třech konkrétních parametrech, které byly nejprve samostatně posuzovány a následně porovnávány mezi sebou, a i v rámci ostatních kapitol. Hodnoty pro tyto postupy byly získány z telematických provozních dat daného stroje. Strojem poskytujícím data je v tomto případě traktor John Deere 6M 175, který byl agregován v soupravě s taženým postřikovačem Agrio. Ten umožňuje ovládání jednotlivých sekcí o záběru tří metrů, což je ideální pro účely tohoto měření. Pro ideální a vypovídající porovnání je ideální variantou, díky odlišným systémům sekční kontroly, získávání naměřených dat z totožných pozemků, k čemuž v tomto případě dochází a data jsou získána ze stejných deseti pozemků, jako tomu bylo v předchozí kapitole.

	<b>Celkem</b>	<b>Rozdíl</b>
<b>Celková plocha (ha)</b>	<b>268,5</b>	
<b>Aplikovaná plocha (ha)</b>	<b>273,3</b>	<b>4,8</b>
<b>Cílová dávka (l/ha)</b>	<b>199</b>	
<b>Reálná dávka (l/ha)</b>	<b>202,676</b>	<b>3,68</b>
<b>POR - cíl (l)</b>	<b>54 355</b>	
<b>POR - použito (l)</b>	<b>55 309</b>	<b>954</b>

*Tabulka 4 - Farma 2, ovládání jednotlivých sekcí*

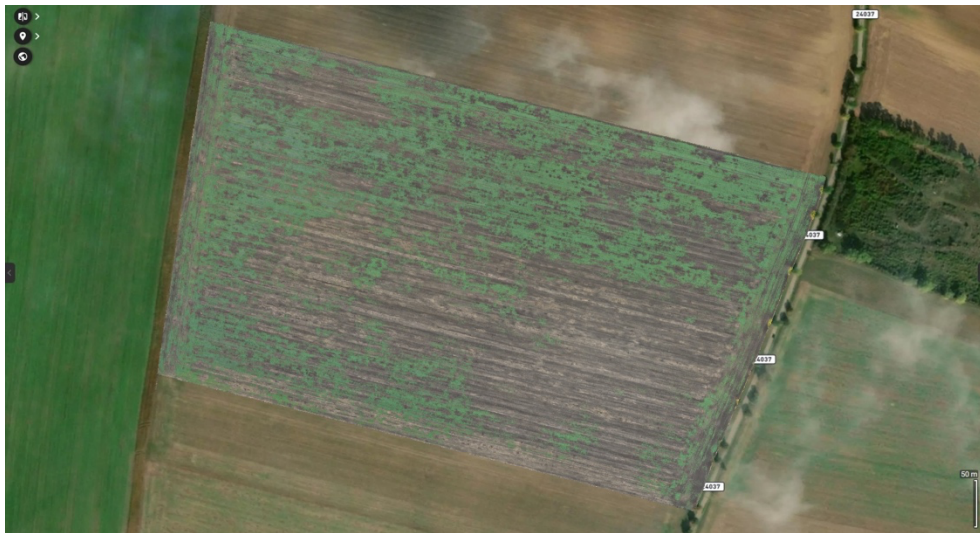
Pohledem na tabulku číslo 4 si lze všimnout, že obsahuje hodnoty jednotlivých porovnávaných parametrů v rámci farmy 2. Hodnoty pro toto porovnání byly získány pomocí telematických dat a následně zanalyzovány. V rámci této analýzy bylo využito celkem 10 pozemků o výměře 268,5 ha. V případě taženého postřikovače došlo k celkovému překryvu 4,8 ha, aplikoval tudíž celkových 273,3 ha. V případě cílové dávky byl požadovaný průměr 199 l/ha, avšak aplikováno bylo průměrně 202,68 l/ha. Ztráta v tomto případě tedy činí 3,68 l/ha. Poslední sledovaný parametr je množství aplikovaných prostředků na ochranu rostlin, kdy bylo aplikováno celkových 55 309 litru, oproti předpokládaným 54 355. Rozdíl v tomto parametru tedy činil celkových 954 litrů.



### 3.5 Selektivní aplikace

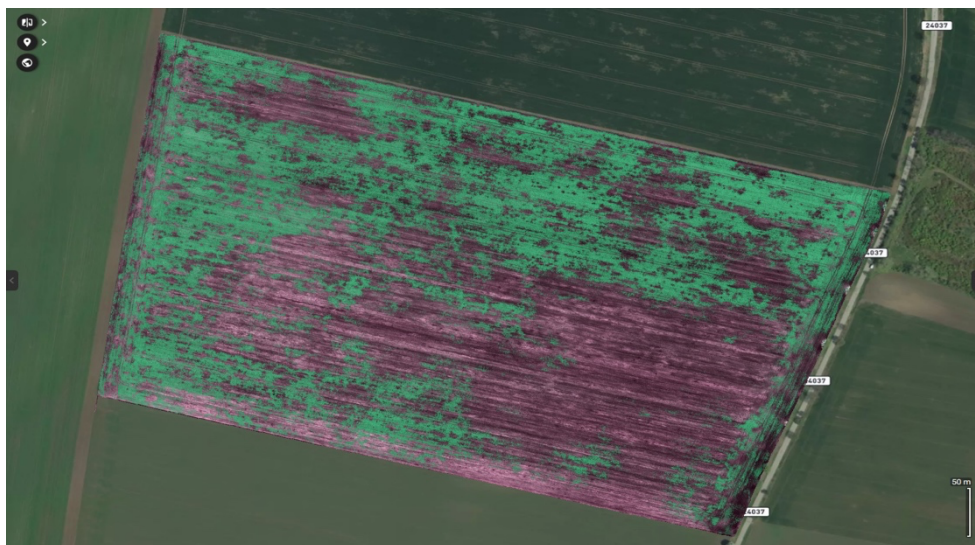
V rámci této kapitoly dochází k hodnocení snímků a dat, která byla získána v rámci využití technologie selektivních aplikací v rámci testovací farmy číslo 2. Postupně bude popsán chronologicky postup, jak dochází k jednotlivým krokům, a ty budou vždy obrazově znázorněny.

Snímky použité pro toto hodnocení byly získané pomocí bezpilotního prostředku (dronu) DJI Mavic 3 Multispectral, jenž umožňuje získání jak standardních RGB snímků, tak i právě snímků multispektrálních. Použití jednoho či druhého snímku závisí na konkrétních podmínkách a nelze obecně určit, který snímek má být použit za jakých podmínek. V tomto měření byl pro tvorbu předpisové mapy využit multispektrální snímek.



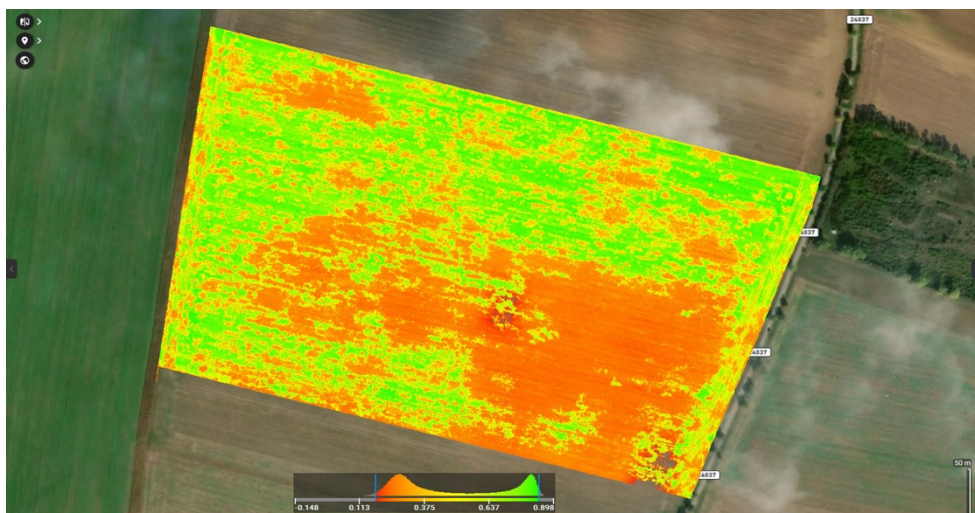
Obrázek 7 - RGB snímek

Na obrázku číslo 7 je zobrazen RGB snímek získaný z dronu. Nasnímán je poškozený porost řepky ozimé, kdy poškozeno je cca 40% pozemku. Snímek nebyl v tomto případě použit pro tvorbu předpisové mapy.



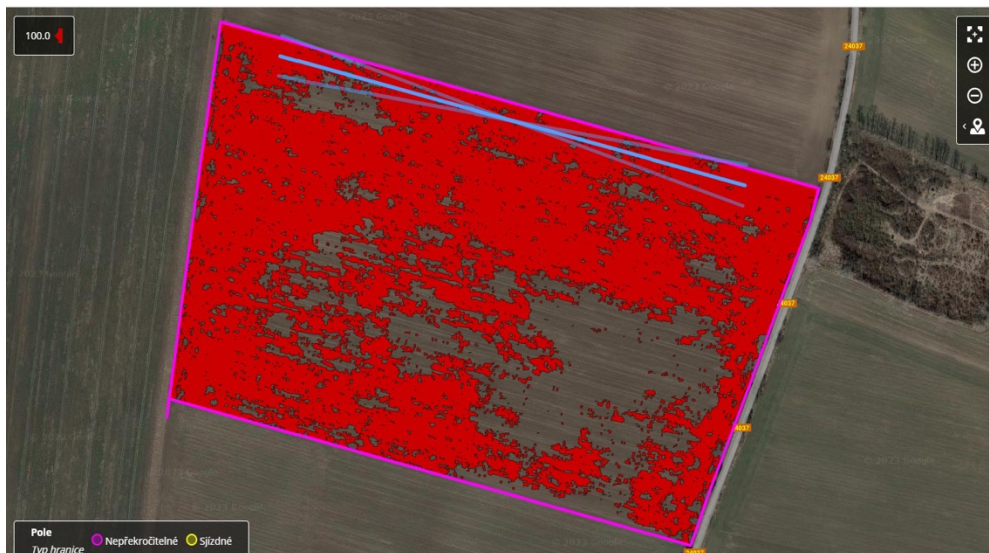
Obrázek 9 - Multispektrální snímek

Na obrázku číslo 8 je možné vidět již zmíněný multispektrální snímek. Oba tyto výše zobrazené snímky je možno pořídít najednou, tudíž jedním přeletem dronu. Právě tento snímek byl v rámci tohoto měření použit k tvorbě předpisové mapy.



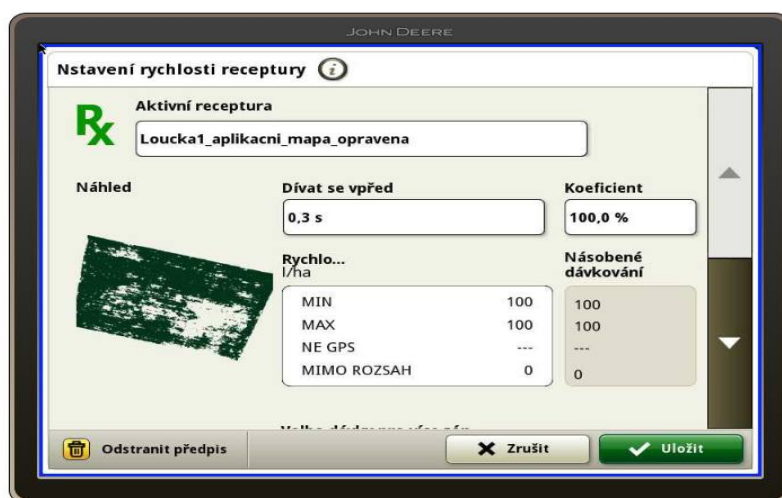
Obrázek 8 - Vegetační index NDVI

Jako ideální volba byl v tomto případě zvolen vegetační index NDVI, jenž je jedním z nejpoužívanějších a je ovlivňován morfologií a fyziologií rostlin. Index se opírá hlavně o strukturu listů a je vhodný pro vyjádření biomasy nebo například obsahu dusíku.



Obrázek 11 - Předpisová mapa

Na obrázku výše je zobrazen snímek předpisové mapy. Výstupem pro tuto mapu byl právě již zmíněný multispektrální snímek, jenž byl na základě vegetačního indexu (obrázek 3) upraven do této podoby. Tyto úpravy proběhly v programu Pix4D Fields, jenž umožňuje právě tvorbu předpisových map, jak variabilních, tak i selektivních. Nutno podotknout, že plocha, která má být aplikována (červená barva) je rozšířena o tzv. buffer – každé ohnisko má rozšířenou hranici o určitou vzdálenost, která kompenzuje prodlevu ve spuštění sekční kontroly postřikovače. Následně je tento snímek nahrán do terminálu postřikovače.



Obrázek 10- Předpisová mapa v terminálu postřikovače

V následující tabulce jsou zobrazeny hodnoty naměřených dat získaných z dronu a výsledná data získaná z telematických dat postřikovače. V tomto případě byl využit samojízdný postřikovač John Deere R4150i se systémem pulzní šířkové modulace, jenž umožňuje individuální ovládání trysek, které jsou umístěny s rozstupem 50 centimetrů. Z důvodu náročnosti nebylo toto měření provedeno na tak velkém objemu plochy, ale pouze na dvou demonstračních pozemcích.

<b>pozemek</b>	<b>_01</b>	<b>_02</b>	<b>celkem</b>
<b>Plocha celkem (ha)</b>	<b>25,42</b>	<b>30,22</b>	<b>55,64</b>
<b>Předpisová mapa (ha)</b>	<b>16,77</b>	<b>26,57</b>	<b>43,34</b>
<b>Úspora (ha)</b>	<b>8,65</b>	<b>3,65</b>	<b>12,3</b>
<b>Reálně aplikováno (ha)</b>	<b>18,6</b>	<b>28,8</b>	<b>47,4</b>
<b>Reálná úspora (ha)</b>	<b>6,82</b>	<b>1,42</b>	<b>8,24</b>

*Tabulka 5 – Selektivní aplikace*

V tabulce číslo 5 jsou zobrazeny výsledné hodnoty z měření technologie selektivní aplikace. V tomto případě byly zkoumány 2 pozemky o celkové výměře 55,64 ha. Dle snímků získaných z dronu a jejich následného zpracování vyplynula předpisová mapa, jenž obsahuje předpis o výměře 43,34 ha. Teoretická úspora teda byla 12,3 ha. Avšak aplikace neumožňuje tak přesnou aplikaci, například z důvodu rozstupu trysek 50 cm. Z toho důvodu byla celková, reálně aplikovaná plocha 47,4 ha, tedy oproti předpokladu bylo aplikováno o 4,06 ha více. Z toho plyne, že reálná úspora na konkrétních dvou pozemcích činí 8,24 ha. Při procentuálním vyjádření je úspora 14,8 procenta.

### 3.6 Ekonomické zhodnocení

V rámci ekonomického zhodnocení jsou posuzovány dvě části – nejdříve porovnání sekční kontroly a poté selektivní aplikace. Pro zjednodušení výpočtů a transparentnost pro všechny počítané pozemky je v této kapitole počítáno vždy pouze s aplikací jednoho druhu prostředku na ochranu rostlin, a tím je v tomto případě fungicid, jenž je aplikován v dávce 0,8 litru na hektar. Cena jednoho litru přípravku činí 1400 Kč.

#### 3.6.1 Ekonomika sekční kontroly

V rámci sekční kontroly jsou vypočteny rozdíly v nákladech na zkušebních pozemcích, které byly zkoumány v rámci praktické části této práce. Vytyčen je rozdíl mezi náklady při aplikaci s postřikovačem vybaveným individuálním ovládáním trysek a náklady u postřikovače, který je vybaven ovládáním jednotlivých sekcí, v našem případě vždy 3 m.

	<b>Trysky – Farma 1</b>	<b>Sekce – Farma 1</b>	<b>Trysky – Farma 2</b>	<b>Sekce – Farma 2</b>
<b>Plocha (ha)</b>	259,8	259,8	268,5	268,5
<b>Aplikace (ha)</b>	261,2	261,1	268,9	273,3
<b>Plocha – cena (Kč)</b>	290 976	290 976	300 720	300 720
<b>Aplikace – cena (Kč)</b>	292 544	292 432	301 168	306 096
<b>Rozdíl (Kč)</b>	<b>1 568</b>	<b>1 456</b>	<b>448</b>	<b>5 376</b>

*Tabulka 6 - Ekonomika sekční kontroly*

Ve výše zobrazené tabulce jsou promítnuty parametry důležité k ekonomickému vyhodnocení. V prvních dvou řádcích jsou hodnoty plochy – celková výměra pozemku a reálně aplikovaná plocha. V dalších dvou řádcích jejich peněžní vyjádření, a nakonec rozdíl v těchto hodnotách. V rámci Farmy 1 je rozdíl mezi systémy řízení sekcí minimální, pouhých 112 Kč. Naopak na Farmě 2 je rozdíl markantní, a to hlavně díky vysokém rozdílu u řízení jednotlivých sekcí po třech metrech. Ve výsledku je v rámci farmy 2 rozdíl mezi systémy řízení sekcí 4 928 Kč.

### 3.6.2 Ekonomika selektivní aplikace

Kapitola ekonomiky selektivní aplikace se zabývá výpočtem nákladů na jednotlivé selektivní aplikace, provedené v praktické části této práce a jejich porovnání, jak mezi, tak i se standardní celoplošnou aplikací prostředků na ochranu rostlin.

pozemek	_01	_02	celkem	Cena (Kč)
<b>Plocha celkem (ha)</b>	<b>25,42</b>	<b>30,22</b>	<b>55,64</b>	<b>62 317</b>
<b>Předpisová mapa (ha)</b>	<b>16,77</b>	<b>26,57</b>	<b>43,34</b>	<b>48 541</b>
<b>Úspora (ha)</b>	<b>8,65</b>	<b>3,65</b>	<b>12,3</b>	<b>13 776</b>
<b>Reálně aplikováno (ha)</b>	<b>18,6</b>	<b>28,8</b>	<b>47,4</b>	<b>53 088</b>
<b>Reálná úspora (ha)</b>	<b>6,82</b>	<b>1,42</b>	<b>8,24</b>	<b>9 229</b>

Tabulka 7 - Ekonomika selektivní aplikace

V tabulce číslo 7 jsou zobrazeny hodnoty získané z dronu a z telematických provozních dat postřikovače a k těmto datům jsou dopočteny náklady na jednotlivé aplikace či úspory. Vyčísleny jsou dva pozemky a následně vždy jejich celkový součet. Pokud by byla využita celoplošná aplikace těchto dvou pozemků, tak by celkové náklady na prostředky na ochranu rostlin dosáhly hodnoty 62 317 Kč. Při použití zpracovaných snímků do předpisové mapy, a tím snížení aplikované plochy, mělo být teoreticky uspořeno 13 776 Kč. Avšak technika nedovoluje až tak přesnou aplikaci, tudíž reálně bylo aplikováno větší množství a úspora byla celkových 9 229 Kč v rámci dvou testovaných pozemků o celkové výměře 55,64 ha. Při vyčíslení obou pozemků jednotlivě dojdeme k závěru, že v rámci prvního pozemku, o výměře 25,42 ha, bylo oproti celoplošné aplikaci uspořeno 7 639 Kč. Na druhém pozemku, o celkové ploše 30,22 ha, bylo uspořeno 1 590 Kč.

## **Závěr**

Tato diplomová práce se zabírala tématem hodnocení úrovně sekční kontroly postřikovačů a selektivních aplikací na úsporu prostředků na ochranu rostlin.

V teoretické části této diplomové práce byly popsány pojmy týkající se aplikační techniky, jejího postupného vývoje a moderním technologiím, které jsou s aplikační technikou neodmyslitelně spjaté. Následně byly objasněny přínosy sekční kontroly a principy, s čímž je spjata i problematika variabilních, selektivních a páskových aplikací. Bylo představeno téma dálkového průzkumu Země, což zahrnuje získávání dat pomocí bezpilotních prostředků nebo satelitních systémů a zároveň proces zpracování a analýzy těchto dat. Teoretická část diplomové práce je zakončena tématem precizního zemědělství a stručným vysvětlením problematiky greendealu.

V praktické části této práce jsou nedříve hodnocena data získaná z papírů senzitivních na vodu při polním měření na zkušebním pozemku. Získaná data byla následně analyzována a byly určeny míry pokryvnosti při spouštění a vypínání ventilů sekční kontroly při najíždění nebo vyjíždění z hranice zkušebního pozemku. Bylo zjištěno, že při nižší aplikační rychlosti je míra pokrytí vždy vyšší než při vyšší aplikační rychlosti (při spínání i vypínání ventilů). Zároveň při nižší aplikační rychlosti dochází k precizní aplikaci již těsně před počáteční hranicí pozemku, a naopak i těsně za konečnou hranicí pozemku. Avšak u vyšší aplikační rychlosti jsou často tyto hodnoty nepřesné u obou zkušebních strojů. V rámci tohoto polního měření byla stejným způsobem, dle pokryvnosti, zkoumána regulace dávky postřiku při průjezdu zatáčkou. Při zapnutí tohoto systému byla zjištěna skutečnost, že funguje správně pouze do určité rychlosti, do které dokáže frekvence pulzního systému dávku regulovat. Při vyšší rychlosti poté dochází k poklesu pokryvnosti na vnější straně ramene postřikovače. Posledním polním měřením byla pásková aplikace na řádky s rozestupem 75 cm, kde docházelo k nadměrnému pokrytí i v meziřádku. Řešením tohoto problému by mohla být aplikační tryska s menší postřikovacím úhlem.

V další podkapitole praktické části byla posuzována telematická provozní data získaná na dvou farmách, kdy v rámci každé farmy byly porovnávány rozdílné systémy ovládání sekční kontroly. V případě první farmy bylo zjištěno, že překryvy u obou systémů jsou téměř totožné, avšak u systému ovládání jednotlivých sekcí po třech metrech byla vyšší nepřesnost v aplikaci celkové dávky. V rámci druhé farmy byl zásadní rozdíl již u překryvů, které byly u systému ovládání jednotlivých sekcí o 4,4 ha vyšší a značně vyšší byla i nepřesnost v celkové aplikované dávce. U obou farem tedy splnily očekávání systémy individuálního ovládání trysek a přinesly preciznější a úspornější aplikaci. Součástí analýzy sekční kontroly byla i podkapitola s výzkumem selektivní aplikace. V rámci tohoto měření bylo využito bezpilotního prostředku pro nasnímání daných pozemků, snímky byly zpracovány na základě vegetačního indexu v programu Pix4DFields a následně byla předpisová mapa nahrána do stroje, jenž aplikoval prostředky na ochranu rostlin na těchto pozemcích. Dále byla telematická data ze stroje porovnána s teoretickými hodnotami a bylo zjištěno, že reálná úspora je o 4,06 ha nižší než právě teoretická. V závěrečné podkapitole praktické části byly vyčísleny ztráty na systémech sekční kontroly a úspory plynoucí ze selektivní aplikace, kdy v tomto konkrétním případě bylo uspořeno 9 229 Kč.

Z výše uvedených informací a hodnot je patrné, že systém individuálního ovládání trysek má vysoký ekonomický přínos, a to zvláště v kombinaci s technologií selektivní aplikace. Tento přínos však není jediným kladem této aplikace, jelikož pravděpodobně ještě vyšší přínos plyne z ekologického dopadu této aplikace. V případě aplikace s individuálním ovládání trysek dochází k výrazné úspoře prostředků na ochranu rostlin a hnojiv. Zároveň v případě selektivní aplikace jsou živiny hnojiv a účinné látky herbicidů aplikovány přesně tam, kde je to potřeba. V případě pořízení nového aplikačního postřikovače je určitě potřeba brát zřetel na technologie, které stroj umožňuje a zároveň, co tyto technologie mohou přinést konkrétní farmě z hlediska postupů precizního zemědělství. To je dále spjato s úsporou prostředků na ochranu rostlina jejich aplikací pouze na místech, kde je to potřeba.



## 4 Seznam použitých zdrojů

1. *John Deere – Section Control* [online]. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/variable-rate-application/section-control/>
2. *John Deere – Section control activation* [online]. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/4200-section-control-activation/>
3. LUCK, Joe. *Agricultural Sprayer Automatic Section Control Systems* [online]. 2013, (EC718) [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://extensionpubs.unl.edu/publication/ec718/pdf/view/ec718-2013.pdf>
4. DENG, Chuxiong a spol. *Science direct* [online]. 2021, [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633921000228>
5. KARÁSKOVÁ, Martina. *Mechanizace zemědělství* [online]. 2018(12), [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/postrikovace-tema-prosincoveho-cisla-mechanizace-zemedelstvi/>
6. Neudert, L., V. Lukas et al., 2015. *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-311-0.
7. Mašek, J., 2008. *Vhodná technika na ochranu rostlin*. In: *Zemědělec* [online]. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/vhodna-technika-na-ochranu-rostlin/>
8. Mašek, J., 2017. *Soudobá technika na ochranu rostlin*. *Farmář*. Praha, 23(10): 44-46. ISSN 1210-9789
9. Oerke, Erich-Christian, et al. (ed.), 2010. *Precision crop protection-the challenge and use of heterogeneity*. Dordrecht: Springer
10. *John Deere Novinky – See & Spray přichází do Evropy* [online]. 2022 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.strom.cz/novinky/see-spray-trade-prichazi-do-evropy>
11. *Agrifac-Páskový postřik* [online]. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.agrifac.com/cz/optional-spray-technology/paskovy-postrik/>

12. MGR. ŽÍŽALA, Daniel Ph. D, doc. Ing. Vojtěch LUKAS PH.D a doc. Mgr. Jitka KUMHÁLOVÁ PH.D. *DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ A PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ*. Praha: Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství, 2021.
13. M. Roberts, „Spot spraying on target to cut inputs“, *FUTURE FARMING*, 2021.
14. Online. TERRA HORSCH. Band spraying – next step. Dostupné z: <https://terra.horsch.com/en/issue-23-2021/news/band-spraying-next-step>. [cit. 2024-03-31].
15. MGR. PINKAS, Jaroslav Ph.D. *Využití telematiky k optimalizaci zemědělských strojů*. Diplomová práce. Praha: ČVUT – Fakulta dopravní, 2020
16. Online. ECOROBOTIX. The most precise sprayer on the market. Dostupné z: <https://ecorobotix.com/en/ara/>. [cit. 2024-03-31].
17. HEEGE, H J. *Precision in crop farming : site specific concepts and sensing methods: applications and results*. Dordrecht: Springer, 2013. ISBN 978-94-007-6759-1.
18. HANG, Q. *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 9781482251081.
19. KROULÍK, Milan. *Implementace navigačních technologií a aplikací s podporou GPS*. Praha: Agrární komora České republiky, 2019. ISBN 978-80-88351-04-7.
20. BRANT, Václav; KROULÍK, Milan; KRČEK, Vítězslav; KRÁSA, Josef; KAPIČKA, Jiří et al. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, 2020. ISBN 978-80-87111-81-9.
21. ING. BÖHM, Jozef. *Fotogrammetrie*. Učební texty. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava- Hornicko- geologická fakulta, 2002.
22. CAMPBELL, James B. a WYNNE, Randolph H. *Introduction to remote sensing*. Fifth. New York, USA: The Guilford press, 2011.
23. GUYOMARD, Hervé; SOLER, Louis-Georges; DÉTANG-DESSENDRE, Cécile a RÉQUILLART, Vincent. The European Green Deal improves the sustainability of food systems but has uneven economic impacts on consumers and farmers. Online. *Communications Earth & Environment*. 2023, roč. 4, č. 1. ISSN 2662-4435. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01019-6>. [cit. 2024-03-31].
24. Online. JOHN DEERE. Řízení sekce. Dostupné z: <https://www.deere.cz/cs/precizni-zemedelstvi/hospodareni-na-konkretnim-miste/ovladani-sekci/>. [cit. 2024-03-31].
25. Online. MANIDHAR, Anoushka. PLANETWATCHERS. The role of drones and SAR remote sensing technologies in agriculture. 2022. Dostupné

z: <https://www.planetwatchers.com/latest/the-role-of-drones-and-sar-remote-sensing-technologies-in-agriculture-2022-03-25/>. [cit. 2024-03-31].

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma GNNS (15) .....	21
Obrázek 2 - Přesný postřikovač ARA (16) .....	24
Obrázek 3 - Sekční kontrola (24) .....	26
Obrázek 4 - Pásková aplikace (26).....	29
Obrázek 5 - Bezpilotní prostředek – dron (25).....	35
Obrázek 6 - Vegetační indexy (22) .....	37
Obrázek 7 - RGB snímek .....	57
Obrázek 9 - Vegetační index NDVI.....	58
Obrázek 8 - Multispektrální snímek.....	58
Obrázek 11- Předpisová mapa v terminálu postřikovače.....	59
Obrázek 10 - Předpisová mapa.....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Farma 1, individuální ovládání trysek.....	53
Tabulka 2 - Farma 1, ovládání jednotlivých sekcí .....	54
Tabulka 3 - Farma 2, individuální ovládání trysek .....	55
Tabulka 4 - Farma 2, ovládání jednotlivých sekcí .....	56
Tabulka 5 – Selektivní aplikace .....	60
Tabulka 6 - Ekonomika sekční kontroly .....	61
Tabulka 7 - Ekonomika selektivní aplikace .....	62

## Seznam grafů

Graf 1 - Samojízdný postřikovač, rychlost 15 km/h .....	40
Graf 2 - Samojízdný postřikovač, rychlost 25 km/h .....	42
Graf 3 - Tažený postřikovač, rychlost 15 km/h.....	44
Graf 4 - Tažený postřikovač, rychlost 25 km/h.....	46
Graf 5 - Bez regulace v zatáčkách.....	49
Graf 6 - S regulací v zatáčkách .....	50
Graf 7 - Pásková aplikace.....	52