

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra Zemědělských Strojů



Diplomová práce

Zemědělství 4.0 – možnosti a výzvy

Bc. Tomáš Herčík

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Herčík

Zemědělské inženýrství
Zemědělská technika

Název práce

Zemědělství 4.0 – možnosti a výzvy

Název anglicky

Agriculture 4.0 – possibilities and challenges

Cíle práce

Cílem práce je zmapovat situaci využití inteligentních systémů v zemědělství s ohledem na specifika České republiky.

Metodika

V rámci řešení práce bude zhodnocen současný stav používaných technologií naplňující vizi Zemědělství 4.0. v rámci vybraného podniku. V rámci řešení bude důraz kladen zejména na technologie v rostlinné výrobě.

Osnova:

1. Úvod
2. Přehled vývoje problematiky
3. Cíl práce
4. Metodika práce
5. Vlastní řešení
6. Diskuse
7. Závěr

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran textu

Klíčová slova

technologie, robotizace, navigace, digitalizace

Doporučené zdroje informací

- BRANT, Václav; KROULÍK, Milan; KRČEK, Vítězslav; KRÁSA, Josef; KAPIČKA, Jiří; HAMOUZ, Pavel; LUKÁŠ, Jan; ZÁBRANSKÝ, Petr; ŠKEŘÍKOVÁ, Michaela; ŠKEŘÍK, Josef; JOB, Zdeněk; LANG, Jan; PETRUS, David; ČESKO. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, ; AGRA ŘISUTY (FIRMA). *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, s.r.o., 2020. ISBN 978-80-87111-81-9.
- GUANGNAN, C. *Advances in Agricultural Machinery and Technologies*. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 9781498754125
- KUMHÁLA, František; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ. *Zemědělská technika : stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.
- ZHANG, Qin; CSIRO (AUSTRALIA). *Automation in tree fruit production : principles and practice*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI, 2018. ISBN 9781780648521.
- ZHANG, Qin; PIERCE, F. J. *Agricultural automation : fundamentals and practices*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. ISBN 9781439880579.
- ZHANG, Qin. *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 9781482251081.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2021

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Zemědělství 4.0 – možnosti a výzvy" jsem vypracoval(a) 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

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Maškovi, Ph.D., děkanovi Technické fakulty za odborné vedení a vstřícnost a mnohé cenné rady při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti, Zemědělská Společnost Sloveč a.s., za poskytnutí prostoru a podkladů pro tvorbu této práce.

Zemědělství 4.0 – možnosti a výzvy

Abstrakt

Zpracovaná práce je zaměřena na identifikaci, popis a zhodnocení moderních technologií, jejichž využíváním dochází k transformaci zemědělství do fáze 4.0. Tento posun není pouhým účelovým pokrokem, ale sleduje řešení globálních problémů, kterými jsou například dopady klimatických změn, plýtvání zdroji a nedostatek lidského kapitálu. V rámci představení jednotlivých technologií jsou tak opakovaně skloňovány pojmy jako preciznost, zamezení plýtvání či nadužívání, přesnost, udržitelnost, dlouhodobé využití, data, automatizace a úspora nákladů či lidské práce.

Praktičnost i stav využívání uvedených technologií byla hodnocena na praktickém příkladu v rámci Zemědělské společnosti Sloveč, a.s. nacházející se na Poděbradsku. Byly uvedeny a popsány jednotlivé metody či technologie, které jsou ve společnosti využívány včetně zhodnocení délky jejich využívání, problémů, které se v rámci používání vyskytovaly, či vyskytují, hlavních nevýhod a případně budoucího plánovaného vývoje v dané oblasti. Hodnocení probíhalo v rámci socio-ekonomického dopadu jednotlivých technologií uváděných do praxe.

V rámci popsané teorie i zhodnocení praktického využívání bylo dle mého názoru prokázáno, že využívání nových technologií má svůj potenciál a neopomenutelný význam nejen z pohledu rozvoje zemědělství, ale i ochrany přírody a posunu znalostí. I přes uvedená negativa, nebo případné problémy při zrodu nových technologií stojí za to vytrvat a mít ve finále možnost se dále posouvat ve všech oblastech.

Klíčová slova: Navigace, technologie, robotizace, automatizace, digitalizace

Agriculture 4.0 – possibilities and challenges

Abstract

The processed work is focused on the identification, description and evaluation of modern technologies, by using which agriculture is transferred to phase 4.0. This shift is not just purposeful progress but pursues solutions to global problems such as the impacts of climate change, resources wastage and lack of human capital. As part of the presentation of individual technologies, the terms such as precision, waste prevention or overuse, accuracy, sustainability, long-term use, data, automation and saving costs or human labour are repeatedly inflected.

The practicality and usage of the mentioned technologies were evaluated on a practical example within the Agricultural Company Sloveč, a.s. located in Poděbrady region. Individual methods or technologies that are used in the company were listed and described, including an evaluation of the length of their use, problems that occurred or are occurring during use, the main disadvantages and possibly future planned development in the given area. The evaluation took place within the framework of the socio-economic impact of individual technologies put into practice.

Based on my opinion, within the framework of the described theory and the evaluation of practical use, it has been proven that the use of new technologies has its potential and an unmissable importance not only from the point of view of agricultural development, but also of nature protection and the advancement of knowledge. Despite the mentioned negatives, or possible problems during the birth of new technologies, it is worth persevering and in the final to have the opportunity to advance in all areas.

Keywords: Navigation, technology, robotics, automation, digitalization

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Přehled vývoje problematiky	3
2.1 Satelitní navádění strojů	3
2.1.1 Přesnost signálů	4
2.1.2 Signály Trimble	5
2.1.3 Signály John Deere	7
2.1.4 Základnová stanice RTK	8
2.2 Mapování pozemků	9
2.2.1 Bezpilotní letouny – drony pro snímkování a mapování	9
2.2.2 Dálkový průzkum Země	14
2.3 Pozemní senzory	16
2.3.1 Půdní senzory	16
2.3.2 Plodinové senzory	18
2.3.3 Senzory výskytu škůdců	19
2.3.4 Meteostanice	20
2.4 Automatizace.....	21
2.4.1 Sekční kontrola	22
2.4.2 Variabilní aplikace	22
2.4.3 Selektivní aplikace pesticidů	23
2.5 Robotizace.....	25
2.5.1 Robotické polní tahače.....	25
2.5.2 Jednoučelové robotické nosiče	28
2.6 Internet věcí.....	34
2.7 Big data a analýza dat	34
2.8 Umělá inteligence.....	34
3 Cíl práce.....	36
4 Metodika práce.....	37
5 Vlastní řešení	38
5.1 Představení zkoumaného subjektu	38
5.2 První využití prvků zemědělství 4.0.....	39
5.3 Precizní příprava půdy	40
5.4 Setí plodin	41
5.4.1 Plošné setí plodin	41
5.4.2 Přesné setí plodin	42
5.5 Kultivace v porostu	44
5.6 Chemická ochrana	45

5.7	Mapování pozemků.....	46
5.8	Sběr dat ze sklizně.....	48
5.9	Robotizace.....	50
5.10	Sběr a zpracování dat	53
6	Diskuse	56
6.1	Shrnutí s výhledem do budoucnosti v podmínkách ZS Sloveč.....	56
6.2	Možný výhled dalšího vývoje řešené problematiky.....	57
7	Závěr.....	58
8	Seznam použitých zdrojů	60

Seznam obrázků

<i>Obr. 1</i>	<i>Trajektorie satelitních systémů v GNSS</i>	<i>4</i>
<i>Obr. 2</i>	<i>Síť referenčních stanic EGNOS.....</i>	<i>5</i>
<i>Obr. 3</i>	<i>Přenos signálu z RTK stanice do stroje.....</i>	<i>7</i>
<i>Obr. 4</i>	<i>Přijímače SF3000, SF6000, SF7000</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 5</i>	<i>Hraboši, migrace černé zvěře, voda v krajině.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 6</i>	<i>Spektrální křivka typická pro odrazivost povrchu.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 7</i>	<i>Srnčí při senoseči - vlevo termální snínem, vpravo RGB snímek.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 8</i>	<i>Struktura porostu vytvořená pomocí skenování Lidarem.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 9</i>	<i>Porovnání rolišení u NDVI indexu z UAV letounu o rozlišení 10cm/pixel vlevo, snímek z družice Sentinel - 2 s rozlišením 10m/pixel vpravo.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 10</i>	<i>Stacionární půdní senzor Soil Scout.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 11</i>	<i>Pojízdná polní laboratoř Veris MSP3 při práci</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 12</i>	<i>Ruční měření pomocí N-senzoru</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 13</i>	<i>N-senzor ISARIA instalovaný na traktoru při seknování porostu při aplikaci průmyslových hnojiv</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 14</i>	<i>Mobilní aplikace vlevo, vpravo Doktor Bes Trap chytrá atrapa</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 15</i>	<i>Projekt Agrorisk predikce škůdců a patogenů</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 16</i>	<i>Přesné seti kukuřice, znázorněno vypínání sekcí na souvrati</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 17</i>	<i>Mapa relativního výnosového potenciálu (RVP) s 5 zónami</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 18</i>	<i>Aplikační mapa pro selektivní aplikaci vlevo, snímek o vysokém rozlišení s rozpoznáním plevelů a kulturních rostlin vpravo (fialová plevel, zelená kulturní rostliny)</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 19</i>	<i>Selektivní postřik pomocí optické kamery, Case IH SenseSpray.....</i>	<i>24</i>

<i>Obr. 20 Robotické tahače v kolové a pásové verzi</i>	26
<i>Obr. 21 Osazení senzorů polního robota AGXeed</i>	27
<i>Obr. 22 Popis nutné výbavy stroje pro využití pne autonomního traktoru</i>	28
<i>Obr. 23 Optická identifikace plodů a zhodnocení stavu zralosti dle AI</i>	29
<i>Obr. 24 Polní robot HarvestCroc, Robot v hydroponii AgroBot</i>	29
<i>Obr. 25 Mechanická likvidace plevelu pomocí robota Dino od firmy Naiio Technologies</i>	30
<i>Obr. 26 Robotická ruka Ecorobotix a přesné trysky na nosiči Ecorobotix</i>	31
<i>Obr. 27 Spálený plevel pomocí CO2 laseru</i>	31
<i>Obr. 28 Haribot robot pro vrtání děr kořenových balů</i>	32
<i>Obr. 29 Drony pro sklizeň jablek</i>	33
<i>Obr. 30 Aplikační dron DJI AGRAS T30 při selektivní aplikaci</i>	33
<i>Obr. 31 Mapové podklady pro navádění strojů po pozemku</i>	41
<i>Obr. 32 Osazení secího stroje Horsch Pronto ISOBus jednotkou a kabeláží, pasivní navádění JD</i>	42
<i>Obr. 33 Kverneland GEOSEED 2, čtyřúhelníkový secí spon</i>	43
<i>Obr. 34 Nastavení sekci secího stroje souvrat' / záhon, výsev cukrové řepy</i>	44
<i>Obr. 35 Pulzní modulace postřikovače PWM od výrobce Agrifac</i>	46
<i>Obr. 36 Aplikační mapa s pěti produkčními zónami</i>	47
<i>Obr. 37 Vlevo ručně vytvořená aplikační mapa dle RGB snímku vpravo, pcháč v porostu sóji</i>	47
<i>Obr. 38 Neúplnost výnosové mapy ze sklizecí mlátičky, nedostatečný signál GPS, problém s komunikací senzorů</i>	49
<i>Obr. 39 Robot Agroboti Robotti při seti, neustálá kontrola stroje</i>	51
<i>Obr. 40 AGBOT 5.115T2 v nasazení při polním provozu se secí soupravou</i>	52
<i>Obr. 41 Postup seti pšenice ozimé v roce 2023</i>	53
<i>Obr. 42 Provozní upozornění strojů, přehledová mapa aktuálního provozu strojů</i>	54

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Délky elektromagnetického záření využitelné v zemědělství</i>	11
<i>Tab. 2 Vztahy pro výpočet vegetačních indexů a možnosti jejich aplikace</i>	12
<i>Tab. 3 Skladba plodin v ZS Sloveč a.s. rok 2023</i>	39

1 Úvod

Smýšlení a směřování populace jsou do jisté míry ovlivňovány technologickou vyspělostí, mírou industrializace a v poslední době i úrovní pokročilosti digitalizace. V rámci průmyslu docházelo k do té doby nevídaným a zásadním technologickým změnám v období takzvané průmyslové revoluce. Pro odvětví zemědělství se takováto průmyslová revoluce nazývá Zemědělstvím 4.0 a nastává právě teď.

Zemědělství 4.0, nebo také precizní zemědělství, přináší nové, nebo vylepšené technologie se zvýšeným podílem využívání digitalizace, informačních technologií, automatizace a robotizace. Účel využití těchto technologií neleží pouze a jen ve zlepšení ekonomických ukazatelů zemědělských podniků a producentů potravin. Stejně významným cílem je snaha o zachování zdravého životního prostředí pro další generace.

První část této práce se zabývá teoretickým popisem stávajících dostupných technologií precizního zemědělství nacházejících uplatnění v rostlinné výrobě. Všechny tyto technologie jsou zaměřeny na přesnost používání, přesnost měření, analýzu a vyhodnocení dostupných a naměřených dat. Jedním z hlavních cílů použití těchto technologií je přesně zmapovat a detailně analyzovat jednotlivé půdní bloky v rámci jednotek metrů (v některých technologiích již i centimetrů) a díky tomu lépe a detailněji porozumět místní problematice a mít tak možnost přistupovat k jednotlivým částem pozemku individuálně. Aby byl takovýto individuální (rozdílný) přístup k jednotlivým částem vůbec možný, je zapotřebí využívat přesných navigací, funkcí sekčních kontrol, variabilních aplikací a technologií pro dálkový průzkum země. Pro další zpracování všech nasbíraných dat jsou pak zapotřebí technologie jako umělá inteligence, internet věcí, BigData. V rámci současného i budoucího nedostatku lidských zdrojů je a bude nutné využití automatizace a robotizace.

Vlastní praktická část se věnuje analýze praktického využití dostupných technologií, které byly představeny v rámci teoretické části této práce. Pro účely tohoto zkoumání byla zvolena Zemědělská Společnost Sloveč, a.s., což je středně velká zemědělská společnost lokalizovaná v rámci Středočeského kraje v Polabské nížině. Výběr právě této společnosti se zdál být jako ideální. Z pohledu zde pěstovaných plodin, objemu vykonávaných prací a využívaných technologií bylo možné popsat a zhodnotit využití prakticky všech technologií, o kterých je pojednáno v rámci teoretické části.

Cílem této práce je vyhodnocení vhodnosti a potenciálu využití popsaných technologií v zemědělské praxi s ohledem na efektivní a ekonomické využití lidských zdrojů, úsporu nákladů a snížení zátěže přírody z pohledu využívaných chemických prostředků. Nedílnou součástí je střízlivé hodnocení případných nevýhod, omezení, nebo ohrožení, které by mohla nová technologie přinést, pokud takové budou objeveny.

2 Přehled vývoje problematiky

V roce 2018 byla vydána zpráva „Agriculture 4.0 – The future Of Farming Technology“, která obsahuje 5 hlavních trendů, které vyvíjejí tlak na změny v zemědělství, aby vyhovovalo požadavkům budoucnosti. Jsou to: nedostatek přírodních zdrojů, klimatické změny, demografický vývoj, plýtvání potravinami a nedostatek pracovních sil. [1], [2], [3]

Program zemědělství 4.0 je moderní přístup k zemědělské výrobě využívající nejruznější automatizované technologie a digitální nástroje k optimalizaci výroby potravin. Zahrnuje využití těchto pokročilých technologií: internet věcí (IoT), big-data, senzory, umělá inteligence, robotika, drony, satelitní snímkování, navigační systémy, blockchain a smart-farming. To vše za účelem zvýšení efektivity, produktivity a udržitelnosti zemědělské výroby. [2], [3], [4]

Globálně zahrnuje i technologie umožňující lepší porozumění prostředí, ve kterém zemědělci pracují. Především se jedná o získávání a využívání informací o půdě, klimatu, rostlinách a zvířatech. [2]

Výstupem z celé této koncepce by mohlo a mělo být inteligentní zpracování a vyhodnocení dat a analýz pro zlepšování a zpřesňování procesů, zvýšení výkonnosti, snížení nákladů, cílené aplikace pesticidů a hnojiv a sběr dat z těchto činností pro tvorbu dlouhodobé strategie hospodaření. [1], [3], [5], [6]

2.1 Satelitní navádění strojů

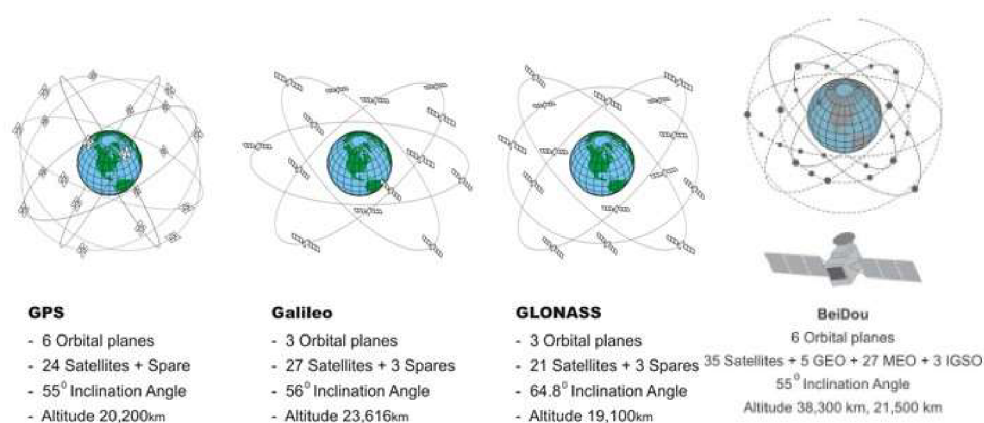
Precizní zemědělství závisí v jisté míře na přesnosti. Bez přesnosti by nebylo možné používat dále popsané technologie, případně by nebylo možné dosáhnout požadovaných výsledků. Pro navádění strojů lze použít systém GNSS (Global Navigation Satellite Systems), který sám o sobě ale nedosahuje požadované přesnosti pro použití v zemědělství. [7], [8]

Jako jeden ze základních systémů se pro zpřesnění signálu využívá DGPS (Differential Global Positioning System). Korekční signály je možné přijímat z komerčních družic (satelitů), nebo z pozemních referenčních stanic pomocí diferenciálního měření. Korekce pak mohou být dodávány do přijímače pomocí internetu (mobilním operátorem), rádiového datového systému, nebo družicovým komunikačním systémem. Každá referenční stanice monitoruje signál všech viditelných družic a zpracovává informace o chybách měření

a stavu GPS družic. Tato data jsou zpět předávána družicím, které se pohybují na geostacionárních oběžných drahách. Jedná se o komunikační družice INMARSAT. Ty následně zasílají data o chybách měření k přijímačům GPS na zemi. Aby byl přijímač schopen tyto údaje přijmout, musí podporovat minimálně systémy EGNOS nebo WAAS (Wide Area Augmentation System). O systému EGNOS bude pojednáno v následující kapitole této práce. WAAS je víceméně totožným systémem jako evropský EGNOS, jen pokrývá území Spojených států amerických. [7], [8], [9], [10]

Dalším metodou určení polohy je systém RTK (Real Time Kinematic), který používá pro zpřesnění polohy fázové měření od referenční stanice k pohybujícímu se přijímači. Na obr. 1 jsou znázorněny orbitální dráhy jednotlivých satelitních systémů. Základním a nejstarším systémem je Americký systém GPS, který doplňuje Evropský Galileo, Ruský GLONASS a Čínský BeiDou. [8], [9], [10], [11]

Obr. 1 Trajektorie satelitních systémů v GNSS



Zdroj: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/print/110.html>

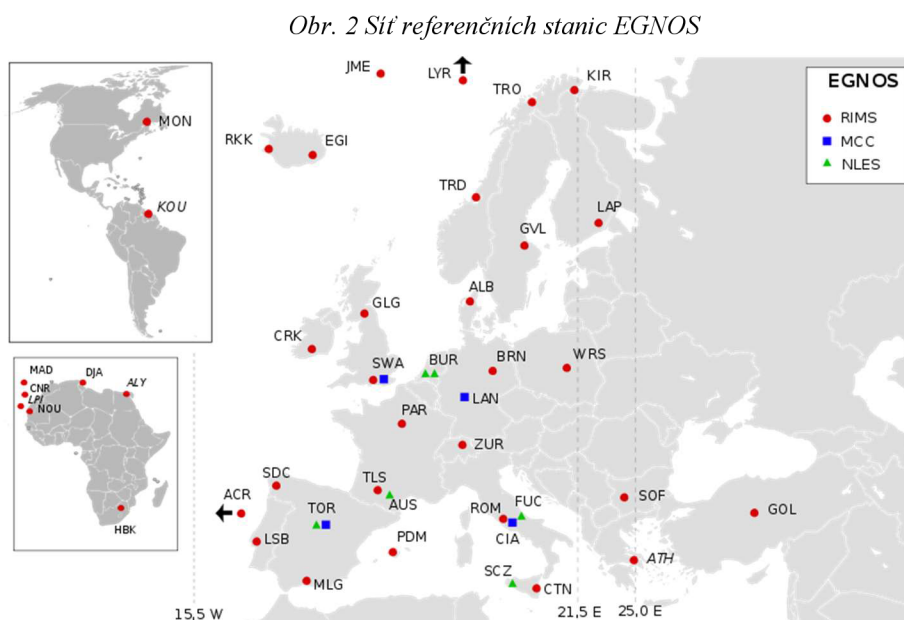
2.1.1 Přesnost signálů

Každý výrobce navigačních technologií nabízí v rámci svého portfolia signály s různou přesností a opakovatelností. Přesnost se udává jako relativní či absolutní. Pro relativní je uvedena hodnota jízda – jízda, absolutní pak představuje opakovatelnost jízd v rámci jednoho roku. Pro názorný popis jednotlivých signálů byla zvolena nabídka dvou globálně působících společností Trimble a John Deere.

2.1.2 Signály Trimble

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

Jedná se o síť nezávislých pozemních stanic napříč Evropou za účelem korekce Amerického GPS systému s cílem zvýšení přesnosti signálu, jak je znázorněno na obr. 2. Relativní přesnost satelitního navádění pomocí signálu EGNOS je 20-30 cm. V zemědělství je takováto přesnost využitelná pro navádění strojů při činnostech nenáročných na přesnost, jako je například: příprava půdy, hnojení organickými hnojivy, nebo koulení po setí. Nevýhodou tohoto signálu je nemožnost opakovatelnosti jednotlivých jízd v rámci jednoho roku. Není vhodný pro opětovné aplikace, jelikož v rámci jeho využití dochází k významnému posunu naváděcích linií. Využití tohoto signálu není zpoplatněno. [9], [11]



Zdroj: https://esamultimedia.esa.int/docs/deployment/EGNOS_deployment_map.htm

VIEWPOINT RTX

Jedná se o první uvedený placený korekční signál. Relativní přesnost signálu je cca 30 cm, absolutní přesnost se v rámci jednoho roku pohybuje do 100 cm. Možná Roční opakovatelnost je jeho hlavní výhodou oproti signálu EGNOS. ViewPoint RTX je nedostatečný pro použití v precizních a cílených aplikacích. Jeho využití je zpoplatněno roční sazbou cca 7 800,- Kč bez DPH / rok. [12], [13], [14]

RANGEPOINT RTX

RangePoint RTX již vykazuje daleko vyšší přesnost než předchozí dva uvedené signály. Dosahuje relativní přesnosti do cca 15 cm a absolutní, v rámci jednoho roku, do cca 50 cm. Stále ovšem zůstává nedostačující pro činnosti vysoce náročné na přesnost jako například cílené, nebo selektivní aplikace s možností opakování. Jeho cena činí 9 750,- Kč bez DPH / rok. [12], [14]

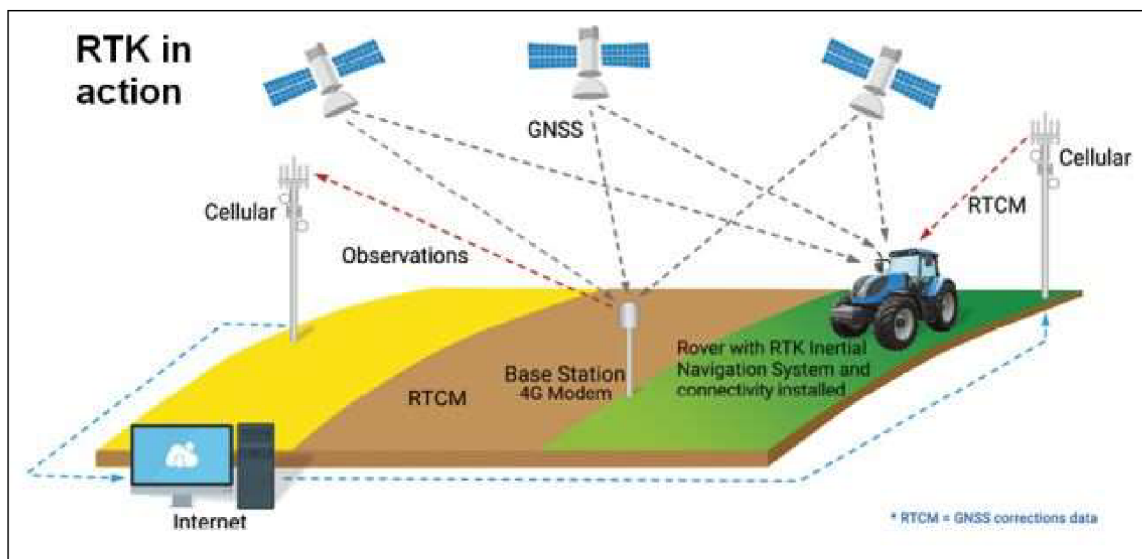
CENTERPOINT RTX

Korekční signál poskytující relativní i absolutní přesnost cca 2,5 cm. S touto přesností je již možné využívat všechny technologie, které je možné řadit do precizního zemědělství, jako opakované, selektivní a cílené aplikace pesticidů do porostů, navádění v široko-řádkových porostech, případně využití stále stejných kolejových řádků. Jedinou nevýhodou tohoto vysoce přesného signálu je nemožnost použití technologie XFill, která při výpadku signálu dodává přijímači korekce ještě dalších 15 minut. V případě krátkodobého výpadku pak není nutné přerušovat práci. Signál je zpoplatněn a jeho roční využití stojí 24 900,- Kč bez DPH. [12], [14]

RTK – VRS

Jedná se o aktuálně nejpřesnější signál, který je možné pro navádění strojů využít. RTK – VRS dosahuje relativní a absolutní přesnosti cca 2–3 cm. Specifické pro tento signál je, že jsou korekční data do stroje zajišťována v reálném čase z VRS serveru viz obr. 3. Přenos dat se provádí pomocí GPRS modemu přes internet, případně pomocí krátkovlnného radiomodemu (v případě nedostupnosti signálu mobilního operátora). Další výhodou je možnost využití funkce XFill (záloha korekcí) při výpadku satelitního signálu. RTK signál je vhodný i pro nejnáročnější činnosti: setí plodin s vypínáním sekcí, selektivní a lokální postřiky, provoz strojů meziročně v totožných kolejích, možnost páskového postřiku, variabilní aplikace na základě podkladových map. Cena se pohybuje okolo 25 000,- Kč bez DPH za rok. [9], [12], [14],

Obr. 3 Přenos signálu z RTK stanice do stroje



Zdroj: <https://www.microcontrollertips.com/rtk-navigation-technologies-for-autonomous-vehicles-faq/>

2.1.3 Signály John Deere

STARFIRE 1

SF 1 je korekční signál s relativní přesností cca 15 cm v novějších přijímačích SF7000 a cca 23 cm ve starších modelech SF3000. Nevýhodou tohoto signálu je nemožnost opakovatelnosti jednotlivých jízd v rámci jednoho roku, jako tomu je například u signálu EGNOS. Tento základní signál není zpoplatněn. [15], [16]

STARFIRE 2

Při použití StarFire 2 je možné dosáhnout v rámci použití staršího přijímače SF3000 relativní přesnosti již cca 5 cm. Absolutní přesnost – opakovatelnost lze využívat až do 9 měsíců. Signál je možné využít pro činnosti vyžadující relativně přesné a cílené navigování. Vhodný je zejména pro farmáře s menším počtem strojů, kteří mají jistotu, že se v rámci 9 měsíců dostanou s totožným přijímačem zpět na pole a využijí tak maximálně jeho potenciál. Cena roční licence se pohybuje okolo 16 000,- Kč bez DPH. [15], [16]

STARFIRE 3

SF 3 je druhý nejpřesnější signál, který slouží pro již novější přijímače SF6000 a SF7000. Relativní přesnost dosahuje cca 3 cm a absolutní přesnost je opět využitelná po

dobu 9 měsíců. Cena s využitím novějších přijímačů stoupla na 21 250,- Kč bez DPH / rok. [15], [16]

STARFIRE-RTK

Představuje nejpřesnější signál, který je možné od John Deere pořídit. Relativní i absolutní přesnost u StarFire RTK dosahuje cca 2,5 cm a je garantována při použití v těchto přijímačích – SF 3000, SF 6000, SF 7000 viz obr. 4. Tyto přijímače musejí být opět osazeny GPRS modemem pro příjem korekcí RTK pomocí mobilního internetu, případně krátkovlnným radiomodemem, obdobně jako u RTK – VRS od společnosti Trimble. Cena se pohybuje okolo 27 500,- Kč bez DPH ročně. [15], [16]

Obr. 4 Přijímače SF3000, SF6000, SF7000



Zdroj: https://mallgoodsm.life/product_details/45409719.html

2.1.4 Základnová stanice RTK

Pro střední a větší podniky, s vyšším počtem strojů se finančně vyplatí zřízení vlastní stacionární RTK stanice. V rámci tohoto řešení odpadají roční poplatky za poskytnutí korekcí, jelikož si je stanice vytváří sama. Opět je třeba zajistit osazení přijímačů modemem s mobilním internetem případně krátkovlnným radiomodemem. Investice do RTK stanice se pohybuje v rozmezí 150 – 250 000,- Kč bez DPH. Cena je odvislá od výrobce, složitosti instalace a provozních podmínek. V případě podniku s více jak 10 osazenými autopiloty s přesností RTK je možné počítat s již roční návratností investice. [9], [14]

2.2 Mapování pozemků

Na mapování pozemků lze pohlížet z několika různých úhlů pohledu. Základní, triviální mapování polí, může vykonávat pouhým pohledem zkušený agronom, který pole projde a zhodnotí jeho stav na základě vlastních zkušeností. Tento způsob je pravděpodobně nejlepší a nejkvalitnější, nicméně je jeho vysoká časová náročnost, v dnešní uspěchané době, vylučuje pro plošné využití. V rámci rozvoje technologií jsou tak pro rychlý sběr aktuálních snímků porostů používány družicové snímky a bezpilotní letouny – drony. Data, v tomto případě v podobě snímků, lze využít pro identifikaci stavu porostů, které následně zkontroluje agronom a navrhne potřebná opatření, případně je možné snímky dále využívat k tvorbě pokročilých mapových podkladů pro jednotlivé variabilní nebo selektivní aplikace. [17], [18], [19]

2.2.1 Bezpilotní letouny – drony pro snímkování a mapování

Bezpilotní letouny je možné nazývat několika způsoby, nejvíce používaným výrazem je dnes již hovorové označení drony, nebo dále zkratky anglických názvů UAVs – Unmanned Aerial Vehicles- (bepilotní letadla), nebo RPAS – Remotely Piloted Aircraft Systems (vzdáleně řízené letecké systémy). Drony jsou již běžnou součástí moderního zemědělství. Jejich pomocí jsou zemědělci schopni efektivně a rychle kontrolovat aktuální stav polí, pomocí sběru dat mapovat a monitorovat porosty v rámci dlouhodobější strategie, případně již dnes nalézají využití také pro přesnou a cílenou aplikaci pesticidů a hnojiv.

V rámci monitorování a mapování jsou drony nejčastěji osazeny optickými senzory určenými ke snímkování (kamery). Tato zařízení poskytují RGB, multispektrální, hyperspektrální nebo případně termovizuální snímky. Za jeden let je dron schopen pokrýt rozlohu v řádu desítek až stovek hektarů. Podstatnou výhodou takto pořízených snímků je jejich vysoké rozlišení oproti snímkům družicovým. [17], [18]

RGB kamery

Základním typem využívaných kamer jsou tzv. RGB kamery, které zachycují obraz ve třech základních barvách (červená, zelená, modrá) a umožňují pořizovat barevné fotografie i videa ve vysokém rozlišení. Z RGB snímků je možné dále vytvořit vegetační

indexy TGI (Triangular Greenness Index) a NGRDI (Normalised Green – Red Difference Index). [17]

Výstup z RGB kamer není dostatečný pro další využití v rámci tvorby pokročilých aplikačních map. Pomocí tohoto typu kamer lze monitorovat například zapojení porostů v raných fázích růstu, rozpoznání plevelů nebo výskyt ohnisek škůdců. Snímky jsou vhodné především k monitorování komplexního stavu celého půdního bloku, případně jako pomoc při analýze problémů na jednotlivých místech. [17]

Z obr. 5 je možné předběžně určit konkrétní problémy na zobrazeném půdním bloku – množství poškození porostu od hraboše polního, migrace černé zvěře a nadměrné množství vody.

Obr. 5 Hraboši, migrace černé zvěře, voda v krajině



Zdroj: autor

Multispektrální – Hyperspektrální kamery

Pokročilý typ záznamu můžeme získat při použití multispektrální nebo hyperspektrální kamery, která dokáže zachytit světlo v různých částech elektromagnetického spektra. Mimo viditelnou oblast spektra (400 – 700nm) dokáže zachytit i oblast IR (infračervené záření 720 nm – 1000 μ m). V zemědělství nejvyužívanější oblasti elektromagnetického záření, dále jen EMZ, vyplývají z tab. 1. [17], [21]

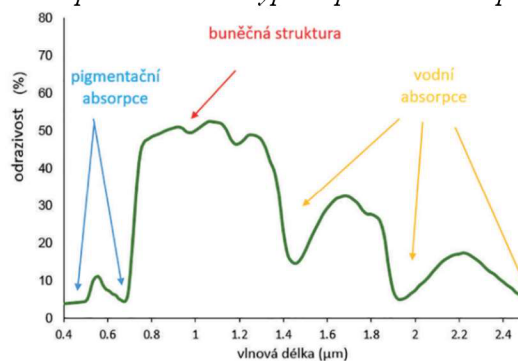
Tab. 1 Délky elektromagnetického záření využitelné v zemědělství

Název	Vlnová délka
Blue / modré (B)	400 – 500 nm
Green/ zelené (G)	500 – 600 nm
Red / červené (R)	600 – 700 nm
Near infra-red / blízké infračervené NIR	720 – 1300 nm
Short-wave infra-red / krátké infračervené SWIR	1300 – 2500 nm

Zdroj: Data použita z Příručky precizního zemědělství pro praxi, ISBN: 978-80-7427-346-9

Spektrální rozlišení snímku charakterizuje jednotlivé vlnové délky, které jsou senzorem snímány. Pro správnou interpretaci dat je důležité znát charakter změn EMZ v interakci s prostředím. V okamžiku interakce vyslané elektromagnetické vlny se snímaným předmětem dochází k vytvoření tzv. sekundární elektromagnetické vlny. Ta se od vyslané primární vlny odlišuje intenzitou, energií, vlnovou délkou, směrem šíření a případně její polarizací. V závislosti na vlastnostech kontaktního předmětu může být vlna odrazena, pohlcena, nebo propuštěna. Stěžejním při pořízení snímku je vlna odražená, tedy velikost odraženého EMZ. Veličinou charakterizující míru odraženého záření je spektrální odrazivost. Míra odrazivosti je zobrazena na obr. 6, který znázorňuje spektrální křivku. [17], [21]

Obr. 6 Spektrální křivka typická pro odrazivost povrchu



Zdroj: Příručka precizního zemědělství pro praxi, ISBN: 978-80-7427-346-9

Spektrální křivku lze pro případy vegetace rozdělit do třech oblastí. První oblast se nazývá pigmentační absorpce (400-700nm – RGB). Hlavním faktorem ovlivňujícím spektrální chování vegetace jsou rostlinné pigmenty v ní obsažené. V rostlinách je nejvíce zastoupeno zelené barvivo Chlorofyl, které je schopno pohltit až 90 % záření v modré a

červené části spektra. Nejvyšší odrazivosti dosahuje v zelené oblasti spektra vyplývající z obr. 6 a tab. 1.

Ve druhé oblasti s názvem buněčná struktura (700-1300 nm – NIR) jsou v rámci měření různých rostlinných druhů zaznamenávány vysoké odchylky v oblasti odrazivosti i variabilita hodnot, které jsou způsobeny specifickou morfologií listu u jednotlivých plodin.

Pro analýzu vodního stresu je využívána oblast vodní absorpce (1300-3000 nm – SWIR), zde platí nepřímá úměra mezi odrazivostí a obsahem vody v jednotlivých rostlinách. [17]

Znalost průběhu této křivky je využívána při výpočtech vegetačních indexů (VI) viz tab. 2.

Tab. 2 Vztahy pro výpočet vegetačních indexů a možnosti jejich aplikace

Aplikace	Index	Výpočet z EMZ
Biomasa, výnos	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR}-R) / (\text{NIR}+R)$
	SR (Simple Ratio)	NIR/R
	SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$(1.5(\text{NIR}-R)) / (\text{NIR}+R+0.5)$
Obsah Chlorofylu	CCCI (Canopy Chlorophyll Content Index)	$((\text{NIR}-\text{Rededge}) / (\text{NIR}+\text{Rededge})) / ((\text{NIR}-R) / (\text{NIR}+R))$
	CVI (Chlorophyll Vegetation Index)	$\text{NIR} (R/G^2)$
	TCI (Triangular Chlorophyll Index)	$1.2(\text{Rededge}-G) - 1.5(R-G) * (\text{Rededge}/R) - 2$
Listová plocha	EVI (Enhanced Vegetation Index)	$2.5((\text{NIR}-R) / (\text{NIR}+6R-7.5B) + 1)$
	WDRVI (Wide Dynamic Range Vegetation Index)	$0.1(\text{NIR}-\text{Rededge}) / 0.1(\text{NIR}+\text{Rededge})$
Obsah dusíku	NDNI (Normalized Difference Nitrogen Index)	$(\log(1/1510\text{nm}) - \log(1/1680\text{nm})) / (\log(1/1510\text{nm}) + \log(1/1680\text{nm}))$
Obsah vody	LWCI (Leaf Water Content Index)	$(\log(1-(\text{NIR}-\text{MIDNIR}))) / (-\log(1-(\text{NIR}-\text{MIDNIR})))$
	WBI (Water Band Index)	$970\text{nm}/900\text{nm}$
	MSI (Moisture Stress Index)	$1599\text{nm}/819\text{nm}$

Zdroj: Data použita z Příručky precizního zemědělství pro praxi, ISBN: 978-80-7427-346-9

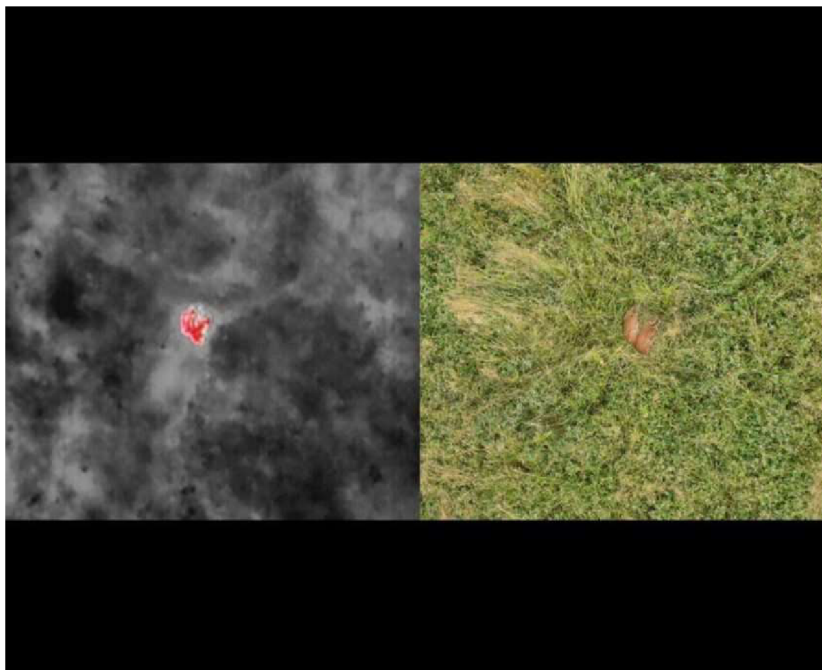
Termokamery

Termokamery fungují na principu záznamu intenzity tepelného záření z měřeného povrchu, kdy je následně výpočtem podle zadaných parametrů stanovena povrchová teplota. Tepelné záření je svou povahou částí EMZ ve spektru IR v rozmezí 760nm – 1 mm, které je vyzařováno z povrchu měřených objektů s intenzitou úměrnou čtvrté mocnině povrchové teploty (Stefanův-Boltzmannův zákon). [22]

V zemědělství se termokamery uplatňují především pro snímání povrchové teploty porostu. Při stresových podmínkách se teplota porostu výrazně mění. Pokud dojde k včasné detekci, může agronom na vzniklou situaci vhodně reagovat. Jak moc je rostlina zasažena nedostatkem vody a působením sucha je možné určit pomocí CWSI - Crop Water Stress Index (Index vodního stresu plodin). [17], [20]

Mezi další využití termální kamery lze zařadit detekce chorob, odhad výnosu zemědělských plodin, určení fenologické fáze porostu, diagnostiku závlahových systémů, vyhledání zvěře při senosečích (obr. 7), případně diagnostiku fotovoltaických panelů. Další uplatnění nacházejí termokamery samozřejmě i mimo zemědělství. V rámci průmyslu se může jednat o kontrolu tepelných úniků z teplovodů nebo diagnostiku chladících věží elektráren. [17], [20], [21]

Obr. 7 Srnčí při senoseči - vlevo termální snímek, vpravo RGB snímek



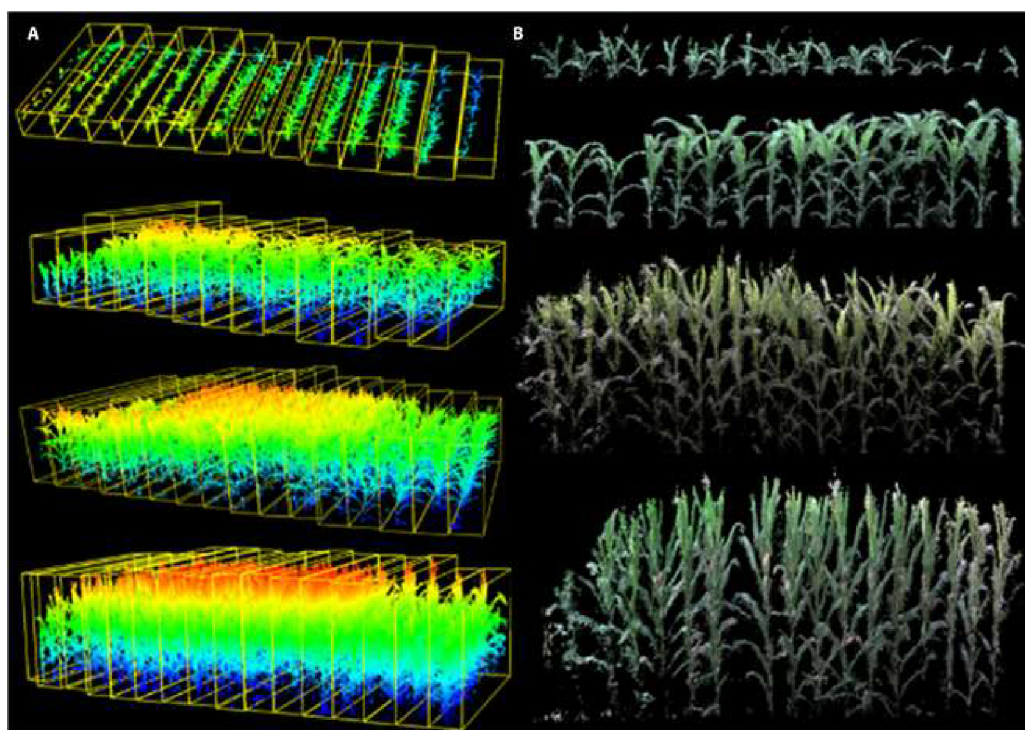
Zdroj: autor

LiDARy

LiDAR (Light Detection And Ranging) je metoda měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku, který je odražen zpět od objektu. Je využíván k tvorbě trojrozměrných map a povrchů a samozřejmě k měření vzdálenosti.

Při monitorování terénu poskytuje detailní informace o reliéfu krajiny, včetně monitoringu a mapování samotné vegetace. Takto je možné získat data o struktuře a výšce vegetace, případně si následně vytvořit odhad tvorby biomasy rostlin pro přesnější odhad výnosů plodin (obr. 8). [23]

Obr. 8 Struktura porostu vytvořená pomocí skenování Lidarem



Zdroj: <https://www.wired.co.uk/article/buried-roman-roads-lidar>

2.2.2 Dálkový průzkum Země

Snímkování polí pomocí družic je efektivní metodou, která umožňuje získávání přesných a aktuálních informací o stavu porostu. Podstatou je využití dat z družic, které snímají zemi z vesmíru a poskytují obrazová data získaná pomocí senzorů – kamer a lidarů.

Družicové snímky mají oproti snímkům z dronů nevýhodu v nižším rozlišení, které je pro některé aplikace ale i přesto dostačující. Další problém při tvorbě snímků z družic představují tzv., „časová okna“. Družice přelétají v určených časových intervalech, což

znemožňuje získávání snímků v real-time režimu. Snímky mohou být také ovlivněny větší oblačností, čímž se stanou pro zemědělství nevyužitelnými. [17], [21]

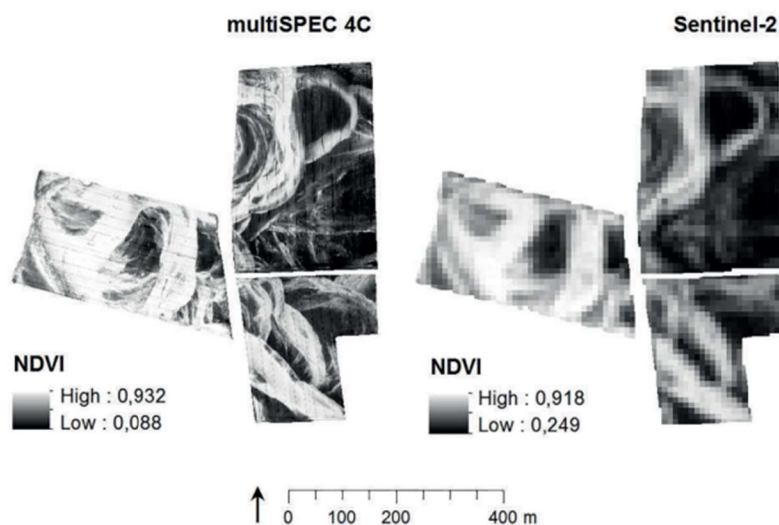
Příkladem družic poskytujících snímky pro monitorování vegetace jsou Landsat 7-8, Sentinel 2A a 2B, platforma PlanetScope. Nejčastěji jsou využívány snímky z družic Sentinel-2 nesoucí multispektrální kamery s možností snímání až 13 multispektrálních pásem a záběrem až 290 km. Prostorové rozlišení je zde závislé na pásmu NIR, SWIR (tab. 1) a dosahuje hodnot 10, 20, 60 m/pixel. [17]

Ještě lepšího rozlišení snímků dosahuje systém PlanetScope který implementuje 430 malých satelitů zvaných Doves. Satelity jsou vypouštěny ve skupinách, čímž dochází ke zlepšení časů opětovného přeletu a díky tomu i prostorového a spektrálního rozlišení. Data z PlanetScope často doplňují data ze Sentinel-2 díky lepšímu prostorovému rozlišení - 3 m/pixel a téměř dennímu pokrytí. Jedná se o výborný zdroj snímků pro monitorování vegetace, který je ale zpoplatněn. [17], [24], [25]

Rozlišení 3 m/pixel je například přijatelné pro variabilní aplikace hnojiv a pesticidů v rámci půdního bloku, není ale již dostatečné pro cílenou a selektivní aplikaci (zelené v zeleném). Nejčastěji využívanými vegetačními indexy z družic jsou NDVI, NDWI, EVI, LAI (Leaf Area Index), (tab. 2). [17]

Porovnání rozlišení snímku pořízeného bezpilotním letounem a družicovým snímkem (Sentinel – 2) je patrné z obr. 9. [17]

Obr. 9 Porovnání rozlišení u NDVI indexu z UAV letounu o rozlišení 10cm/pixel vlevo, snímek z družice Sentinel - 2 s rozlišením 10m/pixel vpravo



Zdroj: https://www.ctpz.cz/media/upload/1623671600_1-encyklopedie-pz.pdf

2.3 Pozemní senzory

V kapitole níže budou popsány senzory pro stacionární a kontinuální měření vlastností půdy, vybraných vlastností rostlin, možného výskytu škůdců a vlastností ovzduší.

2.3.1 Půdní senzory

Stacionární senzory

Stacionární senzory jsou využívány pro analýzu prostředí v půdě v reálném čase. Nejčastěji měřenými veličinami jsou teplota půdy, vlhkost půdy a obsah živin v půdě. Teplota a vlhkost půdy je měřena například pomocí senzoru SoilScout viz. obr. 10. Naměřená data jsou nejčastěji odesílána bezdrátově pomocí mobilních operátorů přímo do aplikace, která je k dispozici jak pro využití na PC, tak i v mobilním telefonu. V případě vhodného rozmístění jednotlivých senzorů v rámci obhospodařovaného katastru (na základě místních podmínek) je možné reagovat na okamžitý půdní stav i ve vzdálených periferiích, tak i data dlouhodobě monitorovat a na jejich základě tvořit strategii obhospodařování dané lokality. [19], [20], [26]

Obr. 10 Stacionární půdní senzor Soil Scout

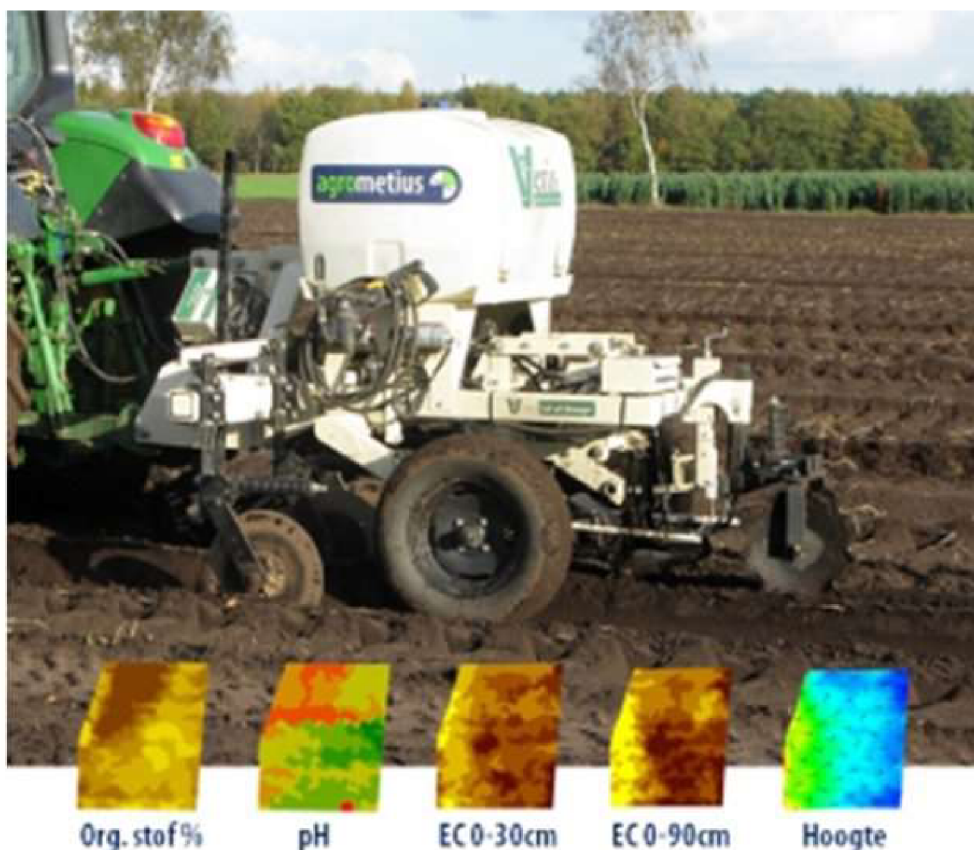


Zdroj: <https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/hydra-scout/39>

Pojízdné laboratoře

Při pozemním mapování polí lze využít pojízdných laboratoří, které měří hned několik půdních vlastností najednou. Jedná se především o pH půdy, kationtové výměnné kapacity nebo obsah organické hmoty ve vrstvách zpracovávané půdy. Mapování pH půdy probíhá za použití elektrod pro měření pH v průměru na 10-40 místech/ha. Textura půdy je mapována pomocí elektrické vodivosti v hloubce 0 – 30 cm a 0 – 90 cm. Měření obsahu organické hmoty probíhá optickým senzorem (NIR senzor) pod povrchem půdy. Všechny měřené veličiny lze zpracovávat do jednotlivých map, nebo je dále kombinovat. Takovéto mapy poskytují informace o růstovém potenciálu plodin, schopnosti zadržet vodu a o celkovém stavu ornice. Mobilní laboratoř je vybavena satelitním zaznamenáváním polohy s přesností na 1,5 cm (DGPS-RTK). Jedním ze zástupců polních laboratoří je stroj Veris MSP3 na obr. 11. [20], [26]

Obr. 11 Pojízdná polní laboratoř Veris MSP3 při práci



Zdroj: <https://www.vantage-agrometius.nl/en/product/veris-msp3-bodemscanner/>

2.3.2 Plodinové senzory

N-Senzory

Název N-senzoru je odvozen od chemického prvku se značkou N – dusík, jehož obsah v rostlinách měří. Měření probíhá na základě odrazivosti světla, a to v oblastech viditelného a NIR spektra viz tab.1. Při snímání sensor využívá světlo o různých vlnových délkách, které souvisí s obsahem chlorofylu v rostlinách a biomase. Nejčastěji se jedná o optickou analýzu – fotometrii a spektrometrii. Blíže se o této problematice pojednává v kapitole zabývající se multispektrálními a hyperspektrálními kamerami.

N-senzor má podobu ručního přístroje, nebo může být instalován přímo na traktorech či postřikovačích. Ruční přístroje jsou používány během vegetace primárně k orientačnímu měření viz obr. 12. Měření je prováděno na nejmladším plně vyvinutém listu. Naměřené hodnoty jsou následně porovnávány s korekční tabulkou příslušnou pro jednotlivé plodiny. [17], [20], [26]

Obr. 12 Ruční měření pomocí N-senzoru



Zdroj: <https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/spad-502-plus-dl/12>

Výhodou senzorů instalovaných přímo na strojích je možnost skenování celého porostu v jednom čase a zároveň v rámci dalších činností. Měření lze provádět pouze pro mapování obsahu dusíku ve vegetaci, nebo je možné data okamžitě vyhodnocovat pro průběžnou úpravu aplikované dávky hnojiva. Zástupcem senzorů s možností úpravy

aplikace hnojiv jsou například YARA N-Senzor, ISARIA N-senzor na obr. 13. Snímání odrazivosti světla probíhá z plochy přibližně 50 m². [24]

Obr. 13 N-senzor ISARIA instalovaný na traktoru při seknování porostu při aplikaci průmyslových hnojiv



Zdroj: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/prvni-zkusenosti-se-systemem-isaria>

NIR analyzátory

Představují další skupinu senzorů využívajících NIR záření pro analýzu různých složek obsažených v zrně sklizených plodin (pšenice, ječmen, řepka olejná atd.), složení silážní kukuřice, případně je možné jeho využití pro analýzu složení kejdy. Pro představu, v rámci analýzy obsahu sušiny v kukuřici dosahuje NIR senzor zanedbatelných odchylek měření mezi 0,67 % až 1,85 %. NIR senzor je nainstalován přímo na stroji a v reálném čase snímá a vyhodnocuje plodiny pomocí optického senzoru. Pro další zpracování jsou data opatřena i informací o aktuální poloze. [20], [24]

Při použití pro aplikaci kejdy (ne zcela homogenní směs) vyhodnocuje senzor aktuální obsah živin, kdy následně mění množství aplikované dávky, nebo pojezdovou rychlost stroje tak, aby aplikovaná dávka splňovala požadované množství živin. Jedním ze zástupců NIR analyzátoru je například HarvestLab 3000 od firmy John Deere. [20]

2.3.3 Senzory výskytu škůdců

Monitorování náletu škůdců a jejich množství umožňují tzv. chytré atrapy. Tyto senzory fungují na bázi feromonové pasti, do které nalétává hmyz. Vnitřní prostředí pasti je snímáno kamerou, kde zároveň dochází jak k detekci, tak i k identifikaci vyskytujících se

škůdců. Pokud dojde k překročení nastaveného množství hmyzu, dojde k vygenerování upozornění s fotografií a analýzou zjištěných škůdců, jak je možno vidět na obr. 14. Tato data jsou následně odesílána pomocí mobilního operátora do aplikace instalované v pc nebo v mobilní telefonu. Tyto senzory v sobě mohou mít integrovány i další detektory pro měření okolní teploty, vlhkosti vzduchu, či vlhkosti půdy. [28]

Obr. 14 Mobilní aplikace vlevo, vpravo Doktor Bes Trap chytrá atrapa

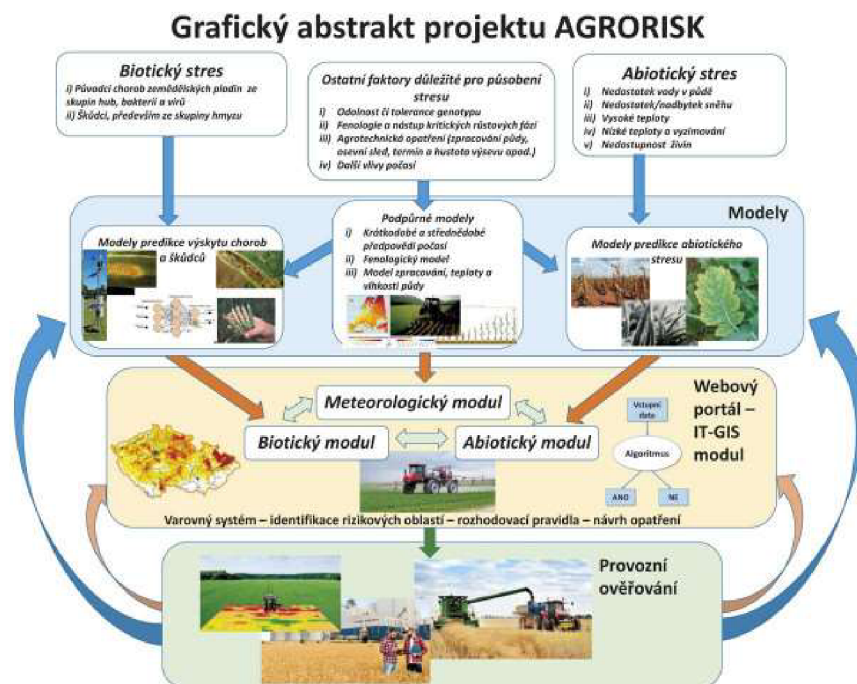


Zdroj: <https://www.doktar.com/en/products/pheromone-trap-digital-pest-tracking/>

2.3.4 Meteostanice

V rámci precizního zemědělství mluvíme o meteostanicích, které jsou schopny měřit základní veličiny, jako jsou: teplota, tlak, vlhkost vzduchu či intenzita slunečního záření, ale jsou schopny i pokročilejšího měření objemu srážek, teploty a vlhkosti půdy, rychlosti proudění vzduchu, případně i ovlhčení listů. Naměřená data jsou dále zaznamenávána a pomocí internetu věcí – IoT (Internet of Things) je možné vytvářet dlouhodobé analýzy a predikce. Na základě propojení jednotlivých meteostanic a dalších senzorů v rámci více regionů je možné např. pomocí mapy Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), případně portálu agrorisk.cz, predikovat aktuální výskyt (nebo možný výskyt) a práh škodlivosti sledovaných škůdců a patogenů. Model tohoto projektu je patrný z obr. 15. [20], [26]

Obr. 15 Projekt Agrorisk predikce škůdců a patogenů



Zdroj: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/management-a-legislativa/management/agrorisk-cz-system-vcasne-vystrahy-pred-negativnimi-dopady-pocasi>

2.4 Automatizace

Moderním trendem dnešní doby, který se nevyhnul ani zemědělství, je snaha zautomatizovat všechny pracovní procesy tak, aby byl maximálně zpřesněn, zrychlen či jinak vylepšen výsledek dané činnosti. Jedná se tedy především takové o procesy, které člověk sám není schopen obsáhnout za daný časový úsek a s požadovanou přesností. Nejvyšším stupněm automatizace je robotizace, kdy již veškerou práci člověka nahrazuje stroj. [17], [24], [27]

Co se týče rostlinné výroby, nachází automatizace uplatnění zejména v rámci procesů, které jsou řízeny za pomoci navigace a jejich přesnost tak závisí především na výběru vhodného korekčního signálu. O korekčních signálech již bylo pojednáno v předchozích kapitolách této práce. V praxi nacházíme uplatnění automatizace například v následujících oblastech: sekční kontrola, variabilní aplikace pomocí mapových podkladů a selektivní aplikace. Všechny tyto činnosti jsou náročné na přesnost využívaného signálu. [17], [20]

2.4.1 Sekční kontrola

Sekční kontrola spočívá ve vypínání jednotlivých sekcí stroje, kdy je možné dosáhnout okamžitého efektu s přesností na jednotky centimetrů. Používá se zejména na přesných secích strojích, postřikovačích a další aplikační technice využívané například pro aplikaci průmyslových hnojiv.

Názorným příkladem může být přesný secí stroj s elektrickým pohonem každé secí jednotky. V podmínkách České republiky se nejčastěji používá secí stroj osazený 8-24 secími jednotkami s možností vypínání jednotlivých sekcí pomocí navigačního signálu. Při rychlosti výsevu 15 km/hod by člověk nebyl schopen jednotlivé sekce ovládat/vypínat v takové rychlosti a s takovou přesností, aby výsledek setí byl stejný, jako znázorňuje obr. 16. [17], [29]

Obr. 16 Přesné setí kukuřice, znázorněno vypínání sekcí na souvrati



Zdroj: <https://www.agri-precision.cz/produkty/autopiloty/presne-seti-strip-till>

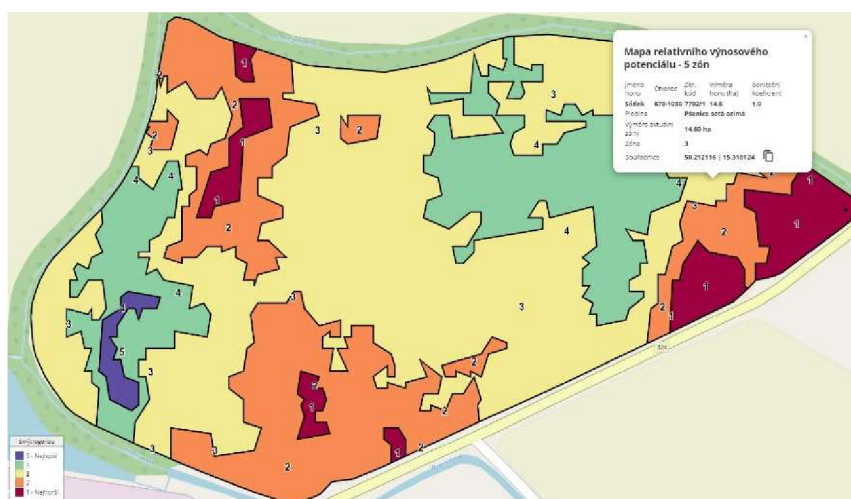
2.4.2 Variabilní aplikace

Variabilní aplikace spočívá v možnosti diferenciací přístupu ošetření částí celku půdního bloku. Jednotlivé půdní bloky často vykazují vysokou heterogenost v oblastech, jakými jsou například kvalita a složení půdy, místní podmínky – zamokření, zaplevelení, či obsah živin v půdě. Díky využití variabilních aplikací je možné k dílčím částem půdních bloků přistupovat rozdílně a zefektivnit tak vykonávanou činnost a její dopady. Využívá se

především pro aplikaci pesticidů nebo hnojiv za pomoci předem připravených aplikačních map nebo senzorů, které pracují v reálném čase. [17], [27], [30]

Při aplikaci pomocí aplikačních map je prvním krokem zpracování mapy relativního výnosového potenciálu (dále jen RVP) (obr. 17). Výpočet map RVP vychází z analýzy nevyrovnanosti porostů jednotlivých pozemků v rámci několika let zpět (zpravidla 8 a více let). Nejčastěji je využíván vegetační index NDVI, případně EVI viz. tab. 2, který slouží pro zvýraznění vegetační složky porostu. Výsledné mapy jsou podkladem pro návrh cílené agrotechniky plodin (variabilní setí, variabilní hnojení, variabilní aplikace herbicidů). [17], [29], [30]

Obr. 17 Mapa relativního výnosového potenciálu (RVP) s 5 zónami



Zdroj: autor

Pro variabilní hnojení dusíkem (N) se používají N-senzory, které umožňují vyhodnocovat okamžitý stav porostu, a tudíž i případnou okamžitou reakci při aplikaci hnojiva viz. kapitola pozemní senzory. [17]

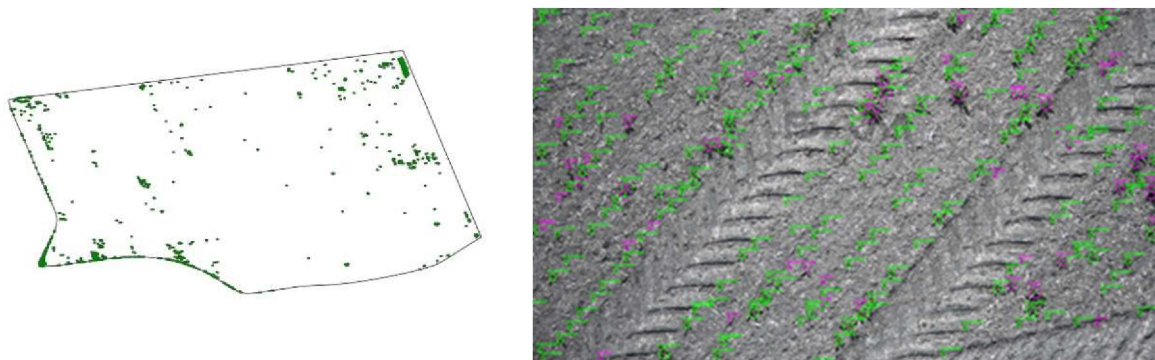
2.4.3 Selektivní aplikace pesticidů

Selektivní aplikace pesticidů je metoda spočívající v cíleném postřiku vyskytujícího se plevele, ať už v podobě jednotlivých rostlin, či jejich shluků, namísto běžně využívaného plošného postřiku.

Jednou z možností pro použití této metody je využití aplikačních map vytvořených na základě snímků z UAV. Ze snímků porostu o vysokém rozlišení je následně vytvořena aplikační mapa pro následnou aplikaci herbicidů, jako je tomu například na obr. 18. Zde se

jedná o aplikační mapu pro selektivní aplikaci herbicidu pro postřik plevelů v cukrové řepě. [17], [27], [30]

Obr. 18 Aplikační mapa pro selektivní aplikaci vlevo, snímek o vysokém rozlišení s rozpoznáním plevelů a kulturních rostlin vpravo (fialová plevel, zelená kulturní rostliny)



Zdroj: SAM Dimension, ZS Sloveč a.s

Další variantou je využití optických kamer pro rozpoznávání plevelů. Ty jsou nejčastěji využívány v širokořádkých kulturách jako je např. cibule, nebo cukrová řepa. Mimo širokořádkové kultury nacházejí optické kamery uplatnění ještě při selektivním postřiku v tzv. režimu Green on Brown (zelené na hnědém). Tato metoda selektivního postřiku je aplikována na poli bez kulturní plodiny, a to nejčastěji před jejím zasetím. U společnosti John Deere se tato technologie nazývá See and Spray, u společnosti Case IH zase SenseSpray viz. obr. 19. [30]

Obr. 19 Selektivní postřik pomocí optické kamery, Case IH SenseSpray



Zdroj: <https://media.cnh.com/asia-pacific-english/case-ih/new-spray-technology-for-case-ih-patriot--50-series-makes-sense-for-increased-efficiency--savings/s/302ecf96-8d46-4d91-aa52-5386d6e3f87a>

2.5 Robotizace

Pojem robotizace znamená proces zavádění průmyslových a neprůmyslových robotů včetně jeho následných sociálních i technologických důsledků. Robot podle jedné teorie znamená spojení elektrických, elektronických a mechanických částí na bázi informační technologie. Případně byl často charakterizován jako počítač opatřený speciálním periferním zařízením pro nepřeborné množství využití. Dějiny průmyslové robotiky je možné datovat zhruba od 60. let minulého století. Základní myšlenkou průmyslové robotiky je zde již úplné nahrazení ruční práce strojem, jako dalším krokem automatizace. [17], [31]

Polní roboti přinášejí možnost optimalizace a automatizace zemědělských prací, čímž zvyšují výkon a efektivitu zemědělských procesů. Robotizace v sobě dnes již implementuje většinu výše popsaných prvků precizního zemědělství. Bez přesné navigace by robot nebyl schopen pohybu po pozemku, bez optických senzorů a Lidarů by neuměl reagovat na překážky atd. Díky těmto a dalším schopnostem mohou polní roboti minimalizovat potřebu další zdrojů, zejména těch lidských, oproti nimž jsou schopni pracovat v režimu 24/7.

Lze je rozdělit do dvou základních kategorií, na kategorii robotických polních tahačů a specializovaných jednoúčelových robotů. [17]

2.5.1 Robotické polní tahače

Robotické polní tahače představují skupinu strojů, která je uzpůsobena fungovat jako nosič náradí, nebo jako plně autonomní tahače náradí. Slouží především k nahrazení traktorů a částečně přebírají i jejich podobu. Jedná se převážně o stroje vybavené kolovým nebo pásovým podvozkem, jak je možné vidět na obr. 20. Dnes jsou využívány samostatné stroje bez kabiny pro obsluhu (obr. 20), případně je možné pomocí kamer osadit stávající traktor a vytvořit z něj autonomní polní tahač (obr. 22). [17]

Obr. 20 Robotické tahače v kolové a pásové verzi



Zdroj: <https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-2-055w4/>, <https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-5-115t2/>

Robotické tahače bez kabiny

Jedná se o autonomní roboty fungující bez možnosti práce obsluhy při provozu přímo na stroji, jelikož postrádají kabinu, nebo případně jiný prostor, který by mohl být využit k obsluze stroje (obr. 20). Pro provoz těchto robotů je nutné vymezení jejich operačního prostoru, k čemuž dochází nejčastěji za použití přesných RTK hranic jednotlivých pozemků případně označením předem známých překážek (sloupy el. vedení). Další provoz a bezpečnost pohybu na daném pozemku hlídá soustava různých senzorů, jak je možné vidět na obr. 21. Jedná se např.: RGB kamery, Lidary, ultrazvuková čidla, dotyková čidla atd.

Veškerá nastavení a úkony stroje (pro samotný pohyb i vykonávané činnosti) musí být do systému stroje zadány předem pomocí aplikací určených k ovládání jednotlivých strojů přes datovou síť. Například je možné nastavit na vývodovém hřídeli - PTO (Power Take Off) hranici maximálního povoleného přenášeného výkonu. Na základě sledování a vyhodnocení tohoto parametru lze reagovat na měnící se podmínky při práci, měnit pojezdovou rychlost a nevystavovat tak PTO ani stroj nadměrnému namáhání. [32], [33]

Pohonná jednotka těchto robotů bývá nejčastěji složena z dieselového motoru a generátoru elektrické energie, kdy jsou pro vlastní pohon i pohon připojeného stroje používány elektromotory. Výhodou tohoto konstrukčního řešení, oproti běžně využívaným hydraulickým pohonům, je možnost přesné regulace výkonu, vzdálená diagnostika, možnost změny otáček a dovoleného zatížení a další nastavení přípojných strojů.

Mimo případných technologických problémů je provoz polních robotů bohužel zasažen i legislativními omezeními. V rámci platné legislativy totiž dnes není možné tyto autonomní stroje (bez kabiny) přepravovat po pozemních komunikacích tzv. po vlastní ose.

Pro převod z pozemku na pozemek je nutné využít externí dopravy s možností nakládky, což samozřejmě vyžaduje jak čas, tak i nutnost využití další techniky.

Obr. 21 Osazení senzorů polního robota AGXeed



Zdroj: <https://www.agxeed.com/our-solutions/agbot-5-115t/>

Autonomní polní tahače s kabinou

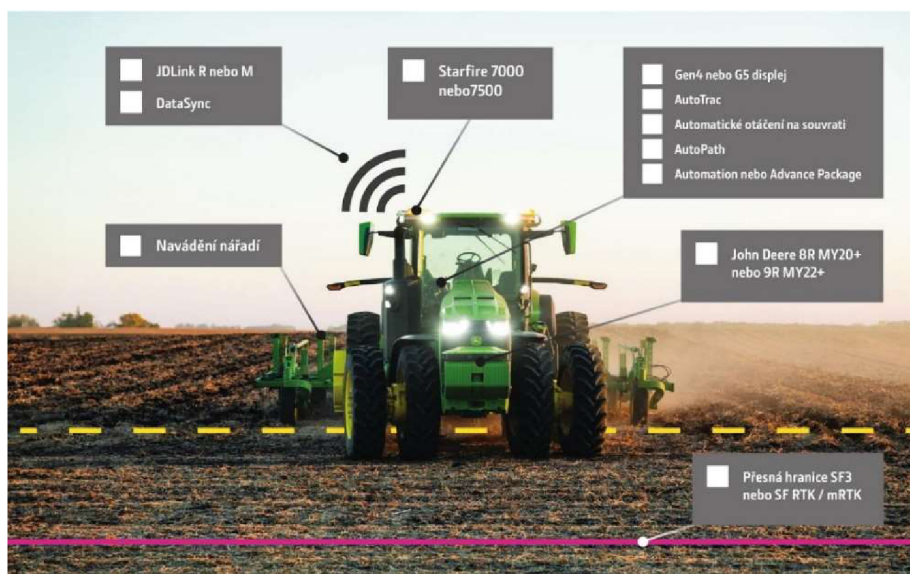
Autonomní polní tahače s kabinou můžeme na dnešním trhu nalézt ve dvou variantách. Buď se jedná o plně automatizované robotické stroje, které jsou opatřeny kabinou již z výroby za účelem možnosti dodatečné kontroly a nastavení stroje obsluhou, nebo z důvodu potřeby přesunu stroje z jednoho pozemku na druhý viz. legislativní omezení, o kterých bylo pojednáno v předchozí kapitole. Stroj je v tomto případě přepravován pomocí obsluhy v kabině, následně je na pozemku nastaven a dále již ovládán vzdáleně pomocí aplikace. Druhou možností je osazení standardních polních tahačů (za splnění určitých podmínek) kamerami a senzory pro autonomní provoz stroje viz. obr. 22. [17], [32], [33]

V rámci rozvoje robotizace je vyvíjen nový komunikační protokol Ethernet Bus za účelem propojení tažného prostředku a pracovního nářadí. Jedná se o období současně využívaného ISO-BUS propojení, ale s daleko vyšší datovou propustností. Připojená pracovní nářadí mohou být vybavena senzory pro snímání otáček válců, kontrolu hloubky stroje nebo kamerami pro přenos obrazu v reálném čase.

V ideálním případě bude možné v budoucnu v rámci provozu těchto strojů využívat strojního učení. Pokud například stroj v mokré části pole nahrne při podmítce strniště posklizňové zbytky pod drobný válec, který je následně nucen snížit otáčky, přijde v rámci aplikace upozornění operátorovi, který nastaví, co má stroj dále udělat – zvednout nářadí,

poodjet, spustit nářadí. Při další obdobné situaci již stroj sérii těchto opatření provede, po odsouhlasení operátorem, sám. [17], [32], [33]

Obr. 22 Popis nutné výbavy stroje pro využití pně autonomního traktoru



Zdroj: Ing. Jaroslav Pinkas, Strom Praha a.s.

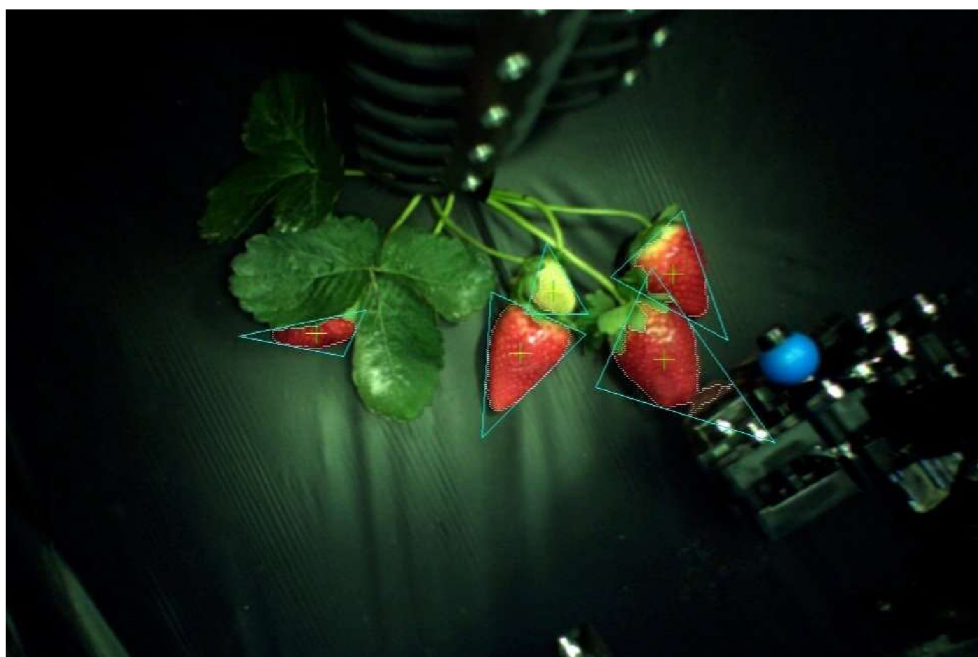
2.5.2 Jednoučelové robotické nosiče

Další skupinou jsou specializované jednoučelové stroje, které jsou, jak název napovídá, vyvíjeny pouze pro jeden účel, jednu konkrétní činnost. Na rozdíl od polních tahačů, které ve značné míře nahrazují pouze práci obsluhy a dále pracují s obdobnými nebo totožnými přípojnými stroji jako klasické polní tahače, tyto jednoučelové stroje nahrazují především další, nebo následnou lidskou práci mimo práce obsluhy klasického polního tahače. Používají se především při sklizni a sázení plodin (stromů), při ochraně a hnojení rostlin, pro monitorování a sběr dat a při identifikaci a likvidaci plevelů. [17], [33], [34]

Robotická sklizeň plodin

V polním využití se využívají roboti zejména pro sklizeň plodů, které jsou dobře rozpoznatelné od ostatní zelené plochy rostlin, jako jsou např. jahody. Jednotlivé plody jsou za pomoci optických senzorů, umělé inteligence a strojového učení naskenovány. Je zhodnocen zdravotní stav jednotlivých plodů a na základě vyhodnocení jejich zralosti je nebo není plod utržen, viz obr. 23. [34]

Obr. 23 Optická identifikace plodů a zhodnocení stavu zralosti dle AI



Zdroj: <https://www.harvestcroorobotics.com/technology>

Obdobné sklízňové stroje jsou dále využívány při sklizni jablek, salátů a okurek, kdy je jejich uplatnění relevantní jak v polním pěstování, tak i při sklizni ve sklenících v rámci hydroponie. Obr. 24 ukazuje porovnání robota pro sklizeň na poli a robota pro sklizeň v hydroponii. Obecně je možné říct, že jsou polní sklízecí roboti využíváni tam, kde je v rámci sklizně zapotřebí v krátkém časovém intervalu mnoho lidské práce. [34]

Za robota sklízecího plodiny se dá považovat i autonomní sekačka na trávu, která se dnes stává již běžnou součástí domácích zahrad.

Obr. 24 Polní robot HarvestCroo, Robot v hydroponii AgroBot



Zdroj: <https://www.agrobot.com/e-series>, <https://www.harvestcroorobotics.com/vision>

Robotická likvidace plevelů

Likvidace plevelů pomocí robotů je velice přínosnou a pokrokovou technologií v rámci ochrany kulturních plodin. Lze ji rozdělit do několika kategorií podle způsobu likvidace plevelů na mechanickou, chemickou a likvidaci plevele za pomoci laserového paprsku.

Mechanická likvidace spočívá v narušení nebo celkovém vytržení plevelné rostliny, ve snaze znemožnění její další vegetace. Jedná se o metodu, která funguje na základě mechanické práce stroje, který interaguje s půdou pomocí radliček, krojidel, nožů a v případě vytrhávání pomocí drapáků. V rámci pokročilosti technologií je možné hovořit o dvou úrovních mechanického odplevelení. Jednoduché a velmi běžné plečkování za pomoci plecího stroje, kdy dochází k likvidaci plevele pouze v rámci meziřádku. Nebo při využití inteligentního robota, který je schopen nasnímat i plevel mezi kulturními plodinami a následně jej odstranit (obr. 25). [33], [35]

Obr. 25 Mechanická likvidace plevelu pomocí robota Dino od firmy Nairo Technologies



Zdroj: <https://www.nairo-technologies.com/wp-content/uploads/2023/09/robots-orio-1100x950-c-default.jpg>

Chemická likvidace spočívá v přesné a cílené aplikaci herbicidů přímo a pouze na oblast jednotlivých plevelů. Tohoto je docíleno pomocí optických kamer, umělé inteligence a strojového učení. Metoda spočívá v identifikaci plevele od kulturních plodin a následné aplikaci potřebné dávky herbicidu podle velikosti jednotlivých plevelů.

Na obrázku 26 je možné vidět dvě metody chemické likvidace plevele. První možnost využívá tzv. robotickou ruku, kdy aplikace herbicidu probíhá za pomoci robotických ramen pohybujících se v rámci rámu stroje a nesoucích jednu trysku. Při vyhledání a analýze plevelu sjede rameno s tryskou nad plevel a aplikuje na něj požadovanou dávku herbicidu.

Druhý princip je podobný polním postřikovačům, kdy jsou jednotlivé trysky umístěny blízko sebe v rámci nosného ramene, čímž je umožněna přesná aplikace. Jednotlivé trysky se pak podle potřeby (detekce plevelů) zapínají nezávisle na sobě. Nevýhodou této technologie jsou dodatečné náklady na nákup herbicidů. [33], [35]

Obr. 26 Robotická ruka Ecorobotix a přesné trysky na nosiči Ecorobotix



Zdroj: <https://agfundernews.com/ecorobotix-raises-10-7m-series-b>

Stroje využívané pro likvidaci plevelů pomocí laserového paprsku jsou velice podobné nosičům pro chemickou aplikaci a používají stejné senzory pro vyhodnocení přítomnosti plevelů. Jakmile je plevel detekován, dojde k jeho spálení pomocí paprsku CO² laseru namířeného na každý jednotlivý plevel viz. obr. 27. Tato metoda sice nevyžaduje mechanickou práci a obejde se bez nákupu chemických přípravků, její nevýhoda ovšem spočívá ve vzniku emisí a dokonce v možnosti založení požáru. [33], [36]

Obr. 27 Spálený plevel pomocí CO2 laseru



Zdroj: https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/606b788e71df0270bd2616de/5304123a-33d9-4850-8d55-7987cda6032d/chard_zap.jpg?format=1500w

Robotické sázení stromů

Sázení stromů je samo o sobě náročnou manuální činností, která vyžaduje vysokou časovou dotaci a fyzicky zdatné lidské zdroje. Pokud se navíc jedná o velkoformátové sady, je zde požadavek i na vysokou přesnost výsadby. Na základě uvedeného vyplývá, že se jedná o pracovní činnost, která přímo vybízí k možnosti automatizace. Pro tyto účely bylo vyvinuto několik robotických strojů, které fungují na již výše popsaných principech přesných RTK navigací za použití předem připravených map.

Nemusí se nutně jednat jen o stroje sázení, tedy osazené přípravky pro vrtání děr pro kořenové baly viz obr. 28, ale mohou nést i nářadí pro následnou kultivaci, mulčování a chemickou ochranu stromů. [37]

Obr. 28 Haribot robot pro vrtání děr kořenových balů



Zdroj: <https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/autonomni-robot-haribot/41>

Sklizňové a aplikační drony

Téma dronů bylo již v této práci částečně rozpracováno v kapitole zabývající se sběrem a vyhodnocováním dat. V rámci této kapitoly o nich bude pojednáno z pohledu problematiky polní robotiky. Drony je možné, stejně jako jiné polní roboty, využívat pro sklizeň plodů, např. jablek a při přesných selektivních aplikacích. Toto je opět umožněno na základě osazení dronů senzory. [34], [38]

Na obrázku 29 je možné vidět pozemního centrálního robota, pohybujícího se stromořadím jabloní, na kterého je navázána skupina dronů. Stejně jako při využití pozemních robotů dochází i za použití dronů k vyhodnocování zdravotního stavu a stupně zralosti plodů. Sklizeny jsou pouze dostatečně zralé a zdravé plody. [38]

Obr. 29 Drony pro sklizeň jablek



Zdroj: <https://edu.quantumcrayon.co.za/posts/an-ai-drone-apple-harvesting-robot/>

Aplikační drony se uplatňují především v hůře dostupných místech a za podmínek, kdy se ostatní aplikační technika není schopna dostat na daný pozemek (zamokření, atd). Drony jsou využívány především pro přesné, cílené a selektivní aplikace viz. obr. 30. Pro celoplošnou aplikaci se v rámci jejich nízké nosnosti příliš nehodí. Pro selektivní aplikaci využívá předem připravených mapových podkladů, kdy se pohybuje po předem vytvořené trajektorii a v označených místech provádí aplikaci. [18]

Obr. 30 Aplikační dron DJI AGRAS T30 při selektivní aplikaci



Zdroj: <https://southerndroneops.com/products/ Agras-t30>

2.6 Internet věcí

IoT je koncept, který spočívá v propojení jednotlivých zařízení, objektů a senzorů (může být prakticky cokoliv) k internetu, čímž je umožněna jejich vzájemná komunikace a výměna dat v reálném čase bez nutnosti zásahu člověka.

Díky následnému (možnému) sdílení dat jednotlivých uživatelů je reálné předpovídat události na základě jak historických dat, tak i za pomoci aktuálních trendů v rámci využití prediktivních analýz. Tyto technologie se dnes neuplatňují jen v polním hospodaření (viz. kapitola o senzorech), ale i při správě strojů a dalších zařízení. Role IoT v zemědělství se tímto stává důležitější a důležitější. [39]

2.7 Big data a analýza dat

Big Data (velká data nebo také veledata) je termín sloužící ke komplexnímu pojmenování souborů dat, které jsou svým objemem a rychle se měnící povahou náročná pro zpracování a další analýzu dnes běžně používanými softwary v rozumném čase. Klíčovým prvkem pro charakteristiku BigDat jsou takzvaná „3V“ - velký objem (Volume), různorodost (Variety) a vysoká rychlost (Velocity).

V zemědělské praxi se využití Bigdat uplatňuje zejména při zpracování dat sebraných za období mnoha let. Může se jednat např: o tvorbu map RVP, kdy se prokládají nebo vrství data z družicového snímkování i za 10 let zpětně a následně je sledován jejich vývoj. [17], [39]

2.8 Umělá inteligence

Umělá inteligence – UI nebo anglicky AI (Artificial intelligence) je schopnost strojů napodobovat vybrané lidské schopnosti jako jsou: učení se, plánování, kreativita, analýza, či uvažování. UI umožňuje technickým systémům reagovat na vněmy v prostředí, řešit problémy, dosahovat určených cílů, zapamatovat si osvědčené postupy a tím se dále učit a vyvíjet. [40]

Schopnost strojového učení je velice rozšířenou, využívanou a ceněnou podskupinou UI právě v rámci zemědělství. Stroj přijímá nová data, která následně porovnává s historicky naměřenými hodnotami, dále je ukládá a analyzuje v rámci vzniklé databáze, čímž sleduje

vývoj dat a učí se. Příkladem zde může být rozpoznávání jednotlivých plodin v určitých fázích vývoje a jejich odlišení od ostatních plodin. [40]

3 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je zmapovat a popsat aktuální stav využití inteligentních systémů používaných v zemědělství s ohledem na specifika využití v rostlinné výrobě.

Pro účely zkoumání byl zvolen středně velký zemědělský podnik, nacházející se ve Středočeském kraji, Zemědělská Společnost Sloveč a.s.

Výsledkem práce bude zhodnocení aktivního využívání jednotlivých uvedených metod a technologií s výhledem případného rozšíření do budoucnosti. Očekává se, že budou uvedeny i případné nevýhody systémů, pokud takové budou prokázány.

4 Metodika práce

Teoretická část této práce je zaměřena na popis hlavních vývojových trendů, které jsou využívány v rámci koncepce zemědělství 4.0. Tyto technologie spadají do oblasti digitalizace, rozvoje informačních technologií, pokročilé strojní automatizace a robotizace.

V praktické části je tento teoretický popis využit jako podklad pro zhodnocení implementace a skutečného využívání nových trendů v rámci každodenního provozu zkoumané zemědělské společnosti.

V hodnotící fázi autora zajímalo zhodnocení používání nových technologií s popisem jejich reálných výhod či nevýhod a dopadu jejich používání na ekonomiku podniku, využití lidských zdrojů a chování v souladu s přírodou.

Autor se zajímal a hodnotil i případný budoucí plánovaný rozvoj dané technologie v rámci zkoumaného subjektu.

5 Vlastní řešení

Pro vlastní řešení práce byl vybrán střední velký zemědělský podnik, a to Zemědělská Společnost Sloveč a.s., v rámci jehož provozu a používaných technologií budou posouzeny nové technologie koncepce Zemědělství 4.0 co do jejich využitelnosti.

5.1 Představení zkoumaného subjektu

Zemědělská Společnost Sloveč a.s. (dále jen ZS Sloveč) se nachází v Polabské nížině, nedaleko města Poděbrady se sídlem ve městě Městec Králové. Společnost je rozdělena do dvou podnikových středisek, kdy na středisku v Městci Králové sídlí vedení společnosti a má zde centrálu rostlinná výroba a na středisku v obci Sloveč je soustředěna živočišná výroba.

ZS Sloveč hospodaří na výměře cca 3 000 ha v nadmořské výšce 212 m. n. m. s průměrným ročním úhrnem srážek 620 mm. V rostlinné výrobě se společnost věnuje především produkci obilnin, cukrové řepy, řepky olejné, sóji luštinaté a množitelským porostům trav. V posledních letech je možné ve společnosti sledovat zvýšený zájem o problematiku regenerativního zemědělství se snahou uvádění těchto postupů do běžné praxe. V rámci pěstování okrajových plodin a meziplodin se jedná o mák, čirok, svazenku, pohanku atd. viz tab. 3. Okrajové plodiny jsou pěstovány vždy na základě aktuálních podmínek daného roku, jedná se o plochy cca 50–150 ha celkem. Pro krmivovou základnu se zde pěstuje kukuřice, vojtěška a travní směsi.

Středisko živočišné výroby se věnuje chovu holštýnského skotu s mléčnou užitkovostí 12 500 l mléka za laktaci dojnice. Celkový počet kusů ve stádě se pohybuje okolo 1400 zvířat, přičemž cca 770 ks je dojnic.

Tab. 3 Skladba plodin v ZS Sloveč a.s. rok 2023

Skladba plodin ZS Sloveč a.s.	
Pšenice ozimá	930 Ha
Řepka ozimá	460 Ha
Cukrová řepa	438 Ha
Kukuřice	360 Ha
Sója luštinatá	200 Ha
Ječmen ozimý	170 Ha
Ječmen jarní	112 Ha
Kostřava rákosovitá	82 Ha
Vojtěška	200 Ha

Zdroj: Autor, ZS Sloveč a.s.

5.2 První využití prvků zemědělství 4.0

Za první seznámení a praktické využití některého z prvků zemědělství 4.0 je v rámci podniku ZS Sloveč považováno využití DGPS – přijímačů, kdy v roce 2005 došlo k osazení prvního samostatného postřikovače. Jednalo se o postřikovač s možností ručního navádění dle světelné lišty, prozatím bez možnosti vypínání jednotlivých sekcí. V roce 2006 byl postřikovač vybaven automatickým naváděním a vypínáním jednotlivých sekcí (5 sekcí) pomocí DGPS s přesností RTK 2 cm. V následujících letech byl již téměř každý pořizovaný stroj vybaven automatickým naváděním pomocí GPS v různé přesnosti (SF1 – RTK, dle plánovaného použití stroje). V případě sklízecích mlátiček šlo o optické senzory pro sledování konce porostu.

Od roku 2017, kdy byla zakoupena vlastní RTK stacionární stanice, přešla společnost na většině obdělávaných ploch na jednotné kolejové řádky s roztečí 225 cm ve všech plodinách, v šířkovém modulu 8,1m pro setí a 32,4m pro postřik. Kolejové řádky jsou tak od roku 2017 na obdělávaných půdních blocích stále na stejném místě a je zde snaha o provozování veškeré techniky právě po těchto kolejových řádcích. Tyto snahy dnes narušuje pouze lidský faktor.

5.3 Precizní příprava půdy

Jako prvek zemědělství 4.0 je pro precizní celoplošnou přípravu půdy používán signál EGNOS nebo SF1 pro navigaci pohybu strojů a připojeného nářadí s přesností na cca 20 cm. Tato odchylka je dostatečná pro použití v přípravě půdy za předpokladu, že stroj jezdí max. několik záběrů od sebe.

Pro řádkové podryvání pro cukrovou řepu, nebo pro striptillové práce (zpracování různě širokých pásů půdy) před zakládáním porostů kukuřice, řepky a sóji je používán signál RTK s přesností 2 cm. Stroje se pohybují po předem navržených liniích na základě předem připravených mapových podkladů viz obr. 31. Při řádkovém zpracování půdy pak nedochází k hloubkovému porušení struktury dlouhodobě vytvořených kolejových řádků. Výhodou tohoto postupu je zvýšená únosnost těchto ploch (kolejových řádků), která následně umožňuje včasnější aplikace v mokrých jarních měsících. Zároveň dochází k nižšímu poškozování produkčních ploch a půdní struktury.

Technologie provozu strojů pro přípravu půdy ve stejných kolejích může dlouhodobě vézt k tvorbě nerovností a nežádoucímu zvlnění půdního reliéfu. Například u talířového kypřiče dochází vlivem vyšší pracovní rychlosti k přesunu půdy na kraj stroje. Stroje jsou sice osazeny shazovacími plechy pro zamezení odletu ornice, záchyť ovšem není vždy stoprocentní a návaznost jednotlivých jízd bývá dobře viditelná díky vytvoření hrůbku hlíny, který rozhodně není žádoucí. Aby došlo k odstranění tohoto jevu, je varianta přípravy půdy pro hloubkové podryvání prováděna v předem připravených liniích, ale ostatní práce pro zpracování půdy (podmítka, předseťová příprava), které jsou prováděny do cca 15 cm hloubky, jsou prováděny pomocí linií pootočených zhruba o 10–15° od master linií. Tím je docíleno neustálého rovnání reliéfu a zamezeno tvorbě hrůbek od jednotlivých strojů. Hloubka cca 15 cm byla stanovena jako maximální pro zachování a neporušení struktury využívaných kolejových řádků.

V rámci precizní přípravy půdy je do budoucna plánováno využívat variabilní změnu požadované hloubky zpracování při podryvání pomocí předem připravených a analyzovaných map na základě výška ornice, identifikace utužených vrstev půdy apod. Následnou výhodou by byla úspora paliva a navíc efektivní a cílené zpracování jednotlivých vrstev půdy.

Obr. 31 Mapové podklady pro navádění strojů po pozemku



Zdroj: autor

5.4 Setí plodin

5.4.1 Plošné setí plodin

Pro plošné setí obilovin jsou v rámci ZS Sloveč používány dva secí stroje. V rámci diskutovaného tématu je vhodné zmínit především secí stroj Horsch Pronto z roku 2008 s pracovním záběrem 8,1m. Jedná se o pneumatický secí stroj s jednodukorovým zásobníkem, který byl prvních 14 let používán bez jakékoliv nadstavby. Nebyl vybaven ISObus řídicí jednotkou, možností automatického zapínání a vypínání práce, ani vypínáním jednotlivých sekcí. V roce 2022 byl secí stroj v rámci elektronických prvků kompletně nově osazen viz obr. 32.

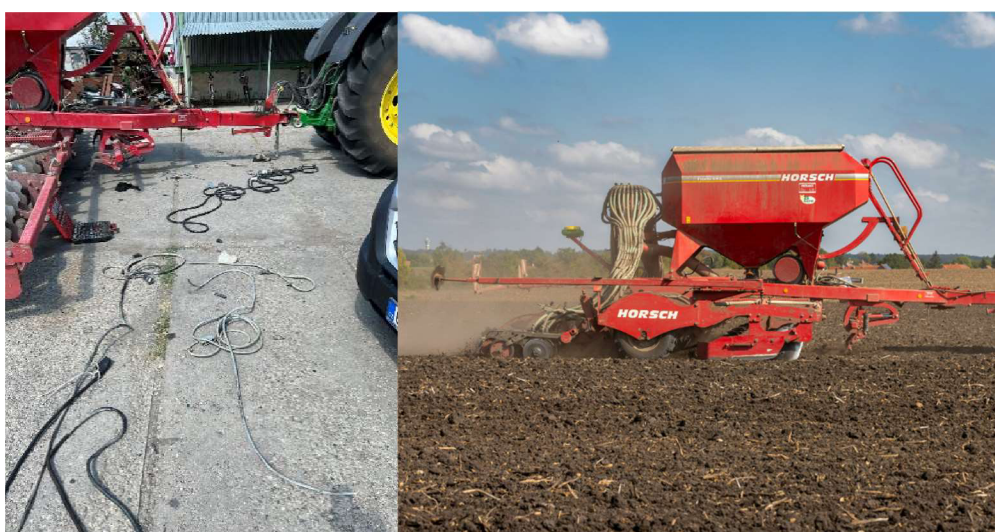
Nyní je stroj vybaven pasivním naváděním JD SF6000 (přídavný přijímač signálu DGPS umístěný přímo nad pracovními orgány pro zpřesnění polohy přípojného stroje), které za a) zaručuje minimální odchylku jízdy stroje od předem připravené dráhy, za b) minimalizuje boční posun nářadí při jízdě v kopci nebo při používání talířového kypřiče pro přípravu půdy, za c) umožňuje zapínání a vypínání výsevu dle DGPS souřadnic a za d) umožňuje vypínání dvou sekcí (2x 4 metry) pro setí v klínech a dosévání ploch.

Tato technologie přinesla snížení spotřeby osiva v rozmezí 5-8 % v závislosti na tvaru pozemku a druhu seté plodiny. Další nespornou výhodou je zpřesnění výsevu a

zmenšení přeseť plochy. Plochy se zvýšeným výsevkem jsou dodatečně ohrožovány například vodním stresem, dochází k nerovnoměrnému vzcházení, polehání ploch před sklizní a nestejně dozrávání.

Nevýhodou automatického vypínání secího stroje je jeho náročnější kalibrace, která by navíc měla být prováděna vždy se změnou vysévané plodiny. V rámci nastavení je nutné pro začátek a konec výsevu udát potřebný čas od pootočení výsevního válečku po vylétnutí zrna secí botkou. Měření se několikrát opakuje, vypočítá se jeho průměr, hodnoty se nastaví, a nakonec se správnost nastavení zkontroluje při samotném výsevu přímo na poli.

Obr. 32 Osazení secího stroje Horsch Pronto ISOBus jednotkou a kabeláží, pasivní navádění JD



Zdroj: autor

5.4.2 Přesné setí plodin

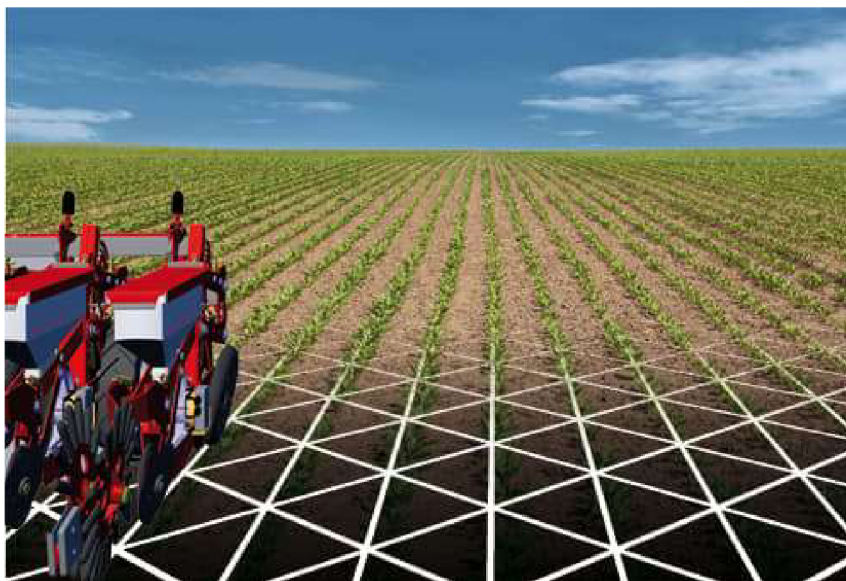
Pro přesný výsev plodin jako je například kukuřice, sója, cukrová řepa, řepka jsou zde používány dva secí stroje. Vaderstad Tempo V12, který slouží primárně na výsev kukuřice, sóji, řepky olejné a cukrové řepy a secí stroj Kverneland Monopill, pro cukrovou řepu a řepku olejnou. Oba stroje jsou víceméně totožné co do způsobu použití a využívaných technologií. Dále tedy bude blíže představen pouze Kverneland Monopill.

Jedná se o přesný secí stroj s pracovní šířkou 8,1 m, meziřádkovou roztečí 45 cm, který je osazen 18 secími jednotkami na pevném rámu. Každá secí jednotka je osazena vlastním elektromotorem, který zajišťuje otáčení výsevního kotouče pro každou jednotlivou jednotku zvlášť. V rámci sekční kontrolu je tedy možné používat 18 samostatných sekcí.

V rámci ZS Sloveč se sekční kontrola při přesném setí používá již od roku 2017 za pomoci navádění s přesností signálu RTK.

Při výsevu cukrové řepy jsou používány 5dírové výsevní kotouče a sousední řádky jsou sety do tzv. čtyřúhelníkového sponu viz. obr. 33. aby byl zajištěn stejný prostor všech rostlin v rámci celého pole.

Obr. 33 Kverneland GEOSEED 2, čtyřúhelníkový secí spon



Zdroj: https://res2.cloudinary.com/kvernelandgroup/image/upload/c_limit,w_770/q_auto:eco/f_jpg/GEOSEED-1-jpg-g18ievibqj

Na obrázku 34 je zase znázorněno nastavení vypínání sekci na souvrati, kdy zelená semínka obalované cukrové řepy jsou v posledním souvrat'ovém řádku, modrá semínka jsou uložena směrem do záhonu pole. Z uvedeného vyplývá, jak je důležité dobře nastavit jednotlivé sekce, aby rostliny uložené v řádcích měly všechny stejný prostor a nedocházelo k přesevům, nebo k vytváření „prázdných oken“. Ta jsou problematická zejména z důvodu zaplevelení a tvorby tzv. krajového efektu, kdy rostliny blízko prázdného místa narůstají do větších rozměrů, což způsobuje problémy při sklizni (u cukrové řepy dochází k rozřezání bulev). Obecně tato technologie přináší významné ušetření používaného osiva a zajišťuje dostatečný prostor jednotlivých rostlin.

Nevýhodou tohoto systému je opět náročnější kalibrace a spárování secího stroje s navigací. Pro přenos dat je sice používána sběrnice ISOBus, ale ani to není zárukou úplně

správné funkce. Mnohdy je problematické najít odpovídající a spolu komunikující software secího stroje, traktoru a případně navigace.

Obr. 34 Nastavení sekce secího stroje souvrat / záhon, výsev cukrové řepy



Zdroj: autor

5.5 Kultivace v porostu

Pro meziřádkovou mechanickou kultivaci v porostu je využíván 18řádkový plečí stroje Bednar Row-Master osazený optickou kamerou Claas a pohyblivým hydraulickým rámem, kterým je spojen traktor a mechanický plečí stroj. Pro přesné navádění traktoru v liniích po pozemku je využíván RTK signál s přesností na 2 cm, navádění plečího stroje v meziřádcích probíhá díky využití zmíněné optické kamery.

Optická kamera snímá při pohybu stroje rostliny v řádcích viz. obrázek 35, pomocí řídicí jednotky vyhodnocuje polohu jednotlivých rostlin a dává signály elektrohydraulickému ventilu, který zajišťuje posun pracovního rámu. Díky využití této technologie je dosaženo vyšší přesnosti při plečkování meziřádků s možností pohybu stroje daleko blíže k rostlinám, došlo k navýšení pracovní šíře stroje a také ke zvýšení pracovní rychlosti.

Nevýhodou optického navádění stroje je jeho citlivost na zanesení optiky v prašném prostředí a nemožnost rozeznání jednotlivých plodin v obdobích s nedostatečným vzrůstem kulturních rostlin.

5.6 Chemická ochrana

V rámci chemické ochrany rostlin jsou používány dva postřikovače Mamut 8000 českého výrobce Agrio Křemže. Jedná se o tažené postřikovače vybavené sekční kontrolou v rozsahu 18 sekcí s pracovní šířkou 32,4 m a rozmístěním jednotlivých trysek po 0,5 m.

Počet 18 sekcí byl pro běžnou polní práci vyhodnocen jako dostatečný. Pro variabilní aplikace je zde nicméně možná změna dávky pouze v celé šíři ramen, a nikoliv v jednotlivých sekcích. Dle navigačního systému (Trimble) je pak dávka upravována jako průměr z obou projížděných zón, což rozhodně není žádoucí s ohledem na kvalitu ošetření rostlin ani množství použitého postřiku. Tento počet sekcí je možné využít případně pro ohniskové aplikace dle předpisových map nicméně pouze pro postřik vhodný do porostu kulturní plodiny a opět zde nedochází k výrazné úspoře v aplikovaném množství přípravku. Pro pokročilé aplikace, jakými jsou bodová aplikace, nebo pásový postřik, již tento počet sekcí není vhodný a je poměrně omezující.

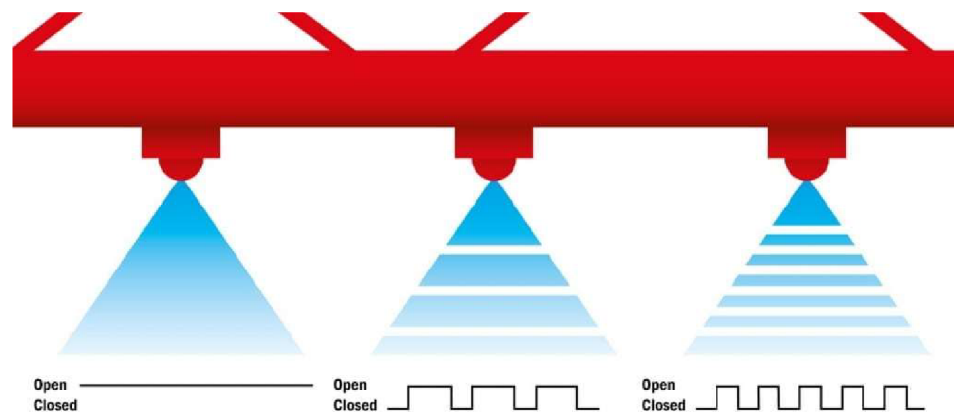
ZS Sloveč aktuálně vybírá k nákupu nový samohodný postřikovač. Na jaře a podzim roku 2023 vyzkoušela několik samojízdných postřikovačů v následující ideální specifikaci: sekční kontrola s pracovním záběrem 32,4 m a s počtem 128 na sobě nezávisle vypínaných sekcí s rozmístěním jednotlivých trysek po 0,25 m. Pro variabilní aplikace by měl stroj být na jednotlivých tryskách vybaven systémem Pulse-width modulation (PWM) - systémem pulzní šířkové modulace. Pro změnu dávky v jednotlivých tryskách by měl být instalován elektromagnetický ventil s rychlostí otevírání a zavírání trysky až 100x/sec, tak aby se při změně průtoku tryskou neměnilo schéma postřiku ani velikost kapek viz obrázek 35.

S touto technologií by mělo být docíleno ušetření značného množství pesticidů a zamezeno zbytečnému plýtvání na místa, kde aplikace není potřeba. Dalším očekávaným benefitem by měla být související úspora nákladů. Předpokladem je 60 % úspora nákladů. Při bodových aplikacích až 90 %. Na druhou stranu zde pak vyvstává otázka, zda samotný průjezd strojem přes celý pozemek nebude dražší, než náklady na aplikovanou dávku.

Postřikovače byly testovány v rámci ohniskové likvidaci pcháče v porostech sóji luštěnaté a pcháče v porostu kukuřice. Hlavními důvody pro nákup stroje s možností takovéto technologie jsou ekonomické úspory a zároveň enviromentální hledisko. V důsledku omezení plošné aplikace pesticidů se bude snižovat i dopad těchto látek na krajinu. Nákup nového stroje je plánován již na sezonu 2025 pro plošné a bodové aplikace, páskový postřik, variabilní hnojení a variabilní aplikaci regulátoru růstu.

Nevýhodami této technologie jsou vysoké vstupní náklady na nákup stroje, další zvýšené provozní náklady spojené s údržbou již takto složitého stroje a potřeba dostatečně kvalifikované obsluhy, která bude aktivně schopna využívat funkce stroje.

Obr. 35 Pulzní modulace postřikovače PWM od výrobce Agrifac

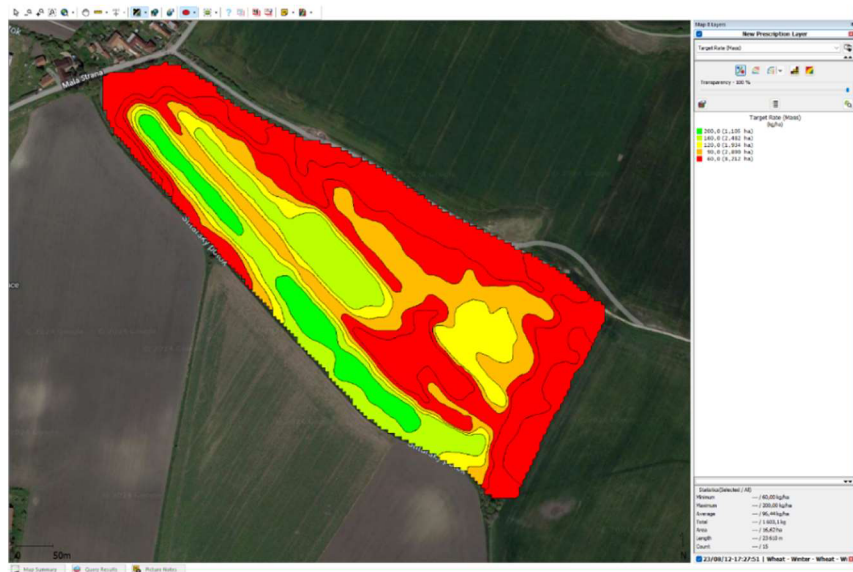


Zdroj: https://www.agrifac.com/app/uploads/sites/12/2020/10/Pressure_IndependentSpeed_control-1024x483.jpg

5.7 Mapování pozemků

Mapování polí ve společnosti probíhá na základě využití několika technologií. První z nich je dlouhodobá tvorba RVP map pomocí družicových snímků na výměře o rozloze cca 900 ha orné půdy za pomoci služeb od firmy Varistar. Tyto mapy jsou dále prokládány s mapami získanými a vytvořenými pomocí výnosoměrů ze sklízecích mlátiček. Na základě takto finálně vytvořených map, probíhá tvorba mapových podkladů pro další následné operace, jako je variabilní hnojení, variabilní setí nebo variabilní postřik. Pro tyto aplikace je používáno zónální rozdělení, nejčastěji na pět produkčních zón dle obr.36.

Obr. 36 Aplikační mapa s pěti produkčními zónami



Zdroj: autor

Pro tvorbu aplikačních map, především pro bodové aplikace, využívá ZS Sloveč vlastní dron – DJI Phantom 4. V rámci drobného zaplevelení je možné na základě získaných RGB snímku ručně vytvořit aplikační mapu viz obr. 37. Pro více zaplevelené pozemky a ohniska pouhým okem špatně rozeznatelná (pcháče v kukuřici) je již nutné použití dronu osazeného multispektrální kamerou. Poslední skenování bylo prováděno společností SAM Dimension a jednalo se o pcháč v kukuřici. Následně vytvořená aplikační mapa (obr. 18) byla využita pro bodovou aplikaci v porostu, kde bylo prokazatelně ušetřeno 78 % použitých chemických prostředků oproti běžné plošné aplikaci. Pro bodovou aplikaci byl použit samohodný postřikovač Agrifac, v rámci zkoušek přesnosti bodové aplikace a ověření funkčnosti této technologie.

Obr. 37 Vlevo ručně vytvořená aplikační mapa dle RGB snímku vpravo, pcháč v porostu sóji



Zdroj: autor

Nespornou výhodou využití systému dronů jsou získané snímky o vysokém rozlišení s přesností RTK (cca 2 cm). Nevýhodou je pak velký objem dat pro zpracování i z poměrně malé nasnímané plochy. Z pole o rozloze 20 ha lze pořídit snímky o celkové velikosti až 300Gb. Následné zpracování těchto dat je velice náročné na výkon výpočetní techniky.

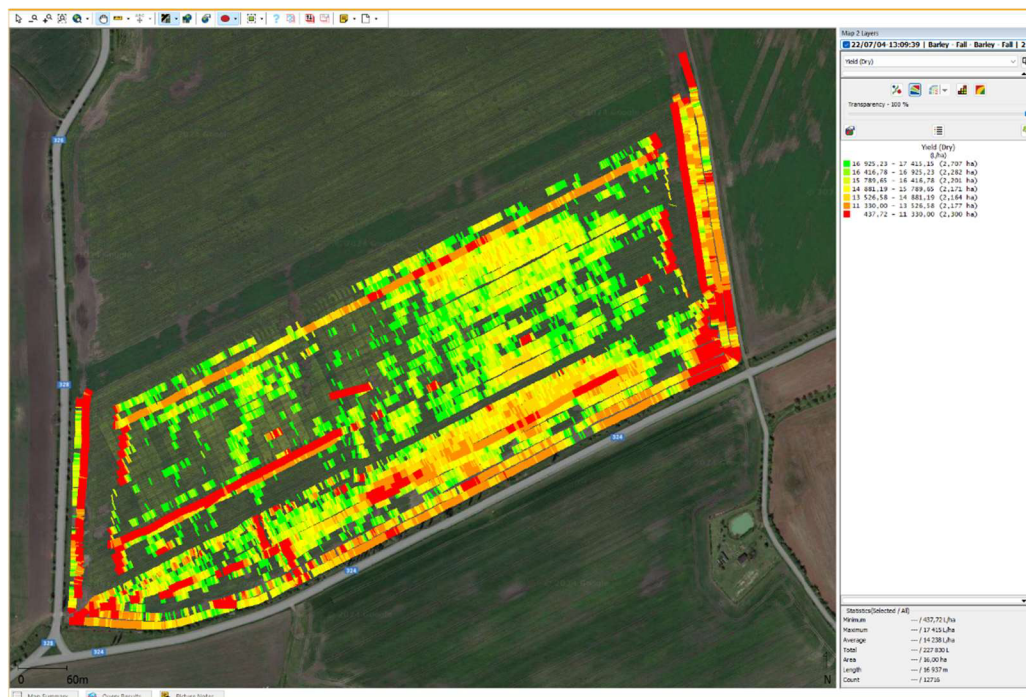
5.8 Sběr dat ze sklizně

V rámci své flotily strojů vlastní ZS Sloveč tři axiální sklízecí mlátičky New Holland CR. Nejnovější pásový model CR 9.80 je vybaven přijímačem DGPS signálu a výnosovým a vlhkostním čidlem. Díky kombinaci těchto senzorů je možné měřit průtok sklizeného zrna mlátičkou o známé vlhkosti a poloze v rámci půdního bloku v reálném čase. Měření probíhá kontinuálně. Výhodou měření výnosu v rámci konkrétního půdního bloku jsou data dlouhodobě využitelná pro následnou analýzu případných problémů na půdních blocích. Po proložení výnosových map z jednotlivých let a potažmo i jednotlivých plodin, získáme mapový podklad, který často koreluje s problémy daného půdního bloku, jako jsou splavené živiny v údolnicích, místa zasažená nedostatkem vody, nebo naopak s případným problémem s meliorační soustavou. Díky těmto ukazatelům je pak následně možné zjištěné problémy řešit.

Nevýhodou systému umožňujícího správné a kvalitní měření výnosu a vlhkosti plodin při sklizni je nutné kalibrování skutečné váhy a vlhkosti sklizené plodiny až několikrát denně v rámci pracovní směny. Důvodem jsou změny vlhkosti plodiny, ke kterým dochází v průběhu dne v rozsahu až několika jednotek procent. Druhým nedostatkem v rámci mapování výnosů na půdním bloku je požadavek na neustálý signál DGPS přijímače. Data vytvořená s vypadávajícím signálem, viz obr. 38, jsou pro další zpracování nepoužitelná.

Pro budoucí sklizňové sezóny je plánována obměna dvou starších sklízecích mlátiček. Nové stroje budou vybírány tak, aby již byly vybaveny výše zmíněnou technologií pro sběr dat a dále byly schopny získávat a uchovávat další data o kvalitě zrna pomocí NIR senzoru v rámci sklizně.

Obr. 38 Neúplnost výnosové mapy ze sklízecí mlátičky, nedostatečný signál GPS, problém s komunikací senzorů



Zdroj: autor

Pro sklizeň objemného krmiva (silážní kukuřice, vojtěšková senáž, travní senáž, žito na GPS) je používána sklízecí řezačka Claas Jaguar 860. Tato řezačka je vybavena NIR senzorem Dinamica Generale NIR I pro analýzu kvality sklizené hmoty v reálném čase. Na základě dlouhodobých zkušeností je zvolen následující postup sklizně. Všechna zájmová pole jsou obsekána a skrz ně je proseknuto několik lín. Následně jsou vyhodnocena data z NIR senzoru a jsou stanoveny kvalitativní parametry každého jednotlivého pozemku. Vyhodnocované parametry jsou sušina, škrob, ADF, NDF, popeloviny a tuk. Hmoty sklizené z jednotlivých polí je pak dle kvalitativních požadavků rozdělena na jednotlivé silážní jámy. Takto nedochází k mísení kvalitní s méně kvalitní hmotou, díky čemuž dochází k maximálnímu využití krmného potenciálu sklizené hmoty.

Pro NIR senzor mají ve společnosti ještě další uplatnění, a to v rámci okamžité analýzy TMR – Total Mixed Ration (úplná směsná krmná dávka). NIR senzor je v rámci této metody umístěn do speciálního boxu. Kde dochází k analýze ručně odebraných vzorků a je tak možno kontrolovat stav siláží a senáží po „fermentaci“ krmení. V rámci vyhodnocení výsledku měření lze následně přizpůsobit množství jednotlivých přísad v TMR podle jejich zjištěné kvality. Tato technologie umožňuje plné využití všech vlastností jednotlivých krmiv

s ohledem na potřebnou diferenciaci pro jednotlivé skupiny chovaného skotu (telata, prvotelky, dojnice, suchostojné krávy).

Možností, jak tuto technologii vylepšit, je osazení samochodného krmného vozu pomocí NIR senzoru k vyhodnocování a upravování TMR dávek v reálném čase. Nevýhodou této technologie je nákladná kalibrace přístroje na jednotlivé plodiny, která spočívá v odebrání a vyhodnocení jednotlivých vzorků změřených NIR senzorem s totožnými vzorky, které budou vyhodnoceny v akreditované laboratoři. Tento postup se využívá pro vytvoření kalibrační křivky, díky níž je každý vzorek zkoumán a připodobněn ke kalibrační křivce. Kalibrace je doporučováno provádět 1x / kalendářní rok. Vzorky pro přímé porovnání s laboratoří jsou odebírány při každé sklizni. Na základě dlouhodobých zkušeností je společnost nucena provést recalibraci zhruba jednou za tři sezony.

5.9 Robotizace

První zkušenosti s polní robotikou v rámci rostlinné výroby mají v ZS Sloveč již od roku 2020, kdy byl na trh uveden robotický nosič náradí dánského výrobce Agroboti. I přes nepříznivé podmínky, které byly způsobeny omezeními v rámci covidového období, se nakonec podařilo domluvit představení polního robota včetně praktické zkoušky v rámci setí kukuřice.

Po prvních pokusech to vypadalo, že bude provoz polního robota vyžadovat neustálou obsluhu minimálně třech kvalifikovaných pracovníků, kteří budou zajišťovat obsluhu, kontrolu vykonané práce, recalibraci, tankování a řešit další nenadálé situace. Po zasetých cca 40 ha plochy došlo k redukci obsluhy na jednoho stálého pracovníka a dovozce materiálu. Nebylo výjimkou, že se stroj náhle zastavil v půlce pole a obsluha musela pěšky vyrazit za strojem, aby se pokusila zjistit, z jakého důvodu došlo k přerušení práce. Z obrázku 39 je patrné, že obsluha trávila většinu času na poli s robotem.

Tato první zkušenost rozhodně vznesla hned několik otázek k celkovému přínosu robotizace. Stroj jako takový je poměrně malý (malý záběr), nedosahuje požadovaného výkonu, vyžaduje neustálou kontroly práce stroje a z ekonomického hlediska není v porovnání s klasickým polním tahačem rentabilní za předpokladu hodnocení poměru pořizovací ceny, výkonu a nutnosti kvalifikované obsluhy.

Obr. 39 Robot Agroboti Robotti při seti, neustálá kontrola stroje



Zdroj: autor

Další zkušenost s polní robotikou měly ve společnosti v roce 2023 v rámci představení dvoupásového polního robota model AgBot 5.115T2 od holandského výrobce AGXEED.

Tento robotický tahač byl nejprve vyzkoušen při přípravě půdy s talířovým kypřičem po sklizni cukrové řepy a silážní kukuřice. I zde byla pro obsluhu stroje zapotřebí neustále minimálně jedna osoba.

Další variantou byla zkouška stroje v podmínkách, které by mohly být reálné při plném polním provozu. Pro první společnou práci s klasickým traktorem na jednom poli bylo zvoleno nenáročné koulení s desetimetrovými cambridge válci po seti ozimé pšenice. Tato konkrétní činnost byla zvolena, jelikož se předpokládalo, že by měla přinášet co nejmenší prostor pro vznik jakéhokoliv provozního problému (ucpání stroje, polní překážky, poruchy taženého nářadí). První problémy nastaly již při nastavování robota v rámci otáčení stroje, kdy robot při vyšším úhlu natočení enormně snižoval pojezdovou rychlost, jelikož vyhodnocoval vlastní přípojné nářadí jako překážku při provozu ve svém akčním rádiu. Problém byl odstraněn osazením přípojného nářadí dodatečnými senzory. Další vyhodnocenou nedokonalostí jsou poměrně přísně nastavená bezpečnostní opatření, která neumožňují zpracování pozemku až do jeho úplného kraje a nutí stroj dodržet minimální odstup v rozsahu 1 m od hranice pozemku. Okraje pozemku bylo následně nutné projet klasickou soupravou traktoru agregovaného s válci. V tomto nastavení navíc došlo k úspoře obsluhy robota, jelikož tu mohla v případě potřeby nahradit obsluha traktoru, která měla robota neustále pod dohledem. viz obrázek 40. Nevýhodou tohoto nastavení bylo přerušení

práce obou strojů v případě problému robota, jelikož se obsluha traktoru šla věnovat vzniklému problému robota a svoji práci tak musela přerušit.

Obr. 40 AGBOT 5.115T2 v nasazení při polním provozu se secí soupravou



Zdroj: autor

V rámci vyhodnocení zkoušek provozu stroje AGBOT bylo potvrzeno, že by se pro jeho provoz našlo uplatnění v rámci několika činností, které lze považovat za nenáročné ohledně přípravy půdy. Náročnější aplikace, jako například setí nebo chemická ochrana rostlin, by i nadále vyžadovaly neustálou kontrolu nad strojem. Pokud vezmeme v potaz omezený tahový výkon a menší denní výkon stroje, bylo by zapotřebí, aby v rámci rentability provozu obsluha (jedna osoba) dokázala koordinovat a obsluhovat práci více robotů.

Dalším možným příkladem vhodného využití tohoto stroje je údržba ochranných pásů kolem vodotečí, biopásů, případně pro sklizeň trav a pícnin. Tyto práce jsou vykonávány za prakticky totožných podmínek co se týká podoby dané lokality, místních překážek apod. Pro stroj je tedy snadné se tyto stejné přejezdy naučit. Navíc se jedná o nenáročné činnosti (stejně jako příprava půdy).

Největším a doposud nezodpovězeným problémem polní robotiky zůstává legislativa, jak již bylo zmíněno dříve v této práci. V rámci platné legislativy není v ČR a potažmo ani v celé Evropské unii možné tyto autonomní stroje přepravovat po pozemních

komunikacích tzv. po vlastní ose. Převod z pozemku na pozemek tedy znamená nutnost externí dopravy a dodatečné obsluhy.

5.10 Sběr a zpracování dat

V rámci sběru dat využívá společnost od roku 2018 Operations Center od firmy John Deere, kdy s každým nákupem dochází k implementaci tohoto nového stroje (fy. John Deere). V rámci aplikace je, mimo jiného, možné navrhování naváděcích linií a ukládání dat z aktuální práce na pozemcích např. (oseté plochy, použité odrůdy, použité dávky hnojiv atd.). Na obr. 41 je znázorněn postup setí ozimé pšenice na podzim 2023.

Obr. 41 Postup setí pšenice ozimé v roce 2023

POLE	VARIANTY	POLE	VARIANTY	POLE	VARIANTY
Mestocka 2 8801_8	31,3 ha 140 kg/ha	Mestocka 2 8801_8	11,6 km ² 30.09.2023	Mestocka 2 6...	MOSCHUS 140KG NA HA
Opecko 0002_8	83,8 ha 147 kg/ha	Opecko 0002_8	9,9 km ² 14.10.2023	Opecko 0002...	AVENUE +2
Ovein 4401_3	27,5 ha 150 kg/ha	Ovein 4401_3	10,6 km ² 13.10.2023	Ovein 4401_3	AVENUE +2
Pod viny 3002_28	51,8 ha 144 kg/ha	Pod viny 3002_28	11,6 km ² 25.09.2023	Pod viny 300...	AVENUE
Před kravinem 8801_1	,06 ha 150 kg/ha	Před kravinem 8801_1	1,6 km ² 13.10.2023	Před kravine...	ILLUSION
Proutek 17401_1	20,0 ha 141 kg/ha	Proutek 17401_1	10,7 km ² 27.09.2023	Proutek 1740...	AVENUE
Pruhan 5602_6	91,5 ha 132 kg/ha	Pruhan 5602_6	11,2 km ² 28.09.2023	Pruhan 5602_6	ABSOLON v1
Safrance 7401_10	30,2 ha 170 kg/ha	Safrance 7401_10	10,9 km ² 20.10.2023	Safrance 740...	AVENUE v1
Slachovska obec 2603	21,0 ha 163 kg/ha	Slachovska obec 2603	10,3 km ² 20.10.2023	Slachovska 3...	MOSCHUS
Stary II 8605_4	53,0 ha 140 kg/ha	Stary II 8605_4	10,9 km ² 27.09.2023	Stary II 8606_4	AVENUE
Stovka 6504_5	4,0 ha 190 kg/ha	Stovka 6504_5	10,3 km ² 20.10.2023	Stovka 6504_5	MOSCHUS
Sturmovsky 7802_1	14,0 ha 145 kg/ha	Sturmovsky 7802_1	7,6 km ² 08.10.2023	Sturmovsky 78...	ILLUSION
CELKEM/PRŮMĚR	1 019,6 ha 144 semena/ha	CELKEM/PRŮMĚR	10,6 km² ...	CELKEM/PRŮMĚR	...

Zdroj: autor

Dále je zde možné vytvářet a bezdrátově odesílat pracovní úkoly pro jednotlivé pozemky nebo bezdrátově odesílat obsluhu předpřipravené aplikační mapy.

Operační středisko zároveň funguje jako informační centrum, které umožňuje sledovat technická data o provozu stroje, získávat a plánovat servisní intervaly a tato data dále vyhodnocovat. V rámci možností aplikace je možné přijímat notifikace o aktuální poruše na stroji. Na případnou závadu je tak možné reagovat okamžitě bez prodlevy, ke které dochází než o problému informuje obsluha. Příklad podoby notifikace z mobilní aplikace je

znázorněn na obrázku 42 vlevo. Na pravé straně je znázorněn provoz strojů po jednotlivých pozemcích, kdy jsou barevně odlišeny jednotlivé druhy polních prací.

Obr. 42 Provozní upozornění strojů, přehledová mapa aktuálního provozu strojů

8320 RT
března 13 2:39 odp.

PTP 524279.31
Systém sedadla
Řidič není usazen na sedadle. Sedněte si zpět na sedačku.

Occurrences	Hodiny Motoru	Trvání (Min)
1	10086.6	4

Zobrazit na mapě Sdílet

5090M ŽV
března 13 12:28 odp.
PTR 002825.07

5090M ŽV
března 13 8:46 dop.

XSC 517366.14
Při brzdění byla zjištěna netěsnost vzduchové brzdy návěsu.
Zkontrolujte žluté řídicí vedení spojky a brzdy.

Occurrences	Hodiny Motoru	Trvání (Min)
1	6431.4	127

Zobrazit na mapě Sdílet

The map on the right shows a rural landscape with various fields outlined in different colors (green, blue, yellow, purple). Tractor icons are placed on the map, indicating their current locations. Labels on the map include: MALÁ STRÁNA, DUBECNO, Kněžice, Záhornice, KAMILOV, Sloveč, VÍNICE, PRO-DOMA Stavebniny, Městec Králové, Městeč Králové, BĚRUNIČKY, Běrunice, SLIBOVICE, Dlouhopolský, Knězičky, NA KOPIČÁKU, Lovčice, Hradčany, Báh, and Google.

Zdroj: autor

Aplikace je využívána i jako telematika pro sledování provozu strojů. Touto pokročilou telematikou je dnes osazeno již 10 strojů. V rámci plánovaného rozšíření flotily strojů o stroje pro sklizeň, axiální sklízecí mlátičky, dojde k nárůstu na 12 strojů. V rámci telematiky jsou data nejen sbírána, ale zároveň je možné pomocí funkce Remote Display Acces - RDA (vzdálený přístup do display) pomoci obsluze v reálném čase při problémech v nastavení stroje. Nejčastěji k tomu v praxi dochází například při nastavení automatického otáčení, navigace nebo nastavení připojeného ISOBus náradí.

Pro zpracování dat využívá společnost softwaru i od dalších firem. Hlavními využívanými softwary, které jsou používány pro přípravu mapových podkladů, naváděcích

linií a hranic a také se v nich dlouhodobě ukládají data z výnosměřů jsou QGIS a SMS software. Data jsou zde nejen skladována, ale je možné jejich další zpracování či editace.

Pro skládání RGB fotografií z dronu je využíván soubor aplikací PiX4D, v rámci nějž je možné poskládat dílčí snímky pořízené pomocí bezpilotního letounu do jednotného snímku, který lze následně geotagovat – připojit ke snímku atribut o známé poloze snímku, a dále jej využívat v SMS software pro tvorbu aplikačních map viz obr. 38.

Zpracování a sběr dat je nedílnou součástí každé z výše popsaných technologií. Z každého senzoru, kamery, či vykonávané činnosti je možné sbírat data a zpětně je vyhodnocovat a mít tak neustálou kontrolu nad problémovými lokalitami v rámci jednotlivých půdních bloků (v řádu let), což logicky umožňuje vyhnout se opakování stejných chyb.

Nevýhodou sběru a zpracování dat je nutnost nákupu strojních zařízení osazených odpovídající technikou, nákup a správa potřebných softwarů a v neposlední řadě požadavek na odpovídající úroveň obsluhy strojů. Obsluha jednotlivých strojů musí být schopna pracovat s danými aplikacemi a správně nastavovat data potřebná pro provoz stroje a nářadí. Požadavek na odbornost a vyšší míru zkušeností je kladen i na osobu, zajišťující zpracování a další interpretaci dat. Včasné zpozorování a odstranění chyb v rámci funkčnosti strojů, či naměřených dat, jako tomu bylo například na obr. 39, je nedocenitelné.

6 Diskuse

Následující kapitola se věnuje shrnutí závěrů získaných z praktických poznatků zjištěných v rámci zkoumání zvoleného subjektu a poté obecnému shrnutí vyplývající z literární rešerše včetně autorova osobního názoru.

6.1 Shrnutí s výhledem do budoucnosti v podmínkách ZS Sloveč

V rámci řešené problematiky je dle mého názoru možné označit ZS Sloveč a.s. jako zastávce až podporovatele využívání a zavádění nových technologií do své běžné denní praxe.

Rozhodně nelze říci, že by tato cesta byla vždy jednoduchá a v rámci ekonomiky podniku ta první volitelná. Prvotní nadšení může velice rychle opadnout, pokud se objevují další a další nedostatky, jak tomu u nových technologií často je. Jedním příkladem z mnoha by mohla být zkouška robotického nosiče náradí dánského výrobce Agroboti, která se opravdu nedala považovat za úspěšnou z pohledu funkčnosti a další využitelnosti robota, ale rozhodně byla pro pracovníky ZS Sloveč velice zajímavou zkušeností, která vedla k představení dalšího robota jen o pár let později.

Obdobně je tomu i s benefity a prospěšností některých technologií. Těžko by někdo stoprocentně prokázal, že tvorba pevných kolejových řádků může, mimo utužení daných přejezdových míst, vést k celkově menšímu utužení produkčních ploch a že po letech provozu přinese další benefit v možnosti časnějšího použití techniky na zamokřených pozemcích, nemluvě o období tzv. „mokrých sezón“.

Jak již bylo zmíněno výše, plánuje společnost v rámci budoucího rozvoje začít využívat tuto novou technologii, případně nakoupit následující stroje

- a. variabilní změnu požadované hloubky zpracování při podrývání půdy na základě předem připravených map znázorňujících výšku ornice a oblastí utužené vrstvy půdy
- b. samohodný postřikovač s pracovním záběrem 32,4 m a s 128 na sobě nezávisle vypínanými sekcemi s rozmístěním jednotlivých trysek po 0,25 m. Využití nového postřikovače je plánováno v rámci plošné a bodové aplikace, páskového postřiku, variabilního hnojení a variabilní aplikaci regulátoru růstu. Pro variabilní aplikace by měl být stroj vybaven PWM s rychlostí otevírání a zavírání trysek až 100x/sec.

- c. dvě axiální sklízecí mlátičky osazené technologií pro sběr dat ze sklizně v reálném čase (přijímač DGPS signálu, výnosové a vlhkostní čidlo a NIR senzor).

Potenciální příležitostí společnosti pro rozvoj provozované technologie by mohlo být osazení samochodného krmného vozu NIR senzorem k vyhodnocování a upravování TMR

6.2 Možný výhled dalšího vývoje řešené problematiky

V rámci příchodu nových technologií a s ohledem na nedostatek pracovních sil nelze polemizovat o budoucnosti automatizace, a to nejen v rámci výše popsaných technologií, ale následně i v přípravě strategie a plánování hospodaření pro budoucí období, například v rámci plánování osevních postupů.

Mým osobním názorem je, že se největším trendem moderní doby stane využití polních robotů a bezpilotních letounů, které budou schopny pracovat bez zásahu člověka. Jejich hlavní potenciál vidím v schopnosti samostatně vyhodnocovat a poskytovat již dopředu zpracovaná data, dle předchozího zadání provádět aplikace za pomoci umělé inteligence v návaznosti na okolní podmínky (vlhkost, teplota, rychlost větru), začátek aplikace přizpůsobit aktuálním podmínkám, nebo ji automaticky, bez zásahu člověka, přerušit. Celý proces bude takto dopředu automatizován bez potřeby dalšího zásahu obsluhy během samotného výkonu práce.

Budoucnost dále vidím v automatizaci strojů již dnes náročných na obsluhu a vlastní nastavení, jakými jsou zejména sklizňové stroje na cukrovou řepu a sklízecí mlátičky. Určitá úroveň automatizace je u těchto strojů dostupná již dnes, ale osobně asi nevěřím, že jednou bude především stroj pro sklizeň cukrové řepy maximálně automatizován, vůbec ne robotizován. K tomuto přesvědčení mě vede především fakt, že se jedná o stroj, který soustavně pracuje ve specifických a různorodých podmínkách v závislosti na půdních podmínkách, velikosti bulev atd.

I přes výše uvedené bych se ale přeci jen rád za 30 let při pohledu na robotický sklízeč cukrové řepy usmál nad touto mojí dnešní úvahou. Možná stejně, jako dnes ten, kdo před lety nevěřil, že bude možné, aby stroje mohli jezdit rovně po poli s přesností na pár centimetrů, nebo zcela autonomně bez přítomnosti obsluhy.

7 Závěr

Zemědělství jako takové je krásným a různorodým oborem, který má své nepopíratelné místo v zajištění produktivní a funkční společnosti. V rámci snah o zkvalitnění produkce potravin a udržitelnost životního prostředí pro budoucí generace je nezbytně nutné využívat prvky zemědělství 4.0, které nejenže přinášejí ekonomickou úsporu, ale pomáhají také lépe diverzifikovat vstupy a využívat je tam, kde jich je opravdu třeba.

V rámci České republiky je možné dlouhodobě pozorovat klesající oblibu zemědělství. V očích veřejnosti se stává nepopulárním, zbytečným a přírodu zatěžujícím odvětvím. Pokud navíc vezmeme v potaz, že je hlavní pracovní sezóna – žně, situována do dovolenkových, letních měsíců, nikoho již asi nepřekvapí rapidní nedostatek pracovní síly, se kterým se zemědělské společnosti potýkají.

Díky využívání moderních technologií jsou na běžnou obsluhu kladeny nové požadavky nejen z pohledu schopností, ale i ochoty se neustále učit novým věcem. Vývoj a aktivní využití automatizace, robotizace a umělé inteligence by mohl být jedním z možných řešení, jak se s nedostatkem personálu dlouhodobě vypořádat. Pokud by se navíc podařilo nové technologie zapojit nejen do sběru dat a jejich vyhodnocování, ale i do rozhodovacího procesu, mluvíme o úspoře lidských zdrojů a času v nepředstavitelném měřítku. Podle mého názoru by aktivní využívání nových a moderních technologií mohlo do zemědělství přilákat novou pracovní sílu, která by jinak o zemědělství v tradičním pojetí jako o potenciálním zaměstnání neuvažovala.

Dalším trendem v zemědělství, na který je třeba se připravit, bude nucené snižování spotřeby pesticidů v rámci Evropské unie (EU) a jejich nahrazování organickými preparáty či biologickými přípravky. Závažnou otázkou, na kterou však neznáme odpověď, je míra, do jaké bude EU ochotna zajít v rámci restrikcí a nařízení proti používání pesticidů a snižování uhlíkové stopy oproti politikám přijímaným v rámci celosvětového měřítka. Reálně totiž hrozí okamžik, kdy by zemědělské komodity vyráběné v EU, začínali být na trhu nekonkurenceschopné. Rozvoj technologií, které napomůžou snížení využití pesticidů spolu s případnou úsporou nákladů, je možnou cestou, jak se s podobnými ohroženími v budoucnu vypořádat.

Možný krok vpřed, v rámci rozvoje nových technologií, by mohla přinést legislativní úprava možnosti provozu autonomních strojů po pozemních komunikacích.

Věřím, že v rámci odstranění vícenákladů, které vznikají kvůli nutnosti obsluhy a přepravy v rámci obhospodařovaných celků, by mohlo dojít je k rapidnímu rozvoji vývoje a následně i používání autonomních a robotických strojů.

Věřím a doufám, že si v České republice zachováme tradiční a krásné řemeslo jakým zemědělství bezesporu je a nesklouzneme pouze do systému, ve kterém se hospodaření promění v průmysl zaměřený na uložení uhlíku do země pro snížení uhlíkové stopy a důraz na výrobu kvalitních, regionálních a zdravých potravin se nestane pouze doprovodným produktem.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] DE CLERCQ, Matthieu, et al. *Agriculture 4.0: The future of farming technology*. Proceedings of the world government summit, Dubai, UAE, 2018, 11-13.
- [2] LIU, Ye, et al. *From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges*. Online. IEEE Transactions on Industrial Informatics. June 2021, Vol. 17, No. 6, p. 4322-4334. ISSN 1551-3203. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9122412>. [cit. 2024-03-20].
- [3] RAPELA, Miguel Angel. *Fostering Innovation for Agriculture 4.0*. Online. Cham: Springer International Publishing, 2019. ISBN 978-3-030-32492-6. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/336929172_Fostering_Innovation_for_Agriculture_40_A_Comprehensive_Plant_Germplasm_System. [cit. 2024-02-15].
- [4] DA SILVEIRA, Franco, et al. *An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages*. Online. Computers and electronics in agriculture, October 2021. Vol. 189. ISSN 0168-1699. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169921004221?via%3Dihub>. [cit. 2024-02-25].
- [5] ZHAI, Zhaoyu, et al. *Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges*. Online. Computers and Electronics in Agriculture. March 2020, Vol. 170. ISSN 0168-1699. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919316497?via%3Dihub>. [cit. 2024-01-12].
- [6] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Digitalization*. Online. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/precisionagriculture/public/fields/digitalisation.html>. [citováno 2024-03-10].
- [8] TESARŠ, Pavel. *Úvod do GNSS*. Praha: ČVUT, 2007.
- [9] KUMHÁLA, František; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.
- [10] ZHANG, Qin; PIERCE, Francis J. *Agricultural automation: Fundamentals and practices*. NY: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. ISBN 978-1-4398-8057-9.
- [11] MAREK, Josef. *Přesnost satelitního navigačního systému GPS a jeho dostupnost v kritických podmínkách*. Perner's Contacts, Listopad 2009, Vydání 4, Číslo 3, s. 162-173. Dostupné z: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/1157>. [cit. 2024-03-20].
- [12] RODRIGUEZ-SOLANO, Carlos, et al. *Integrity real-time performance of the trimble RTX correction service*. Online. In: Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The

Institute of Navigation (*ION GNSS+ 2019*). September 2019. p. 485-507. Dostupné z: <https://doi.org/10.33012/2019.16863>. [cit. 2024-03-25].

[13] Trimble_RTX-Frequently-Asked-Questions. In: *June-2019_BRO_US_0619_LR_022517-231C*. Online. 2019. Dostupné z: https://www.scilergeo.com/wp-content/uploads/sites/9/2019/08/Trimble_RTX-Frequently-Asked-Questions_digital_June-2019_BRO_US_0619_LR_022517-231C.pdf. [cit. 2024-03-19].

[14] Leading Farmers CZ, a.s., 2024. *Korekční signály*. Leadeingfarmers.cz. [online]. 2024. Dostupné z: <https://www.leadingfarmers.cz/shop/gps-navigacni-systemy/korekcni-signalny>. [cit. 2024-03-25].

[15] Kibble equipment, 2024. *John Deere Precision Ag Technology*. Kibblee.com. [online]. 2024. Dostupné z: <https://kibbleeq.com/img/PrecisionAg/JD%20Precision%20Ag%20Brochure.pdf>. [cit. 2024-02-25].

[16] National Aeronautics and Space Administration, 2024. *GPS Correction Technology Lets Tractors Drive Themselves*. Nnasa.gov. [online]. 2024. Dostupné z: https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2017/ee_1.html. [cit. 2024-02-25].

[17] LUKÁŠ, Jan, et al. *Příručka precizního zemědělství pro praxi*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2020. ISBN 978-80-7427-346-9.

[18] SOUVANHNAKHOOOMMAN, Sane. *Review on Application of Drone in Spraying Pesticides and Fertilizers*. Nvember 2021, Vol. 10, p. 94-98. ISSN: 2278-0181. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/2402.00020>. [cit. 2024-02-25].

[19] BARKUNAN, S. R., et al. *Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation*. Computers & Electrical Engineering, January 2019, Vol. 73, p. 180-193. ISSN 0045-7906. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790617302288>. [cit. 2024-03-10].

[20] ADAMCHUK, Viacheslav I., et al. *On-the-go soil sensors for precision agriculture*. Computers and electronics in agriculture, July 2004, Vol. 44.1, p. 71-91. ISSN 0168-1699. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169904000444>. [cit. 2024-03-10].

[21] ZHANG, Xiaolei, et al. *Detecting macronutrients content and distribution in oilseed rape leaves based on hyperspectral imaging*. Biosystems engineering, May 2013, Vol. 115.1, p. 56-65. ISSN 1537-5110. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511013000378>). [cit. 2024-03-10].

[22] VÚT. 2.4. *Stefanův – Boltzmanův zákon*. Online. Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: <https://eu.fme.vutbr.cz/file/vomm/0204.htm>. [cit. 2024-03-10].

- [23] MALLET, Clément; BRETAR, Frédéric. *Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art*. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, January 2009, Vol. 64.1, p. 1-16. ISSN 0924-2716. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271608000993>. [cit. 2024-03-10].
- [24] ZHANG, Qin. *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-1482251081.
- [25] Earth Esa, 2024. *Planet scope*. Earth.esa.int [online]. 2024 Dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope> [cit. 2024-02-25].
- [26] ZHANG, Jia-Hua, et al. *A Global Responce Analysis of LAI Versus Surface Air Temperature and Precipitation Variations*. Online. Chinese Journal of Geophysics. September 2002, Vol. 45.5, p. 662-669. ISSN 0898-9591. Dostupné z: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cjg2.280>. [cit. 2024-03-25].
- [27] BRANT, Václav, et al. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, 2020. ISBN 978-80-87111-81-9.
- [28] GEORGE, Justin, et al. *Early Season Monitoring of Tarnished Plant Bug, Lygus lineolaris, in Wild Hosts Using Pheromone Traps*. Insects, October 2023. Vol. 14. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/insects14100805>. [cit. 2024-03-15].
- [29] LUCK J.D., et al. *Reducing Pesticide Over-Application with Map-Based Automatic Boom Section Control on Agricultural Sprayers*. Online. Transactions of the ASABE. 2010, Vol. 53.3, p. 685-690. ISSN 2151-0040. Dostupné z: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=30060&CID=t2010&v=53&i=3&T=1>. [cit. 2024-03-14].
- [30] PRAMOD PAWASE, Pranav, et al. *Comprehensive study of on-the-go sensing and variable rate application of liquid nitrogenous fertilizer*. Online. Computers and Electronics in Agriculture. 2024, Vol. 216. ISSN 01681699. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169923008700>. [cit. 2024-03-05].
- [31] FLECK, J. *The adoption of robots in industry*. Online. Physics in Technology. 1984, Vol. 15.1, p. 4-11. ISSN 0305-4624. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/0305-4624/15/1/I02>. [cit. 2024-03-25].
- [32] Spykman, O., et al. *Farmers' perspectives on field crop robots – Evidence from Bavaria, Germany*. Online. Computers and Electronics in Agriculture. July 2021, Vol. 186. ISSN 0168-1699. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921001939>. [cit. 2024-03-04].

- [33] LOWENBERG-DEBOER, James, et al. *Economics of robots and automation in field crop production*. Online. Precision Agriculture. 2020, Vol. 21.2, p. 278-299. ISSN 1385-2256. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/378320801_Automation's_Impact_on_Agriculture_Opportunities_Challenges_and_Economic_Effects [cit. 2024-01-25].
- [34] XIONG, Ya; GE, Yuanyue; GRIMSTAD, Lars a FROM, Pål J. *An autonomous strawberry-harvesting robot: Design, development, integration, and field evaluation*. Online. Journal of Field Robotics. March 2020, Vol. 37.2, p. 202-224. ISSN 1556-4959. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335036773_An_autonomous_strawberry-harvesting_robot_Design_development_integration_and_field_evaluation. [cit. 2024-03-15].
- [35] ÖZLÜOYMAK, Ömer Baris. *Design and development of a servo-controlled target-oriented robotic micro-dose spraying system in precision weed control*. Online. Semina: Ciências Agrárias. February 2021, vol. 42.2, p. 635-656. ISSN 1679-0359. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/350664666_Design_and_development_of_a_servo-controlled_target-oriented_robotic_micro-dose_spraying_system_in_precision_weed_control. [cit. 2024-02-12].
- [36] MARX, Christian, et al. *Design and application of a weed damage model for laser-based weed control*. Online. Biosystems Engineering. October 2012, Vol. 113.2, p. 148-157. ISSN 1537-5110. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511012001195>. [cit. 2024-03-01].
- [37] ZHANG, Qin; C.A.B. INTERNATIONAL, ISSUING BODY. *Automation in tree fruit production: principles and practice*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI, 2018. ISBN 9781780648521.
- [38] ABEYRATHNA, RM Rasika D.; AHAMED, Tofael. *Autonomous Robots in Orchard Management: Present Status and Future Trends*. In: Ahamed, T. (eds) IoT and AI in Agriculture. Springer, Singapore, 2023, p. 335. ISBN 978-981-19-8112-8.
- [39] ANDA, Martin, et al. *Strategic Short Note: Artificial Intelligence and Internet of Things: Application in Urban Water Management*. In: Ahamed, T. (eds) IoT and AI in Agriculture. Springer, Singapore, 2023. p. 71-74. ISBN 978-981-19-8113-5
- [40] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Umělá inteligence definice a využití*. Online. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20200827STO85804/umela-inteligence-definice-a-vyuziti>. [citováno 2024-03-03].