

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodních zdrojů FAPPZ



Využití bezpilotních letadel a pozemních autonomních
robotů v zemědělství ČR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Markéta Miháliková, Ph.D.

Bakalant: Ondřej Vladař

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Vladař

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Využití bezpilotních letadel a pozemních autonomních robotů v zemědělství ČR

Název anglicky

The use of unmanned aerial vehicles and unmanned ground vehicles in agriculture in the Czech Republic

Cíle práce

Využití bezpilotních prostředků se stává součástí mnoha lidských činností a také využití těchto užitečných pomocníků v zemědělství si získává čím dál větší pozornost. Cílem práce je formou literární rešerše a vlastního terénního šetření shromáždit dostupné podklady mapující využití technologií bezpilotních prostředků a pozemních autonomních robotů v českém zemědělství.

Dílčí cíle:

- Ucelený přehled bezpilotních prostředků, jejich typů a účelu využití
- Situace využívání bezpilotních prostředků v zahraničí
- Situace využívání bezpilotních prostředků v ČR, konkrétně v zemědělství, ale i dalších přidružených oborech (zahradnictví, lesnictví, vodní hospodářství)
- Sledované parametry multispektrálních a hyperspektrálních senzorů a jejich současné využívání v zemědělství (v ČR i v zahraničí).

Metodika

Práce bude zpracována především formou literární rešerše. Nejprve bude shromážděna dostupná literatura vztahující se k tématu, především zahraniční. Dostupné zdroje budou utříděny a poznatky kompilovány do jednotlivých kapitol podle dílčích cílů.

Součástí práce budou poznatky získané vlastním terénním šetřením o využití těchto technologií v praxi, např. rozhovory se zemědělci, návštěvy zemědělských výstav apod.

Nakonec proběhne vyhodnocení stavu současného poznání a formulace závěrů a doporučení.

Harmonogram práce:

Do 12/2023: Shromáždění nejvýznamnějších podkladů, studium teorie, osnova práce

Do 01/2024: Práce dokončena v hrubých rysech, po formální stránce odpovídá požadavkům

Do 02/2024: Práce odevzdána školitelce k závěrečné kontrole, oprava nedostatků

Do 03/2024: Práce dokončena a připravena k odevzdání

Doporučený rozsah práce

50-55 stran

Klíčová slova

dron, robot, ochrana rostlin, precizní zemědělství, modernizace zemědělství

Doporučené zdroje informací

- A Bechar, C Vigneault – Biosystems Engineering, 2016 – Elsevier Agricultural robots for field operations: Concepts and components
- J.E. Relf-Eckstein, Anna T. Ballantyne, Peter W.B. Phillips NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 2019. Farming Reimagined: A case study of autonomous farm equipment and creating an innovation opportunity space for broadacre smart farming
- Marco Esposito, Mariano Crimaldi, Valerio Cirillo, Fabrizio Sarghini & Albino Maggio Chemical and Biological Technologies in Agriculture volume 2021. Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review Esposito et al. Chem. Biol. Technol. Agric.
- Piyanan Pipatsitee , Rujira Tisarum , Kanyarat Taota , Thapanee Samphumphuang , Apisit Eiumnoh , Harminder Pal Singh , Suriyan Cha-Um 2022. The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Switzerland AG. Effectiveness of vegetation indices and UAV-multispectral imageries in assessing the response of hybrid maize (*Zea mays* L.) to water deficit stress under field environment
- Salvatore Manfreda, Full Professor of Water Management and Hydrology at the University of Naples Federico II and Ben Dor Eyal, Professor, Tel Aviv University (TAU), Tel Aviv, Israel 2023. Unmanned Aerial Systems for Monitoring Soil, Vegetation, and Riverine Environments
- ZHANG, Qin. *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 9781482251081.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Markéta Miháliková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodních zdrojů

Elektronicky schváleno dne 31. 1. 2024

Ing. Markéta Miháliková, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 02. 2024

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Využití bezpilotních letadel a pozemních autonomních robotů v zemědělství ČR** vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

.....

Ondřej Vladař

Poděkování: Rád bych poděkoval paní Ing. Markétě Mihálikové, Ph.D. za vedení bakalářské práce. Dále všem tázaným respondentům, kteří se podíleli na vyplnění mé dotazníkové studie.

Abstrakt

Předložená bakalářská práce poskytuje ucelený přehled o bezpilotních letadlech (UAV) a bezpilotních pozemních prostředcích (UGV) v zemědělství. Podrobně popisuje jednotlivé typy UAV a UGV, účely, za kterými jsou tato zařízení využívána, podmínky nutné k efektivní implementaci a jejich spatřované přínosy. V případě bezpilotních letadel práce referuje o konkrétních druzích dronů, které v oblasti zemědělství mohou představovat inovativní přístup při analýze půdy, výsadbě, zavlažování, hnojení či postřiku pesticidy a monitoringu plodin. V rámci pozemních autonomních robotů pak práce pojednává o robotických manipulátorech, robotických ramenech, robotickém sklízeči ovoce a v neposlední řadě také o víceúčelovém UGV Flex-Ro. V druhé části se práce okrajově zabývá také tzv. chytrým zemědělstvím a posouzením míry pokroku směrem k tomuto konceptu v zahraničí, konkrétně je zmíněno Spojené království, Čína a Nový Zéland. Práce také nastiňuje přehled aktuálního využívání moderních zařízení UAV a UGV v blízkých odvětvích, jako je zahradnictví, lesnictví a vodní hospodářství ve světovém měřítku. Jedna kapitola se zaměřuje na využití různých druhů senzorů, včetně spektrálních, které by mohly v budoucnu, spolu s UAV a UGV, významně přispět k přechodu na moderní a udržitelné zemědělství. Součástí práce bylo dotazníkové šetření, jehož cílovou skupinu tvořili čeští zemědělci. Podařilo se shromáždit slovní odpovědi od 13 zemědělců. Výstup z dotazníkové studie je zkompilován jako ucelený přehled založený na výpovědi vzorku českých zemědělců, který poskytuje jejich názor a představu o využívání těchto technologií v jejich vlastním hospodaření. Výsledky z tohoto šetření ukázaly, že značná část zemědělců nepřichází do žádného kontaktu s moderními technologiemi a nadále využívá klasické zemědělské techniky.

Klíčová slova: dron, robot, ochrana rostlin, precizní zemědělství, modernizace zemědělství

Abstract

The present bachelor thesis provides a comprehensive overview of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Unmanned Ground Vehicles (UGVs) in agriculture, describing in detail the different types of UAVs and UGVs, the purposes for which these devices are used, the conditions necessary for effective implementation and their perceived benefits. In the case of UAVs, the thesis reports on specific types of drones that can represent an innovative approach in the field of agriculture for soil analysis, planting, irrigation, fertilization or pesticide application and crop monitoring. In the context of ground autonomous robots, the study then discusses robotic manipulators, robotic arms, a robotic fruit picker and, last but not least, the Flex-Ro multi-purpose UGV. In the second part of the thesis, the so-called smart agriculture is also mentioned and the degree of progress towards this concept abroad is assessed, specifically mentioning the United Kingdom, China and New Zealand. The work also outlines an overview of the current use of modern UAVs and UGVs in close fields such as horticulture, forestry and water management on a global scale. One chapter focuses on the use of different kinds of sensors, including spectral sensors, which could in the future, together with UAVs and UGVs, significantly contribute to the transition to modern and sustainable agriculture. Part of the thesis was a questionnaire survey, with Czech farmers as the target group. Verbal responses were collected from 13 farmers. The output from the questionnaire study is compiled as a comprehensive overview based on the answers of a sample of Czech farmers providing their opinion and ideas about the use of these technologies in their own farming. The results of this survey showed that a significant part of farmers do not come into any contact with modern technologies and continue to use conventional farming techniques.

Keywords: drone, robot, plant protection, precision agriculture, modernization of agriculture

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. CÍLE PRÁCE	2
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	3
3.1 BEZPILOTNÍ PROSTŘEDKY V ZEMĚDĚLSTVÍ.....	4
3.1.2 <i>Bezpilotní letadla (drony)</i>	4
3.1.3 <i>Definice a charakteristiky bezpilotních letadel</i>	5
3.1.4 <i>Typy bezpilotních prostředků</i>	6
3.1.5 <i>Konkrétní možnosti využívání bezpilotních prostředků v zemědělství</i>	7
3.1.6 <i>Pozemní autonomní roboti</i>	10
3.1.7 <i>Účely využití technologií v zemědělství</i>	14
3.2 PŘÍKLADY ZEMÍ S POKROČILÝM VYUŽÍVÁNÍM BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ.....	18
3.3 PŘEHLED AKTUÁLNÍHO VYUŽÍVÁNÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ V RŮZNÝCH AGRÁRNÍCH ODVĚTVÍCH	20
3.3.1 <i>Zahradnictví</i>	20
3.3.2 <i>Lesnictví</i>	22
3.3.3 <i>Vodní hospodářství</i>	24
3.4 VYUŽITÍ RŮZNÝCH DRUHŮ SENZORŮ	26
3.4.1 <i>Využití senzorů v zemědělství</i>	26
3.4.2 <i>Příklady monitorování v praxi</i>	33
3.4.3 <i>Monitorování růstu plodin</i>	33
4. SITUACE VYUŽÍVÁNÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ A POZEMNÍCH ROBOTŮ V ČR – DOTAZNÍKOVÁ STUDIE.....	35
5. DISKUSE	38
6. ZÁVĚR.....	40
7. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ:.....	41
8. <i>PŘÍLOHY</i>	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CO₂ – oxid uhličitý

EHR – Environmentální hybridní robot

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

LiDAR – Light Detection and Ranging

MEMS – micro-electromechanical system

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NIR – near infrared = blízké infračervené záření

RGB – red green blue = viditelná část spektra

s – sekunda

SLAM – Simultaneous Localization and Mapping

UAVs – Unmanned Aerial Vehicles

UGVs – Unmanned Ground Vehicles

WPT – Wireless power transfer

WSN – Wireless sensor network

WUSN – Wireless Underground Sensor Networks

1. Úvod

Předložená bakalářská práce se zaměřuje na konkrétní využívání bezpilotních letadel (UAV) či autonomních pozemních robotů (UGV) v zemědělství a přidružených odvětvích. Tato práce se také orientuje na prozkoumání a hodnocení aktuálního stavu a perspektivisty využití bezpilotních letadel a autonomních robotů v zemědělství a jejich postupný vývoj. V rámci této literární rešerše se budou posuzovat různé aspekty samotného technologického vývoje, včetně dostupných typů bezpilotních letadel a autonomních robotů. Dále práce bude zkoumat praktické využití, přínosy pro zemědělce, ekonomické aspekty a integraci do zemědělského průmyslu.

Bezpilotní letadla značným způsobem snižují náročnost práce. Výsledkem je vysoká přesnost měření a zvýšená produktivita práce. UAV jsou levnější variantou oproti ostatním zemědělským strojům a také se snadno ovládají. Jejich implementace do zemědělství přispěla k řešení různých problémů (Mogili a Deepak, 2018).

Práce také poukazuje na konkrétní problémy v zemědělství a jejich možné řešení. Země se potýká s rychlým nárůstem populace a v agrárním odvětví je třeba zavést moderní technologie pro větší udržitelnost a efektivitu samotných výnosů a udržitelných postupů. V tomto ohledu mohou UAV a UGV zcela jednoznačně skvěle pomoci. Je proto nevyhnutelné a důležité, začít jednat a zahájit postupnou implementaci těchto technologií do zemědělského provozu.

2. Cíle práce

Cílem předložené bakalářské práce je formou literární rešerše a vlastní dotazníkové studie shromáždit dostupné podklady mapující využití technologií bezpilotních prostředků a pozemních autonomních robotů v českém zemědělství.

Dílčí cíle práce:

- 1) Ucelený přehled bezpilotních prostředků, jejich typů a účelu využití.
- 2) Situace využívání bezpilotních prostředků v zahraničí.
- 3) Situace využívání bezpilotních prostředků v ČR konkrétně v zemědělství, a dalších přidružených oborech (zahradnictví, lesnictví, vodní hospodářství).
- 4) Sledované parametry multispektrálních a hyperspektrálních senzorů a jejich současné využívání v zemědělství.

3. Literární rešerše

Narůstající světová populace a rostoucí potřeba zvýšit produkci potravin vyžaduje hledání nových inovativních postupů. Tím pádem je třeba zlepšit efektivitu a výkonnost v oblasti zemědělství.

Dle projektu "Zemědělství v roce 2050 " by mohla světová populace dosáhnout v roce 2050 přibližně 10 miliard lidí. Důsledkem toho bude nutné zvýšit produkci potravin o 70 % (Hunter et al., 2017). Toto bude mít za následek, že automatizace, robotika a umělá inteligence budou muset být nutně implementovány do zemědělské sféry. S rozšířením chytrého zemědělství jsou na vzestupu i bezpilotní prostředky a pozemní roboti (Ju a Son, 2018).

Mezi kladné vlastnosti bezpilotních technologií patří široká škála využití, vysoká manévrovatelnost a jednoduché ovládání. Oproti tomu jsou technologie stále omezeny v oblasti výdrže baterií. Mezi zásadní negativa u dronů se řadí výdrž baterie a její hmotnost, autonomie letu a doba letu pro plnění trvalých misí (Mohsan et al., 2022).

Bezpilotní letadla jsou dnes v Asii běžně zařazena do zemědělství. Čínská vláda velmi finančně podporuje komerční využívání dronů v zemědělství. Proběhlo zde školení pro ovládání dronů společností DJI Innovation Technology, kterého se zúčastnilo již více než 10 000 osob. Přesto jinde ve světě se využívání dronů setkává s různými omezeními, nejen v zemědělství, ale také v zahradnictví a lesnictví. Zejména tedy v aplikaci různých postřiků proti škůdcům, hmyzu a pesticidů na plevel. (Pathak et al., 2020).

3.1 Bezpilotní prostředky v zemědělství

3.1.2 Bepilotní letadla (drony)

První zaznamenané letecké aplikace v oblasti zemědělství provedl John Clervaux Chaytor a to již v roce 1906. Ten díky horkovzdušnému balónu roznesl osivo po bažinatém údolí ve Wairau na Novém Zélandu na rodinné farmě. Roku 1921 bylo použito americkým ministerstvem zemědělství a výzkumnou stanicí US Army Signal Crops v Ohiu letadlo pro práškování obilí (Johnson, 2002). Roku 1930 byly zpracovány studie a od 50. let 20. století se začaly využívat infračervené letecké fotografie pro zjišťování vitality pšenice a dalších druhů různých obilovin pro identifikaci chorob. Pozitivní přínosy využívání leteckých prostředků napomohly pokroku pro další aplikace v oblasti zemědělství zejména v aplikaci hnojiv ze vzduchu roku 1940 (Colwell et al., 1956).

Společnost Yamaha se stala pravděpodobně první společností, která v roce 1997 vyvinula první bezpilotní letadlo (UAV) s rotačním křídlem. Toto bezpilotní letadlo bylo poprvé využito v zemědělství. Jeho užití bylo velkou výhodou zejména při polních postřicích, a to díky jeho velké manévrovatelnosti a regulaci rychlosti. Přispěla tomu aplikace nových řídicích technik profesora M. Sugena pro řízení nestabilních systémů, jako jsou právě UAV (Sugeno et al., 1995).

V 90. letech 20. století spousta zemí výrazně omezila či dokonce zakázala leteckou aplikaci pesticidů a hnojiv, což mělo devastující následky pro mnoho komerčních firem. Evropská Unie v roce 2009 uskutečnila stejné kroky a vydala také zákaz: Toto vedlo k zařazení cenově dostupnějších dronů na trh pro agrární odvětví (Cerro et al., 2021).

Bepilotní letadla (drony), označované také jako UAV (Unmanned Aerial Vehicles), představují inovativní technologii s vysokým potenciálem v zemědělství. Tyto autonomní letouny nesou užité zátěže (kamery, senzory a GPS), umožňující různorodé akce, jako je monitorování plodin, detekce chorob, přenos materiálu a postřik. Budoucnost dronů v zemědělství závisí na technologickém vývoji a překonání stávajících omezení (Hassler et al., 2019).

Bepilotní letadla přináší řadu výhod. Mezi hlavní výhodou v oblasti bezpečnosti práce patří využití dronů při postřikování, jelikož zemědělci nejsou vystaveni přímému kontaktu s pesticidy. Samotný dron dokáže denně postřikovat

pesticidy 20-40 ha. Jeho kapacita je 30krát vyšší než u klasických ručních postřikovačů. Pokud srovnáme tradiční možnost postřiku s dronem, u dronu jsou náklady na postřik o 97% nižší. Důvod je, že dron využívá technologii s malým objemem vody a dokáže ušetřit až 90% vody. Náklady jsou také nízké na samotnou údržbu, jelikož dron disponuje vysokou životností a výměna dílů je poměrně jednoduchá (Pathak et al., 2020).

3.1.3 Definice a charakteristiky bezpilotních letadel

Menší bezpilotní letadla mohou dosahovat rychlosti nižší než 15 m/s, zatímco velké UAVs jsou schopny letět rychlostí až 100 m/s. Doba letu UAV, což je maximální doba, po kterou může UAV létat, dokud se nevybíje jeho baterie, je ovlivněna velikostí, hmotností a povětrnostními podmínkami. Velké bezpilotní letouny mohou létat několik hodin, zatímco menší bezpilotní letouny jsou omezeny na dobu letu přibližně 20-40 minut. Systémy autopilota a GPS také ovlivňují dobu letu UAV. Vzhledem k významu doby letu v souvislosti s náklady a cenou je důležité, aby se výzkum zaměřil na inovativní řešení k překonání omezené vytrvalosti UAV, což je klíčový faktor pro plné nasazení a úspěšné splnění mise. Několik výzkumných studií se zaměřuje na problematiku nabíjení baterií UAV, avšak tato oblast vyžaduje nadále intenzivní výzkum ze strany odborné veřejnosti (Mohsan et al., 2022).

Byly navrženy tři metody pro prodloužení doby letu: první možnost spočívá ve vybavení UAV bateriemi s vysokou kapacitou, což ovšem může způsobit zvýšení hmotnosti letounu. Druhou variantou je výměna baterií po přistání dronu, avšak nese s sebou složitost a zvýšené náklady spojené se systémem výměny. Posledním přístupem je dobíjení na základnové stanici dronu, kde nabíjení může probíhat buď prostřednictvím kabelového přenosu nebo bezdrátového přenosu energie (WPT) (Jawad et.al., 2019).

Fungování bezdrátového přenosu energie (WPT) pomocí vysokofrekvenčního střídavého proudu a časově proměnného magnetického pole lze formulovat následovně: Vysílací cívka, poháněná vysokofrekvenčním střídavým proudem, generuje časově proměnné magnetické pole (Kalwar et al., 2015).

3.1.4 Typy bezpilotních prostředků

Bezpilotních letadel je dnes opravdu mnoho, každopádně mezi nejběžnější typy se řadí především rotokoptéry (obrázek 1) a letouny s pevnými křídly (obrázek 2). Každý prostředek má své kladné a záporné stránky. Mezi silné stránky rotokoptéry se řadí zejména snadná ovladatelnost, stabilita letu, vertikální vzlet a přistání. Čas, který rotokoptéra dokáže strávit ve vzduchu je menší než 30 minut a dosah, kterým disponuje je v rozmezí 1-8 ha. Aspekt zde hraje i nadmořská výška, která může tyto hodnoty lehce měnit. Oproti tomu bezpilotní letadla s pevnými křídly mají dobu letu delší než 60 min na jedno nabití a mají dosah 10-40 ha. I zde závisí také na nadmořské výšce. Nevýhodou je, že jak pro vzlet, tak i pro přistání potřebují oproti rotokoptérám větší plochu (Floreano et al., 2015).



Obrázek 1: Rotokoptéra Dà-Jiāng Innovations (DJI) Matrice 200, Yuneec Typhoon (DJI).



Obrázek 2: Bepilotní letadlo s pevnými křídly Sentera PHX (Sentera).

3.1.5 Konkrétní možnosti využívání bezpilotních prostředků v zemědělství

Možnosti využívání dronů pro různé aplikace v rostlinné výrobě jsou shrnuty ve studii Pathaka et al. (2020) a zahrnují mimo jiné:

a) Analýza půdy a plánování managementu polí

Drony poskytují efektivní prostředek pro analýzu půdy a pozemků, což je klíčové pro plánování zavlažování, výsadby, a sledování hladiny dusíku v půdě. Získávání přesných trojrozměrných map díky dronům umožňuje detailní půdní analýzu zahrnující různé vlastnosti půdy, vlhkost a erozi. Tento přístup je nejen užitečný pro zemědělce, ale také umožňuje lepší porozumění a optimalizaci zemědělských procesů.

b) Setí plodin

Inovativní přístup představený některými firmami zahrnuje drony vybavené nástavci schopnými vystřelovat potahované osivo do již připravené půdy. Tato technologie přispívá k efektivnímu snižování nákladů na setí a zároveň podporuje přesnější a cílenější proces setí.

c) Monitorování porostů plodin

Drony přinášejí inovativní řešení pro monitorování plodin, které je výzvou nejen pro zemědělce, ale i pro další aktéry v zemědělském sektoru. Drony umožňují stanovit monitorovací trasy a sbírat multispektrální geoprostorová a časová data v předem definovaných měřících. Tato data jsou klíčová pro sledování vývoje plodin a získávání informací o jejich zdraví, což umožňuje rychlé rozhodování a minimalizaci rizik spojených s nepředvídatelnými výkyvy počasí.

d) Postřik plodin

Drony se stávají klíčovým prvkem pro postřik plodin na rozsáhlých plochách v zemědělství. S kapacitou nesení velkých nádrží na hnojiva, herbicidy a pesticidy umožňují efektivní postřik v krátkém čase. Autonomní a předem naprogramované operace dronů zajišťují bezpečný a nákladově efektivní postřik plodin. Drony jsou schopny upravovat svou výšku a rychlost pomocí ultrazvukové ozvěny, laserů TOF a signálů GNSS, což vede k rovnoměrnému a optimálnímu výsledku postřiku při různých topografických podmínkách. Využívání dronů v postřikování zemědělských

plodin přináší výhody v podobě snížení kontaktu lidí s chemickými látkami a možností bodového ošetření s pomocí technologie detekce stresu, která chrání zdravé části porostů.

e) Monitoring vlhkosti půdy a plánování závlah

Drony vybavené termálními, multispektrálními nebo hyperspektrálními senzory představují účinný nástroj pro plošnou identifikaci oblastí s nedostatkem vláhy na pozemcích. Využívání multispektrálních indexů umožňuje plánování precizního a včasného zavlažování těchto identifikovaných oblastí. Tato technologie umožňuje zemědělcům efektivně využívat vodní zdroje a minimalizovat plýtvání vodou.

f) Hodnocení zdravotního stavu plodin

Drony vybavené senzory schopnými snímat v pásmu viditelného (RGB) a blízkého infračerveného (NIR) spektra umožňují monitorování zdravotního stavu plodin. Tato technologie detekuje změny v intenzitě světla, což koreluje se zdravotním stavem a úrovní stresu rostlin. Senzory nesené dronem poskytují nejen pohled na aktuální stav plodin, ale také umožňují sledování reakce na přijatá opatření v průběhu sezóny.

g) Celkový monitoring porostů

V situacích s rozsáhlými poli je téměř nemožné získat přesný přehled o celkovém stavu plodin. Drony s infračervenými kamerami umožňují zemědělcům efektivně mapovat celou oblast a monitorovat stav rostlin. Analyzují absorpci světla infračerveným zářením, což poskytuje přesné informace o stavu plodin v reálném čase. Drony umožňují identifikovat oblasti pole, které vyžadují zvláštní pozornost, a umožňují zemědělcům přijímat okamžitá opatření ke zlepšení stavu rostlin v různých částech pole. Tato funkce dohledu nad plodinami je klíčová pro vylepšení nástrojů zemědělského pojištění a ověřování pojistných nároků zemědělců.

h) Oodhad biomasy stromů/plodin

Drony vybavené ultrakompaktními senzory LiDAR mohou měřit hustotu korun stromů nebo plodin a vzdálenost od země. Tato technologie umožňuje odhadnout změny v biomase na základě výškových rozdílů. V praxi to poskytuje

klíčové informace pro odhad produkce dřeva v lese nebo v produkci plodin, jako je cukrová třtina.

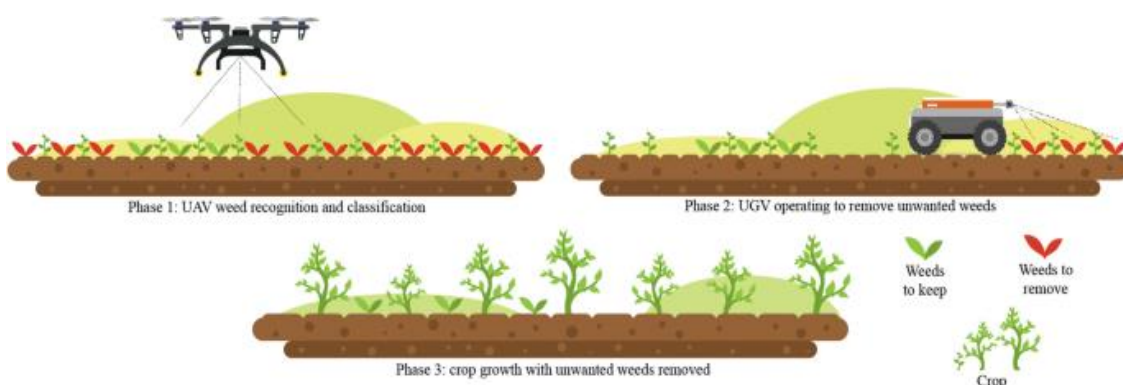
i) **Plašení ptáků**

Ptáci mohou představovat komplikace po zasetí semen na polích. Drony jsou schopny odrazit ptáky od pole během několika letů, což představuje efektivní metodu ochrany plodin. Tato funkce přispívá k ochraně výsledků práce zemědělců a minimalizaci ztrát způsobených ptáky.

j) **Kontrola plevelu a dalších škodlivých organismů**

Drony nejsou omezeny pouze na půdní analýzy, mohou také identifikovat oblasti postižené plevele, chorobami a hmyzími škůdci. Informace poskytované drony umožňují zemědělcům optimalizovat použití chemických látek na boj proti těmto problémům. Tím nejenže snižují výdaje, ale také přispívají k celkovému zlepšení zdraví polí. (Pathak et al., 2020).

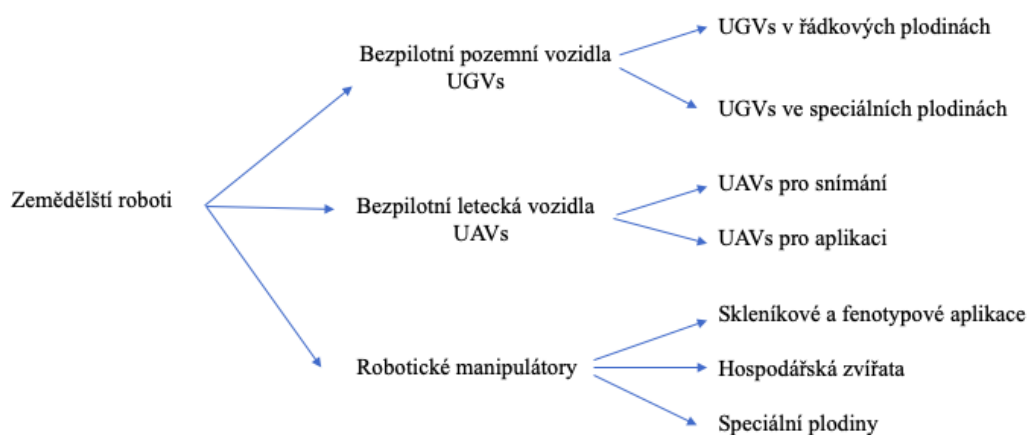
Plevel se řadí k nejzávažnějším škodlivým faktorům v zemědělství, plevel totiž představuje značné ztráty výnosů po celém světě. Kontrolovaná likvidace plevelu ve spolupráci s drony (viz obrázek 3) umožňuje regulaci plevelu na konkrétních místech, jedná se o velice účinnou metodu, která je zároveň šetrná vůči životnímu prostředí. Identifikace plevelu proběhne na základě snímků pořízených drony a technik strojového učení. Algoritmy mohou být naučeny pro řízení autonomních robotů, kteří následně provedou odstranění plevelu pomocí herbicidních postřiků nebo mechanickým odstraněním (Esposito et al., 2021).



Obrázek 3: Detekování plevelu pomocí dronu a autonomní postřik (Esposito et al., 2021).

3.1.6 Pozemní autonomní roboti

Měnicí se klima a rostoucí potřeba na zvýšení produkce v zemědělství vyžaduje nový přístup k polním pracím. Bezpilotní pozemní prostředky – Unmanned Ground Vehicles (UGV) představují možnost provádět opakující se operace s vysokou přesností až 22 hodin denně (s minimálním časem věnovaným servisu a údržbě), což může výrazně zvýšit denní pracovní výkon ve srovnání se stroji ovládanými lidmi. Integrace UGV do rostlinné a živočišné produkce nabízí obrovský potenciál pro zvýšení celkové produkce, ale současně přináší složité technické a socioekonomické výzvy (Pitla et al., 2020).



Obrázek 4: Klasifikace a důležité oblasti použití zemědělských robotů (Pitla et al., 2020).

Mezi bezpilotní pozemní prostředky řadíme:

a) Robotické manipulátory

Robotické manipulátory představují mechanismy určené k manipulaci s objekty v daném pracovním prostoru a jsou často využívány v průmyslové automatizaci k provádění automatizovaných pohybů. V současné době se stávají nezbytnými pro automatizaci přesných a opakujících se pohybů v oblasti živočišné i rostlinné výroby. Příkladem jsou robotické dojící stanice využívané v mlékárenské výrobě, které využívají senzory přiblížení, robotická ramena a přísavky k automatizaci procesu dojení (Broucek a Tongel, 2015).

b) Robotická ramena

Robotická ramena jsou konstrukce, které simulují pohyby lidské ruky při manipulaci s předměty. V rostlinné výrobě jsou tato zařízení nasazena především v ovocných sadech a sklenících. V sadech robotická ramena provádějí sběr ovoce, buďto na pozemním robotu, nebo na jiných zemědělských vozidlech. Navigují k ovocnému stromu a pomocí robotického ramene probíhá sběr ovoce. Tato technologie byla využita i pro sběr zeleniny, jako jsou rajčata, papriky, houby a okurky (Van Henten et al., 2002). V literatuře se nachází příklady vývoje robotických ramen pro sklizeň jablek a třešní (Davidson et al., 2015). Nedávno byla tato technologie využita i pro uchopení listů rostlin kukuřice a čiroku pro fenotypové aplikace, viz obrázek 5 (Atefi et al., 2019). Zatímco robotické dojící stanice jsou již komerčně dostupné, robotické manipulátory určené pro specifické plodiny a skleníky jsou stále ve fázi výzkumu a vývoje, čelí výzvám, zejména v oblasti aplikací v ovocných sadech (Pitla et al., 2020).



Obrázek 5: Robotické rameno provádějící fenotypizaci rostliny kukuřice ve skleníku. (Foto: Abbas Atefi, University of Nebraska-Lincoln).

Ve vývoji jsou stále i robotické manipulátory pro fenotypování kukuřice a čiroku, které jsou schopny uchytit jednotlivý list a změřit obsah chlorofylu listech plodiny (Atefi et al., 2019).

c) Flex-Ro

Jedná se o víceúčelové UGV s výkonem 60 koní, který se využívá pro fenotypování sójových polí (obrázek 6). Robot je vybaven kamerami, přenosnými spektrometry a ultrazvukovými výškovými senzory které jsou určeny pro charakterizaci fyzikálních znaků různých odrůd sóji (Murman, 2019).



Obrázek 6: Flex-Ro, 60 HP UGV, sbírá informace o pozemku se sójou. (Foto: Santosh Pitla, University of Nebraska-Lincoln).

V budoucnu by takováto robotická ramena mohla být přidružena k bezpilotním pozemním vozidlům (UGV), což by výrazně zlepšilo celkové schopnosti robotických prostředků. Konkrétně by robotické rameno namontované na UGV mohlo efektivně sbírat vzorky listů a půdy pro následnou analýzu v polních i laboratorních podmínkách. Bohužel, zařazení UGV do současných podmínek produkce čelí častým ekonomickým problémům, ekonomika autonomního provozu zde hraje klíčovou roli. V literatuře se začínají objevovat srovnání nákladů mezi konvenční zemědělskou technikou a UGV (Shockley et al., 2019).

Je nezbytné provést podrobné ekonomické analýzy a analýzy životního cyklu systémů Unmanned Ground Vehicles (UGV). Řídicí architektury pro autonomní provoz a provoz UGV na úrovni flotil jsou stále ve vývoji (Posselius et al., 2016). Tyto řídicí architektury jsou klíčové pro inteligentní provoz strojů v polním prostředí, bez ohledu na to, zda pracují samostatně nebo v rámci nakonfigurované flotily. Efektivní řídicí architektury a algoritmy umělé inteligence umožní UGV manévrovat mezi překážkami, plodinami a spolupracujícími subjekty (např. lidmi nebo jinými roboty), což jim umožní plnit úkoly na poli (Jasiński et al., 2016).

UGV s umělou inteligencí poskytují stroji možnost samostatně diagnostikovat problémy, například když zbytky plodin způsobí ucpání části stroje na zpracování půdy nebo když dojde k závadě na jakékoli části stroje. Klíčové součásti v těchto řídicích architekturách, jako jsou senzory LiDAR a multispektrální kamery, historicky vyžadovaly poměrně vysoké náklady. S rozšířením senzorů v oblasti samořídících automobilových vozidel se očekává, že náklady na senzory budou v příštích letech klesat. Rychlý rozvoj technologií umělé inteligence vyžaduje větší dostupnost tréninkových datových souborů ze zemědělského prostředí. Připojení k internetu bude stále důležitější pro logistiku servisu těchto zařízení na poli, zahrnující doplňování osiva, živin, prostředků na ochranu plodin a palivových zásob, a také pro koordinaci činnosti flotil nebo rojů UGV (Pitla et al., 2020).

d) Robotický sklízeč ovoce

Robotický sklízeč ovoce byl navržen pro automatický sběr ovoce za různých podmínek okolního prostředí. Oblast výzkumu strojového vidění v případě sklízecích robotů je stále v začátcích. S rozvojem umělé inteligence je možné získat a zpracovat 3D prostorové informace o cíli. Hlavní výzvou v oblasti aplikací sklízecích robotů zůstává technologie stereovidění pomocí stereo kamer, která se používá pro konkrétní lokalizaci polohy plodu (Zou et al., 2012).

Pro robotický sklízeč ovoce byla stanovena samotná sběrací struktura. Jelikož samotná úspěšnost sběracích robotů se stále pohybuje na hranici 66 %, což je pro představu hodnota v rozmezí 40 až 60 % s dobou sběru jednoho plodu 33 s (Ared et al., 2020).

Tyto údaje tedy poskytují jasný přehled o tom že, samotný výkon této technologie je stále nízký. Proto je v tomto případě rychlost zásadním limitujícím

faktorem. Z tohoto důvodu se proto většina výzkumů zaměřuje především na zlepšení stability, přesnějšího trojrozměrného vizuálního vnímání a spolehlivosti samotné funkce robota, aby následně robot dokázal pracovat v různých složitých podmínkách v oblasti zemědělství (Tang et al., 2020).

3.1.7 Účely využití technologií v zemědělství

Pozemní technologie byla do zemědělství zavedena před více než sto lety, první traktor byl představen v roce 1913. V současné době prošla mechanická technika značným vývojem a je k dispozici značné množství komerční techniky (Schmitz a Moss, 2015). Tento vývoj zvýšil produktivitu zemědělství a snížil potřebné množství lidské práce v zemědělství. To však nemusí stačit k uspokojení světové poptávky v budoucích letech. Od 90. let 20. století bylo provedeno několik studií zaměřených na zlepšení efektivity produkce, z nichž vzešel koncept "precizního zemědělství", což je pojem řízení zemědělských podniků založený na pozorování, měření a reagování na proměnlivost plodin s cílem optimalizovat výnosy při zachování zdrojů (McBratney et al., 2005).

Podle Strategického evropského výzkumného programu pro robotiku se očekává, že robotické platformy významně zvýší efektivitu práce v zemědělství. Přestože výzkum v této oblasti vzrostl, existuje velice málo komerčních řešení (Dos Santos et al., 2016). Více studií se zaměřuje na automatizační řešení pro různé zemědělské úkoly, včetně sázení, sklizně, monitorování, postřiku a prořezávání. Pro úspěšnou autonomní navigaci robotů jsou nezbytné čtyři klíčové prvky: lokalizace, mapování, řízení pohybu a plánování cesty. Plánování cesty robota zahrnuje hledání optimální posloupnosti translací a rotací od výchozího bodu k cílovému bodu s automatickým vyhýbáním se překážkám v pracovním prostředí (Mac et al., 2016).

Zemědělské prostředí představuje výzvy pro robotickou navigaci, jelikož se odlišuje od vnitřních prostorů. Zemědělská pole jsou složitá, nestrukturovaná a dynamická. Strategie plánování cesty, které jsou účinné ve vnitřním prostředí, nemusí být přizpůsobeny zemědělským potřebám. To vytváří potřebu pro pokročilé strategie plánování cesty, které jsou vhodné pro specifika zemědělství (Santos et al., 2020).

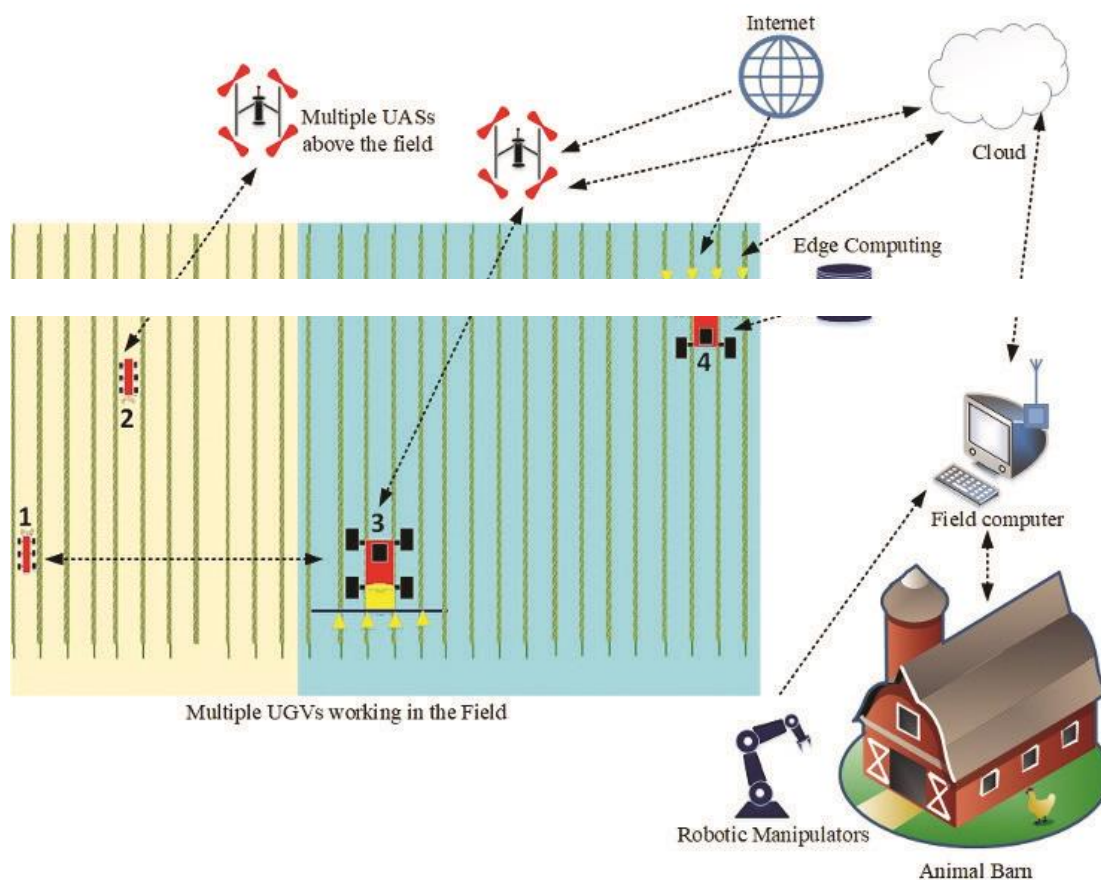
Plánování trasy pokrytí je úloha, která spočívá v určení cesty, procházející všemi body v dané oblasti nebo objemu, zároveň však vyhýbající se překážkám. Byly stanoveny následující požadavky pro operaci pokrytí: (Cao et al., 1988).

- 1) Robot musí pokrýt celou oblast.
- 2) Robot musí vyplnit oblast bez překrývání.
- 3) Operace musí být souvislé a sekvenční bez opakování cest.
- 4) Robot se musí vyhnout všem překážkám.
- 5) Používají se jednoduché trajektorie pohybu.
- 6) Za dostupných podmínek je žádoucí "optimální" dráha.

V propojeném zemědělském prostředí mohou pozemní a vzdušní roboti spolupracovat na identifikaci a řešení problémů na poli společně. Například robotické manipulátory mohou autonomně dojet krávy ve stáji. Bezpilotní roboti (UAS) se mohou zaměřovat na průzkum pole a identifikaci problémů, zatímco by mohli navigovat pozemní autonomní roboty (UGV) na konkrétní místo pro aplikaci hnojiv či pesticidů. Využitím bezproblémové výměny informací mezi pozemními a vzdušnými roboty, podporované přes cloud, tak lze zajistit efektivní integraci. V propojeném zemědělském systému jsou data ze senzorů, procesů z pole a ze stáje odesílána do cloudu pro další analýzu a vyhodnocování výsledků (obrázek 7). Zpracované informace jsou následně předávány robotickým aplikátorům k realizaci na poli, zatímco robotické manipulátory ve stáji mohou vykonávat úkoly, jako je dojení krav, dodávání krmiva a monitorování prostředí a zdravotních parametrů hospodářských zvířat (Pitla et al., 2020).

Precizní zemědělství bylo dle Francise J. Pierce dříve považováno v agronomické proveditelnosti pouze za intuitivní. Skládá se z implementace technologií a zásad pro řízení prostorové a časové variability s úmyslem zlepšení výnosu plodin a kvality životního prostředí. Precizní zemědělství je umožněno právě následkem zařazení specifických technologií (Pierce et al., 1999). Samotné principy precizního zemědělství a jeho zařazení do agrárního odvětví ukazují na jeden z hlavních průlomových aspektů samotného vývoje v oblasti zemědělství. Vůči chování k životnímu prostředí, rozumnému nakládání s přírodními zdroji, biodiverzitě a kvalitní a šetrné rostlinné produkci je třeba jednat zodpovědně. Vyvinuté technologie, senzory, robotizace a automatické zpracování dat poskytuje konkrétní využití heterogenity, pro optimalizaci agrárních činností a zásahů při snižování negativních aspektů na krajinu. Hlavním bodem pro precizní zemědělství je spojení nejnovějších zjištění o biologických zásadách o pěstování rostlin s moderními technologiemi. Precizní zemědělství je zárukou produkce kvalitních surovin pro

výrobu potravin a ostatních produktů rostlinné produkce pro nepotravinářské využívání (Brant et al., 2020).

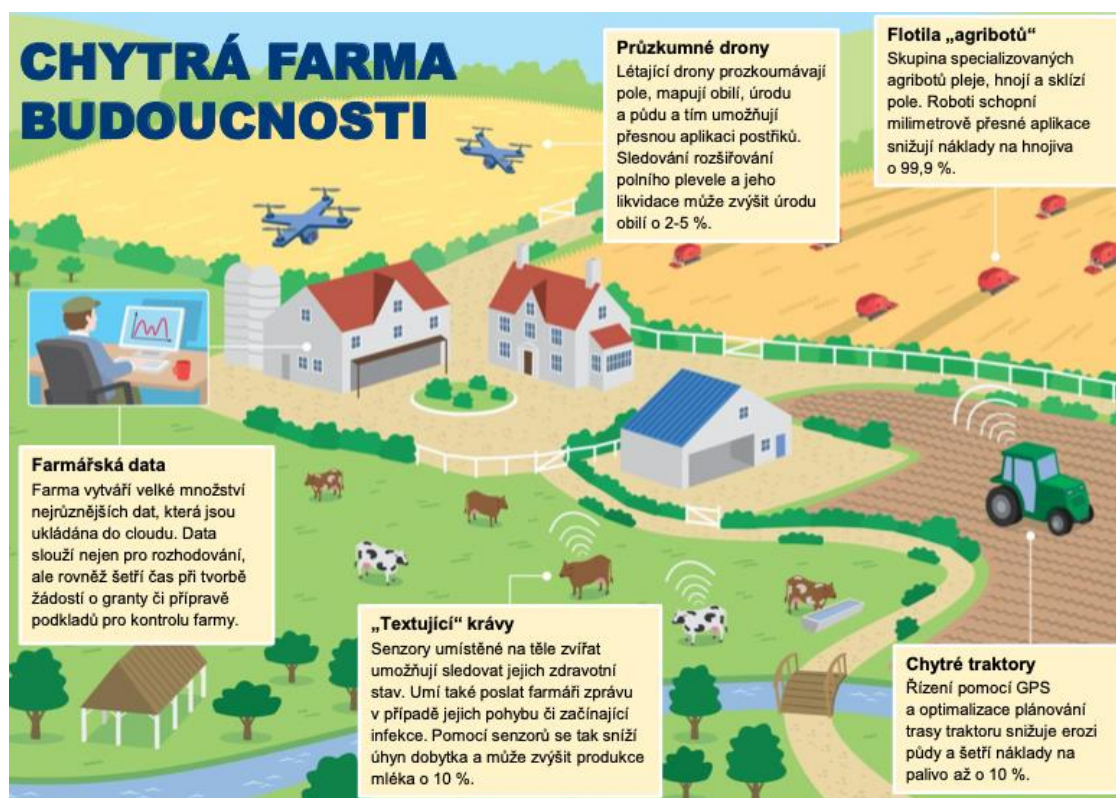


Obrázek 7: UGV, UAS a robotické manipulátory v propojené farmě (Pitla et al., 2020).

Situace možného využití a nákladů chytrého zemědělství ve Spojeném království

Inovační technologie by mohly zcela přeměnit zemědělské podniky ve Spojeném království. Precizní zemědělství by zde mohlo mít za následek až 20 % nárůst příjmů, a to díky možnému využití chytrého zemědělství (zobrazenému na obrázku 8). Není snadné napřímo zpracovat zemědělská data především z důvodu, že většina technologií byla zatím zkoušena pouze na farmách většího rozsahu. Proto nemůžou být přímo spočítány kapitálové náklady na investice do inovačních technologií. Hrubý výpočet přesto ukazuje potenciální možný roční nárůst zisku pro farmu 17,9 %, pokud se vezme v potaz farma s kombinovaným využíváním (pěstování pšenice s pastvou pro hospodářská zvířata) o průměrné velikosti 81 hektarů. Je třeba vzít v potaz, že roční příjmy zemědělců se každý rok velmi odlišují a skutečnou hodnotu těchto úspor mohou ovlivňovat i další faktory jako například spotřeba hnojiv

a pesticidů. Zemědělství je přeci jen založeno na malých ziskových maržích. Průměrný roční příjem farmy v Anglii v roce 2013 činil více než 270 000 liber a přibližně 240 000 liber se vrátilo zpět do nákladů farmy. Pokud by inovační technologie dokázaly snížit spotřebu hnojiv a pesticidů jen o 5 %, čistý zisk by se mohl zvýšit (Norris et al., 2015). Celkový možný zvýšený zisk u různých činností je zobrazený v tabulce 1.



Obrázek 8: Využívání chytrého zemědělství (Nesta.org.uk).

Tabulka 1: Potenciální zvýšení zisku při využívání inovačních technologií (Norris et al., 2015).

Činnost	Navýšení příjmu v GBP a v %
Zvýšení doживosti	1 725
Automatizované hlášení	1 100
Chytré traktory	759
Snížení nákladů na palivo	854
UGV	17 323
Průzkum dronů	854
Zvýšení zisku (bez úspory hnojiv)	5 292
Zvýšení zisku (s úsporou hnojiv)	22 615
Průměrný příjem v Anglii 2011	74 078
Průměrný příjem v Anglii 2013	29 632
Odhad: Nejnižší zvýšení zisku v %	7,1
Odhad: Střední zvýšení zisku v %	17,9
Odhad: Vyšší zvýšení zisku v %	76,3

3.2 Příklady zemí s pokročilým využíváním bezpilotních prostředků v zemědělství

Čína

Čína si prochází dlouhodobým posunem v oblasti modernizace zemědělství. Zemědělská bezpilotní letadla v Číně zaznamenala obzvláště rychlý rozvoj. V roce 2016 byl proveden oddělením zemědělské mechanizace speciální průzkum vlastnictví a provozních podmínek zemědělských bezpilotních letadel v 31 provinciích. Bylo ukázáno, že k datu 30. června 2016 byl počet bezpilotních letadel určených na ochranu rostlin v zemi 4263. V roce 2015 bylo pokryto bezpilotními letadly 476 055,67 ha zemědělské půdy (National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides Spraying Technology, 2017).

předpoklad, že v budoucnu bezpilotní letadla zvýší efektivitu operací v zemědělském prostředí a budou se podílet na modernizaci Čínské zemědělské inteligentní technologie. Samotný plán nese název "Made in China 2025" a "Plán

rozvoje nové generace umělé inteligence". Půjde o urychlení rozvoje průmyslu umělé inteligence a reálné ekonomiky. Plán byl vydaný pod vedením Ministerstva průmyslu a informačních technologií v prosinci roku 2017 (Wang et al., 2019).

Nový Zéland

Ekonomika Nového Zélandu je do značné míry vybudovaná na exportu kiwi. Produkce zde stále roste, tím pádem je třeba další výsadba nových sadů pro pěstování kiwi. Studie University of Waikato odhaduje, že dynamický nárůst sadů si do roku 2029/2030 vyžádá dalších 29 000 pracovníků (Scrimgeour et al., 2017). Z tohoto důvodu byl navržen nový robotický sklízeč kiwi, který by měl pokrýt stoupající poptávku po pracovnících na sezónní sklizeň kiwi (Williams et al., 2019).

Aby mohl být nový robotický sběrač kiwi ekonomicky schopný nahradit pracovní síly, je požadováno, aby sklídl minimálně 80 % plodů v korunách stromu. Požadovaná průměrná rychlost je 4 kiwi/s což je odpovídající pracovní časová schopnost pracovníka pro sběr plodu (viz obrázek 9). Je ovšem předpokládáno, že samotný robot nebude schopný sklídit všechny plody v korunách stromu, z důvodu zakrývání samotnou korunou stromu (Scrimgeour et al., 2017).



Obrázek 9: Sklizňová plošina v typické konstrukci koruny s příčným nosníkem, dráty, trsy a kiwi (Scrimgeour et al., 2017).

V případě, že by nedocházelo při robotické sklizni k žádným ztrátám kiwi, procentuální sklizeň bude stále nižší než již zmiňovaných požadovaných 80,0 %. Dle okolností je stroj schopný sklidit z celkové úrody 65,0 % a zbývajících 35,5 % plodů je zakrytých, tím pádem se stávají pro stroj nedosažitelnými při současném přístupu ke sklizni. Jedna z možností, jak zvýšit schopnosti stroje, je povolit stupně volnosti sklízecích ramen, tím pádem by došlo k možnému zásahu ramene do koruny stromu a kolem něho. To ovšem vyžaduje složitější systém vidění, manipulátor pro pohyb a umístění chapadla kolem plodu v koruně. Zlepšení systému by mohlo přinést požadované sklizňové hodnoty, ale lze očekávat navýšení potřebného času a nákladů pro realizaci (Scrimgeour et al., 2017). Druhá možnost je zjednodušení pracovního prostředí se spoluprací s pěstiteli kiwi, a to úpravou samotného pěstebního prostředí s cílem omezit zakrytí a překážky, které jsou pro robotické sběrače překážkou, toto opatření ale může zvýšit pracnost ve správě sadu, což může být rozpor s jakoukoliv výhodou mechanické sklizně (Bac et al., 2014).

Dále se na Novém Zélandu využívá také robot Abundant, využívaný na sběr jablek. který je velice spolehlivý a především jednoduchý. Díky speciálnímu světelnému radaru se bezproblémově pohybuje mezi jabloněmi tak aby je nepoškodil, pomocí algoritmu je schopen vyhledat plod, identifikovat jeho zralost, popřípadě identifikuje i zkažené plody. Vakuová trubice následně plod nasaje z větve a samotná koruna stromu zůstane co nejvíce zachována. Celý proces se odehrává v čase 1 jablko/s (Kondratieva et al., 2020).

3.3 Přehled aktuálního využívání bezpilotních prostředků v různých agrárních odvětvích

3.3.1 Zahradnictví

V sektoru zahradnictví se setkáváme s tím, že bezmála 50 % nákladů připadá pouze na vyplácení mezd pro pracovní sílu. Zahradnické plodiny vyžadují kvalifikované pracovníky, narozdíl od ovocnářství. Z tohoto důvodu začíná být prioritou efektivně využívat roboty v oblasti zahradnictví.

Zásadními pomocníky jsou zde roboti pro kontrolu plevelu, sběru ovoce a zeleniny. V zahradnictví jsou nejvíce rozšíření roboti Demeter a solární roboti Vitirover, používají se především k pletí, průzkumu plodin, zavlažování, selektivnímu

sklizení, mikropostřikům. Uplatnění naleznou například i v parcích, na golfových hřištích či ve sklenících (Bhavana a Bhagwan, 2021).

V případě pěstování rostlin ve sklenících, které je hojně využíváno z důvodu možnosti pěstovat plodiny celoročně, je třeba dodržovat přísné technologické normy a bez automatizovaných technologií je to takřka nemožné. V nizozemských sklenících dosahují škody na produkci až 25 %, hlavní příčiny jsou choroby, škůdci, houbová onemocnění rostlin atd. V případě, že se provádějí pouze ruční kontroly, není možné včas zasáhnout. Z tohoto důvodu je na místě rozsáhlé využití bezpilotních letadel, která mohou řešit mj. následující problémy: měření teploty a vlhkosti vzduchu, atmosférického tlaku, přísunu denního světla, UV indexu a CO₂ na skutečné ploše skleníku. Dále také pořizování multispektrálních snímků, které poskytnou informace o hladině stresu rostlin a mohou také identifikovat houby, choroby a škůdce, a především určit podle barvy stupeň zralosti jednotlivé plodiny (Rohi et al., 2020).

Níže jsou uvedeny dva konkrétní příklady komerčně dodávaných robotů na sklizeň jahod. Roku 2015 byl společností Octinion (Belgie) představen robot na sklizení jahod, který vycházel z prototypu automatického manipulátoru založeného na mobilní platformě. Robot sbíral plody do nádoby, ovšem prudký přetáčivý pohyb ramene robota měl často za následek utržení stonku. Tímto způsobem byl za hodinu robot schopný nasbírat až 24 kg jahod. Další komerční prototyp pro automatický sběr jahod je SW6010 (Agrobot Huelva, Španělsko). Poprvé byl testován roku 2016 v průmyslových zahradách v Kalifornii, byl navržen konkrétně pro sklizeň choulostivých zahradních jahod. Jedná se o zcela samostatné zařízení, které je schopné se pohybovat v prostoru. Je složeno z počítače, 14 nebo 60 manipulátorů, které jsou vybaveny kovovými košíky. Pohybuje se po čtyřkolovém podvozku a je poháněn vznětovým motorem o výkonu 38 koňských sil. Systém funguje na základě umělé inteligence a je schopný rozlišovat jahody dle velikosti a zralosti. Pro posunutí rozvoje v oblasti zahradnictví a inteligentní produkci a technologického vybavení je nutné začít se státní podporou. Je také na místě poskytnout zahradnickému odvětví nejmodernější automatizované digitální zařízení pro řízení a kontrolu UAVs pro monitorování včetně senzorů. Modernizovaná technika v zemědělství může poskytnout obyvatelstvu lokální ovocné produkty, jelikož by nahradila dovoz (Kondratieva et al., 2022).

3.3.2 Lesnictví

Lesní prostředí je důležitou součástí denního života spousty lidí na celém světě. Dle OSN pro výživu a zemědělství mají lesy rozlohu přibližně 4,06 miliardy hektarů, což je pro představu zhruba 31 % rozlohy souše naší planety. Až 90 % lidí žijících v chudobě jsou nějakým způsobem závislí na lesích, pokud jde o potravu, přístřeší či nerostné suroviny (FAO, 2020).

V lesích se dle FAO nachází přibližně 391 000 druhů rostlin, více než 5 000 druhů obojživelníků, 7 500 druhů ptáků a více než 3 700 různých druhů savců. (FAO, 2018).

V případě lesnictví jsou technologie stále více integrovány do každodenních úkonů, které radikálně mění fungování lesního průmyslového odvětví. Všeobecně je těžba dřeva v lese považována za náročné a nebezpečné odvětví, jelikož pěší dělníci jsou vystavováni padajícím stromům a těžké technice. Z tohoto důvodu bylo velké množství úkonů v lese již mechanizováno, což nepřineslo jen větší bezpečnost, ale také větší produktivitu, která došla do bodu, že těžební cyklus se počítá na sekundy místo minut (Bayne a Parker, 2012).

Níže je uvedeno několik konkrétních příkladů z praxe:

a) Environmentální hybridní robot (EHR) Chico Mendes

Dálkově ovládané vozidlo vyvinuté pro monitorovací mise v brazilské ropné společnosti Petrobras S.A. Jeho úkolem je sledování plynovodu o délce přibližně 400 km mezi městy Coari a Manaus, který prochází pralesem. Chico Mendes je kolový obojživelný robot s aktivní rekonfigurací, umožňující mu pohyb po plynovodu, pevnině, vodě, bažinách a písku. Robot je vybaven robotickým ramenem obsahujícím senzory pro monitorování kvality vody a plynu. Dále disponuje RGB kamerou a platformou pro odběr vzorků, umístěnou na koncovém aktuátoru (aktuátor je pohon, který převádí rotační pohyb na přímočarý). Tato výbava nejenom slouží ke kontrole ohnisek horečky dengue, ale též umožňuje sledování potenciálních úniků plynu a znečištění vody (Freitas et al., 2010).

b) Chodící robot

K provádění monitorovacích operací v amazonském pralese byl využit chodící robot. Volba tohoto typu pohybového systému byla určena z důvodu terénu v

amazonském deštném pralese, který se vyznačuje nestrukturovaným a obtížně přístupným terénem. Robot, kromě schopnosti přizpůsobit se sklonu terénu, disponuje zařízením LiDAR (Light Detection And Ranging), které mapuje okolní prostředí, umožňující tak autonomní navigaci prostřednictvím algoritmu SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Dále je vybaven robotickým ramenem s senzory monitorujícími kvalitu vody a plynu, a také RGB kamerou. Na koncovém aktuátoru je umístěna platforma pro odběr vzorků, která slouží k monitorování možných úniků plynu a znečištění vody, a zároveň kontroluje ohniska onemocnění horečky dengue (CSIRO 2020).

c) SlothBot

SlothBot je solárně napájený robot pro monitorování prostředí. Je navržen tak, aby byl přítomen v přírodních ekosystémech, především pod korunami stromů, po dlouhou dobu bez jakéhokoli lidského zásahu při měření údajů o mikroklimatu. V případě sběru údajů o teplotě a světelných podmínkách na nepřístupných místech, kde jsou velké nerovnosti na půdě a špatné větrné podmínky je možné pro dlouhodobé monitorování životního prostředí využít Slothbota, který se pomalu pohybuje po drátech, které jsou nataženy mezi zájmovým územím (Nomista et al., 2019).

d) Ranger robot

V roce 2020 se ve světě vyskytlo několik požárů astronomických rozměrů. Možným řešením, jak zamezit šíření lesních požárů, je eliminovat potencionální hořlavé materiály. Z tohoto důvodu byl sestaven multirobotický systém, který má za úkol vyhledat místa, kde se nachází nakupený hořlavý materiál, a následně materiál odstraní. Identifikace materiálu se provádí na základě průzkumu malých bezpilotních letadel, následně na místo dorazí robot a nahromaděný materiál seká či rozmělnuje vegetaci a přetváří ji na mulč (Coucerio, 2019).

e) Romu robot

Autonomní robot pro stabilizaci půdy. Byl vyvinut za účelem snížení eroze v přírodním prostředí. Pohybuje se po čtyřech kolech, která pomáhají při upevňování speciálních ocelových bariér do země. Pomocí systému vibračních kladiv a snižování výšky robota dokázal systém upevnit bariéry v písčitých půdách do hloubky 6-8 cm. Na základě počítačové simulace bylo několik bariér fixováno v písčitém terénu, při simulaci proudu vody stékajícího po písčitém terénu bylo 50 % zeminy, která by za normálních okolností podlehla vodní erozi, zadrženo bariérou, což naznačuje efektivitu využití (Melenbrink a Werfel, 2019).

3.3.3 Vodní hospodářství

Od roku 1900 se zvedl celosvětový odběr a samotná spotřeba vody skoro šestinásobně. Zhruba 72 % odebrané vody se využije v zemědělství, 16 % vody se spotřebuje v průmyslu a 12 % na komunální účely (UN Water, 2023).

Odborníci jako jsou hydrologové, geologové, agronomové, pedologové a inženýři potřebují kvalitní nástroje pro sběr dat a monitorování a řízení povrchových a podzemních vod, obzvláště v lokalitách, kde klasické tradiční metody nejsou dostatečné. Tradiční techniky pro monitorování a měření vod jsou jak časově, tak finančně náročné a jejich výsledky jsou často nedostatečné. V posledních desetiletích jsou prioritními prostředky pro získávání dat dálkové průzkumy Země pomocí družic. Jejich výsledky nejsou bezprostředně nejideálnější, jde o velká prostorová měřítka a nízkou četnost vzorkování, limitovanou přelety družice (Xue a Su, 2017).

Udržitelné a efektivní hospodaření s vodou je již prakticky globální problém. Voda představuje klíčový prvek pro samotnou existenci života na Zemi. I přesto dochází ke stoupajícím rozdílům mezi poptávkou po vodě a nabídkou. Pokud nezačne fungovat udržitelné hospodaření s vodou a rozumné využívání této klíčové složky pro život na Zemi, tak celý ekosystém může očekávat vodní krizi, toto je následkem stále se zvyšující poptávky po vodě a klesajícího množství vody na obyvatele. Klimatická změna není pro tento scénář ničím pozitivním, ba naopak. Dle mezivládního panelu pro změnu klimatu se předpokládá, že na území Asie bude žít do roku 2050 více jak jedna miliarda lidí, která pocítí negativní dopady. Důsledkem dle OSN bude, že do roku 2050 mohou být až tři ze čtyř lidí na světě postiženi nedostatkem vody. Možností ke zlepšení efektivity hospodaření s vodou je využívání moderních technologií, například drony jsou již široce využívány ve vodním hospodářství k řešení kritických problémů (Kolhe, 2020).

UAV se dají používat jak k dálkovému snímání, tak i k vyhodnocování tvarů a struktur prvků v povodí a hydrologických jevů v prostorovém i časovém měřítku. Poskytují jak prostorová, tak časová, spektrální i kontinuální data, která poskytují charakterizaci půd, vod a hydrologické předpovědi (Woodget et al., 2017).

Bezpilotní letadla dokážou získat hodnoty kvality vody v reálném čase především díky pokroku v robotice, sensorových technologiích, bezdrátových sítích a systémech zpracování obrazu, a díky tomu pomáhají zlepšit prostorové rozlišení dálkového průzkumu při monitorování kvality vody. Například byl použit

spektroradiometr na bázi UAV ke studiu potenciálního kvetení řas v řece Maumee a západní části povodí Erijského jezera (Becker et al., 2019).

Ridolfi a Manciola (2018) uvádí tři hlavní benefity moderních bezpilotních letadel ve srovnání s běžnými letadly:

- 1) Sofistikované systémy autopilota, uživatelsky přívětivý software pro plánování a sledování letu.
- 2) Delší doba letu díky modernizaci v technologii baterií.
- 3) Vysoce rozlišující a levné kompaktní digitální kamery. UAV se tak staly ceněnou nezbytností dálkového průzkumu Země díky flexibilní navigaci, nízkým nákladům na údržbu a provoz a spolehlivosti výsledků ve srovnání s tradičními a invazivními technikami.

Konkrétní případ

V Indii ve státě Maháráštra se potýkají s velkými problémy v odvětví vodního hospodářství. Ve státě se z celkové spotřeby vody spotřebuje zhruba 80 % na závlahy, 12 % se využije na zásobování domácností, 4 % spotřeby připadají na průmyslové využívání a další zbylá 4 % připadají na chov hospodářských zvířat. Ve městech zde žije zhruba 41 milionů obyvatel což je pro představu zhruba 42 % z celkového počtu obyvatel. Probíhá zde rozsáhlá urbanizace a tím pádem nastává rychlý růst městských center a průmyslových podniků, z tohoto důvodu by na rozumné hospodaření s vodními zdroji měl být brán velký zřetel. Dalším aspektem jsou zde zastaralé zavlažovací systémy, které snižují efektivitu zavlažovacích systémů v zemědělství. Mizivá návratnost vydaných nákladů na zavlažování zvyšuje finanční zatížení státu.

Voda zemědělcům je poskytována skrze kanály či potrubí, platby za vodu jsou účtovány dle obdrženého objemu a v některých případech závisí na velikosti zavlažované plochy a druhu plodin. Z důvodu, že příjmy jsou pro zemědělce poskytovány v závislosti na velikosti pěstitelské plochy a druhu plodiny, je nutné zemědělci ideálně co nejpřesněji zaměřit zavlažovanou plochu. Zaměřování ploch klasickými metodami je poměrně časově náročné, a ne tak přesné. Z tohoto důvodu se zde začíná uplatňovat posun v oblasti informačních a komunikačních technologií a ve vývinu je také metoda pro hodnocení plodin. Drony zde mohou přinést velké výhody, a to samozřejmě při využití dálkového průzkumu, identifikaci plodin a zaměřování ploch. Možnost využívání je i pro kontrolu nelegálního odběru vod či kontrola v reálném čase při zavlažování. Drony by zde přinesly i úsporu na pracovních silách.

Náklady na kontrolu 1 ha zemědělské plochy jsou přibližně 156 rupií, a to je pro představu zhruba 44 Kč, přičemž přesnost měření dronem je 2 cm (Kolhe, 2020).

3.4 Využití různých druhů senzorů

3.4.1 Využití senzorů v zemědělství

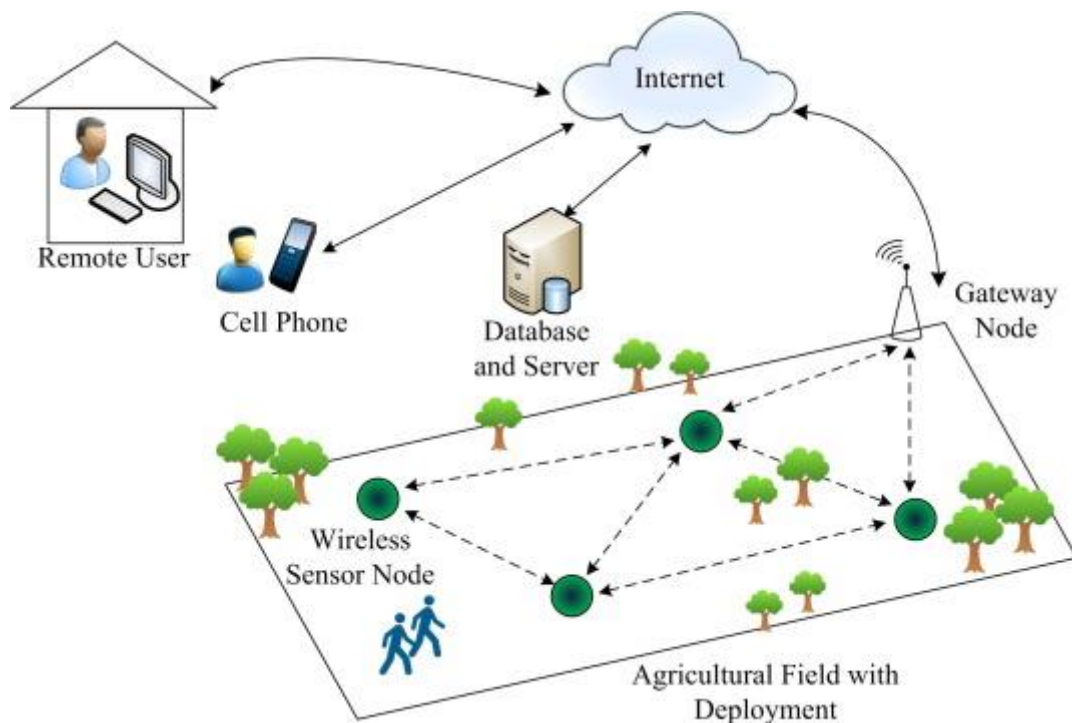
Využívání senzorů je důležitým milníkem v pokroku při pěstování plodin a chovu hospodářských zvířat, mají potenciál se zařadit k technologiím které se budou podílet na udržitelném zemědělství. Velké množství senzorů má již teď razantní podíl na většině zemědělských postupů. Může se jednat například o půdní senzory na zjištění vlhkosti půdy, díky nimž se dá následně rozhodovat o zavlažovacích postupech, což slouží jako následná prevence vodního stresu rostlin, který je způsobován nedostatečnou vlhkostí půdy, nebo naopak poškozením porostů nadměrnou závlahou. Momentálně se většina zjištěných dat z dálkového průzkumu Země využívá pro vyhodnocování zdravotního stavu rostlin, sucha a výnosů s ohledem na lepší využití prostorové, časové a spektrální rozlišení (Kayad et al., 2020).

Technologie bezdrátových senzorových sítí (WSN) za poslední roky prochází rychlým rozvojem. Dnes již není problém zaznamenávat ekologické jevy pomocí různých zařízení či pomocí senzorových uzlů modulů. Senzorový uzel či modul je zařízení které slouží k měření dat pomocí integrovaných senzorů. Bateriové napájení sítě WSN je složeno z několika druhů senzorů, procesorů a radiofrekvenčních modulů. Senzory spolu dokážou komunikovat bezdrátově pomocí komunikačního spojení a zasílat získaná data na základovou stanicí. Komunikační spojení mezi senzory závisí na propojení různých druhů senzorů, a to od jednoduchých jako jsou například senzory na měření vlhkosti, tlaku či teploty, až po ty složitější, jako jsou senzory pro lokalizaci, sledování, obrazové a mikroradarové. Toto umožňuje WSN sledovat celé široké okolí a pořídit konkrétní informace o terénu (Díaz et al., 2011).

V následující bodech jsou představeny jednotlivé druhy senzorů využitelných s bezpilotními prostředky.

a) Pozemní bezdrátové senzory

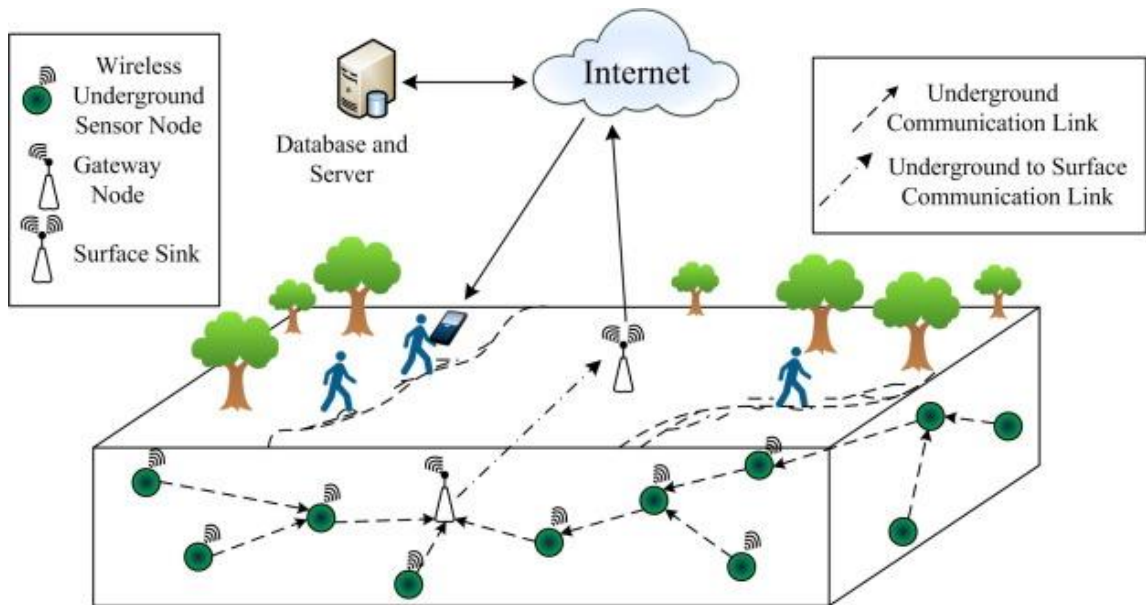
Díky pokroku v technologii MEMS (micro-electromechanical system) bylo umožněno vytvořit malé nízkonákladové výkonné senzory. Tyto senzory umožňují sensorovým uzlům a modulům shromažďovat přesná okolní data, po získání dat pak uzly mezi sebou vytvářejí síť, která je ovládána skrze aplikaci. Jestliže máme model precizního zemědělství, kde jsou WSN rozmístěné po celé zemědělské ploše, které mají za úkol automatické zavlažování, tak všechny propojené senzory jsou schopny určit vlhkost půdy a následně rozhodnou o délce zavlažování na daném pozemku (viz obrázek 10). Následně je vyhodnocená informace pomocí sítě předána sensorovému uzlu, který je připojen k vodnímu čerpadlu (Gutiérrez et al., 2014).



Obrázek 10: Typická bezdrátová sensorová síť na poli (Ojha et al., 2015).

b) Podzemní bezdrátové sítě

V tomto případě jsou bezdrátové senzory umístěny v půdě (viz obrázek 11). V případě využití WSN jsou komunikační frekvence tlumeny zeminou, a je třeba větší počet uzlů, aby byla pokrytá celá oblast. Je možné využít i kabelové propojení které, vyžaduje naopak méně senzorů, ale v tomto případě hrozí poškození kabelů zemědělskou technikou (Silva a Vuran., 2010).



Obrázek 11: Typická podzemní sensorová síť (Ojha et al., 2015).

c) Dálkové senzory

Významný pokrok nastal v technologii dálkových senzorů, které jsou využívány zejména u bezpilotních letadel; pokrok je vidět v oblastech rozlišení, přesnosti, snadnosti užívání, spolehlivosti a cenové dostupnosti. Mezi hlavní tři druhy zobrazovacích senzorů se řadí barevné, spektrální a termální kamery, které jsou znázorněné v tabulce 2 (Zhu et al., 2017).

Tabulka 2: Běžné typy a příklady dálkových senzorů bezpilotních letadel (Zhu et al., 2017).

Typ kamery	Elektromagnetické spektrum	Příklady	Cena v dolarech
<p>Barevná</p> 	Viditelné světlo	Da-Jiang Innovations (DJI) Zenmuse X7, Yuneec E95	5 000,00
<p>Multi-spektrální</p> 	Viditelné světlo Blízké infračervené záření	MicaSense Red Edge MX, Sentera 6X	6 000,00
<p>Hyper-spektrální</p> 	Viditelné světlo Blízké infračervené záření Krátkovlnné infračervené záření	BaySpec OCI, Headwall VNIR-SWIR	175 000,00
<p>Termo</p> 	Mírné vlny infračerveného záření Dlouhovlnné infračervené záření	Worskwell Wiris Pro, Yuneec CGOET	12 000,00

d) Dálkový průzkum Země

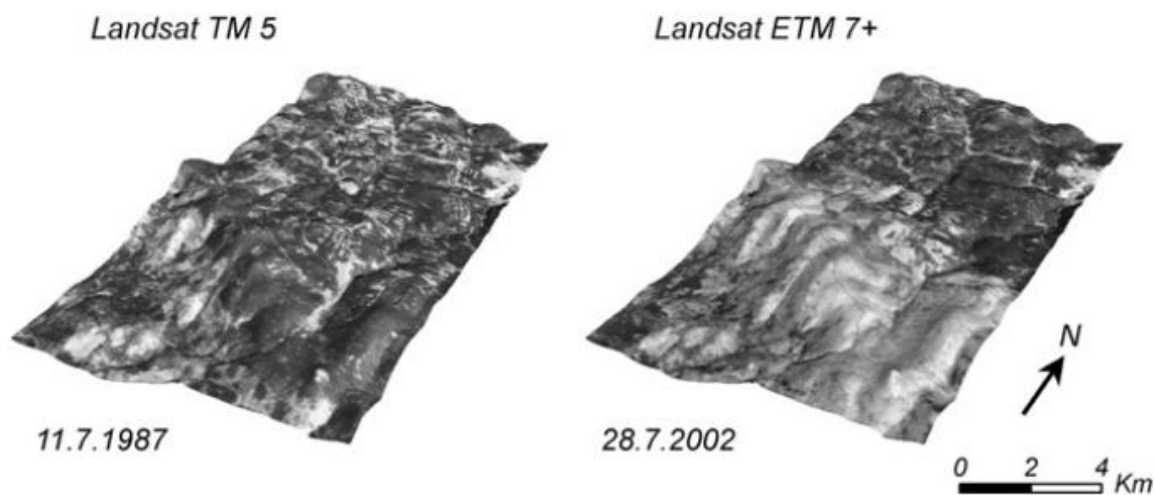
Dálkovým průzkumem Země (DPZ) se rozumí sběr informací o různých objektech z pohledu nad Zemí, respektive bez přímého kontaktu s daným objektem.

DPZ jde rozdělit na dva subsystémy a to na:

- 1) Subsystém ke sběru informací a přenosu dat
- 2) Subsystém analýzy a interpretace dat

DPZ dokáže poskytnout dva druhy informací, a to informace o poloze, tvaru, velikosti objektů a jejich vzájemné vzdálenost, následují informace tematické, což jsou informace o druhu vegetace, či povrchu (Jensen, 2000).

Jako konkrétní případ využití dálkového průzkumu Země lze uvést přemnožení lýkožrouta smrkového na Šumavě, které mělo během sledovaných 20 let (dle údajů z roku 2009) za následek značné změny v místním ekosystému (Hais, 2009). Přemnožování lýkožrouta začalo již mezi lety 1983 a 1984, a v důsledku rozsáhlých větrných bouří v nedalekém Národním parku Bavorský les v Německu došlo k rozsáhlým devastacím stromů, které se ukázaly jako ideální podmínky pro rozvoj lýkožrouta smrkového (Dobrovolný, 1998). Zrychlení rozpadu smrčín započala roku 1955, a mezi lety 1997 až 2000 začalo docházet k značným ztrátám lesního porostu. O rok později, tedy v roce 2001, Národní park Šumava a správa parku zavedli opatření holosečné těžby s cílem zamezit šíření lýkožrouta. Bylo tedy využito dálkového průzkumu Země, konkrétně dat z družicového systému LANDSAT (obrázek 12), což je nejdéle probíhající projekt na získávání fotografií Země z vesmíru. Využíval se pro pozorování změn v lesním prostředí. Metoda napomohla získávat informace o rozsahu a intenzitě lesních škod (Jensen et al., 2000). Výsledky využití DPZ byly jednak v identifikaci konkrétních oblastí, sledování změn v lese, porovnání mezi holými sečemi a poškozenými sečemi. Bylo tedy možné získat ucelený přehled a dospět k závěru, že holé seče se stávají větší hrozbou než popadané smrčiny (Hais, 2009).



Obrázek. 12. Černobílá kompozice výřezu scén pořízených družicemi LANDSAT TM 5 a LANDSAT ETM+ 7. Mezi r. 1987–2002 je patrný rozpad horské smrčiny a tvorba holých sečí (Hais, 2009).

e) LANDSAT

Program Landsat byl zahájen v 60. letech 20. století, a stal se klíčovým nástrojem pro pozorování Země. Má za sebou již šest úspěšných misí a nabízí bezprecedentní 39 let dlouhý záznam, který zachycuje globální podmínky a dynamiku změn krajiny. Díky neustálému zlepšování zobrazovacích schopností dosahují data Landsatu stále lepší kvality. I přes značný pokrok v technologii zůstávají první družice stále v provozu a nadále pořizují snímky. V prosinci roku 2012 byla spuštěna mise Landsat Data Continuity Mission která by teoreticky měla prodloužit trvajícím záznam na téměř 50 let. Archivní snímky družice Landsat dosahují již bezmála tří milionů, které jsou dostupné online. Americká geologická služba se dokonce zavázala ke zlepšení obsahu historického archivu (Loveland et al., 2012).

f) Barevné kamery

Barevné kamery mají tu vlastnost, že zachycují viditelné světlo v pásmech RGB a řadí se mezi nejčastější přístroje při dálkovém průzkumu Země. Shromažďují údaje jako jsou odstíny, sytost, a intenzita. Tyto údaje mohou následně posloužit například při počítání porostů nebo u detekování plevelu (Sánchez et al., 2015).

Pořízené snímky barevnými kamerami jde také využít v pracovních postupech strojového učení pro automatické klasifikace na základě objektů. Kamery jsou schopné pořizovat snímky ve vysokém rozlišení (10 megapixelů) nebo i velmi vysokém rozlišení (> 30 megapixelů) což jiné kamery pořizovat nedokážou. Tím je umožněno

vytvořit digitální výškové modely plodin s velkým stupněm podrobnosti a napomáhá tím zlepšovat přesnost klasifikačních softwarů se strojovou podporou. Pořízené snímky barevnou kamerou se podrobují procesu zvanému „demosaicing“ neboli rekonstrukce obrazu, kterouse rozumí vypočítání chybějících hodnot barev pixelů (Li et al., 2008).

g) Spektrální kamery

Spektrální kamery dokážou zachytit kromě viditelných objektů elektromagnetického spektra i infračervené části elektromagnetického spektra, která pouhým okem nemohou být viděna (Hagen a Kudenov, 2013). Běžně užívány jsou spektrální kamery pro generování spektrálních indexů, které jsou vyjádřeny ve vlnových délkách elektromagnetického spektra. Nejčastějším spektrálním indexem je (NDVI) normalizovaný diferenční vegetační index (Rouse, 1973).

NDVI je jedním z prvních analytických produktů dálkového průzkumu Země, používá se pro zjednodušení složitých multispektrálních snímků a je stále nejoblíbenějším indexem využívaným při hodnocení vegetace (Huang et al., 2021).

h) Termokamery

Termokamery dokážou zachycovat oblasti elektromagnetického záření, které se řadí do infračerveného segmentu elektromagnetického spektra (Meola a Carlomagno, 2004). Na přesnosti měření termokamerou je hlavním aspektem nejen rychlost větru, ale na přesnost má vliv i okolní teplota, vlhkost vzduchu a samotná nadmořská výška, ve které se nachází bezpilotní letadlo. Termokamery se dělí na dva druhy, a to na chlazené a nechlazené; zatímco chlazené termokamery dokážou zachycovat středovlnné a dlouhovlnné infračervené záření, tak nechlazené termokamery dokážou měřit pouze dlouhovlnné infračervené záření. V situacích, kdy jsou zkoumány velice malé objekty z velké dálky nebo kdy je aspektem velká rychlost, tak chlazené termokamery jsou ve většině případů přesnější, přesto většina používaných termokamer u UAV je nechlazená a využívána i pro detekci zasolených půd či houbových patogenů (Stoll a Jones, 2007).

Pomocí teploty povrchu získané termokamerou lze odvodit mj. index vlhkosti půdy (Yilgan et al., 2022).

3.4.2 Příklady monitorování v praxi

a) Kontrola škůdců a nákaz

Je možné implementovat do systému řízenou aplikaci používání pesticidů a hnojiv, které pomáhá zvyšovat kvalitu plodin a zároveň snížit náklady na zemědělskou činnost. Každopádně je třeba sledovat i pravděpodobnost výskytu škůdců a monitorování okolní teploty, vlhkosti a síly větru (Bhave et al., 2013).

b) Kontrolované používání hnojiv

Vegetační vývoj a kvalita plodin je závislá na používání hnojiv, optimální hnojení na konkrétních místech na poli je ovšem náročné. Senzory jde kontrolovat kolísání živin v půdě jako je dusík, draslík, fosfor a hodnotu pH. Díky tomu je tedy možné dosáhnout stabilně vyživené půdy (Gonçalves et al., 2015).

c) Monitorování kvality podzemních vod

Vysoká produkce hnojiv a pesticidů vede ke zhoršení kvality vod. Umístěné senzorové bezdrátové uzly mohou pomáhat ke kontrole sledování kvality vod (Lin et al., 2008).

d) Monitorování skleníkových plynů

Skleníkové plyny a zemědělství jsou do značné míry velice spojované. Skleníkové plyny jsou hlavním aspektem při zvyšování teplot klimatu s přímým dopadem na zemědělství. Ovšem zemědělství se vysoce podílí na produkci skleníkových plynů. V tomto případě může být využíváno UAN poháněné solární energií a s využitím WSN monitorovat skleníkové plyny (Malaver et al., 2015).

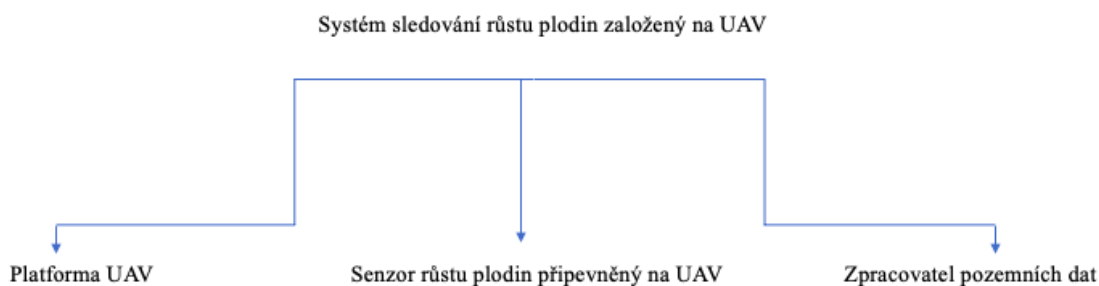
3.4.3 Monitorování růstu plodin

Monitorování růstu plodin je možné sledovat za pomoci získaných dat, která poskytne DPZ. Spousta studií se zaměřuje především na růstové parametry plodin jako jsou obsah dusíku v listech a index listové plochy, společnost začíná projevovat zájem i o průběžné sledování i spektrálních vlastností rostlin a mapování rostlin na konkrétních plochách. Cykly růstu rostlin se u každého druhu odlišují. Data získána dálkovým průzkumem Země s dostatečným časovým a prostorovým rozlišením umožňují takřka nepřetržité sledování růstu rostlin. Značná část studií používá data o

odrazivosti povrchu získané z optických přístrojů. To ovšem může být negativně ovlivněno vlivem počasím, jako je oblačnost nebo srážky (Cheng et al., 2016).

Využívání UAV pro monitorování růstu plodin slibuje mnoho výhod, vysokou účinnost, flexibilitu a pohodlné ovládání. Z tohoto důvodu se bezpilotní letadla stávají stále častěji součástí těchto operací (Freeman a Freeland, 2015). Jsou využívány hyperspektrální kamery s infračerveným termografem, výhodou hyperspektrální kamery je, že zachytává mnoho vlnových pásem, což v kombinaci s infračerveným termografem může poskytnout, jak stav stresu v rostlinách, tak např. index sušiny v listech (Zarco et al., 2012). Nevýhodou je cena hyperspektrální kamery, která se pohybuje řádově v milionech Kč.

Pro specifické porozumění návrhu systému pro monitorování růstu plodin pomocí bezpilotních letadel poskytla informace obsáhlá studie autorů Ni et al. (2017). Samotný návrh systémů pro monitorování plodin pomocí UAV se skládá z bezpilotního letadla, senzoru růstu plodin umístěného na UAV, a pozemního zpracovatele dat. Získaná data jsou bezdrátovým přenosem přenesena do pozemního datového procesoru. Zpracovatel dat na Zemi přijme spektrální informace o plodinách, které poskytl senzor, celý návrh systému je zobrazen na obrázku 13.



Obrázek 13: Systém monitorování růstu plodin pomocí UAV. Upraveno dle Development of an Unmanned Aerial Vehicle-Borne Crop-Growth Monitoring System (Ni. et al.,).

Růst plodin je možné monitorovat také pomocí multispektrálního senzoru růstu plodin. Tento senzor se skládá ze dvou druhů čoček, které se používají k měření

spektrální odrazivosti plodin. Zdrojem světla pro senzor je sluneční světlo, které se následně rozděluje pomocí optického filtru. Z konstrukčního hlediska se jedná o sluneční senzor a dvoupásmový senzor. Přičemž první se užívá ke sběru informací o záření ze slunečního světla a druhý je využíván ke sběru informací o záření odráženém od porostu plodin (Ni et al., 2017).

4. Situace využívání bezpilotních prostředků a pozemních robotů v ČR – dotazníková studie

V České republice je agrární struktura relativně vhodná pro precizní zemědělství, jelikož zde máme velké množství velkých farem, pozemků a různorodost všemožných přírodních podmínek, které se kombinují s diverzitou půdy a členitým terénem (Lukas et al., 2022). Velké agrární podniky zde mají ideální podmínky pro kombinaci moderních technologií v oblasti automatizace, robotizace a zapojením menšího počtu pracovníků pro zvýšení produkce. Prosperují zde relativně i malé rodinné farmy, které směřují k produkci kvalitních lokálních produktů, zdravým potravinám či agroturistice. Místní míra zapojení do precizního zemědělství se zde přibližuje ke střední úrovni (Švepsová, 2022).

Pro zjištění názoru českých zemědělců na využívání bezpilotních letadel a pozemních autonomních robotů jsem oslovil početné skupiny zemědělců na sociálních sítích, aby mi poskytli odpovědi na mnou vytvořený dotazník, který obsahoval deset otázek a měl za účel poskytnout ucelený přehled zemědělce včetně jeho informovanosti a jeho pohledu na modernizaci zemědělství v tomto směru. Celkem se do výzkumu zapojilo 13 zemědělců. Každý zemědělec obstarává zcela jiné hospodářství v různých částech České republiky. Seznam otázek je uveden v příloze 1.

Hlavním ukazatelem pro porozumění pohledu českých zemědělců na autonomní technologie v zemědělství bylo v první řadě zjistit, jaký je jejich aktuální přehled v těchto technologiích. Ukázalo se, že pouze 7,7 % ze zmíněných zemědělců má informovaný a obsáhlejší přehled o možnosti využívání těchto technologií v oblasti zemědělství (obrázek 14). Stejně procento zemědělců má také zkušenosti s využíváním těchto technologií, a to konkrétně s využitím dronů pro mapování zemědělské půdy, dalších 15,4 % zemědělců projevilo zájem o informace ohledně možností využívání v oblasti zemědělství (obrázek 15). V případě poskytnutí

odpovědi na otázku, jak zemědělci vnímají možné výhody a nevýhody při užívání, bylo nejčastěji zodpovězeno, že mechanizace zemědělství by pro 84,6 % znamenala především úsporu práce, času a efektivní chod farmy. Zbývajících 15,4 % zemědělců se obává složité práce s možnými technologickými prvky.

V případě, že by zemědělcům byla poskytnuta možnost pracovat s bezpilotními letadly v zemědělství, byly jejich odpovědi podobné, z čehož usuzují, že většina oslovených zemědělců by si přála využívat tyto prostředky pro svoje potřeby. Mezi konkrétní úkoly, které by vyžadovali od bezpilotních letadel, byl zejména postřik chemickými prostředky či hnojivy, setí a monitoring zemědělské půdy pro kontrolu stavu pozemku.

Z důvodu, že většina zemědělců má minimální přehled o těchto technologiích, bylo na místě zjistit, zda by se v případě inovace obávali také zabezpečení svých soukromých dat. Z výsledků vyplývá, že 30,8 % zemědělců vykazuje značné obavy o svá soukromá data, přičemž zbývajících 69,2 % nemá žádné obavy v oblasti zabezpečení dat.

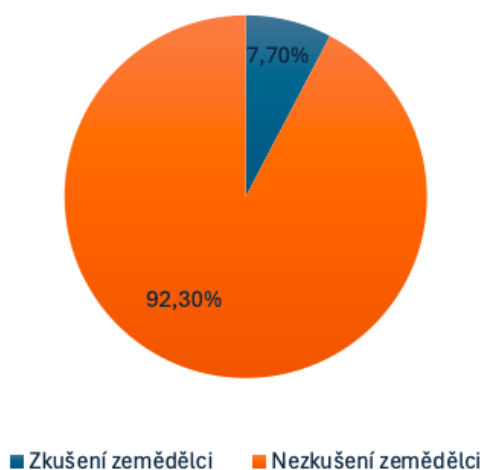
O přímé dostupnosti bezpilotních prostředků na trhu nemá 92,3 % tázaných žádný přehled, 7,7 % je informováno a soudí tyto technologie jako poměrně drahé. 30,8 % má podvědomí o dotačních programech ze strany vlády pro používání chytré technologie v oblasti zemědělství, zbytek tázaných nemá přehled o dotačních programech.

V hlavních rozhodovacích faktorech při rozhodování pro pořízení technologií byla na prvním místě cena, následná rentabilita, uživatelské ovládání a délka životnosti. Jediný zemědělec z tázaných má přehled o možnosti využití technologií na konkrétní případy, a to ohledně testování robota od značky Siemens se systémem SIMATIC S7-1500, který má na starost sklizení zralých plodů jahod a monitorování zdravotního stavu rostlin.

Dle mého názoru, který byl ovlivněn na základě podaných výpovědí od českých zemědělců jsem silně přesvědčen, že povědomí o využívání těchto technologií zde není vysoké. Navíc dotazník byl zadán prostřednictvím skupin s odbornou tematikou na sociálních sítích, což již samo o sobě mohlo vyřadit zemědělce s negativním vztahem k inovacím. Česká republika se potýká i s problémem neochoty obyvatel pracovat každý den v týdnu, to se pojí s nedostatečnou pracovní silou, nelehkou ekonomickou situací a vysokými cenami moderních technologií. Na druhou stranu funkční chytré zemědělství se stále vyvíjí a mladých inovativních zemědělců

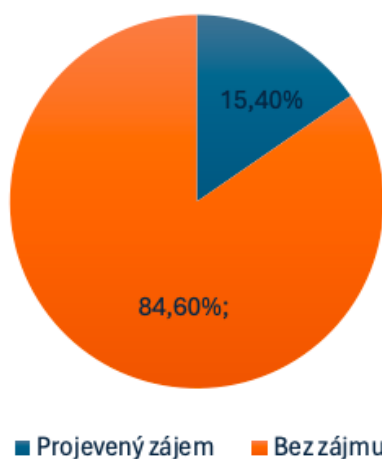
není mnoho, dle statistiky o věkové struktuře pracovníků v zemědělství je možné zjistit, že v roce 2003 bylo nejvíce zemědělců ve věku 54-59 a to v zastoupení téměř jedné pětiny (ČSÚ, 2003). Jedná se tedy o poměrně starý údaj, ale bohužel se domnívám, že věková struktura v oblasti zemědělské práce nebude přehlčena mladými zemědělci.

Srovnání zemědělců dle zkušenosti s moderní technologií



Obrázek 14: Procentuální porovnání zemědělců dle zkušenosti s využíváním autonomních robotů a dronů v jejich zemědělství.

Srovnání zemědělců dle projeveného zájmu o moderní technologie



Obrázek 15: Procentuální porovnání zemědělců dle projeveného zájmu o využívání autonomních robotů a dronů v jejich zemědělství.

5. Diskuse

Tato práce se zaměřovala především na využívání bezpilotních dronů (UAV) a autonomních robotů (UGV) v zemědělství a zkoumá konkrétní případy, které jsou tyto technologie schopné poskytnout. Jaké jsou jejich konkrétní druhy a možnosti využívání. Dle rešeršního zpracování práce bylo zjištěno, že moderní využívání technologií má obrovský potenciál pro agrární odvětví jak z hlediska efektivity, tak i produktivity. Tyto technologie se dají skvěle využít například i v chytrém propojeném zemědělství, které je v práci také popsáno.

Prioritním zjištěním dotazníkové studie bylo, že i přes možný potenciál využívání těchto technologií v zemědělství celých 97,3 % zemědělců preferuje využívání klasické techniky. V případě položení otázky: Jaké faktory by pro Vás byly důležité při rozhodování o investici do bezpilotních letadel a autonomních robotů? Rozhodujícím faktorem by pro většinu tvořila počáteční investice a také ovladatelnost. V tomto ohledu by jako adekvátní řešení bylo možné navrhnout například služby firmy Agdata s.r.o., která poskytuje vše pro chytré zemědělství. Firma poskytuje možnost zapůjčení inovačních technologií na efektivní řízení farmy. Tím pádem není nutná vysoká počáteční investice.

Z výsledků vyplývá, že zájem zemědělců je opravdu malý. V případě rozsáhlejších studiích, které by obsahovaly výpovědi více zemědělců, by se výsledky s vysokou pravděpodobností mohly lišit.

Pro porovnání v roce 2021 proběhla v Maďarsku celostátní dotazníková studie mezi 200 zemědělci, kteří se zabývají precizním zemědělstvím. Studie zjišťovala od respondentů velikost jejich farem, věk, hlavní zaměstnání a vzdělání. Prioritním výsledkem bylo, že vyšší vzdělání má v agrárním odvětví kladný vliv na využívání dronů. Pozitivním zjištěním bylo také, že využití dronů v Maďarsku není již zanedbatelné. Do precizního zemědělství zde v roce 2021 zapojilo drony celkem 17 % z dotazovaných (Bai et al., 2022).

Bylo také zjištěno, že tyto technologie nacházejí kvalitní uplatnění i v jiných odvětvích, než je zemědělství, a to zejména v zahradnictví, lesnictví a vodním hospodářství. Což svědčí o jejich kvalitní adaptaci na různé úkoly. Co se týká zahradnictví, tak je zde především velká budoucnost v automatizovaném sběru plodů. V lesnictví se vyskytuje také velké uplatnění autonomních robotů. Zejména v nahrazení lidské práce, což vede k zvýšení bezpečnosti především u těžby dřeva.

Autonomní roboti zde nacházejí uplatnění i v terénních šetřeních v nepříznivých podmínkách. U vodního hospodářství se naopak rozmáhá využívání dronů. Díky jejich využití s kamerami je jednodušší zjišťovat kvalitu vod a rozlohy vodních ploch. U využití senzorů bylo zjištěno, že dokážou poskytnout velice užitečná data o kvalitách půd, stavu rostlin a dalších faktorech které mohou ovlivnit úrodu. Nejdůležitějším aspektem při využívání senzorů je rozhodně možnost zamezování stresu na plodinách. Ke stresu u plodin dochází vlivem rychlou změnou vlhkosti půdy. Je ovšem důležité brát v potaz úsilí, které představuje zpracování těchto dat.

Je tedy očividné, že budoucí využívání těchto technologií v zemědělství je zcela nevyhnutelné a jejich vývoj se bude stále posouvat dopředu. Jde zcela očividně říct, že UAV, UGV a senzorová technika jsou bezpochybně svým potenciálem spojkou pro inovační změnu v zemědělství.

Evropské sáty jako jsou Francie, Nizozemsko a Německo zaznamenaly také rostoucí trend využívání dronů v zemědělství. Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví vyvíjí harmonizované předpisy pro používání dronů ve všech členských státech. To by mohlo mít za následek podporu jejich zavádění. V Evropě je totiž všeobecně kladen vyšší důraz na zpracovávání soukromých dat. V Austrálii a na Novém Zélandu se také již postupně zvyšuje využívání dronů v zemědělství. Oproti tomu v Číně je využití dronů velice rozšířené, dokonce více než ve Spojených státech. Číně také v tomto ohledu napomáhá rozhodně to, že se na jejím území nachází velké množství společností na výrobu zemědělských dronů. Zde se drony ve velkém měřítku využívají k postřiku pesticidy. Tento způsob se ukázal jako mnohem rychlejší a účinnější (Nazarov et al., 2023).

Stále je ale ještě potřeba provést další výzkumy se zemědělci a farmáři pro zjištění konkrétních potřeb a překážek, které brání implementaci těchto technologií do českého zemědělství. Je tedy důležité shromažďovat kvalitní informace o možných způsobech využívání těchto technologií, které se mohou následně posouvat k zemědělcům. V budoucnu bude zapotřebí provádět zemědělskou činnost jak efektivně, tak šetrně k životnímu prostředí.

6. Závěr

Závěrem předložené bakalářské práce lze usoudit, že bezpilotní letadla a autonomní roboti přináší velký potenciál pro zemědělství a další zmiňovaná odvětví. Zejména tedy s ohledem na šetrnost k životnímu prostředí a ušetření stále více nedostatkové lidské práce. Práce formou literární rešerše poskytuje ucelený pohled na využívání těchto technologií v praxi, jejich specifické funkce a možné přínosy v současnosti i budoucnosti. Byla snaha shromáždit, pokud možno co nejnovější literaturu o dané problematice, protože se jedná o rychle se rozvíjející obor a informace několik let staré už mohou být neaktuální. Dotazníková studie provedená mezi českými zemědělci ukázala, že pouze zlomek z dotazovaných má přehled o možnostech využívání či přímý kontakt s tímto typem technologií. Přínos této práce spočívá ve shromáždění dostupné literatury v této oblasti za účelem seznámení čtenáře s inovačními technologiemi bezpilotních prostředků, utřídění poznatků a usnadnění porozumění fungování těchto technologií v praxi. Cíl práce byl tedy splněn. Rostoucí vývoj a zvyšování povědomí o možných výhodách moderních technologií přináší naději na budoucí využívání v agrárním odvětví. Je také na místě zmínit, že tyto technologie nacházejí efektivní využívání i v dalších odvětvích, kterým se tato práce nevěnuje. Samotné využití senzorů v zemědělství přináší velké výhody. Je nadále nezbytné pokračovat v jejich vývoji a implementaci do zemědělského sektoru. Tyto technologie jednoznačně vedou zemědělství k velkému pokroku z hlediska udržitelnosti a efektivity. Z osobního hlediska hodnotím tyto technologie jako nevyhnutelnou součást budoucího precizního zemědělství, ovšem pro zařazení do českého zemědělství a celosvětové rozšíření bude pravděpodobně potřeba ještě několik let intenzivního výzkumu a vzdělávání.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů:

ODBORNÉ PUBLIKACE:

- ARAD, B., J. BALENDONCK, R. BARTH, O. BEN-SHAHAR, Y. EDAN a T. HELLSTRÖM. Development of a sweet pepper harvesting robot. *Journal of Field Robotics*. 2020, (37), 1-13.
- ATEFI, A., Y. GE, S.K. PITLA a J. SCHNABEL. In vivo human-like robotic phenotyping of leaf traits in maize and sorghum in greenhouse. *Computers Electronics in Agriculture*. 2019, (19). ISSN 104854.
- BAC, C.W., E.J. HENTEN, J. HEMMING a Y. EDAN. Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. *Journal of Field Robotics*. 2014, (6), 888-911.
- BAI, A., I. KOVÁČH, I. CZIBERE, B. MEGYESI a P. BALOGH. Examining the Adoption of Drones and Categorisation of Precision Elements among Hungarian Precision Farmers Using a Trans-Theoretical Model. *Drones* 2022. 2022, (6), 1-6.
- BAYNE, K.M., a R.J. PARKER. The Introduction of Robotics for New Zealand Forestry Operations: Forest Sector Employee Perceptions and Implications. *Technology in Society*. 2012, (34), 138-148.
- BECKER, R.H., M. SAVERS, D. DEHM, R. SCHUCHMAN, K. QUINTERO, K. BOSSE a R. SAWTELL. Unmanned aerial system based spectroradiometer for monitoring harmful algal blooms: A new paradigm in water quality monitoring. *Journal of Great Lakes Research*. 2019, (45), 444-453.
- BHAVANA, H., a A. BHAGWAN. Role of robotics in horticulture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2021, (10), 306-309.
- BHAVE, A.D., A. MISHRA a N.S. RAGHUWANSHI. A combined bottom-up and top-down approach for assessment of climate change adaptation options. *Journal of Hydrology*. 2013.
- BRANT, V., M. KOULÍK, V. KŘEČEK. Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby. *Ministerstvo Zemědělství*. 2020.
- BROUCEK, J., a P. TONGEL. Adaptability of Dairy Cows to Robotic Milking: A Review. *NAFC-Research Institute for Animal Production Nitra, Slovak Republic*. 2015, (48), 86-95.
- CAO, Z.L., Y. HUANG a E.L. HALL. Region filling operations with random obstacle avoidance for mobile robots. *Journal of Robotic systems*. 1988, (5), 87-102.
- CERRO, J., Ch.C. ULOA, A. BARRIENTOS, J.D.L. RIVAS. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Survey. *Agronomy*. 2021, 2-3.

- COLWELL, R.N., Determining the prevalence of certain cereal crop diseases by means of aerial photography. *Hilgardia*. 1956, (26), 223-286.
- COUCEIRO, M.S., D. PORTUGAL, J.F. FERREIRA a R.P. ROCHA. Towards a new generation of forestry maintenance multi-robot systems. *International Symposium on System Integration*. 2019, 270-276.
- DAVIDSON, J.R., A. SILWAL, M. KARKEE, J. LI, K. XIA a Q. ZHANG. Extended Abstract: Human-Machine Collaboration for the Robotic Harvesting of Fresh Market Apples. *Workshop on Robotics in Agriculture*. 2015.
- DÍAZ, S.E., J.C. PÉREZ, A.C. MATEOS, M.C. MARINESCU a B.B. GUERRA. A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011, (76), 252-265.
- DOBROVOLNÝ, P., Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu. *Brno: Scriptum*, 1998.
- DOS SANTOS, F.N., H. SOBREIRA, D. CAMPOS, R. MORAIS, A.P. MOREIRA a O. CONTENTE. Towards a reliable robot for steep slope vineyards monitoring. *Journal of Intelligent Robotic Systems*. 2016, (83), 429-444.
- ESPOSITO, M., M. CRIMALDI a V. CIRILLO. Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021, (8), 17-18.
- FAO. The State of the World's Forests 2018. Forest Pathways to Sustainable Development; FAO: Rome, Italy, 2018; p. 139.
- FAO. *The State of the World's Forests 2020. Forests, Biodiversity and People*; FAO: Rome, Italy, 2020; p. 214.
- FLOREANO, D., a R.J. WOOD. Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*. 2015, 460-466.
- FREEMAN, P.K., a R.S. FREELAND. Agricultural UAVs in the U.S.: Potential, Policy, and Hype. *Remote Sensing Applications Society and Environment*. 2015, (2), 35-43.
- FREITAS, G., G. GLEIZER, F. LIZARRALDE, L. HSU a N.R.K. REIS. Kinematic reconfigurability control for an environmental mobile robot operating in the Amazon rain forest. *Journal of Field Robotics*. 2010, (27), 197-216.
- GONÇALVES, L.B.L., F.G. COSTA, L.A. NEVES, J. UEYAMA, G.F.D. ZAFALON, C. MONTEZ a A.S.R. PINTO. Influence of mobility models in precision spray aided by wireless sensor networks. *Journal of Physics: Conference Series*. 2015.
- GUTIÉRREZ, J., J.F. VILLA-MEDINA, A. NIETO-GARIBAY a M. ÁNGEL PORTA-GÁNDARA. Automated irrigation system using a wireless sensor

- network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2014, (63), 166-176.
- HAGEN, N., a M.W. KUDENOV. Review of snapshot spectral imaging technologies. *Optical Engineering*. 2013, (52).
- HAIŠ, M., Use of Remote Sensing for Forest Monitoring in the Šumava *Ministerstvo životního prostředí*. 2009, (43) 216–219.
- HASSNAIN, M., S. A. M. ASGHAR KHAN, F. NOOR, I. ULLAH a M. H. ALSHARIF. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Security, Privacy and Reliability of Drone Communications for beyond 5G Networks*. 2022, (6).
- Český statistický úřad. 2004. Pracovní síly v zemědělství. Strukturální výsledky za zemědělství ČR - analytické vyhodnocení - 2003 (online) [citováno dne 1.3.2024], dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/2127-04-za_rok_2003-5_pracovni_sily_v_zemedelstvi>.
- HUANG, S., L. TANG a J.P. HUPY. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 2021, (32), 1-6.
- HUNTER, M.C., R.G. SMITH, M.E. SCHIPANSKI, L.W. ATWOOD a D.A. MORTENSEN. Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *BioScience*. 2017, (67), 386-391.
- CHENG, T., Z. YANG, Y. INOUE, Y. ZHU a X. CAO. Recent Advances in Remote Sensing for Crop Growth Monitoring. *Recent Advances in Remote Sensing for Crop Growth Monitoring*. 2016.
- JASIŃSKI, M.J., J. MACZAK, P. SZULIM a S. RADKOWSKI. Autonomous agricultural robot-collision avoidance methods overview. *Autonomiczny robot rolniczy - przegląd metod unikania przeszkód*. 2016.
- JAWAD, A.M., H.M. JAWAD, R. NORDIN, S.K. GHARGHAN, N.F. ABDULLAH a M.J. ABU-ALSHAEER. Wireless power transfer with magnetic resonator coupling and sleep/active strategy for a drone charging station in smart agriculture. *IEEE Access*. 2019, (7), 839-851.
- JENSEN, J. R., Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, Upper Saddle River: *Prentice-Hall*, 2000.
- JOHNSON, M, A., 2002: *McCook Field 1917-1927. The Force Behind America's Golden Age of Flight*. USA: Landfall Press, ISBN 0913428841.
- JU, C., a H.I. SON. Discrete event systems based modeling for agricultural multiple unmanned aerial vehicles: Automata theory Approach. *International Conference on Control, Automation and Systems*. 2018, 258-260.

- KALWAR, K.A., M. AMIR, S. MEKHILEF. Inductively coupled power transfer (ICPT) for electric vehicle charging – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, (47), 462-475.
- KAYAD, A. D., S. PARFOROS, F. MARINELLO a S. FOUNTAS. Latest Advances in Sensor Applications in Agriculture. *Sensors Application in Agriculture*. 2020, (10).
- KIM, Y.D., Y.M. YANG, W.S. KANG a D.K. KIM. On the design of beacon based wireless sensor network for agricultural emergency monitoring systems. *Computer Standards & Interfaces*. 2014, (2), 288-299.
- KOLHE, P., Water Management Made Easy Through Drone-A Case Study. *International Symposium on Artificial Intelligence Based Future Technologies in Agriculture*. 2020.
- KONDRATIEVA, O.V., A.D. FEDOROV, O.V. SLINKO, V.A. VOYTYUK a S.A. ALEKSEEVA. Preface: Recent Advances in Remote Sensing for Crop Growth Monitoring. *Recent Advances in Remote Sensing for Crop Growth Monitoring*. 2016.
- LI, X., B. GUNTURK a L. ZHANG. Image demosaicing: A systematic survey. *Visual Communications and Image Processing*. 2008.
- LIN, M., Y. WU a I. WASSELL. Wireless sensor network: Water distribution monitoring system. *IEEE Radio and Wireless Symposium*. 2008, 775-778.
- LOVELAND, T. R., a John L. DWYER. Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*. 2012, (122), 22-29.
- LUKAS, V., L. NEUDERT a J. KŘEN. Precizní zemědělství a jeho přínosy. *Zemědělec*. 2022, (1-6).
- MAC, T.T., C. COPOT, D.T. TRAN a R. DE KEYSER. Heuristic approaches in robot path planning: A survey", Robotics and Autonomous Systems. *Department of Electromechanical, Systems and Metal Engineering*. 2016, (86), 13-28.
- MALAVAR, A., N. MOTTA, P. CORKE a F. GONZALEZ. Development and Integration of a Solar Powered Unmanned Aerial Vehicle and a Wireless Sensor Network to Monitor Greenhouse Gases. *Remote Sensors*. 2015, (2), 4072-4096.
- MCBRATNEY, A., B. WHELAN, T. ANCEY a J. BOUMA. Future directions of precision agriculture. *Precision agriculture*. 2005, (6), 7-25.
- MEOLA, C., a G.M. CARLOMAGNO. Recent advances in the use of infrared thermography. *Measurement Science and Technology*. 2004, (15), 8-9.
- MOGILI, U.R., a B.B.V.L. DEEPAK. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018, (133), 502-509.

- MURMAN, J.N., Flex-Ro: A Robotic High Throughput Field Phenotyping System, Master's thesis. *University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, Nebraska*. 2019.
- NAZAROV, D., A. NAZAROV a E. KULIKOVA. Drones in agriculture: analysis of different countries. *BIO Web of Conferences*. 2023, 2023(67), 1-7.
- NI, J., L. YAO, J. ZHANG, W. CAO a Y. ZHU. Development of an Unmanned Aerial Vehicle-Borne Crop-Growth Monitoring System. *UAV-Based Remote Sensing*. 2017, (17).
- NOMISTA, G., Y. EMAM a M. EGERSTEDT. The SlothBot: A Novel Design for a Wire-Traversing Robot. *IEEE Robotics and Automation Letters* 2019, (4), 1993-1998.
- NORRIS, J., a J.BLAND. Precision Agriculture: Almost 20% increase in income possible from smart farming. *Nesta*. 2015, 1-3.
- OJHA, T., S. MISRA a N. S. RAGHUWANSHI. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015, (118), 66-84. ISSN 0168-1699.
- PATHAK, H., G.A.K. KUMAR, S.D. MOHAPATRA, B.B. GAIKWAD a J. RANE. *Use of Drones in Agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs*. India: ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management, 2020.
- PIERCE, F. J., P. NOWAK, SPARKS, D. L. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999, 1-85. ISSN 0065-2113.
- PITLA, S., S. BAJWA, S. BHUSAL, T. BRUMM a T. M. BROWN-BRANDL. Ground and Aerial Robots for Agricultural Production: Opportunities and Challenges. *Council for Agricultural Science and Technology*. 2020, (70).
- RAINA, J.N., B.C. THAKUR a A.R. BHANDARI. Effect of drip irrigation and plastic mulch on yield, water use efficiency and benefit-cost ratio of pea cultivation. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 1998, (46), 562-567.
- RIDOLFI, E., a P. MANCIOLA. Water level measurements from drones: A pilot case study at a dam site. *Water*. 2018, (10), 297.
- ROHI, G., O. EJOFODOMI a G. OFUALAGBA. Autonomous monitoring analysis and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*. 2020, (6).
- ROUSE, J., R. HAAS, J. SCHELL a D. DEERING. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: C. Freden and M. A. Becker (Eds.) Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. *National Aeronautics and Space Administration*. 1973, (1), 309-317.)

- SANTOS, L.C., F.N. SANTOS, E.J. SOLTEIRO PIRES, A. VALENTE a P. Costas. MAGALHÃES. Path Planning for ground robots in agriculture: a short review. *IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions*.2020.
- SCRIMEGEOUR, F., W. HUGHES a V. KUMAR. The Economic Contribution of Kiwifruit Industry Expansion to the Bay of Plenty, Northland and New Zealand Economies. *Institute for Business Research, University of Waikato*. 2017.
- SHOCKLEY, J.M., C.R. DILON a S.A. SHEARER. An Economic Feasibility Assessment of Autonomous Field Machinery in Grain Crop Production. *Agricultural Economics Faculty Publications*. 2019, (5), 1068-1085.
- SCHMITZ, A., a C.B. MOSS. Mechanized agriculture: machine adoption farm size and labor displacement. *AgBioForum*. 2015.
- SILVA, A.R., a M.C. VURAN. Communication with aboveground devices in wireless underground sensor networks: an empirical study. *International Conference on Communications*. 2010, 1-6.
- STOLL, M., a H.G. JONES. Recent advances in the use of infrared thermography. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*. 2007, (41), 76-77.
- SUGENO, M., I. HIRANO a S. KOTSU. Development of an intelligent unmanned helicopter. *International Conference on Fuzzy Systems*. 1995, (5), 33-34.
- ŠVEPSOVÁ, I., *Průmysl 4.0 v zemědělství*. České Budějovice, 2022. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- TANG, Y., M. CHEN, C. WANG, L. LUO, J. LI, G. LIAN a X. ZOU. Recognition and Localization Methods for Vision-Based Fruit Picking Robots: A Review. *Technical Advances in Plant Science*. 2020.
- TORRES-SÁNCHEZ, J., F. LÓPEZ-GRANADOS, N. SERRANO, O. ARQUERO a J.M. PEÑA. High- throughput 3-D Monitoring of Agricultural-Tree Plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. *PLOS ONE*. 2015, (10), e0130479.
- Un Water, United Nations, Water, Food and Energy 2023. [citováno dne 1.3.2024], dostupné z: <<https://www.unwater.org/water-facts/water-food-and-energy>>
- Van HENTEN, E.J.J., HEMMING, B.A.J. VAN TUJ-JL, J.G. KORNET a J. BONTSEMA. An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses. *Autonomous Robots*. 2002, (13), 241-258.
- WANG, L., Y. LAN, Y. ZHANG, H. ZHANG, M. N. TAHIR, S.OU, X. LIU a P. CHEN. Applications and Prospects of Agricultural Unmanned Aerial Vehicle Obstacle Avoidance Technology in China. *Sensor*. 2019, (19), 642.

- WILLIAMS, H.A., M.H. JONES, M. NEJATI, M.J. SEABRIGHT, J. BELL, N.D. PENHALL a B.A. MACDONALD. Robotic kiwifruit harvesting using machine vision, convolutional neural networks, and robotic arms. *Biosystems Engineering*. 2019, (181), 140-156.
- WOODGET, A.S., R. AUSTRUMS, I.P. MADDOCK a E. HABIT. Drones and digital photogrammetry: From classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology. *WIREs Water*. 2017, (4), e1222.
- XUE, J., a B. SU. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*. 2017, (2017), 1353691. ISSN 1353691.
- YILĞAN, F., M. MIHALÍKOVÁ, J. VOPRAVIL, S. MATULA a R.S. KARA. Analysis of Soil Moisture and Temperature Regime by Using Remote Sensing in South Bohemia, Czech Republic. *International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies*. 2022, (2022), 1-6.
- ZARCO-TEJADA, P.J., V. GONZÁLEZ-DUGO a J.A.J. BERNI. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*. 2012, (117), 322-337.
- ZHOU, X., H.B. ZHENG, X. XU, Q. HE, J.Y. GE, X.K. YAO a Y.C. TIAN. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-Based Multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2017, 246-255.
- ZOU, X., H. ZOU a J. LU. Virtual manipulator-based binocular stereo vision positioning system and errors modeling. *Machine Vision and Applications*. 2012, (23), 43-63.

8. PŘÍLOHY

Příloha 1. Dotazník pro zjištění pohledu českých zemědělců na inovační technologie

- 1) Jaký je váš momentální přehled o technologiích bezpilotních letadel a autonomních robotů v zemědělství?
- 2) Máte nějaké zkušenosti s používáním bezpilotních letadel nebo autonomních robotů ve své farmě?
- 3) Jaké jsou pro vás možné výhody a nevýhody při zařazení těchto technologií do vašeho zemědělského provozu?
- 4) Které konkrétní úkoly ve vašem zemědělství byste viděl jako vhodné pro automatizaci pomocí bezpilotních letadel či autonomních robotů?
- 5) Napadlo by vás například se i obávat ohledně bezpečnosti a ochrany dat při používání těchto technologií v zemědělství?
- 6) Máte nějaké informace nebo znalosti o dostupných typech bezpilotních letadel a autonomních robotů na trhu?
- 7) (Pokud ano) Jak byste hodnotil aktuální dostupnost a cenovou dostupnost těchto technologií na trhu v České republice?
- 8) Jaké jsou vaše názory na podporu ze strany vlády nebo zemědělských organizací při implementaci autonomních technologií do zemědělství?
- 9) Které faktory by pro vás byly důležité při rozhodování o investici do bezpilotních letadel a autonomních robotů?
- 10) Máte nějaké konkrétní příklady z vlastní zkušenosti nebo z vašeho okolí o úspěšném využití těchto technologií v zemědělském prostředí