

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy



Využití moderní techniky v přesném zemědělství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: **Jakub Kučera**
Vedoucí práce: **Ing. Petr Bureš, Ph.D.**
2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K620..... Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jakub Kučera

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Využití moderní techniky v přesném zemědělství**

Název tématu (anglicky): Use of Modern Technology in Precision Farming

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- úvod do problematiky přesného zemědělství, identifikace problémů
- analýza současného stavu dostupných řešení pro přesné zemědělství
- analýza technických prostředků, sledovaných parametrů a sledovací / monitorovací techniky v přesném zemědělství
- Syntéza podkladů
- zhodnocení a návrh dalšího postupu

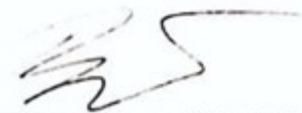



- Rozsah grafických prací: standardní
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: SCHJØNNING, Per et al. Managing soil quality: challenges in modern agriculture. Wallingford: CABI Publishing, c2004. ISBN 0-85199-671-X.
- EASH, Neal Samuel. Soil science simplified. Sixth edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. ISBN 9781118540695.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bureš, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **27. září 2017**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)


Datum odevzdání bakalářské práce: **2. prosince 2019**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky


L. S.


doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Jakub Kučera
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 23. září 2019

Poděkování

Děkuji Ing. Petru Burešovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne:

.....

Jméno a Příjmení

Název práce: Využití moderní techniky v přesném zemědělství

Autor: Jakub Kučera

Obor: Letecká doprava

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Bureš, Ph.D.
Ústav dopravní telematiky, Fakulta dopravní, České vysoké učení
technické v Praze

Konzultant: —

Abstrakt: Předmětem bakalářské práce na téma „Využití moderní techniky v přesném zemědělství“ je analýza současných technologií v přesném zemědělství se zaměřením na využití bezpilotních letounů. Syntéza znalostí o stavebních prvcích přesného zemědělství a zhodnocení konkrétních bezpilotních letounů určených pro přesné zemědělství.

Klíčová slova: Přesné zemědělství, UAV, satelitní navigace, dálkový průzkum země.

Title: Use of modern technology in precision farming

Author: Jakub Kučera

Abstract: The subject of the bachelor thesis "Use of modern technology in precision farming" is analysis of current technologies in precision agriculture with a focus on the use of unmanned aircraft. Synthesis of knowledge about building components of precision agriculture and evaluation of specific unmanned aircraft intended for precision agriculture.

Key words: Precision agriculture, UAVs, satellite navigation, remote sensing.

Obsah

Úvod	6
1 Přesné zemědělství.....	8
1.1 Historie	8
1.1.1 Automatické řízení systému	9
1.1.2 Vývoj zemědělství v ČR.....	9
1.2 Přesné zemědělství v současnosti	9
1.3 Variabilita půdy	10
1.3.1 Snímání půdních vlastností.....	11
1.3.2 Snímání stavu porostu.....	12
1.3.3 Měření spektrálních vlastností rostlin.....	13
1.4 Variabilní operace v přesném zemědělství	14
1.4.1 Setí a sadba.....	14
1.5 Výhody a nevýhody přesného zemědělství.....	15
1.5.1 Ekonomická udržitelnost přesného zemědělství.....	16
1.5.2 Environmentální udržitelnost přesného zemědělství	17
1.5.3 Možná rizika přesného zemědělství	17
2 Moderní průzkumové a navigační technologie.....	19
2.1 Dálkový průzkum země	19
2.1.1 Historie vývoje dálkového průzkumu země	20
2.1.2 Americké systémy pro DPZ.....	21
2.1.3 Evropský systém pro DPZ	23
2.2 Družicové navigační systémy.....	24
2.2.1 Historie vývoje družicových navigačních systémů	24
2.2.2 Systém GPS.....	25
2.2.3 Systém GLONASS	25
2.2.4 Galileo.....	26
2.3 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	26
2.3.1 Pojem Dron.....	27
2.3.2 Dělení dronů.....	27
2.3.3 Potenciál UAV v přesném zemědělství.....	29
3 UAVs používané v přesném zemědělství.....	34
3.1 SenseFly eBee SQ	34
3.2 PrecisionHawk Lancaster 5.....	35
3.3 Trimble UX5	37
3.4 Yamaha RMAX	39

3.5	Agribotix Enduro Quad	40
3.6	Agras MG-1.....	41
3.7	Agri OPTiM.....	42
3.8	Porovnání zmíněných dronů	43
	Závěr	46
	Seznam použitých zdrojů.....	48

Seznam zkratek

CSMs	Crop surface model
DPZ	Dálkový průzkum země
EC	Evropská komise
EMI	Elektromagnetická indukce
ER	Elektrická rezistivita
ESA	Evropská vesmírná rada
EU	Evropská unie
GIS	Geografický informační systém
GLONASS	Globální polohový družicový systém
GNSS	Globální navigační systémy
GPS	Globální polohový systém
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NDVI	Normalizační index vegetačních rozdílů
NIR	Blízká červená spektroskopie
OBIA	Objektová analýza (Object-based image analysis)
pH	Potenciál vodíku
PZ	Přesné zemědělství
RGB	Červená-zelená-modrá barva
TDR	Typ reflektometru (Time-domain reflectometer)
TIN	Nepřavidelná trojúhelníková síť
UAV	Bezpilotní letecká zařízení
USA	Spojené státy americké
ŽP	Životní prostředí

Úvod

Přesné zemědělství je žádoucí v době, kdy se ve výrobě a hospodářství stále více dbá na zdravé zachování životního prostředí, ale zároveň na zvyšování efektivity práce. Existuje snaha minimalizovat vstupy a naopak maximalizovat výstupy. K tomuto účelu je moderní přesné zemědělství ideální. Díky přesnému zemědělství lze provádět úkony, které budou vést k větší profitabilitě. Přesné zemědělství je tedy lákavé, jak pro soukromé zemědělské práce, tak i pro velké podniky.

Technologie přesného zemědělství v současnosti pomáhají řešit problémy se suchem i se škůdci. Díky nashromážděným znalostem o půdě nebo porostu, lze řízeně provádět jednotlivé zemědělské úkony. Je také možné předem predikovat choroby rostlin nebo napadení škůdci.

Bakalářská práce na téma „Využití moderní techniky v přesném zemědělství“ se zaměřuje na analýzu současného stavu dostupných řešení pro přesné zemědělství. Cílem práce je analýza parametrů, které lze pomocí moderních technologií sledovat a upravovat. Práce je syntézou, díky níž lze zhodnotit možnosti využití prvků přesného zemědělství v praxi.

První kapitola se zabývá definováním pojmů z oblasti přesného (precizního) zemědělství pro bližší porozumění celé práce. Tedy jak vzniklo, proč je jeho používání žádoucí a jaké problémy při hospodaření pomáhá řešit. Je zde řešena problematika variability půdy pomocí snímání vlastností půdy, sledování stavu porostu a měření spektrálních vlastností rostlin. Dále jsou zde uvedeny klady i zápory, ale i rizika pro zavedení přesného zemědělství do běžné praxe. Je zde zohledněna i otázka ekonomické a environmentální udržitelnosti přesného zemědělství.

Druhá část je zaměřená na technickou „páteř“ přesného zemědělství. Tvoří jí dálkový průzkum země, globální navigační systémy a stroje provádějící jednotlivé operace. Tyto prvky jsou podrobně popsány, jelikož jejich vzájemná kooperace umožňuje utvářet přesné zemědělství. Z důvodu rozmanité nabídky strojů vhodných pro přesné zemědělství se tato práce zabývá pouze technologií UAV v přesném zemědělství. Bezpilotní letouny jsou totiž aktuálně nejrychleji rozvíjející se druh techniky v tomto oboru a jejich potenciál stále roste.

Poslední část práce je zaměřena na jednotlivé konkrétní typy bezpilotních letounů. Jsou zde uvedeny globálně nejpoužívanější bezpilotní letouny pro zemědělskou činnost, jejich přednosti i technické parametry. Je upřesněno, pro jaké činnosti se jednotlivé typy

bezpilotních letounů dají použít, případně s jakou další technologií pracují. Jako hlavní výstup práce je zde tabulka s hlavními parametry jednotlivých typů letounů, podle kterých jsou vybírány při zavedení do konkrétního provozu. Je zde uvedena i tabulka, která obsahuje soupis odborných studií, ve kterých byly tyto letouny využívány. Na základě této syntézy následuje vyhodnocení, který letoun je pro použití v přesném zemědělství nejlepší, tedy který vyhovuje v nejvíce ohledech.

1 Přesné zemědělství

Precizní zemědělství (PZ) vzniklo na základě snahy zvýšit efektivitu hospodaření v oblasti zemědělství. Jde o to, aby byly operace prováděny za správných podmínek, tedy ve správném čase, na správném místě a ve správné dávce (hnojiva, přípravky na ochranu rostlin atd.).

Současný trend je ovšem trochu odlišný. Jednotlivé operace se volí pro dané zemědělské plochy, kde v jednotlivých částech území může být půda velmi heterogenní. Může obsahovat různý podíl živin, být různě náchylná na škůdce či může mít různý vláhový režim. [16] „Zpřesňování“ zemědělské praxe je jeden z úkolů precizního zemědělství. V současnosti, kdy se stále více hovoří o důležitosti ochrany životního prostředí, představuje precizní zemědělství možný nástroj ke snížení spotřeby hnojiv, pesticidů a vody. To se nezvratně odráží ve snížení možné kontaminace půdy i plodin.

Proto, aby bylo precizní zemědělství smysluplné a funkční, je třeba získat adekvátní množství dat. Jedině tak lze určit odpovídající technologii. Neméně důležitou součástí je rozdělit pozemek na menší homogenní prvky, a to na základě těchto získaných dat. [18] Obecně je definováno, že precizní zemědělství je systém řízení, který využívá pokročilých technologií pro sběr informací s cílem opřít rozhodování zemědělců o patřičná data. [28]

Je důležité si uvědomit hlavní důvody pro zavedení přesného zemědělství, kterými jsou:

- ekonomický tlak na podnik
- snaha snížit rizika pro životní prostředí
- sociální a demografické změny ve společnosti.

Zde se také nabízí logická otázka, zda by nebylo snazší a levnější řešit problémy půdy, nežli se jim přizpůsobovat. Dle současných poznatků je otázka kvality půdy dosud ještě neprobádané téma, to platí dvojnásob pro biologickou část půdy.

1.1 Historie

Přesné zemědělství ve své podstatě není novou myšlenkou. Již lidé v pravěku věděli, že pole neplodí všude stejně. Tyto zkušenosti byly postupně předávány dalším generacím a vzniklo něco, co můžeme označit jako „paměť půdy“. V minulosti se lidé touto pamětí řídili, věděli například, kde je třeba více hnojit, kde spíše hrozí výskyt škůdců, nebo kde je půda zdravá a silná a nepotřebuje tedy téměř nic. Tento soubor informací se ovšem poslední dobou vytrácí.

Půdu často obhospodařují velké podniky, bez návaznosti na tradice pěstování pro danou lokalitu. Je tedy nutné volit plošné úpravy.

První snahy vytvořit nástroj pro zefektivnění zemědělství vznikly v 50. a 60. letech minulého století, a to ve Spojených státech. Jejich tehdejším podnětem bylo sestavení zemědělských prognóz po roce 2000. Výsledky prognóz nebyly v praxi nějak užitečné, kromě jedné. V této prognóze byla do zemědělství zapojena do značné míry automatizace, operace byly prováděny s vysokou přesností a celá agrotechnologie se opírala o analyticky získaná data (především v otázce množství a distribuce hnojiv a přípravků pro ochranu rostlin). [16] Ovšem ve zmíněné době chyběly dostatečně sofistikované nástroje pro měření dat i pro následné operace.

1.1.1 Automatické řízení systému

Tento systém se začal v Evropě využívat v 80. letech minulého století a zapojil tehdejší počítačovou techniku. Systém zemědělcům podal data a na základě nich byl určen například výsevek, potřeba hnojení atd. [16] Výsledky ovšem nebyly příliš přesné a zpřesnění přineslo až zavedení GNSS.

1.1.2 Vývoj zemědělství v ČR

Existence současného přesného zemědělství je podmíněna skokovým vývojem výpočetní techniky, ke kterému v posledních letech došlo. Byla vytvořena silná základna globálních navigačních satelitních systémů, o které se funkční přesné zemědělství opírá.

1.2 Přesné zemědělství v současnosti

Dle některých autorů představuje přesné zemědělství revoluční nástroj, který je v současnosti jedinou udržitelnou formou zemědělství. Mezi hlavní přínosy precizního zemědělství patří:

Z krátkodobého hlediska:

- a) přesné informace o vstupech a výstupech v rámci zemědělského podniku
- b) zpřesnění informací o zásahu látek do životního prostředí
- c) informace o využití lidských zdrojů.

Z dlouhodobého hlediska:

- a) identifikace míst, kde nebylo v produkci rostlin dosaženo maxima
- b) vyhnout se zavedení nevhodné technologie.

Předpoklady pro zavedení přesného zemědělství

Zavedení precizního zemědělství je poměrně finančně náročná záležitost, a je vhodné před samotnou implementací ověřit, zda to pro určitý pozemek má vůbec perspektivu.

Především je třeba ověřit, zda se na pozemku vůbec nachází určitá variabilita (půdní i plodinová). [16] Tyto rozdíly je třeba nejen identifikovat, ale také kvantifikovat. Dále musí mít zemědělec možnost ovlivnit toky vstupující do systému (např. hnojiva a pesticidy).

Zde je dobré uvést, že principy precizního zemědělství lze použít v nejrůznějších podmínkách, bez ohledu na to, zda zemědělec hospodaří konvenčním či ekologickým způsobem.

Zejména pro malé podniky může být problémem ekonomická stránka přesného zemědělství. Ovšem některé postupy PZ nejsou příliš finančně náročné. Příkladem je lokální aplikace hnoje na pozemku. Někdy platí, že pokud dojde k určitému zlepšení alespoň na části pozemku, postupně se revitalizují i další části. [16]

1.3 Variabilita půdy

Variabilita půdy je stěžejním vstupním parametrem a bez znalosti tohoto parametru není možné spolehlivě zavést PZ. Variabilitu půdy rozlišujeme na časovou a prostorovou.

Časová variabilita

U této variability se sledovaný znak mění v čase. Sem spadají především parametry, které tvoří vstupy a výstupy, tedy vláha, dusík atd.

Prostorová variabilita

Prostorová variabilita sleduje parametry, které se mění v rámci plochy pozemku a jsou většinou zaznamenány do map. Příkladem může být obsah organické hmoty, který se v rámci jednoho půdního celku výrazně nemění. [16]

Mezi parametry s nejvyšší variabilitou patří:

- struktura a pH
- podloží
- obsah půdní organické hmoty, vody a různých minerálů
- sklon
- hustota a morfologie rostlin
- napadení plodin různými škůdci a různými plevele
- stabilita agregátů
- vlhkost. [28]

1.3.1 Snímání půdních vlastností

Pro snímání půdních vlastností existují přímé či nepřímé metody, které zemědělcům poskytují důležité informace o jejich hospodaření.

Přímé metody

Jde o tradiční způsob, kterým lze získat informace o pozemku pomocí přímého odběru vzorků. Nevýhodou ovšem může být poměrně vysoká finanční i časová náročnost. Kvalita výstupu závisí na množství odběru a toto množství se následně promítá do finanční náročnosti. V praxi se tak často přistupuje k odběru nižšího počtu vzorků, kde hodnoty jsou dále průměrovány, což může ovšem významně snížit efektivitu zavedeného PZ. V současnosti se už postupně začínají zavádět metody poloautonomního a autonomního systému odběru vzorků.

Vzorkování v přesném zemědělství by se měla věnovat velká pozornost, protože jen na základě získaných dat lze určit variabilitu.

Nepřímé metody

V tomto případě je měřena půdní vodivost, tedy schopnost půdy vést elektrický proud. Půda obsahuje vodu, vzduch a pevné látky (jíl, písek a štěrk), jež ovinují její vlastnosti jako vodiče. Kromě toho vodivost půdy ovlivňuje i zasolenost, vlhkost či teplota.

Snímání půdních vlastností pomocí nepřímých postupů využívá invazivních a neinvazivních metod.

Invazivní metoda – narušuje povrch půdy. Je zde měřena elektrická rezistivita (ER) pomocí invazivních elektrodoých senzorů. [28] Jde o rychlou a efektivní metodu, avšak k problémům dochází, pokud je půda suchá či kamenitá.

Neinvazivní metoda – sem patří TDR (time domain reflektometry), které se využívají k měření velikosti a také elektromagnetická indukce (EMI). Používané přístroje jsou zpravidla náročné na kalibraci, avšak na druhou stranu oproti invazivním metodám mohou pracovat i v suchých a kamenitých půdách. [28]

1.3.2 Snímání stavu porostu

Snímání stavu porostu je ještě složitější než snímání vlastností půdy, jelikož zde existuje více faktorů, které mají vliv na růst. Na kvalitě porostu se podepisuje:

- druh odrůdy
- fáze růstu
- mikroklima
- obsah živin v půdě
- vláha půdy
- případné ošetřování rostlin (ochranné postřiky atd.).

Zmíněné aspekty se mohou měnit velmi rychle, proto je často nutné tyto parametry analyzovat a zaznamenávat i několikrát za období růstu. [3]

Přímé metody

Přímé metody jsou založené na odběrech biomasy a její následné analýze v laboratoři. Tímto způsob lze zjistit okamžitou koncentraci živin v rostlině. Pro růst rostlin je také velmi důležité stanovit poměr mezi jednotlivými chemickými prvky (tzv. stechiometrie prvků).

Biomasa rostlin není utvářena rovnoměrně. Platí, že na počátku růstů jsou rostliny na živiny nejnáročnější. Naopak před sklizní se potřeba živin snižuje. Odebírat vzorky je třeba právě v kritických fázích vývoje vegetace. Celá tato metoda je založena na předpokladu, že obsah živin v rostlině odráží situaci v půdě.

Mimo to lze přímo analyzovat i přítomnost škůdců a chorob na plodinách. U této metody také platí, že čím hustší a častější síť odběrů, tím jsou výsledky spolehlivější. S tím je spojena i vysoká náročnost na čas i pracovní sílu.

Nepřímé metody

Nepřímé metody určují vlastnosti pomocí senzorů a využívají různých fyzikálních principů. Tímto způsobem lze stanovit hustotu porostu, zaplevelení, živiny a poškození porostu. [17]

1.3.3 Měření spektrálních vlastností rostlin

Spektrální vlastnost rostlin je dána její schopností odrážet světlo v určitém spektru, konkrétně jde o zelené spektrum. Míra odrazivosti je provázána se stavem rostliny, tudíž poškozená rostlina odráží méně světla. Pro měření spektrálních vlastností se používají přístroje, které jsou schopné stanovit kondici porostu, ovšem nemohou určit příčinu nežádoucího stavu rostlin. Tyto zařízení mohou pracovat online nebo off-line.

Off-line

Off-line systémy nepracují kontinuálně, ale jsou časově odděleny. Je měřena celá plocha pozemku a až posléze vyhodnocena. Příkladem mohou být dálkové průzkumy či kontaktní měření rostlin (například Yara N-Tester). Mezi další kapesní přístroje, pomocí kterých lze stanovit okamžité vlastnosti rostlin, patří například produkty české firmy Photon Systems Instruments N-Pen, PlantPen, který můžeme vidět na obrázku 1. [17]



Obr. 1: Měření vlastností rostlin pomocí přístroje PlantPen.
(Zdroj: <http://ictinternational.com>).

Online systémy

Tyto systémy bývají často označovány jako "on the go" systémy, protože veškeré operace (analýza, odběr i vyhodnocení) probíhají v jednom kroku, a to při pojezdu techniky po pozemku. V praxi bývá často používaným senzorem YaraN-Sensor, který lze vidět na obrázku 2.



Obr. 2: Yara N-Sensor ALS. (Zdroj: www.agricon.de).

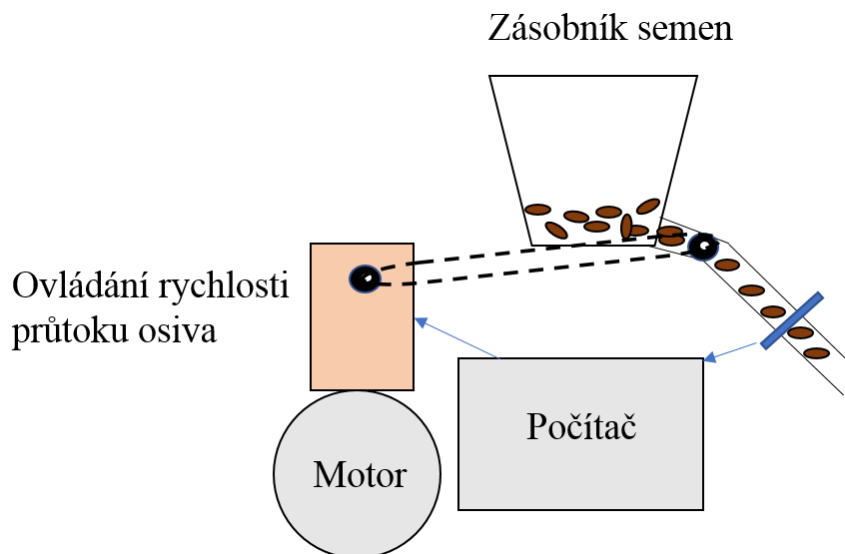
1.4 Variabilní operace v přesném zemědělství

Nezákladnější a nejjednodušší operací prováděné v zemědělství je sadba. Je to jedna z prvních činností, na které bylo aplikováno jisté zjednodušení pomocí moderních technologií.

1.4.1 Setí a sadba

Zde je důležité určit počet semen na hektar, hloubku setí a umístění. Do výpočtu ovšem vstupuje spousta proměnných, především klima, kvalita půdy atd.

Přesné setí navíc není vhodné volit vždy. Pokud se například jedná o malá semínka, jejichž porost je hustý, byla by přesná aplikace velmi drahá, a proto se volí setí plošné. [3] Nicméně je možné zařadit systém na monitorování počtu semen, které projdou strojem, a tím výsevek kontrolovat, jak lze vidět na obrázku 3.



Obr. 3: Systém kontroly výsevků (Zdroj: Vlastní zpracování na základě dat Carolan, 2017).

Výše uvedený obrázek 3 znázorňuje kontrolu výsevků za pomoci optického senzoru. Systém umožňuje určovat vzdálenost mezi semeny, a to v závislosti na druhu plodiny i vlastnosti půdy. Tomuto systému bývá někdy vyčteno, že rostliny jsou do jisté míry přizpůsobivé a rostou úměrně k danému prostředí. [10] Tím pádem by vliv zavedení PZ neměl na setí rostlin až takový vliv. Na druhou stranu je třeba zohlednit i možnou úsporu semen, tedy snížení finanční náročnosti sadby.

1.5 Výhody a nevýhody přesného zemědělství

Jak již bylo zmíněno, PZ přináší velké výhody z pohledu ochrany životního prostředí. Ovšem pro průměrného zemědělce je důležitá i celková bilance PZ, tedy zda klady a přínosy převyšují potenciální zápory a rizika.

Pozitiva PZ

- vyšší zisk
- vyšší výnos
- vyšší kvalita produktů
- transparentnost produkce
- snazší rozhodování
- nižší spotřeba pohonných hmot

- nižší nároky na pozornost řidičů
- snížení přehnojení plodin
- nižší riziko kontaminace půdy dusíkem
- snížené množství reziduí
- nepřímo dochází k ochraně ŽP – především díky snížení spotřeby agrochemikálií, především přípravků na ochranu rostlin a hnojiv.

Negativa PZ

- vysoké investiční náklady na pořízení techniky
- nutnost techniku udržovat v dobrém stavu
- zvýšené nároky na obsluhu – proškolení, odbornost
- nutnost zavést odpovídající management řízení PZ. [6]

1.5.1 Ekonomická udržitelnost přesného zemědělství

Ziskovost PZ je velmi individuální a je poměrně složité ji předpovědět. Je nutné znát co největší množství parametrů firmy a proměnných, které do této rozvahy vstupují, jako je například počasí.

V této oblasti je jasně patrný určitý vývoj, a to od počátků přesného zemědělství (kolem roku 1995) až po současnost. Rozdíly jsou především v pořizovací ceně techniky PZ, která je stále dostupnější. V novém tisíciletí přibývají práce a studie potvrzující ziskovost PZ. Jde například o studii *The combination of UAV survey and landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture*, dle které došlo při dávkování hnojiv a pesticidů k úspoře 300 Kč - 500 Kč/ha v přepočtu. Další studií potvrzující ziskovost PZ je práce *Whole farm analysis of automatic section control for agricultural machinery*, kde byly, z důvodu úspory, postřiky prováděny za pomoci automaticky naváděných postřikovačů a vedly k úspoře až 800 Kč/ha v přepočtu.

Ekonomická udržitelnost precizního zemědělství se také odvíjí od obhospodařované plochy. V této otázce se vědecké práce různí. Maďarská studie *Farmers' perception of precision farming technology among Hungarian farmers* považuje za udržitelnou hranici 250 ha, dle Dánských odborníků je tato hranice dvojnásobná a dle Britů stačí pouze 80 ha.

V Německu se výzkumníci ve své studii v roce 2009 zabývali dotazováním německých zemědělců na potenciál ziskovosti PZ. Dle této studie by více než polovina zemědělců v případě dostatku finančních prostředků PZ zavedla.

Dle současného názoru se nacházíme v době, kdy je zavedení PZ provázeno ziskem, ovšem vždy je třeba nejdříve zohlednit řadu faktorů a počítat s prvotní vyšší investicí do techniky.

1.5.2 Environmentální udržitelnost přesného zemědělství

Největším environmentálním přínosem je snížení úniku dusíku do životního prostředí. Dusík je živina, která je z půdy odnášena v biomase, v agrosystémech tedy chybí a je nutno jej dodávat. Ovšem případné přehnojení dusíkem je pro životní prostředí velkou hrozbou. [18] Vyplavování dusíku ohrožuje kvalitu podzemních a povrchových vod, a dle současných studií je přehnojení mnohdy doprovázeno snížením biodiverzity půdního života. [17]

Selektivní dávkování dusíku nemusí vždy vést k úspoře hnojiva, ale naopak může paradoxně potřebné množství hnojiva stoupnout. Ovšem tento aplikovaný dusík je rostlinou využit beze zbytku a bez odplavení do podzemních a povrchových vod. Takový jev by měl být doprovázen zvýšeným růstem biomasy oproti konvenčnímu hnojení.

Podobným způsobem lze ušetřit i v případě prostředků pro ochranu rostlin. Při selektivní aplikaci herbicidů je uspořeno až 80 % jejich objemu. [18]

Benefitem je v neposlední řadě i snížení pojezdů a s tím související úspora pohonných hmot. Časté pojezdy jsou dle současných poznatků jedním z důvodů snížení kvality půdy, kdy klesá její infiltrační schopnost, zvyšuje se utáženost a kvůli tomu chybí rostlinám vláha. Dále klesají nároky spojené na výrobu chemických látek používaných v zemědělství. Nejen že tedy nevstupují do prostředí, ale klesají nároky na přepravu, skladování atd.

1.5.3 Možná rizika přesného zemědělství

Jak již bylo řečeno, přesné zemědělství je finančně náročné a není vhodné pro každý podnik. Nákladné není pouze pořízení strojů, ale i jejich udržování a inovace. S tímto je spojená i potřeba určitého stupně odbornosti obsluhy.

Zavedení PZ je doporučováno spíše pro velké podniky, které se zabývají pěstováním plodin s vysokým výnosem. Řada odborníků také varuje před tím, že ani sebelépe zavedené přesné zemědělství nemůže překročit limity půdy či samotné zemědělské praxe. Příkladem je často zmiňované snížení ztrát dusíku. Je třeba si uvědomit, že pokud půda není chráněna biomasou,

tedy ve fázi, kdy rostliny teprve vzchází, nemůže ani přesná aplikace hnojiv zabránit jejich smytí. [19] Podobně je to s erozí, na kterou současná forma přesného zemědělství nemá velký vliv.

Tyto problémy mohou být alespoň částečně řešeny ekologickým zemědělstvím. Existuje několik studií, které doporučují principy přesného zemědělství ještě doplnit o tři body, které označuje jako ochranná opatření. [17] Konkrétně jde o to dělat správné opatření, vhodnou metodou a ve správném měřítku.

2 Moderní průzkumové a navigační technologie

Analytická část práce je zaměřena na vývoj jednoho z pilířů přesného zemědělství, a to na satelitní navigaci. Ta je totiž základem pro správné fungování precizního zemědělství. V závěru práce je zhodnocen potenciál bezpilotních letounů v otázkách precizního zemědělství. Bepilotní letouny neboli UAV jsou důležitým nástrojem PZ, díky nimž je možné velmi rychle a přesně hodnotit porost na pozemku. V současnosti je tomuto výzkumu věnována velká pozornost.

2.1 Dálkový průzkum země

Dálkový průzkum země (DPZ) není proces, při kterém jsou pouze získávány fotografie zemského terénu, ale jedná se o komplexní systém, který se skládá z několika na sebe navazujících kroků:

- zhotovení
- transfer
- zpracování
- zhodnocení
- analýza
- užití.

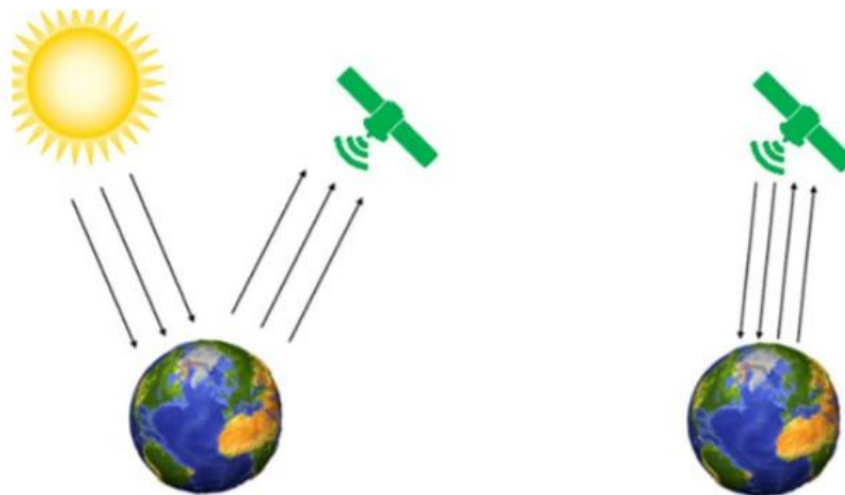
Z DPZ je získán analogový či družicový záznam, se kterým se dále pracuje. Používají se dvě metodiky, a to konvenční a nekonvenční.

Konvenční metody

Konvenční metody stály při zrodu DPZ a stále zde mají své místo. Bohužel je jejich použití někdy limitováno, protože jde o analogové fotografie, které nedosahují rozlišení výstupů nekonvenčních metod. [21]

Nekonvenční metody

Při těchto metodách jsou používána přenosná média, která jsou umístěna na družicích. [17] Výstupy jsou velmi kvalitní a technologie metodiky se stále vylepšuje. Rozlišujeme metody pasivní a aktivní, jak lze vidět na obrázku 4.



Obr. 4: Názorná ukázka metod dálkového průzkumu – pasivní (vlevo), aktivní (vpravo).
(Zdroj: <https://grindgis.com/remote-sensing/active-and-passive-remote-sensing>).

Pro interpretaci výstupu DPZ je třeba znát přesnou polohu, k čemuž slouží Globální navigační družicový systém (GNSS). Kromě toho se GNSS uplatňují také při navigování družic. Tyto družice budou podrobněji popsány v následující kapitole.

2.1.1 Historie vývoje dálkového průzkumu země

Existence dálkového průzkumu země je podmíněna možností utvářet záznamy – fotografie, proto je prvopočátek DPZ spjat s rokem 1839, kdy se Luis Daguerre zasloužil o pořízení první fotografie na světě. O méně, než deset let později už můžeme hovořit o první letecké fotografii, kterou pořídil G. F. Tournachonem. Fotografie byla pořízena z horkovzdušného balonu, a to z výšky 80 m nad zemí. [18]

V roce 1909 Wilbur Wright pilotoval letadlo a pořídil snímky Italské krajiny poblíž Centocelli, které jsou považovány za vůbec první snímky pořízené z letadla. [18]

Jako většina průmyslového odvětví i fotografování zažilo velký boom během první světové války. Fotografování se stalo rutinní záležitostí a byla navržena řada vylepšení pro pořizování kvalitních fotografií.

Po konci první světové války začaly stále častější snahy o lokalizování snímaných míst, k čemuž sloužila fotogrammetrie. Původně tuto technologii využívaly vlády k mapování území, ale postupem času se začaly využívat i ke studii krajiny, zemědělských ploch atd.

Následovalo zpomalení vývoje DPZ, a to především díky nástupu krize ve 30. letech minulého století. Dalším faktorem způsobujícím zpomalení je technická náročnost této metody. [18]

Další pokrok opět přinesla až světová válka. Během ní se začalo kromě viditelného světla pracovat i s infračerveným spektrem a mikrovlnou částí. Zde je nutné říct, že vědci již měli znalosti pro práci s neviditelným světlem, ovšem chyběla jim k tomu technologie, kterou přinesla až zmíněná válka.

Po skončení války byli k dispozici zkušenosti a kvalifikování letci i technologie, nic tedy nebránilo širokému rozvoji problematiky DPZ.

V období studené války bylo snímkování jediným způsobem, jak zjistit informace o aktivitách východního bloku. Běžná byla i špionáž, která byla často opřena o systémy DPZ.

Kromě těchto vládních a vojenských aktivit byl důležitým krokem výzkum Roberta Colwella, který pracoval s infračerveným zářením a užíval jej pro odhalení nemocí obilovin. Na konci 50. let minulého století se DPZ začal používat ke kartografickým účelům. [25]

2.1.2 Americké systémy pro DPZ

Za účelem provádění dálkového průzkumu země byly vypuštěny americké družice Tiros 1, Landsat 1-9 a Terra 1.

Tiros 1

Tato družice byla vypuštěna v roce 1960 a zabývala se klimatickým a meteorologickým monitoringem. Téměř současně s vypuštěním družice byl poprvé použit termín dálkový průzkum země a vláda USA zpřístupnila veřejnosti některé z nástrojů DPZ.

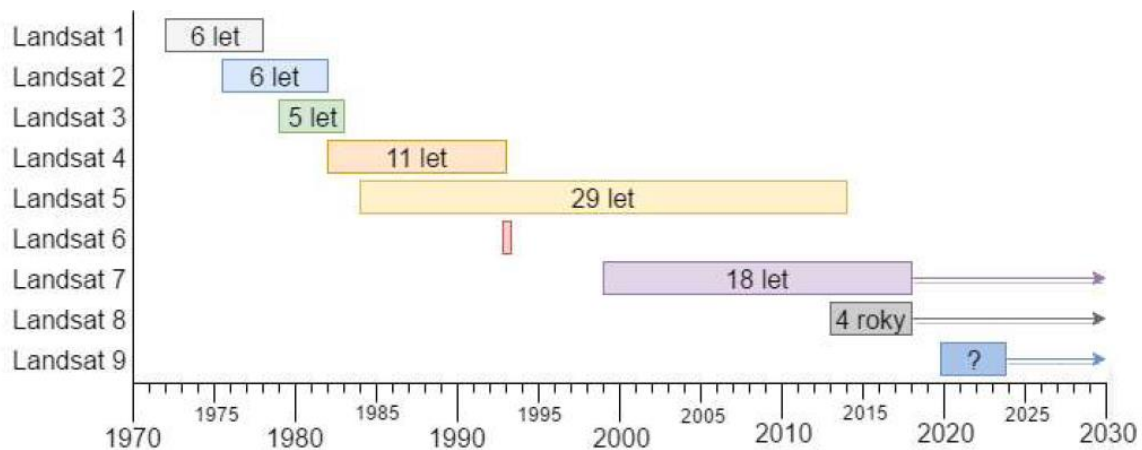
V roce 1960 také Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (NASA) zřídil program, který měl v následujících deseti letech podpořit výzkum tohoto oboru v celých spojených státech. [26] V roce 1970 byla publikována zpráva o výsledcích DPZ především ve vztahu k lesnictví a zemědělství.

Po roce 1980 byla vyvinuta druhá generace přístrojů pro DPZ. Díky nimž došlo ke zvýšení rozlišení z oblastí 30 metrů až do rozlohy menší než 1 metr, což samozřejmě přispělo k významnému posunu při použití v zemědělství, krajinářství atd.

Vědci z Jet Propulsion Laboratory v roce 1980 vytvořili nástroje pro multispektrální analýzu s velmi vysokou detailností spektrálních dat, následkem čehož se ještě více zkvalitnila analytická schopnost dálkového průzkumu. [26]

Program Landsat

První družice tohoto programu byla vypuštěna roku 1972 za účelem opakovaného snímání zemského povrchu. Výstupem byly snímky větší plochy zemského povrchu v několika spektrech, ovšem v poměrně nízkém rozlišení. Tuto situace vyřešil postupný nástup digitalizace a s tím spojený vývoj potřebných softwarů. V současnosti je Landsat nejdéle trvající projekt DPZ. Poslední družice (Landsat 8) byla vypuštěna v roce 2013. Díky tomuto programu máme k dispozici 40 let dat o vývoji krajiny, přírody a zemědělské činnosti. [28] V následujícím obrázku 5 je znázorněna doba používání jednotlivých družic Landsat.



Obr. 5: Zobrazení délky trvání jednotlivých misí. (Zdroj: Pflugmacher, 2012).

Terra 1

Dalo by se říct, že tento satelit doplnil Landsat 1, který neměl nástroje ke globálnímu hodnocení Země. Terra 1 umožnila sledování přírody v celosvětovém měřítku.

Následovaly snahy o vytvoření geoprostorových dat, které by sloužily nejen k DPZ, ale i v problematice geoinformačních systémů a globálních navigačních systémů. [23]

Pro veřejnost se významným rokem stal rok 2005, kdy Google Earth zpřístupnil snímky všem uživatelům.

2.1.3 Evropský systém pro DPZ

Za účelem provádění dálkového průzkumu země byly vypuštěny také evropské družice Sentinel 1-6 z programu Copernicus.

Program Copernicus

Tento projekt vyvinula a vede Evropská vesmírná rada (European Space Agency, ESA), pracuje pod záštitou EU a spadá pod dohled Evropské komise. Jako každý takový systém je i tento tvořen pozemním segmentem a vesmírnou částí (družice). [25] Copernicus využívá družice řady Sentinel.

Pořízené informace by měly sloužit hlavám EU, podnikatelům a vědeckým týmům v otázkách rozhodování. Získané informace se dělí dle odvětví na:

- mořské prostředí
- atmosféru
- bezpečnost
- krizové řízení
- změnu klimatu.

Sentinel 1

- je tvořen dvěma satelity Sentinel-1 A (3.4.2015) a Sentinel-1 B (25.4.2016)
 - družice byly vyneseny z Francouzské Guayany na raketě Sojuz
 - doba oběhu satelitu je 12 dní, časová rozlišovací schopnost celé konstelace je 6 dní.
- [25]

Sentinel 2

- je tvořen dvěma satelity Sentinel-2 A (26.6.2015) a Sentinel-2 B (7.3.2017)
- časová rozlišovací schopnost celé konstelace je 5 dní
- sondy snímají povrch elektronickým skenerem ve dvanácti pásmech od 443 nm do 2190 nm. [25]

Sentinel 3

- je tvořen dvěma satelity a to Sentinel-3 A a Sentinel-3B
- úkolem je monitorovat teplotu zemského povrchu a hladinu moří. [25]

Sentinel 4

- byl vypuštěn za účelem monitoringu plynů O₃, NO₃, SO₂, HCHO a aerosolů. [25]

Sentinel 5

- družice má být vypuštěna v roce 2020
- účelem je mapování atmosféry
- jde o doplnění projektu Sentinel 4. [25]

Sentinel 6

- družice má být vypuštěna mezi lety 2020-2030
- ponese výškoměr pro stanovení hladiny moři, za účelem sledování především klimatických změn. [25]

2.2 Družicové navigační systémy

Téměř žádná moderní technologie využívaná v přesném zemědělství se neobejde bez služeb družicového navigačního systému. Je to jeden ze základních prvků, který přesné zemědělství nabízí.

2.2.1 Historie vývoje družicových navigačních systémů

První družice Sputnik 1 byla vypuštěna roku 1957 a téměř okamžitě se začalo uvažovat o vytvoření globálního navigačního systému. [31] Informace zmíněné sondy poukázaly na to, že stačí jediný průlet družice a budou jasné parametry oběžné dráhy.

Následně bylo ověřeno, že na základě znalostí vlastností oběžné dráhy a polohy družice lze identifikovat polohy přijímače. Na základě těchto souvislostí vznikl první navigační globální družicový systém (GNSS), který pokrýval plochu celé země.

System Transit

Tato družice byla vypuštěna v roce 1957 a patřila námořnictvu USA. Základem byla dopplerovská měření. Systém byl tvořen šesti družicemi a třemi stanicemi. Doba jednoho oběhu Země trvala 107 minut a zaměřit družici trvalo 18 minut. [12] Informace byly vysílány každé dvě minuty. Delší prodleva nepředstavovala problém, protože systém pracoval především pro námořnictvo, tedy pomalu se pohybující předměty.

Během vývoje systému došlo k poměrně velkému zpřesnění a to z 800 m až na 5 metrů. Zlomový byl rok 1967, kdy se systém stal dostupný i pro civilní občany. I přes vysokou četnost užití existuje několik nevýhod tohoto systému:

- nutnost zavádění korekcí vlastní rychlosti
- pouze dvourozměrné souřadnice
- malá přesnost určování polohy
- krátké intervaly dostupnosti signálů a dlouhé intervaly mezi nimi. [12]

V budoucnu kvůli nástupu GPS došlo k zastavení vývoje systému Transit.

Další GNSS systémy

Timation – úkolem tohoto družicového systému bylo vysílat přesný časový signál.

Cyklon – systém vyvinul Sovětský svaz za účelem podpory ponorkového loďstva.

Parus – systém pro loďstvo.

Cikáda – systém tvořen čtyřmi družicemi k civilním účelům.

Všechny tyto systémy trpěly v určité míře stejnými nedostatky jako Transit. Jejich vývoj byl taktéž zastaven příchodem GPS. [12]

2.2.2 Systém GPS

GPS je americký pasivní dálkoměrný systém, který je v současnosti tvořen šesti oběžnými drahami, s pěti až šesti družicemi. Sklon satelitů je 55° a jsou nerovnoměrně rozmístěny. Původně měl být systém jednodušší, pouze tři oběžné dráhy se 24 družicemi. [4]

2.2.3 Systém GLONASS

GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Systema) je taktéž pasivním dálkovým systémem, na jehož vývoji pracoval Sovětský svaz. Oproti Americkému systému využívá nižší oběžné dráhy se sklonem 65° . [22]

2.2.4 Galileo

Posledním systémem z GNSS je Galileo, na jehož vývoji spolupracuje ESA (European Space Agency) a EC (European Commission). Navzdory tomu, že je GPS velmi propracovaným programem, jeho poskytovatelem je armáda USA a informace jsou ostatním uživatelům poskytovány bez záruk. To je jedním z důvodů, proč byl v roce 2000 schválen návrh systému Galileo.

Galileo je iniciativou EU. První satelit byl vypuštěn v roce 2011 a kompletní aktivace systému se očekává v roce 2020, kdy bude aktivních všech 30 družic. [5]

Oproti předešlým systémům jde o nevojenský projekt, jehož funkčnost pro civilní správu zaručují i v případě mimořádné události.

Celkem je Galileo tvořen 27 družicemi a další 3 má v záloze. Družice budou obíhat ve výšce 23 222 km, tedy ve střední oběžné dráze Země v úhlu 56°. Kromě dopravního využití má Galileo potenciál i v energetickém průmyslu, bankovníctví, zemědělství, civilní ochraně, životním prostředím či stavebnictví. [32]

2.3 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Označení UAV vychází z anglického Unmanned Aerial Vehicle, tedy bezpilotní letecké zařízení, někdy také bezpilotní létající prostředek. V evropských zemích převládá označení dálkově řízené letecké prostředky.

Tyto zařízení stejně jako družice či pilotní letouny snímají povrch země, ovšem UAV jsou dle současných studií přesnější (létají níže, mají tedy blíže k povrchu) a jsou ekonomicky výhodnější.

Jak napovídá název, jedná se o letecké zařízení, jež je řízeno z jiného místa, než je paluba. UAV mohou být řízeny třemi způsoby:

- manuálně z pozemní stanice
- automaticky
- poloautomaticky.

Tato technologie byla prvotně vyvinuta pro armádní účely, v současnosti je ale cenným nástrojem mnoha dalších oborů.

Kromě samotného letounu tvoří UAV:

- pozemní řídicí stanice
- fotografické nebo termální kamery
- laserové skenery
- GNSS
- inerciální měřicí jednotka, která slouží pro zjišťování přesné prostorové polohy bezpilotního letadla
- další možné prvky. [9]

2.3.1 Pojem Dron

UAV systémy jsou, především díky mediím veřejnosti, známější pod označením dron. Termín vznikl v armádě USA, která používala bezpilotní letouny jako první. Nejběžněji využívaným typem byl model MQ-1 Predator. [35]

2.3.2 Dělení dronů

Drony lze dělit na základě řady vlastností, nejběžněji se dělí podle konstrukčního řešení. [6]

Letoun

Jak lze vidět na obrázku 6, jedná se o zařízení, jejichž pohyb je umožněn spalovacím nebo elektrickým motorem s tažnou silou. Některé letouny mají i proudovou turbínu, čímž je dán pohyb vpřed, ale ve vzduchu drží letouny vzlaková síla. [17] Tento letoun je plně autonomní a často se využívá pro mapování v přesném zemědělství.



Obr. 6: Model letounu plně autonomní. (Zdroj: <https://www.sensefly.com/about/news/>).

Vrtulník

Na následujícím obrázku 7 lze vidět vrtulník, který je stejně jako letoun ve vzduchu díky vztlakovým silám. Je ale opatřen horizontální vrtulí, proto není potřeba, aby se neustále pohyboval vpřed. Případná nežádoucí rotace je usměrňována ocasní vertikální vrtulí či dvěma rotory umístěnými nad sebou s opačnou rotací.

Dalším rozdílem oproti letounu jsou stabilizační prvky, které dělají z vrtulníku zařízení náročnější na ovládání.



Obr. 7: Model vrtulníku často využívaný pro aplikaci pesticidů v přesném zemědělství. (Zdroj: Fialová, 2017).

Multikoptéry

Jak lze vidět na obrázku 8, jedná se o zařízení, která mají k dispozici sudý počet rotorů, díky čemuž si vytváří vztlak, ale zároveň dochází k vyrušení krouživého momentu. U tohoto typu dronů je směr letu měněn změnou otáček určitého rotoru. Polovina rotorů je levotočivých a polovina pravotočivých a výsledný směr letu je dán výslednicí rotorů. Multikoptéry se často využívají k získávání dat v přesném zemědělství a dělí se dle počtu rotorů na:

- kvadrokoptéry (čtyři rotory)
- hexakoptéry (6 rotorů)

- oktokoptéry (8 rotorů)
- dodekakoptéry (12 rotorů)
- hexadekakoptéry (16 rotorů). [6]



Obr. 8: Model hexakoptéry (6 rotorů).

(Zdroj: Agriculture – Efficient use of resources – see what grows, 2017).

2.3.3 Potenciál UAV v přesném zemědělství

Potenciál využívání dronu v přesném zemědělství je velký. V současnosti jsou sice drony používány jenom velkými podniky v nejbohatších zemích. Rozšíření jejich používání i v rozvojových zemích je spojeno se snížením eutrofizace vod, chemizace půdy atd. [37] Současnou společnost lze dělit na skupinu, která má na zřeteli ochranu životního prostředí (většinou se jedná o rozvinuté země) a skupinu vyhledávající ekonomicky zajímavá řešení (většinou rozvojové země). UAV v určitém směru mají potenciál vyhovovat oběma skupinám.

Výhody UAV oproti pilotovaným letounům:

- nižší náklady na pořízení
- nižší náklady na provoz
- přesnější data (je dáno nižší letovou hladinou)
- jsou šetrnější k ŽP
- je možné nastavit určitý stupeň automatizace. [6]

Drony snímají pole v multispektrálním a infračerveném pásmu. Své místo v PZ mají všechny typy dronů a v současnosti je nejvíce používaným typem multikoptéra. [6]

Navzdory zjevným kladům, které PZ zemědělcům přináší, existuje stále ještě dost otázek, které potenciální precizní zemědělce od pořízení dronů odrazují. Na konferenci přesného zemědělství, která se konala v Praze 7. 3. 2017, byly jako nejčastější překážkou identifikovány tyto základní otázky:

- Vyplatí se nám to?
- Jaké výhody nám to přinese?
- Vráť se nám vložené investice?
- Kdo dokáže ovládat tuto techniku?
- Při jaké rozloze farmy se to vyplatí?
- Jaké dopady to má na zemědělskou produkci? [10]

V rámci konference odborníci odpovídali na zmíněné otázky. Závěrem konference bylo tvrzení, že PZ má potenciál i pro menší zemědělce a zároveň v místech, kde je půda nějakým způsobem degradována, může PZ tuto negativní situaci alespoň částečně vyřešit.

2.3.3.1 Zaplevelení a UAV

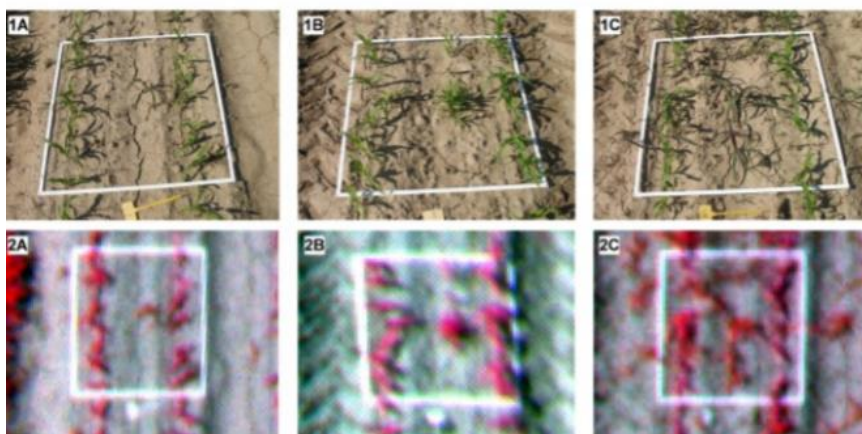
Pokud se na území vyskytnou plevele v takovém množství, aby potlačily plodiny, mluvíme o zaplevelení. V takovém případě zemědělci aplikují herbicidy, a ty se v případě precizního zemědělství aplikují lokálně. Mapování zaplevelení lze provádět i ručně bez použití UAV, ale je to poměrně časově náročné.

Používání DPZ při řešení zaplevelení není novou myšlenkou, ovšem před zavedením dronů bylo díky vzdálenosti mezi satelitem a zapleveleným polem třeba měřit v momentě pozdního růstu plodiny, což je pro hubení plevelů už poměrně pozdě. [15]

Za ideální dobu pro stanovení zaplevelení je brána fáze počátečního růstu, jelikož drony jsou již v této fázi růstu schopny rozlišit plevel od plodiny. Na to navazuje i nižší spotřeba použitých herbicidů na slabě vzrostlé plevele oproti plevelům v pozdější fázi růstu.

Metoda OBIA

Tato metoda stojí na zcela automatickém objektovém obrazovém rozboru, tzv. OBIA (object-based image analysis). Pro zhodnocení celkového zaplevelení je použita šesti-pásmová spektrální kamera. Zobrazení výstupu metody je uvedeno na obrázku 9, kde červené zbarvení indikuje biomasu. Pokud je tedy pěstována plodina v řádcích, může pozorovatel snadno vidět plevely, které prorůstají řádkem. Autoři práce uvádějí, že výsledky mohou být zkresleny, pokud je plodina podobna plevelu, ale i v tomto případě potvrzují použitelnost metody (data byla přesná z 82%). [39]



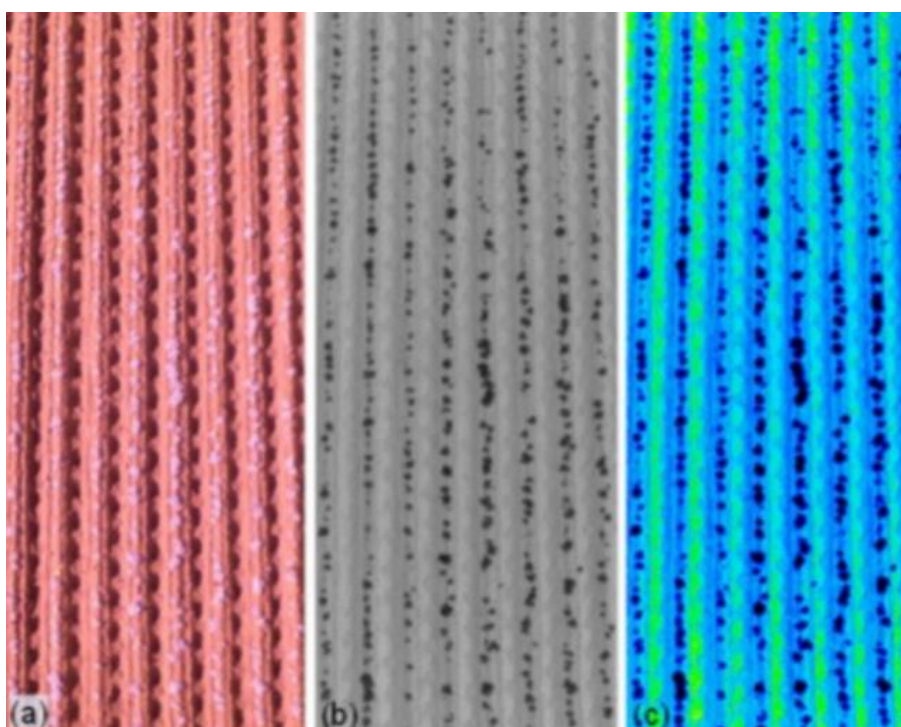
Obr 9: Ukázka zaplevelení a) nízké zaplevelení, b) střední, c) vysoké – fotografie pořízené ze země (nahore) a pomocí UAV (dole). (Zdroj: <http://www.trimble.com/agriculture/ux5>).

2.3.3.2 *Fenotypizace pole a UAV*

Jde v podstatě o genetickou modifikaci plodin. Tato část PZ se zabývá otázkou ideálních podmínek pro rozvoj rostlin. Záměrem je geneticky modifikovat rostliny tak, aby byly odolné proti stresu, škůdcům atd.

Ovšem i v případě, že by bylo poskytnuto dost informací pro vytvoření takové plodiny, nebude možné aby byla “dokonalá“ za každých podmínek. [6] Proto je třeba zmapovat vlastnosti určité oblasti pro pěstování.

Této otázce byla věnována práce *Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review*. Tato práce se mimo jiné zabývá otázkou použití multispektrální kamery, které se používají pro měření růstu a vývoje plodin, sledování jejich vitality, reakce, deficitu živin, tepelného stresu, detekci plevelů, kontrolu vodního režimu atd. Výstupy měření jsou uvedeny na obrázku 10.

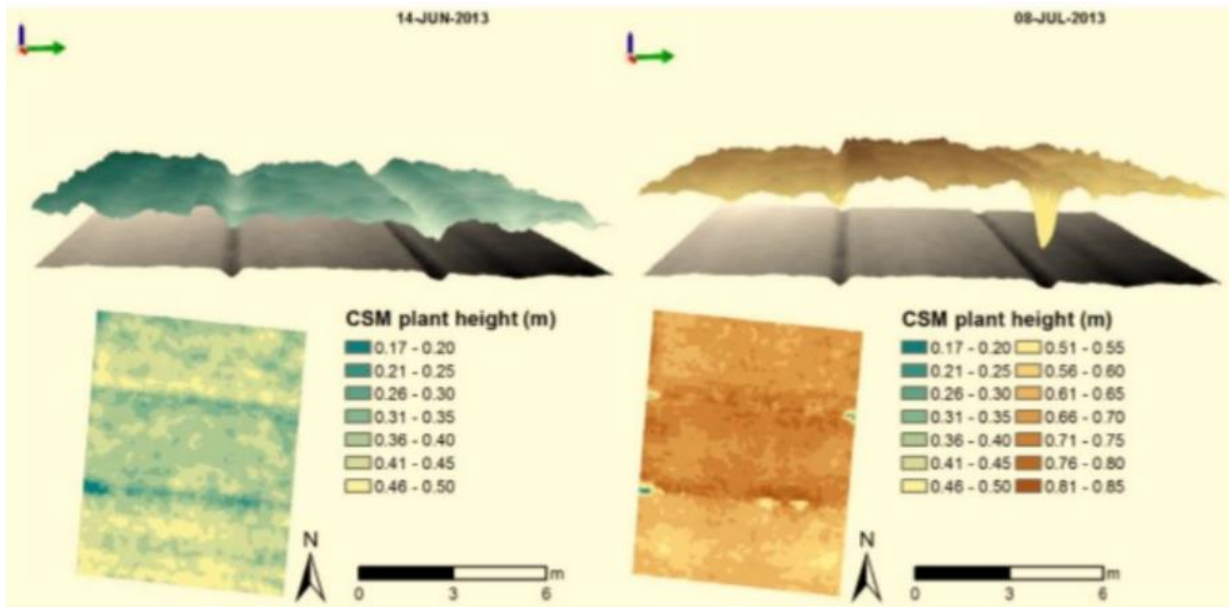


Obr 10: Ukázka růstu brambor 37 dní po sadbě a) v nepravých barvách (NIR jako RGB pásmo, b) NDVI v černobílém odstínu, c) zvýrazněné barvy pro lepší vizualizaci. (Zdroj: Sankaran, 2015).

2.3.3.3 *Odhad biomasy a UAV*

Znalost tohoto parametru je velmi důležitá především při stanovení potřeby hnojení. Běžně se pro hodnocení biomasy pomocí UAV používá metoda CSMs, která zohledňuje především výšku plodin. [2]

CSMs byla porovnána s metodou přímého odběru vzorků. Obrázek 11 zobrazuje výsledky CSMs včetně digitálního modelu terénu a odvozené výšky porostu. Dle autorů byla průměrná chyba při snímkování 0,1 metr, ale na druhou stranu bylo touto metodou zhodnoceno mnohonásobně více plochy, než při přímém vzorkování. Autoři v závěru konstatují, že pro stanovení biomasy je UAV vhodnou metodou, která přináší poměrně přesné a hlavně rychlé výsledky.



Obr. 11: Ukázka zpracovaných dat – digitální model terénu, odvozená výška porostu. (Zdroj: Bendig, 2014).

3 UAVs používané v přesném zemědělství

Drony v současnosti zažívají boom. Využívají se v nejrůznějších odvětvích průmyslu či vědy a často jsou pořizovány i v rámci volnočasových aktivit. V důsledku toho se na trhu objevuje celá řada dronů, ale ne všechny jsou vhodné pro přesného zemědělství.

Následující část popisuje několik konkrétních dronů. Před výběrem konkrétního dronu by si zemědělec měl uvědomit, zda se pro něj hodí typ letounu či multikoptéry. I když má multikoptéra řadu výhod, není schopna obsáhnout za stejný čas tak velkou plochu jako letoun.

Letoun se proto hodí na velké farmy, kde je třeba kontrolovat naráz větší rozlohy. Ovšem letouny mají zpravidla nižší kvalitu snímku a jsou podstatně dražší.

Z pohledu přesného zemědělství patří mezi nejdůležitější parametry UAV:

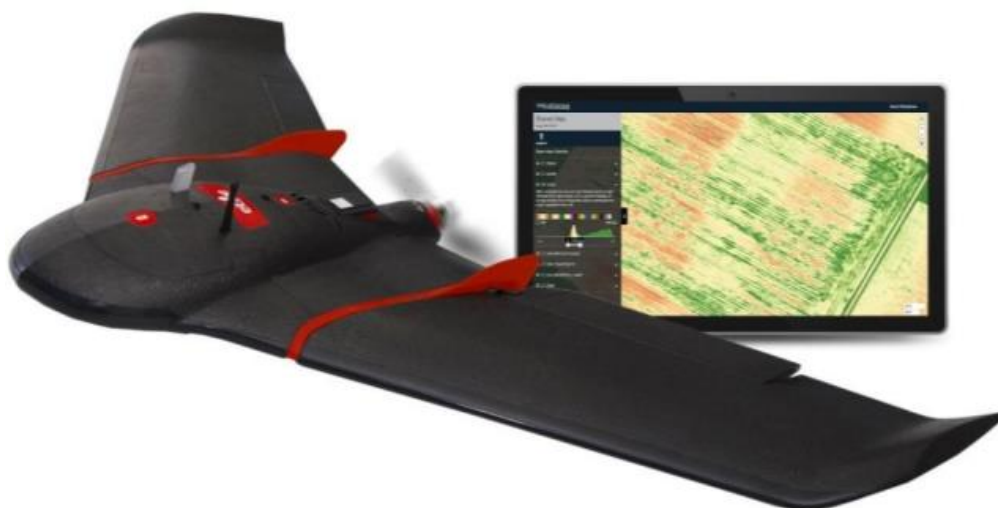
- doletová vzdálenost
- schopnost nést náklad (platí pro drony, které se uplatňují při aplikaci pevných či tuhých hnojiv a jiných chemických látek)
- maximální výška letu
- vybavení (senzory, kamery atd.)
- funkce (stanovení kvality porostu, půdních vlastností atd.)
- pořizovací cena.

Níže jsou konkrétně popsány nejpoužívanější typy UAV, vytvořené k práci v PZ. Jsou specifikovány jejich parametry a využití a pro každý typ je uvedena jeho hlavní přednost. Následuje tabulka, která shrnuje hlavní proměnné při výběru zmíněných dronů.

3.1 SenseFly eBee SQ

Jde o švýcarský dron společnosti SenseFly [35], který je velmi rychlý a oblíbený mezi americkými zemědělci. Dron je vybaven pěti spektrálními snímači (4 spektrální snímače + snímač viditelného světla) a lze jej vidět na následujícím obrázku 13.

Zařízení může pracovat s nejrůznějšími softwery a zaznamenávat vegetační indexy, množství rostlin, vlhkost a teplotu půdy. Dron může zároveň provádět 3D snímání. [35]



Obr. 13: Model SenseFly eBee SQ. (Zdroj: <http://insideunmannedsystems.com>).

Specifikace:

- rozpětí křídel: 110 cm
- hmotnost (včetně dodané kamery a baterie): 1,1 kg
- dosah rádiového spojení: nominálně 3 km (do 8 km)
- fotoaparát: Parrot Sequoia
- automatické plánování 3D letů
- cestovní rychlost: 40 - 110 km
- odolnost proti větru: Až 45 km
- max. doba letu: 55 minut
- max. letový dosah: 41 km
- přistání: Automatické, lineární s přesností ~ 5 m. [35]

3.2 PrecisionHawk Lancaster 5

Americký dron od společnosti PrecisionHawk [37] je označován za nejchytřejší dron současnosti, a to především díky velkému množství příslušenství a s tím spojených funkcí.

Zařízení pracuje nejen s multispektrálním čidlem, ale i se snímači, díky nimž může stanovit aktuální teplotu, tlak, vlhkost a míru slunečního svitu. Umělá inteligence umožňuje, aby se dron do určité míry přizpůsobil.

Dron využívá následující moderní senzory:

LiDar Sensor:

LiDar Sensor používá k obrazovým objektům ultrafialové, viditelné nebo infračervené světlo.

- krátký dosah
- 270 ° skenování
- prostupuje vegetací.

Vizuální senzor:

- kamera s vysokým rozlišením a nízkým zkreslením (RGB)
- produkuje obrázky nebo video
- delší objektiv s ohniskovou vzdáleností pro snímky s vysokým rozlišením
- paměťová karta s vysokou přenosovou rychlostí.

Tepelný / infračervený senzor:

- měří provozní teplotu.

Multispektrální senzor:

- vysoké rozlišení
- vrcholy pod 1 cm na pixel (možnost více pásem).

Hyperspektrální senzor:

- měření výšky rostlin
- hodnocení kvality vody
- výpočet indexu vegetace
- plné spektrální zobrazení
- výzkum a vývoj spektrálního indexu
- průzkumy minerálních a povrchových kompozic.

Letoun PrecisionHawk Lancaster, který lze vidět na následujícím obrázku 14, konkrétně vyhodnocuje povětrnostní podmínky, viditelnost atd. Další výhodou tohoto typu jsou prodloužená křídla, která zabezpečují větší stabilitu, dále také silnější podvozek, který významně zvyšuje odolnost dronu při pojíždění nebo přistání. Platforma Lancaster je postavena na softwaru s otevřeným zdrojovým kódem, což usnadňuje vytváření a integraci senzorů pro všechny libovolné potřeby. [37]



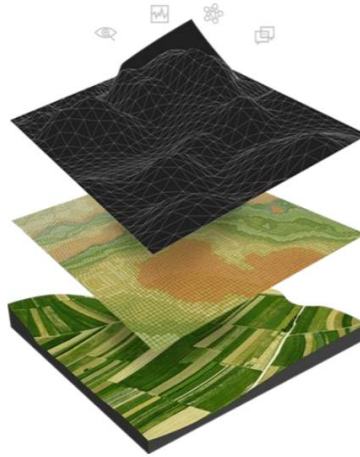
Obr. 14: Model PrecisionHawk Lancaster 5.

(Zdroj: <https://www.precisionhawk.com/media/topic/lancaster-5/>).

3.3 Trimble UX5

Tento dron je z dílny francouzské společnosti Trimble. Jeho velkou výhodou je schopnost provozu i ve velmi nevhodných klimatických podmínkách. Dron je vybaven aplikací Trimble Access Aerial Imaging, která velmi zjednodušuje snímkování za stížených podmínek. Dron je velmi oblíbený díky svojí spolehlivosti a také tomu, že je schopen reverzibilního tahu, takže může poměrně snadno přistávat bez nutnosti vyhledávat delší přistávací dráhy. Na obrázku 16 lze vidět model tohoto dronu.

Velkou výhodou modelu UX5 je jeho jednoduchost ovládaní a spolehlivost zařízení. Stejně jednoduché jsou i případné opravy, kdy stačí nefunkční část vyměnit, bez nutnosti zasáhnout do celého zařízení. Díky tomuto všemu jsou tyto drony ideální pro méně zkušené uživatele. Práce s nimi je velmi intuitivní a velká část řízení je automatizována. Uživatel nastavuje směr letu, ale o přistání i vzletnutí se postará sám dron. [39] Výsledky jsou prezentovány modelem TIN, jak je vidět na obrázku 15 níže. TIN je reprezentace povrchu pomocí vytvoření sítě trojúhelníků kdekoli v prostoru, s přesným umístěním jednotlivých bodů. Proces vytváření této sítě se nazývá triangulace.



Obr. 15: Výstup z dronu. (Zdroj: <http://www.trimble.com/agriculture/ux5>).

Specializace:

- zachycuje 148 hektarů snímků (60 hektarů) při 1 cm rozlišení v jednom letu
- rozpětí křídél: 1m
- hmotnost: 2,5 kg
- výdrž: 50 minut, schopen urazit 52 km. [39]



Obr. 16: Model Trimble UX5. (Zdroj: <http://www.trimble.com/agriculture/ux5>).

3.4 Yamaha RMAX

Tento model, který lze vidět na obrázku 17, byl navržen v Japonsku společností Yamaha ve spolupráci s odborníky z Kalifornské univerzity. Prvotním záměrem bylo sestrojít dron sloužící výhradně k aplikaci postřiků na vinicích. Tento model může být ovšem použit k jakýmkoliv postřikům. Stroj dokáže letět rychlostí až 105 km/h a nést náklad 28 kg. Ve vzletu vydrží 1 hodinu a létá na směs benzínu s olejem. [34]



Obr. 17: Yamaha RMAX. (Zdroj: <https://www.precisionfarmingdealer.com/>).

Specifikace:

- výdrž: až 100 min
- hmotnost (bez postřiků): 64 kg
- maximální vzletová hmotnost: 94 kg
- maximální užitečné zatížení: 28–31 kg
- pohonná jednotka: 1 × vodou chlazený dvouválcový dvoutakt.

Tekutý rozprašovač

- kapacita nádrže: 8 litrů x 2 (2 nádrže)
- aplikace pístem s plochou tryskou
- rychlost aplikace: 1,3 litru až 2,0 litru/minuta.

Aplikace tuhých prostředků

- kapacita nádrže: 8 kg x 2 (2 nádrže)
- aplikace oběžným kolem (průměr 300 mm)
- rychlost aplikace: 2,5 kg/minuta. [34]

3.5 Agribotix Enduro Quad

Tento dron, který je znázorněn na obrázku 18, se kromě zemědělství používá i při pozemkovém planování a při vytváření územních plánů atd. Jeho součástí jsou kamery GoPro Enduro Quad, které umí dělat velmi kvalitní snímky krajiny. Dron dále umí sbírat informace o kvalitě plodin a půdy a ve vzduchu vydrží 28 minut, během kterých je schopen urazit vzdálenost 1,6 km. [36]



Obr. 18: Agribotix Enduro Quad.

(Zdroj:<https://www.precisionfarmingdealer.com/articles/2198-agribotix-farmlens-imageprocessing-offered-via-winfield-answer-tech>).

Specifikace:

- maximální rychlost: 48 km/h
- hmotnost: 2,72 kg
- výdrž: 25 minut
- schopen urazit vzdálenost: 65 ha. [36]

3.6 Agras MG-1

Tento dron se používá především pro aplikaci postřiků. Je vybaven nádrží o kapacitě 10 litrů. Výrobce uvádí, že aplikace postřiků dronem je 10krát rychlejší, než aplikace konvenční. Velké pozitivum tohoto stroje je i to, že jeho nabíjení trvá pouhých 12 minut. Agras MG-1 může pracovat ve třech nastaveních a to:

- manuálně
- poloautomaticky
- autonomně.

Výhodou dronu je i jeho odolnost, je totiž vodotěsný a vybavený protikorozním nátěrem. [38] Model dronu lze vidět na následujícím obrázku 19.



Obr. 19: Agras MG-1. (Zdroj: <https://www.stablecam.com/presentation/agras-mg-1>).

Specifikace:

- váha: 8,8 kg
- maximální rychlost: 80 km/h
- schopnost urazit vzdálenost: 21 km
- maximální rychlost větru, za kterou stroj ještě může pracovat: 40km/h. [38]

3.7 Agri OPTiM

Dron je výsledkem spolupráce univerzity Saga a společnosti OPTiM. Výzkumný tým se zabýval otázkou snížení spotřeby insekticidu v zemědělství, a tím vznikl tento dronem, který lze vidět na následujícím obrázku 19. [36]

Dron pracuje v noci, kdy za pomoci infračervených kamer vyhledává místa s vysokou koncentrací hmyzu. Na tyto místa aplikuje insekticid. Dále může dron likvidovat hmyz za pomoci světelných elektrických pastí (ničí až 50 druhů různého hmyzu).



Obr. 19: Agri OPTiM. (Zdroj: <https://agribotix.com/enduro>).

3.8 Porovnání zmíněných dronů

Následující tabulka 1 obsahuje základní parametry uvedených dronů. Při výběru konkrétního stroje je třeba vycházet ze zmíněných vlastností, ne pouze z jeho ceny. V následující tabulce 1 jsou uvedeny nejdůležitější parametry, na základě kterých je možné vybrat vhodné zařízení.

Tabulka 1: Seznam dronů pro přesné zemědělství.

Model dronu	Hmotnost (kg)	Maximální výška letu (m)	Cestovní rychlost (km/h)	Cena (kč)	Vytrvalost (min)	Postřik	Snímání
Sense Fly eBee SQ	1,1	2000	40-100	280 350	55	Ano	Ano
Precision Hawk Lancaster 5	2,4	2500	43-58	525 700	40	Ano	Ano
Trimble UX5	2,5	5000	85	187 150	50	Ano	Ano
Yamaha RMAX	64	4100	72	2 100 000	100	Ano	Ne
Agrobotix Enduro Quad	2,72	2100	48	250 240	25	Ano	Ano
Agras MG-1	8,8	150	29	250 000	24	Ano	Ne

To, že se drony staly běžným nástrojem přesného zemědělství je patrné i z níže uvedené tabulky, která uvádí vědecké studie využívající ke svému výzkumu konkrétní typy UAV.

Tabulka 2: Seznam studií se zmíněnými drony.

Model dronu	Země	Konkrétní studie
Sense Fly eBee SQ	Švýcarsko Francie Česká Republika	Roze, A., Zufferey, J.C., Beyeler, A. and McClellan, A., 2014. eBee RTK accuracy assessment. Lausanne, Switzerland. Puri, V., Nayyar, A. and Raja, L., 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. <i>Journal of Statistics and Management Systems</i> , 20(4), pp.507-518. Lukas, V., Novák, J., Neudert, L., Svobodova, I., Rodriguez-Moreno, F., Edrees, M. and Kren, J., 2016. The combination of UAV survey and landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture. <i>International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences</i> , 8.
Precision Hawk Lancaster 5	Indie USA	Puri, V., Nayyar, A. and Raja, L., 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. <i>Journal of Statistics and Management Systems</i> , 20(4), pp.507-518. Fernandes, O., Murphy, R., Adams, J. and Merrick, D., 2018, August. Quantitative data analysis: CRASAR small unmanned aerial systems at Hurricane Harvey. In <i>2018 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)</i> (pp. 1-6). IEEE.
Trimble UX5	Polsko ČR USA	Wierzbicki, D. and Krasuski, K., 2015. Estimation of rotation angles based on GPS data from a UX5 Platform. <i>Measurement Automation Monitoring</i> , 61. Dvořák, P., Müllerová, J., Bartaloš, T. and Brůna, J., 2015. UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR ALIEN PLANT SPECIES DETECTION AND MONITORING. <i>International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences</i> , 40. Cosyn, P. and Miller, R., 2013. Trimble UX5 Aerial Imaging Solution.
Yamaha RMAX	USA Švédsko Indie	Kanistras, K., Martins, G., Rutherford, M.J. and Valavanis, K.P., 2015. Survey of unmanned aerial vehicles (UAVs) for traffic monitoring. <i>Handbook of unmanned aerial vehicles</i> , pp.2643-2666. Wzorek, M., Berger, C., Rudol, P. and Doherty, P., 2018, March. Deployment of Ad Hoc Network Nodes Using UAVs for Search and Rescue Missions. In <i>2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON)</i> (pp. 1-4). IEEE. Mogili, U.R. and Deepak, B.B.V.L., 2018. Review on application of drone systems in precision agriculture. <i>Procedia computer science</i> , 133, pp.502-509.
Agribotix Enduro Quad	USA Švédsko	Wahab, I., Hall, O. and Jirstrom, M., 2018. Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa. <i>Drones</i> , 2(3), p.28.
Agras MG-1	Polsko Rusko	Berner, B. and Chojnacki, J., 2017. Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych do opryskiwania upraw rolniczych. <i>Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna</i> , (2). Vu, Q., Raković, M., Delic, V. and Ronzhin, A., 2018, September. Trends in Development of UAV-UGV Cooperation Approaches in Precision Agriculture. In <i>International Conference on Interactive Collaborative Robotics</i> (pp. 213-221). Springer, Cham.

Jako v drtivé většině průmyslového odvětví, i zde se bije otázka kvality a pořizovací ceny. Z tabulky 2 vyplývá, že nejschopnějším typem dronu na základě jeho vlastností je model Yamaha RMAX, ovšem jeho cena je opravdu vysoká. Je to stroj, který je schopen nést bezkonkurenčně největší zásobu postřiku a také dokáže na jedno nabití vydržet v provozu nejdéle. Jeho použití je ale omezené, jelikož není vhodný pro získávání dat pomocí snímkování. Je tedy potřeba brát v úvahu, zda se dron vyplatí při používání primárně na postřik plodin nebo půdy.

Nejuniverzálnějším z uvedených modelů je PrecisionHawk Lancaster 5, který má nespornou výhodu ve množství senzorů, se kterými je schopen pracovat. Díky tomu umožňuje získávat rozmanité množství informací, které lze účinně využít ke zlepšení a zpřesnění zemědělských prací.

Dron se vyplatí pro velké podniky, které mají v současnosti možnost zainvestovat do inovací, nebo které mají na základě analýz jistotu, že jim pořízení dronu zajistí zvýšení produkce, snížení spotřeby hnojiv, vody, postřiků atd.

Závěr

Hlavním cílem práce bylo vytvořit analýzu současného stavu dostupných technologií pro přesné zemědělství a syntézu znalostí fungování přesného zemědělství a zásadních prvků, bez kterých by nemohlo fungovat. Součástí práce bylo také vyhodnocení důležitosti techniky, zejména bezpilotních letounů, v kontextu přesného zemědělství.

Práce nejdříve seznamuje s pojmem přesného zemědělství a popisuje jeho klady i zápory, co lze pomocí něj zaznamenávat, jak zatím funguje a jaký má potenciál do budoucna. Část práce technicky popisuje dálkový průzkum země a důležitost globálních navigačních systémů, které dohromady s určitou moderní technikou vedou společně k úspěšnému fungování přesného zemědělství. Práce pojednává o moderní technice se zaměřením na stále více nepostradatelné a využitelné bezpilotní letouny, zavedení těchto strojů do kontextu přesného zemědělství a určení jednotlivých možností, které stroje pro jejich uživatele nabízí. Další část se věnuje konkrétním typům bezpilotních letounů, aktuálně ve světě nejvíce používaných při práci v přesném zemědělství. Jsou popsány jejich přednosti a přínos, který mohou majiteli přinášet na základě jejich schopností a vlastností. Na základě toho jsou v práci uvedeny i studie, které tyto výsledky prokazují. V závěru je díky této syntéze vytvořeno porovnání zmíněných dronů podle nejzásadnějších parametrů, které hrají největší roli při samotném výběru.

Ve výsledku v porovnání nejlépe uspěl model Yamaha RMAX, který je bezkonkurenční svými technickými vlastnostmi, jako jsou délka fungování na jedno nabití nebo třeba vzletová hmotnost. Vyznačuje se ale jednoznačně nejvyšší cenou a v praxi je výrazně omezen typem použití, který je zaměřený přímo na postřiky půdy nebo rostlin. Pro účely mapování či snímání půdy i porostu je nejvýhodnější typ Precision Hawk Lancaster 5, jež je vybaven několika vyměnitelnými druhy senzorů a pomáhá získávat mnohá data, použitelná například pro predikci růstu nebo zdraví rostlin. Z toho plyne, že každý model se hodí pro jiný typ využití, a proto je důležité si upřesnit, za jakým účelem chce provozovatel letoun používat. Ideální řešení je vlastnit více typů letounů tak, aby dokonale plnily co možná nejvíce zemědělských činností. To je však z finančního hlediska pro jednotlivé zemědělce nereálné. Pro velké zemědělské společnosti je taková koupě otázka prvotní analýzy vlastního postupu práce a posouzení, zda se taková investice pro dané hospodaření vyplatí.

Tato práce může sloužit jako inspirace v rozhodování, zda zavést používání speciálních bezpilotních letounů do zemědělské praxe. Pomáhá pochopit fungování moderního přesného

zemědělství a dokazuje, že do budoucna jsou techniky s ním spojené prokazatelně prospěšné a mají svůj potenciál. Nicméně jsou zmíněny i stinné stránky, tedy že aktuálně je technika pro toto zemědělství velice finančně náročná a její řízení vyžaduje často odbornou obsluhu.

Nacházíme se tedy v době, kdy je zavedení přesného zemědělství provázeno ziskem. Vždy je ovšem potřeba nejdříve zohlednit řadu faktorů a počítat s prvotní vyšší investicí do moderní techniky. Přesné zemědělství je ale obor, jehož nástroje se vyvíjí závratnou rychlostí a jeho přínos je pro budoucnost nesporný.

Věřím, že tyto poznatky a navržená řešení použiji i ve své další práci.

Seznam použitých zdrojů

KNIŽNÍ ZDROJE

1. Bartoš, M., 2019. Využití dat z družice Sentinel pro sledování změn v krajině vybraného zájmového území.
2. Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S. and Bareth, G., 2014. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging. *Remote Sensing*, 6(11), pp.10395-10412.
3. Carolan, Michael. "Publicising food: big data, precision agriculture, and co-experimental techniques of addition." *Sociologia Ruralis* 57, no. 2 (2017): 135-154.
4. Cohen, C.E., 2016. Performance and Cost Global Navigation Satellite System Architecture. U.S. Patent Application 14/632,663.
5. Falcone, M., Hahn, J. and Burger, T., 2017. Galileo. In *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems* (pp. 247-272). Springer, Cham.
6. Fialová, K., 2017. Využití bezpilotních leteckých prostředků v precizním zemědělství.
7. Godwin, R.J., 2002. Precision Farming-A Multidisciplinary Approach for Cereal Production. In *Physical Methods in Agriculture* (pp. 105-118). Springer, Boston, MA.
8. Hlavinka, P., Meitner, J., Lukas, V., Semerádová, D. and Trnka, M., 2018. Předpověď krajských výnosů cukrové řepy v České republice na základě dat družicového snímkování. *Listy Cukrovarnicke a Reparske*, 134.
9. Chan, B., Guan, H., Jo, J. and Blumenstein, M., 2015. Towards UAV-based bridge inspection systems: A review and an application perspective. *Structural Monitoring and Maintenance*, 2(3), pp.283-300.
10. Jarolímek, Jan, Jan Masner, Jiří Vaněk, and Ludmila Pánková. "Hodnocení přínosů technologií precizního zemědělství v řepářství." *Listy Cukrovarnicke a Reparske* 135, no. 2 (2019).
11. Karas, J. and Tichý, T., 2017. *Drony*. Computer Press, Albatros Media as.
12. Kocián, D., 2018. Tvorba 3D modelu vybraných objektů vojenského opevnění s využitím optického korelačního systému.
13. Kocum, J., 2018. Dálkový průzkum jako indikátor změn struktury půdního pokryvu.
14. Kolečka, J. and Plánka, L., 2018. Technical report: The development and experience with UAV research applications in former Czechoslovakia (1960s–1990s). *Pure and Applied Geophysics*, 175(9), pp.3375-3390.

15. LÓPEZ-GRANADOS, F., 2011. Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research*, 51(1), pp.1-11.
16. Lukas, V., L. Neudert, and J. Křen. "Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství." Brno: Mendelova univerzita v Brně (2011).
17. Lukas, V., Novák, J., Neudert, L., Svobodova, I., Rodriguez-Moreno, F., Edrees, M. and Kren, J., 2016. The combination of UAV survey and landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8.
18. Lukas, V., P. Ryant, L. Neudert, T. Dryšlová, P. Gnip, and V. Smutný. "Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství." (2012).
19. Maybrodskyy, O., 2018. Posouzení změn na vybraném ostrově v Karibském moři po hurikánu v roce 2017 z dat dálkového průzkumu Země.
20. Mulla, D. and Khosla, R., 2016. Historical evolution and recent advances in precision farming. *Soil specific farming*. CRS Press, Boca Raton, FL. <https://www.taylorfrancis.com/books/9781482245349> (accessed 15 Nov. 2018).
21. Neudert, V.L.L., Optimization of soil sampling in sustainable agricultural systems.
22. Nýč, M., Brant, V., Kroulík, M., Smutný, V., Kusá, H., Růžek, P., Zábranský, P., Neudert, L. and Lukas, V., 2015. Technologické postupy využití strojů pro diferencované zpracování půdy a cílenou aplikaci hnojiv do půdy: certifikovaná metodika. Kurent, sro.
23. Pedersen, S.M., Fountas, S., Have, H. and Blackmore, B.S., 2006. Agricultural robots—system analysis and economic feasibility. *Precision agriculture*, 7(4), pp.295-308.
24. Pflugmacher, D., Cohen, W.B. and Kennedy, R.E., 2012. Using Landsat-derived disturbance history (1972–2010) to predict current forest structure. *Remote Sensing of Environment*, 122, pp.146-165.
25. River, A., 2016. The Sentinel satellites revolutionise environmental observation. *Alfa. Revista de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica*, 30, pp.56-61.
26. Sankaran, S., Khot, L.R., Espinoza, C.Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V.R., Vandemark, G.J., Miklas, P.N., Carter, A.H., Pumphrey, M.O., Knowles, N.R. and Pavek, M.J., 2015. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*, 70, pp.112-123.

27. Shahbazi, M., Théau, J. and Ménard, P., 2014. Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4), pp.339-365.
28. Shockley, J., Dillon, C.R., Stombaugh, T. and Shearer, S., 2012. Whole farm analysis of automatic section control for agricultural machinery. *Precision Agriculture*, 13(4), pp.411-420.
29. Schimmelpfennig, David. Farm profits and adoption of precision agriculture. No. 1477-2016-121190. 2016.
30. Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Anderson, I.C. and Singh, B.K., 2016. Response of soil properties and microbial communities to agriculture: implications for primary productivity and soil health indicators. *Frontiers in plant science*, 7, p.990.
31. Václavek, A., 2015. *Základy satelitní navigace*.
32. Vaňkát, T., 2018. *Systém družicové navigace Galileo a algoritmy určení polohy* (Bachelor's thesis, České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.).
33. Vaz, A.S., Alcaraz-Segura, D., Campos, J.C., Vicente, J.R. and Honrado, J.P., 2018. Managing plant invasions through the lens of remote sensing: A review of progress and the way forward. *Science of the Total Environment*, 642, pp.1328-1339.

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

34. Cnet. Japan develops a drone to patrol farmland and destroy insect pests. [online] 2018 [cit. 2019-10-04]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/japan-develops-adrone-to-patrol-farmland-and-destroy-insect-pests/>.
35. Inside Unmanned Systems. SenseFly Partners with MicaSense to Offer Ag Professionals End-to-End Drone & Cloud Processing Solution. [online] 2018 [cit. 2019-09-30]. Dostupné z: <http://insideunmannedsystems.com/sensefly-partners-micasenseoffer-ag-professionals-end-end-drone-cloud-processing-solution%E2%80%A8/>.
36. Precision Farming Dealer. Agribotix Farmlens Image Processing Offered Via WinField Answer Tech. [online] 2018 [cit. 2019-09-27]. Dostupné z: <https://www.precisionfarmingdealer.com/articles/2198-agribotix-farmlens-imageprocessing-offered-via-winfield-answer-tech>.
37. Precision Hawk Lancaster. Introducing the Lancaster 5. [online] 2018 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.precisionhawk.com/media/topic/lancaster-5/>.

38. Stablecam. Agras MG-1. [online] 2018 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <https://www.stablecam.com/presentation/agras-mg-1>.
39. Trimble. Trimble UX5 Aerial Imaging Solution for Agriculture. [online] 2018 [cit. 2019- 10-30]. Dostupné z: <http://www.trimble.com/agriculture/ux5>.