

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Zhodnocení kvality letecké aplikace minerálních hnojiv

Diplomová práce

Bc. Martin Maděra

Zemědělská technika

Prof. Dr. Ing. František Kumhála

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Maděra

Zemědělské inženýrství

Zemědělská technika

Název práce

Zhodnocení kvality letecké aplikace minerálních hnojiv.

Název anglicky

Assessing the quality of mineral fertilizers air application

Cíle práce

Na základě měření vyhodnotit kvalitu a výkonnost letecké aplikace minerálních hnojiv. Porovnat získané výsledky s aplikací pozemní. Poukázat na výhody a nevýhody obou přístupů. Zhodnotit případný potenciál v současném systému zemědělství.

Metodika

Vypracovat literární rešerši zaměřenou na aplikaci minerálních hnojiv a její hodnocení.

V jarních měsících 2020 udělat polní měření zaměřená na leteckou aplikaci minerálních hnojiv. Vyhodnotit dosažené výsledky se zaměřením na rovnoměrnost aplikace a výkonnost.

Porovnat dosažené výsledky s pozemní aplikací.

Doporučená osnova práce:

- 1) Úvod.
- 2) Literární rešerše zaměřená na hnojení minerálními hnojivy.
- 3) Cíl práce.
- 4) Metodika měření.
- 5) Naměřené hodnoty, jejich zpracování a vyhodnocení.
- 6) Diskuse a porovnání s pozemní aplikací.
- 7) Závěr.

Doporučený rozsah práce

40-60 stran

Klíčová slova

hnojení, minerální hnojiva, letecká aplikace, kvalita rozmetání

Doporučené zdroje informací

Internetové zdroje zaměřené na letecké hnojení a ochranu rostlin.

Kumhála, F., Heřmánek, P., Mašek, J., Kvíz, Z., Honzík, I.: Zemědělská technika-stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. Praha: ČZU Praha v nakladatelství Powerprint s.r.o., 2007, 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7

Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P.: Engineering Principles of Agricultural Machines, ASAE Textbook No. 6, ASAE 2950 Niles Road, St Joseph, Michigan 49085-9659, Pamela DeVore-Hansen-Editor, Books and Journals, USA, 1993, ISBN 0-929355-33-4

Stout, B. A., Cheze, B: CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume III – Plant Production Engineering. ASAE 2950 Niles Road, St Joseph, Michigan 49085-9659, USA, 1999, ISBN 1-892769-02-6

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 04. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Zhodnocení kvality letecké aplikace minerálních hnojiv" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. května 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Františku Kumhálovi za cenné rady, odborné vedení a čas při konzultacích. Dále pak sdružení National Agricultural Aviation Association za poskytnuté materiály k práci.

Velký dík patří také mé rodině, za trpělivost, a že mě umožnila studium na vysoké škole.

Zhodnocení kvality letecké aplikace minerálních hnojiv

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá, na základně literární rešerše a praktické části, leteckou aplikací. První část diplomové práce je zaměřena na historický vývoj letecké aplikace v zemědělství. Současně s historií a vývojem letecké aplikace v zemědělství je zde představena řada zemědělských letounů, se kterými se dnes můžeme setkat při letecké aplikaci. Druhá část diplomové práce nabízí čtenáři přehled o leteckých navigačních systémech používaných v současné době a čtenář se dále může seznámit se zatím nejslibnější součástí letecké aplikace v zemědělství, a to UAV. V poslední části je uvedena praktická část práce při návrhu a výroby měřicího zařízení, které je nezbytné pro provedení experimentu k zhodnocení kvality letecké aplikaci minerálních hnojiv.

Klíčová slova: hnojení, letecká aplikace, minerální hnojiva, kvalita rozmetání

Assessing the quality of mineral fertilizers air application

Summary:

The thesis deals with aeronautical application on the basis of literary research and practical part. The first part of the diploma thesis is focused on the historical development of aviation applications in agriculture. Simultaneously with the history and development of aeronautical applications in agriculture, a number of agricultural aircraft are presented here, which we can encounter today in aeronautical applications. The second part of the thesis offers the reader an overview of air navigation systems currently used and the reader can get acquainted with the most promising part of aviation applications in agriculture, UAV. The last part presents the practical part of the work in the design and manufacture of measuring equipment, which is necessary to perform an experiment to evaluate the quality of aerial application of mineral fertilizers.

Keywords: fertilization, mineral fertilizers, aerial application, spreading quality

1. Úvod	1
2. Literární rešerše zaměřená na leteckou aplikaci minerálními hnojivy.....	2
2.1 Historie zemědělských letadel a jejich využití.....	3
2.2 Zemědělská letadla	14
2.2.1 Ag-1	14
2.2.2 Piper PA-25 Pawnee	15
2.2.3 Ag-2	17
2.2.4 Grumman G-164 Ag Cat	18
2.2.5 Cessna 188.....	20
2.2.6 Embraer EMB 202 Ipanema	21
2.2.7 PZL-106 Kruk.....	23
2.2.8 Zlín Z-37 Čmelák	24
2.2.9 Air Tractor Inc.	26
2.3 Navigační systémy pro leteckou aplikaci v zemědělství	28
2.3.1 Letecké navigace od firmy AG-NAV Inc.....	30
2.3.2 SATLOC.....	33
2.3.3 DynaNav Systems Inc.....	36
2.4 UAV v zemědělství 4.0	38
2.4.1 Topografický průzkum	38
2.4.2 Fyziologické posouzení	39
2.4.3 Biofyzikální posouzení	40
2.4.4 Biologické monitorování	40
3. Cíl práce.....	43
4. Metodika	44
5. Praktická část	45
5.1 Stanovení normativu pro granulové hnojivo.....	45
5.1.1 Normativ pro NPK.....	45
5.1.2 Normativ pro močovinu.....	48
5.2 Výroba měřícího zařízení	50
6. Diskuse	55
7. Závěr	57
8. Literatura.....	58
9. Seznam obrázků	61

1. Úvod

Na dnešní celosvětové scéně se začíná čím dál tím více věnovat pozornost tématům, o kterých se dříve vědělo, ale z tehdejšího pohledu se zdálo, že se jedná o neperspektivní cestu, tedy nemající ve světovém zemědělství budoucnost. Považovaly se za technicky velmi náročné a neefektivní způsoby hospodaření na půdě. To již v dnešní době není tak zcela pravda. Pomohl tomu technický pokrok, ale především změna společenského názoru. Ve světě se v poslední době začíná hojně diskutovat o chránění životního prostředí a o snaze příliš nezasahovat do přirozených přírodních procesů. Proto se začíná uvažovat o již dříve opomíjených způsobech hospodaření. Dříve hojně využívané způsoby jsou znovu zkoušeny uvést v praxi, tyto technologické procesy jsou skombinovány s novou dostupnou technikou. Zhutnění půdy je jedno z velkých témat dnešního zemědělství. Začínající snaha o regulaci přejezdů po poli, snaha o sjednocení rozhodů kol u všech zemědělských strojů. Tyto faktory znatelně ovlivňují výnosy ze sklizených plodin. Zde se proto začíná uvažovat o technologickém procesu, kdy by zemědělský stroj vjel na dané pole pouze na začátku při setí, a poté až na konci, tedy při samotné sklizni. Všechny procesy, které jsou nezbytné provést mezi těmito dvěma úkony by bylo přenecháno na zemědělských letadlech, nebo na UAV, neboli Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letoun). Jakákoliv forma postřiků a jakákoliv forma hnojení, by tedy bylo prováděno pomocí letecké aplikace.

Tato práce je zaměřená na zhodnocení letecké aplikace minerálních hnojiv. Diplomová práce je založena na reálném využití v praxi. Výzkumný projekt vznikl z iniciace firmy FERRY Air s.r.o., kdy právě tato firma oslovila katedru zemědělských strojů na Technické fakultě České zemědělské Univerzity v Praze. Cílem projektu je zhodnotit leteckou aplikaci hnojení minerálními hnojivy v porovnání s pozemní aplikací minerálních hnojiv. V práci je zahrnuta realizace a sestavení měřicího zařízení na pozdější praktické měření při letecké aplikaci. Práce by měla zájemce o danou problematiku seznámit se základními fakty o letecké aplikaci, jak hnojiv, tak i postřiků. V práci se také můžete dočíst o historii letecké aplikace nebo o nejnovějších leteckých navigacích navržené přímo pro zemědělské využití.

2. Literární rešerše zaměřená na leteckou aplikaci minerálními hnojivy

Změna celosvětového klimatu, dopady globálního oteplování a neustále se zvyšování lidské populace, přenáší na oblast zemědělství neustále nové a nové výzvy. „Podle údajů Organizace OSN pro výživu a zemědělství, jejímž úkolem je snaha o uspokojení lidské populace v oblasti výživy, dosáhne lidská populace 10 miliard lidí před rokem 2050.“ Tato skutečnost vyvíjí nátlak na celosvětové zemědělství, aby bylo schopno celou populaci uživit. To by znamenalo, že světová produktivita zemědělství by se musela zvýšit o 14 až 28 %. To vede odbornou společnost ke snaze o zvýšení výnosů u všech pěstovaných plodin. Nové úvahy se obrací i na využití letecké aplikace hnojiv a postřiků, protože samotná aplikace je velmi šetrná k půdě a k již rostoucím plodinám. Jedná se o technologii aplikace, kdy není nutné ničit část úrody nezbytnými přejezdy po poli za účelem hnojení a aplikací postřiků. Do dnešní doby se k tomuto způsobu hojně využívaly zemědělská letadla, které jsou schopna obhospodařit rozsáhlé výměry. S rozvojem techniky přicházejí však modernější a menší letecké stroje které jsou nazývány UAV (Unmanned Aerial Vehicle), například drony. O UAV se obzvláště v posledních letech zvýšil zájem vědecké komunity o nasazení dronů v zemědělství, jejich schopnost vyhledávání a následnou možnost eliminace problému u rostlin. K tomuto účelu může být dron osazen řadou senzorů. Může se jednat o nedostatek živin, tedy dron je schopen určit nedostatek a cíleným přihnojením tento problém vyřešit. Také může objevit, že rostlina je v nějaké části pole napadena, proto dokáže velmi cíleně aplikovat potřebný postřik přímo na postižené rostliny. Tato budoucí vidina je ovšem zatím jen ve fázi výzkumu. Největší podíl leteckého zemědělství stále nese klasické zemědělské letadlo, které tyto funkce plní již 100 let [1].

S tímto tématem se v dnešní době, v českém prostředí, již příliš nesetkáme. V našich podmínkách se s leteckou aplikací hnojiv a postřiků setkáváme hlavně v období po 2. sv. válce a na konci 90. let minulého století. Ve světě je ovšem situace jiná a letecká aplikace je zde velmi častá a populární. Největší využití tohoto technologického procesu je hlavně v Severní a Jižní Americe, a poté ještě velmi rozšířené v Austrálii, kde to neodmyslitelně patří k hospodaření velkých farem.

2.1 Historie zemědělských letadel a jejich využití

Celý koncept leteckého využití v zemědělství se poprvé objevuje ve Spojených státech amerických po skončení první světové války, kdy tato válka představuje prudký posun ve vývoji techniky. Kdy se v roce 1915 objevuje do té doby příliš málo častý stroj, a to letadlo. Během první světové války začíná masová produkce těchto nových strojů. Po skončení oné války se hledají nové způsoby, jak tyto stroje využít v civilním životě. Možnost využití v zemědělství se poprvé objevuje v roce 1921, kdy jsou ve státě Ohio, u města Troy, napadeny rozsáhlé lesnaté porosty stromu Katalpy Trubačkovité škůdcem larvy můry sfingy, tedy Catalpy Sphinx. Dřevo stromu Catalpy bylo velmi důležitým zdrojem pro místní ekonomiku, kdy se jeho dřevo používalo pro stavbu telefonních sloupů, železničních vazeb a při stavbách rodinných domů. Tyto larvy tedy napadaly ony stromy a začaly je postupně likvidovat. S nápadem využít letadlo k aplikaci prachu arzeničnanu olova, který hubí onu larvu, přišla C.R. Nellie. C.R. Nellie byla entomoložka pracující na Ministerstvu zemědělství v Ohio. Navrhla tedy využít vojenského letadla ke shozu onoho prachu na napadený lesní porost. Myšlenka se z počátku netěšila velké důvěře a hodně jejich kolegů bylo k tomuto postupu velmi skeptických. Nakonec byl ale projekt schválen a tento experiment dostala na starosti Federální letecká stanice v McCook Fieldu v Daytonu ve státě Ohio. Letadlo použité pro tento test neslo označení „Jenny“. Jednalo se o bývalý vojenský dvouplošník pilotovaný poručíkem John A. Macready. Jednalo se o stroj Curtiss JN-6, který můžete vidět při aplikaci na obrázku č.1. V letadle byl dále přítomen Entienne Dormoy, jeho úkolem bylo z druhého sedadla za pilotem ručně dávkovat arzeničnan olova. K tomuto účelu sám Dormoy navrhl zařízení, na surový kov s ručně ovládanou klikou, které bylo přimontováno k trupu letadla. Kapacita tohoto zařízení byla 32 galonů, tedy přibližně 121 litrů prachu. 3. srpna 1921 letadlo odletělo ze své základny v McCook Fieldu a začalo s aplikací insekticidu na nedaleké háje katalpy, jednalo se tedy o úplně první pokus leteckou aplikací postřiku. Průběh experimentu se skládal z první části, kdy letadlo muselo šestkrát přeletět nad stromovým hájem, při stálé aplikaci insekticidu. Druhá fáze experimentu spočívala ve vyhodnocení celkové účinnosti chemického ošetření porostu. Po šesti dnech, kdy se nechal arzeničnan olova působit bylo na stromech pozorováno v cílové oblasti méně jak 1 % hmyzu z původního množství. Tenkrát byly tyto výsledky považovány za obrovský úspěch a slibný začátek pro leteckou aplikaci v zemědělství [2][3].



Obrázek 1: Vojenské letadlo "Jenny" využití k první letecké aplikaci insekticidu v zemědělství [2]

Úspěch prvního experimentu na sebe nenechal dlouho čekat a hned následující rok, tedy roku 1922, přišla další možnost vyzkoušet tuto novou technologii v zemědělství znovu. Již počátkem 20. století se v jižních státech Spojených států amerických začíná hojně objevovat brouk Květopas bavlníkový, který se do těchto jižních států přesouvá z Mexika. Jak už druhé jméno brouka napovídá, jedná se o brouka živícího se na mladých výhoncích právě bavlníku, který je nosným prvkem ekonomiky v jižanských státech, kde se nacházejí rozsáhlé plantáže bavlníku a dále průmysl, který ho následně zpracovává. Tato oblast se nazývala Cotton Belt, tedy bavlníkový pás. Výskyt tohoto brouka znamená ekonomickou katastrofu. Do konce roku 1922 bylo Květopasem bavlníkovým napadeno přibližně 1 590 260 km². Pouze 235 690 km² zůstalo škůdcem nedotčené. Tedy jenom 12,9 % celkové úrody bavlníku bylo nezasaženo. Proto jsou již od začátku výskytu brouka vedeny snahy o jeho likvidaci, ale kvůli neefektivní aplikaci insekticidu tyto snahy přichází vniveč. Samotný brouk je velmi odolný a jeho rychlá reprodukce všechny snahy o jeho likvidaci znemožnila. Zlom nastává v roce 1922 kdy jsou využity modifikované stroje Curtiss JN-6. Do letadla je naložen opět práškový insekticid, tentokrát arzeničan vápenatý, a začíná se s leteckou aplikací. Tento krok slaví úspěch, kdy je insekticid ve velmi krátké době aplikovaný na rozsáhlých plochách. Je zřízena experimentální laboratoř na výzkum a aplikaci pro boj se škůdci napadající zemědělské plodiny, a to v Scott Fieldu u Tallulah ve státě Luisianě. Postupným laděním technologického postupu a zvyšováním účinnosti insekticidní směsi vedlo ke zlepšení způsobu jejich skladování a aplikaci. Podle výzkumné zprávy z roku 1929 zvýšila letecká aplikace prachu arzeničnanu vápenatého výnosy

bavlny v průměru o 130 kg na hektar. Kdy dosavadní výnos byl 867 kg bavlny na hektar. Jednalo se tedy o 15 % nárůst výnosu [3].

První možnost jiného využití v zemědělství, než bylo dosavadní aplikace práškového insekticidu, nastala v roce 1930, kdy postihly ostrov O'ahu, v oblasti Honolulu, rozsáhlé lesní požáry. Bylo nutné na jednom z havajských ostrovů obnovit těžce poškozený lesní porost. Pro toto znovu osetí, byly jako efektivní a rychlá možnost vybrána právě zemědělská letadla firmy Huff-Daland Dusters, Inc. Jednalo se v té době o první čistě zemědělský podnik zabývající se leteckými aplikacemi, kdy si pro tento druh podnikání firma vyrobila spoje vlastní zemědělské letadlo Puffer. Ono letadlo můžete vidět na obrázku 2. Požárem poničená krajina tedy byla znovu oseta pomocí zemědělských letadel, které ve svých zásobnících nesly semena stromů. Jak již bylo zmíněno, jednalo se o rychlý a efektivní proces znovuobnovy, ale bylo po bližší nespecifikované době uvedeno, že celkové znovu zalesnění mělo pouze velmi malou účinnost. Mnohé ze shozených semen se neujaly, nebo dopadly a vzešly v blízkosti dalších semen. Požárem zničený kus země a znovu osetý, se nachází na obrázku 3 [3][4].



Obrázek 2: Přestavěné zemědělské letadlo Firmy Huff-Daland Dusters, Inc [3]



Obrázek 3: Znovu zalesněná oblast ostrovu O'ahu [4]

Přes malou účinnost leteckého znovu osetí letního porostu, se stále využívá letecké aplikace. Letecké setí bylo obzvláště žádané v méně než pohostinném terénu. Tedy v horských oblastech, kde byl minimální přístup ze země. Důkazem toho je závěr výzkumné činnosti provedený výzkumnou stanicí Massebesic Ecperimental Forest ve státě Maine, kdy tam v roce 1940 došlo k rozsáhlým požárům lesního porostu v horské oblasti. Došlo tedy k znovu zalesnění s pomocí letecké aplikace. Závěrečná zpráva vypovídá, že letecký výsev nad spáleným lesem je ekonomicky přijatelný a poskytuje rychlou distribuci osiva. Na základě této zprávy se začíná využívat leteckého výsevu všude po Spojených státech amerických, ale i například v Kanadě nebo v Austrálii. Avšak část odborné společnosti měla výhrady k této zprávě, protože zde nebyla uvedena celková účinnost znovu vzešlého porostu k velikosti výsevu [5].

Velký boom nastal po skončení druhé světové války, kdy aviatika prodělala velký skok dopředu. Začalo se s častým používáním letecké aplikace v zemědělství, a to nejen ve Spojených státech, ale i u nás v Evropě, potažmo v tehdejší Československu. V Evropě se letecká aplikace hojně využívá k aplikování hnojiv a k aplikaci postřiků. Nutno říct, že k využívání zemědělských letadel k osetí zemědělské půdy nedochází, nebo jen velmi zřídka. To se ale nedá říct o Austrálii, kdy po skončení války tam nastává tak zvaná malá zemědělská revoluce, kdy jsou velké nevyužívané plochy země přetvořeny v zemědělskou půdu. Pro zasetí tak velkého množství plodin na velké ploše jsou nasazeny zemědělská letadla. Samozřejmě i zde se dále po zasetí využívá letecké aplikace ke hnojení a postřiku plodin. Toto období dává

vzniku oblasti nazvané Small Corn Belt, tedy malý kukuřičný pás, a to v návaznosti na Corn Belt (kukuřičný pás), který se nachází v USA. Právě Small Corn Belt v Austrálii byl vysazen za pomoci vzdušné aplikace osiva ze zemědělských letadel. V Americe je touto dobou zaznamenáno první využití zemědělských letadel pro hašení požáru. Byl k tomu využit zemědělský letoun Boeing Stearman, který pomohl zvládnout požár v Mendocino National Forest v Kalifornii. Letadlo bylo k tomuto účelu upraveno. Z letadla byla odmontována řada stříkacích ventilů a místo nich byly umístěny otevírací klapky. To byl však problém, protože klapky ke svému otevření potřebovaly vnější impuls. To však bylo záhy vyřešeno, kdy byly klapky provázány lanem a jeho konec byl umístěn v kokpitu letadla. Pilot musel nad požárem přelétat s otevřenou kabinou, aby mohl nad oblastí shozu vypustit 600 litrů hasící směsi. Využívání zemědělských letadel k hašení požárů bylo čím dál tím víc na vzestupu. Zpráva z roku 1956 od Forest Service dokumentovala její účinnost, proto se stát Kalifornie rozhodl ke přestavbě šesti zemědělských letadel na letecké tankery. Letadla byla po přestavbě zařazena jako součást tamních hasičských sil, kde si za své nasazení, u více jak 25 různých požárů, vysloužily velký obdiv. V následujícím roce byla letka rozšířena o dalších šest přestavěných zemědělských strojů. Letecké hašení požáru v Kalifornii inspirovalo i ostatní státy, nejen v USA ale i v Evropě, ke vzniku vlastních leteckých hasičských programů. V roce 1959 dochází k odloučení leteckého hasičského programu od toho dosavadního zemědělského, kdy se letecký hasičský průmysl stává samostatně se vyvíjející se oblastí průmyslu [6][7].

Zemědělská letadla mají bohužel v historii i svoji temnou stránku, kdy byly nasazeny ve válce ve Vietnamu. Roku 1964 byla odborná zemědělská společnost oslovena ministerstvem obrany Spojených států o nalezení způsobu deflorizace husté džunglové vegetace, která za války poskytovala úkryt nepřátelským silám, a představovala značnou nepřesnost letecké podpory pozemním jednotkám. Proto byl založen výzkumný institut zabývající se výzkumem a vývojem letecké aplikace v zemědělství. Tento institut se nazývá USDA Agricultural Research Service a sídlí ve státě Texas na College Station. K deflorizaci rozsáhlých ploch džungle byl vyžadován výzkum k nalezení nejúčinnějších herbicidů a postřikových metod. To se i po krátkém čase povedlo. Do Vietnamu byla přesunuta malá část zemědělských letadel, která ihned začala s aplikací herbicidů na porost. Později byly tyto letadla nahrazeny již upravenými vojenskými letadly, ale v prvních měsících létaly zemědělské stroje. Vyobrazení této letecké aplikace můžeme vidět na obrázku 4. Do konce války bylo na území Vietnamu, Laosu a Kambodži svrženo 75 milionů litrů tohoto herbicidu. Bohužel jejich následky je možné dodnes pozorovat. Tento herbicid, pod kódovým označením Agent Orange, byl vyroben na bázi

spolany. Bohužel měl velký účinek jak na vegetaci, tak i po jeho vsáknutí do půdy, kdy se potravou přenáší dodnes do těl místních obyvatel, kde se ukládá v tukách. Jeho dopad na dnešní populaci je, že se rodí postižené děti. Plod je v těle matky ovlivněn herbicidem uloženým právě v tukách matky [8][9]



Obrázek 4: Letadla aplikující koncentrovaný herbicid za války ve Vietnamu [9]

Přes všechny tyto dnes odsouzené skutky institut USDA-ARS funguje dodnes a patří k největšímu výzkumnému centru pro vývoj letecké aplikace v zemědělství na světě. Během své existence výzkumný institut velkou měrou přispěl k zefektivnění a k zpřesnění letecké aplikace. Sám institut je majitelem řady patentů v oblasti letecké aplikace a zároveň se jedná o nejvyšší kontrolní institut na letecké zemědělství v USA [8].

Další větší průlom v letecké aplikaci nastal roku 1975, kdy byl představen turbínový motor. Turbínové motory razantně pomohly zvýšit rychlost zemědělských strojů, a dopomohly tak k rychlejšímu způsobu ošetření nebo hnojení zemědělských plodin. Kromě zvýšení rychlosti zemědělských letadel měla tato nová technologie vliv i na objem a váhu nezbytných součástí letadla k provozu stroje. To zapříčinilo, že stroj byl schopen pojmout větší užité zatížení a také byl méně poruchový než dosavadní hvězdicové motory s pístovým pohonem. Celkový užité prostor se zvýšil o 75 %, což představuje velké množství postřiku nebo hnojiva navíc [10].

Málo známým faktem v oblasti GPS je, že úplný prapůvod vzniku již dnes neodmyslitelně známé GPS navigace, můžeme nalézt právě v leteckém zemědělství. Tato skutečnost naznačuje, jak o významnou část zemědělství se jedná, tedy alespoň mimo evropské státy. Celá myšlenka byla postavena na echo lokátoru, kdy do letadla bylo umístěné zařízení, které vydávalo echo signál a na každém kraji pole byly umístěny echo přijímače. Podle doby odrazu od jednotlivých přijímačů bylo možné kontrolovat polohu zemědělského letadla a pomocí světelné lišty, která se skládala ze série světel a čísel, bylo možné pilota navádět k dalšímu pásu průletu. Tento způsob byl převzat americkou armádou a přes nemalé úpravy dal možnost vzniknout GPS navigaci, kterou známe dnes [11].

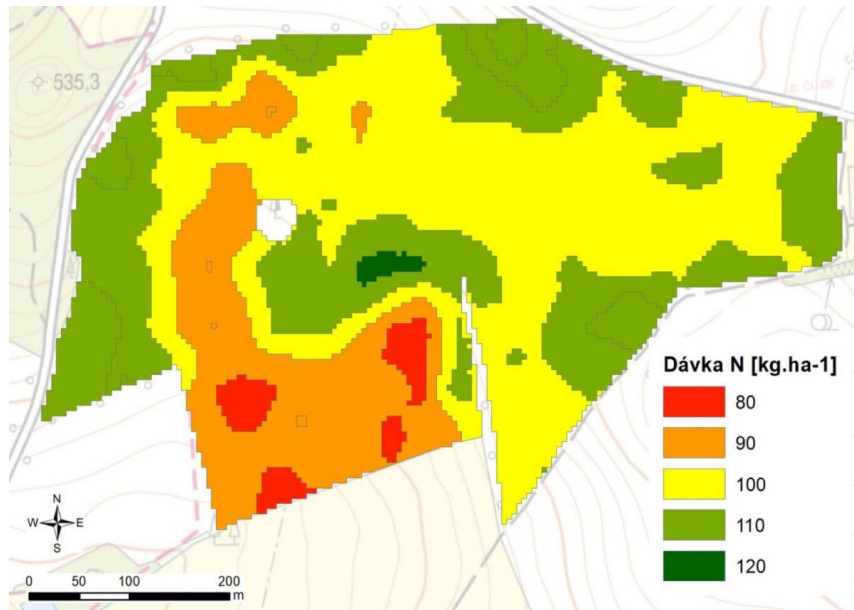
Velkou otázkou při vzdušné aplikaci hnojiv a postřiků je bezpečnost dopadu aplikované látky na dané místo, bez nebezpečí dopadu. Vlivem větru je samozřejmě snaha o přesnost aplikaci velmi ztížena. Proto vznikl první vysokorychlostní větrný tunel, který se používal k měření velikosti kapiček z leteckých aplikací. Toto zařízení bylo postaveno ve výzkumném institutu USDA-ARS. Díky simulacím v tomto zařízení bylo možno definovat letecké korekce pro dané zemědělské letadlo nesoucí daný zemědělský postřik nebo hnojivo za různých povětrnostních podmínek. Došlo tedy ke zvýšení účinnosti a zmírnění povětrnostního driftu. Údaje z tohoto zařízení se staly rozhodujícím faktorem pro budoucí registraci hnojiv a postřiků pro letecké aplikace. Tento tunel se využívá dodnes a je velmi podstatným zdrojem informací pro současné letecké aplikátory [12].

Ke komerčnímu využití GPS dochází až kolem roku 1993. GPS se stává komerční tři roky po válce v Perském zálivu, kde je tato technologie poprvé využita. GPS poskytuje velmi přesný způsob, jak docílit přesného navádění letadla do aplikačních řádků. Tato technologie přispěla velkou měrou ke snížení dávek postřiků a k cílené aplikaci. Poskytuje také rozhodující prvek, aby v leteckém zemědělství mohlo začít se zaváděním precizního zemědělství, což dopomohlo k aplikaci potřebného materiálu pouze tam, kde je to nutné. Došlo taky k možnosti specifikace aplikované dávky na základě zdraví rostlin a také na základě dřívějších sklizní. Tato důležitost technologie je podtržena průzkumem provedeným NAAA (National Agricultural Aviation Association) z roku 1994, kdy bylo zjištěno, že za pouhý rok byla GPS technologie namontována na 25 % všech registrovaných zemědělských letadel v Severní Americe [13].

V roce 2000 dochází v chemické oblasti zemědělství k využívání nových postřiků. Příkladem je třeba zástupce strobilurinového fungicidu, který je schopen potlačit velké

množství běžně se vyskytujících rostlinných patogenů na širokém spektru zemědělských rostlin. Díky své schopnosti zabránit řadě nemocí plodin, je zvýšení výnosu u pěstovaných rostlin, ale tyto látky se mnohdy nedají použít preventivně na mladou rostlinu. Je zde potřeba aplikovat až na vzešlý dospělý porost. Tato skutečnost vyvolává otázky, zda je nezbytné, aby byla část úrody zničena koly pozemních zemědělských strojů. Proto dostává hlavní slovo letecké zemědělství, protože jak už bylo zmíněno, je nutno provést ošetření na již vzešlé dospělé rostliny. Letecká aplikace odstraňuje zničení části úrody přejezdem zemědělského stroje. V těchto letech dochází k nárůstům registrace nových zemědělských letadel. Dle výzkumu USDA-ARS jsou výnosy po aplikaci strobilurinových fungicidů zvýšeny o 23 až 25 %. Ve výsledku dosáhneme stejné úrody ze čtyř hektarů ošetřeného pole jako z pěti hektarů neošetřeného pole. Což může vést ke snížení potřeby zemědělských ploch, tedy k zintenzivněnému zemědělství [14].

S začátkem používání GPS se začíná s digitálním zkoumáním polí. Vznikají takzvané „precizní mapy zemědělských ploch“. Tyto snímky polí mohou být pořízeny ze satelitů nebo z letadel, později se k těmto možnostem přidávají i drony (UAV). V prvních letech proto bylo hodně zemědělských letadel vybaveno dodatečně fotografickým zařízením, podíl snímků pořízených letadly byl větší, než počet snímků pořízených satelity. Do těchto map je možno zanechat informace o výsevu, množství dodaných živin a množství postřiku nebo například výnos. Tyto mapy se brzy staly nedílnou součástí precizního zemědělství, a to znamená pro zemědělce hospodařící na této ploše, velký přínos informací. Příklad takové mapy je na obrázku 5. Také se jedná o pomůcku při plánování dalších agrárních postupů [15].



Obrázek 5: Ukávka digitální mapy pro precizní zemědělství [15]

Jak již bylo dokázáno dříve, tak setí pomocí zemědělských letadel nevykazuje nijak vysokou účinnost. Je však skupina rostlin, které nepotřebují žádnou speciální technologii pro zasetí. Jedná se o tak zvané krycí plodiny. Jedná se o nenáročné plodiny vysazené za účelem zkvalitnění stavu půdy. Krycími plodinami jsou často traviny a luštěniny. Výsevem semen pomocí letecké aplikace, podle výzkumu USDA-ARS, značně přispívá ke zlepšení stavu půdní eroze, k udržení a tvorbě půdních živin, zlepšení podmínek pro udržení vody v půdě. Na obrázku 6 můžete vidět zemědělský letoun při výsevu krycí plodiny. Velkou měrou k tomuto stavu přispívá fakt, že jsou enormně omezeny přejezdy těžké zemědělské techniky. S přechodem na precizní zemědělství v posledních několika letech se ve Spojených státech vyznačuje velkou oblibou vysetí krycích plodin pomocí vzdušné aplikace. Celková výměra krycích plodin v roce 2012 činila přibližně 25 milionů hektarů, o pět let později už celková výměra krycích plodin činila přibližně 37 milionů hektarů [16].



Obrázek 6: Zemědělský letou sejíci semena krycí plodiny [16]

Nová éra leteckého zemědělství přichází s nástupem UAV (Unmanned Aerial Vehicle), tedy například dronů. Drony se začínají uplatňovat v zemědělství v roce 2013. Ze začátku se drony využívaly k výškovému digitálnímu průzkumu povrchu planety jako například monitorování půdy a plodin. Tedy tyto snímky byly použity k tvorbě různých digitálních map využívaných precizním zemědělstvím. Drony se také začínají využívat k samotné letecké aplikaci hnojiv a postřiků v menších rozlohách, také se kombinují se zemědělskými letadly jako doplňkový nástroj. O celé problematice UAV bude v diplomové práci věnována celá jedna kapitola. Přes všechny přínosy je zde, ale i jeden omezující faktor pro klasickou leteckou aplikaci. Narůst počtů dronů, jak v zemědělství, tak i v komerční sféře, značně přispělo k ohrožení leteckého provozu. Byla zaznamenána řada srážek letadel s neohlášenými drony. Zemědělská piloti se obvykle pohybují v rozmezí 30 až 200 metrů nad úrovní terénu, což je i dostupná výška pro drony, bez toho však existuje řada omezujících a pozornost vyžadujících prvků v krajině, jako stromy, telefonní sloupy, elektrické vedení a jiné výškové stavby. Na rozdíl od větších pevných překážek mohou být malá bezpilotní letadla prakticky neviditelná a potenciálně smrtelná pro piloty zemědělských letadel, ale i pro piloty jiných letadel nebo vrtulníků. Srážky s drony se staly i jednou ze situací, které se začínají simulovat pro piloty ve výcviku na leteckých simulátorech, viz. obrázek 7. Proto začala řada iniciativ pro omezení a pravidly svázané povinnosti pro piloty dronů. Drony by měly být do budoucna vybaveny technologií pro snímání a vyhýbání se zábleskovými světly a sledovací technologií, nebo technologií sdělující vedoucímu letového provozu svou pozici automaticky. Jedná se však o

velmi technicky a finančně náročnou možností. Další možností, která se již v dnešní době uvádí v praxi, jsou povinné požadavky na výcvik pilotů dronů, a s tím spojené vydávání licencí a certifikátů k možnosti obsluhovat systémy bezpilotních letadel. [15][17]



Obrázek 7: Letecký simulátor, simulující srážku s UAV [17]

2.2 Zemědělská letadla

2.2.1 Ag-1

První letadlo, které bylo speciálně vyrobeno pro zemědělské letectví, bylo představeno v prosinci roku 1950. Jednalo se o jednomístný stroj nazvaný Ag-1. Jeho název byl původně Agricultural airplane 1 (v překladu: Zemědělský letoun 1), což bylo příliš dlouhé a pro marketing nevyhovující. Stroji bylo jméno proto změněno na Ag-1 a je vyobrazeno na obrázku č.8. Stroj byl navrhnut a postaven pod vedením Freda Weicka z Texas A&M Aircraft Research Center. Ag-1 měl rozpětí křídel necelých 12 metrů, jeho pohon tvořil motor Continental E-225. Byl to vodorovně protilehlý vzduchem chlazený šestiválcový motor o výkonu 225 koňských sil, přibližně 168 kW, který se v té době používal pro pohon menších letadel. Stroj většinou při letecké aplikaci létal v rozmezí rychlostí od 90 do 135 kilometrů za hodinu, byl však schopen i vyšších rychlostí, a to až 180 kilometrů za hodinu, které se dosahovalo při transportních letech. Stroj byl schopný na jedno natankování urazit 640 kilometrů, jeho maximální výšková dostupnost činila něco kolem 3 700 metrů. Požadavky na vzlet a přistání byly velmi malé, stroj dokázal vzlétnout i přistát na rovném poli, oficiální požadavek na délku vzletové plochy činil 400 metrů. Hlavními konstrukčními požadavky na vývojáře bylo, aby letadlo odolalo drsnému a nebezpečnému pracovnímu prostředí. Proto jeho skelet byl více jak o 25 % robustnější, než tomu bylo u stejně malých letadel obvyklé. Samozřejmě tou nejdůležitější podmínkou byl prostor na umístění tekutého nebo pevného materiálu, který byl pomocí mechanismu vypouštěn za letadlem. Výpustní ventily byly umístěny na celém zadním kraji křídel. Násypka na hnojivo nebo postřik byla umístěna pod kokpitem a pomocí rozvodů a rozdělovače byl tento materiál převeden do zásobníků, které byly umístěny ve vnitřku křídel. Jejich celková kapacita byla 568 litrů. Jednou ze zajímavostí byl podvozek letounu, který nebyl zatahovací, z tohoto důvodu byly hrany podvozku nabroušeny a osazeny čepelemi. A to z jednoduchého důvodu, kdyby letoun operoval v oblastech, kde mohly být nataženy různé telegrafní dráty atd. Z tohoto důvodu konstruktéři přidali tyto čepele na podvozek, aby předešli havárii a letadlo raději samovolně tyto nástrahy prořízlo [18].



Obrázek 8: První speciálně vyrobené zemědělské letadlo Ag-1 [18]

V roce 1951 byl stroj poslán na celonárodní předváděcí cestu, kdy s ním po celý rok vzlétlo asi 650 různých zemědělských pilotů, aby otestovali jeho vlastnosti a schopnosti. Jelikož se jednalo o jednomístný stroj, nebylo možné, aby na palubě stroje při letu, byl ve stroji přítomen i instruktor. Proto byla před letem prováděna dlouhá seznamující prezentace. Jen tato skutečnost, v té době přidávala na jeho věhlasu, protože i přes tolik absolvovaných letů s různými piloty, nebyla zaznamenána jediná nehoda nebo krizová situace. Letadlo Ag-1 bylo velmi jedinečným strojem, jelikož jeho prvky a poznatky byly poději začleněny do každého nového modelu zemědělského letadla [18].

2.2.2 Piper PA-25 Pawnee

Stejně jako u předchozího zemědělského letadla je spojen vznik stroje Piper PA-25 s jménem Fred Weick. Ten byl během roku 1953 osloven společností Piper, aby přijal místo jako konzultant pro jejich stroje PA-18 a PA-18A. Jeho úkolem bylo navrhnout a nadále testovat rozvody a aplikační mechanismus pro dávkování hnojiv, postřiků a osiv. Byla to první snaha o aplikační mechanismus, kdy by šlo za letu přepínat z pevného skupenství na tekuté skupenství a obráceně. Ještě v tom roce společnost Piper sponzorovala Universitu Texas A&M, za účelem

navrhnutí a sestavení dalšího speciálně zemědělského letadla. Letadlo mělo vycházet z konceptu Ag-1, ale co nejvíce se podobat přestavěnému stroji PA-18. Výsledkem je stroj Piper PA-25. Stroj byl menší než stroj Ag-1 a jednalo se o ocelový trup potažený látkou. PA-25 absolvoval svůj první let v listopadu 1954. Do roku 1959 byl stroj vyráběn v malých sériích, které byly neustále modifikovány až do května 1959, kdy byla zavedena sériová výroba tehdy modifikovaného stroje PA-25 Pawnee. Stroj je zachycen na obrázku 9. Hlavní výrobní továrna byla umístěna v Lock Haven v Pensylvánii. Letadlo prošlo řadou modifikací až do roku 1981 kdy byl vyroben poslední kus. Jednalo se o poslední kus z 5 167 Pawnee, které byly vyrobeny. Oblibu tohoto letadla lze doložit již samotným množstvím vyrobených a prodaných strojů, ale i faktem, že se tato letadla používají dodnes. Výroba byla na krátkou dobu obnovena, protože roku 1988 odkoupila společnost Latino Americana de Aviación SA v Argentině licenci na výrobu a servisování letadel PA-25 Pawnee [19].



Obrázek 9: Zemědělský letoun Piper PA-25 Pawnee [19]

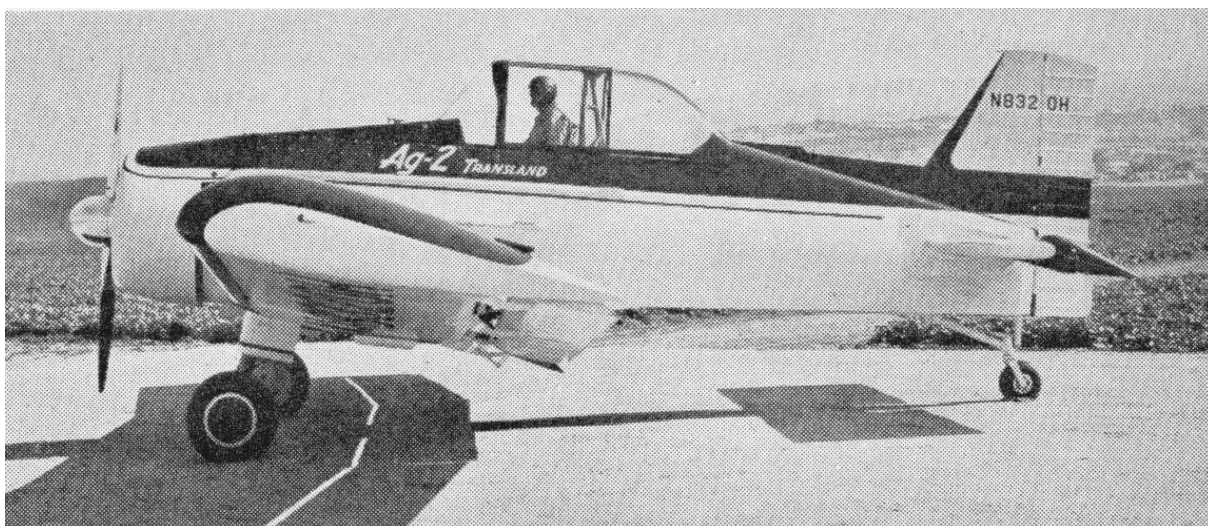
Jedná se o jednomístný zemědělský letoun poháněný motorem Lycoming O-540 o výkonu 260 koňských sil (194 kW). Sedadlo bylo umístěno vysoko v trupu, aby byl z kokpitu výborný rozhled do všech stran. Násypka na doplňování byla umístěna před kokpitem, jelikož se samotná palivová nádrž u raných verzí letadla nacházela mezi motorem a kabinou. Doplnovací rozvody vedly podél palivové nádrže kvůli ušetření délky rozvodů. U pozdějších verzí byla nádrž, jako u stroje Ag-1, přesunuta do křídel. Z mála nehod, které tyto zemědělské stroje

zažily, kdy po nárazu přišla exploze palivové nádrže, se poučili i konstruktéři, kteří vylepšili palivové nádrže, které s obalovaly směsí skleněných vláken a gummy. Tato technologie se používala během druhé světové války u samosvorné nádrže, kdy po zásahu do nádrže se guma kolem tohoto místa stáhla a zabránila úniku paliva, což zamezovalo následnému vzplanutí a výbuchu leteckého paliva. Tím vzniklo dodatečné místo a zásobníky na užitečný prostor mohly být zvětšeny. Tyto zásobníky se nacházely pod kabinou a v oblasti za kokpitem. U konečné verze stroje činí kapacita na tekuté materiály 568 litrů a 545 kg na pevné materiály. Rozpětí křídel je 11,02 metrů a délka letadla je 7,55 metrů. Samo letadlo je při prázdném stavu velmi lehké a jeho váha činí pouze 662 kg. Maximální možná rychlost vyvinutá letadlem je 188 kilometrů za hodinu. Dosah letadla na jednu plnou palivovou nádrž je 500 km, maximální výšková dostupnost je 3 963 metrů [19].

2.2.3 Ag-2

Jak už název napovídá také tento stroj vychází z legendárního stroje Ag-1. Stroj Ag-2 vznikl na popud George Winga, Loyda Stearmana a Toma Watsona. Iniciativu o jeho vznik se zasloužili tito pánové ze spolku Aerial Agriculture v Sydney v Austrálii. Spolek Aerial Agriculture je spolek leteckých zemědělců v Austrálii. Dosud se mělo jednat o první speciálně vyrobené letadlo pro zemědělství mimo USA. S návrhem pomáhal George Roth, který se podílel na stavbě zemědělského letadla Ag-1, proto je i tento nový stroj podobný tomu předchozímu. Myšlenkou nebylo navrhnout a vyrobit jen čistě zemědělské letadlo, ale i letadlo které by bylo schopno pojmout velké množství hasící směsi pro boj s požáry. Stavba letadla započala v roce 1954, ale už při samotné stavbě byla výroba přesunuta do města Torrance v Kalifornii. Tedy původní záměr o výrobu zemědělského letadla mimo USA se nepovedlo. Stejně tak jako Austrálii i Kalifornii ohrožují časté vzniky rozsáhlých požárů. Proto původní koncept o navržení jak zemědělského letadla, tak leteckého hasícího tankeru byl ponechán. Pro hašení bylo nutné navrhnout velké skladovací nádrže, což znamenalo, že letadlo ke vzletu potřebovalo mnohem více energie, než tehdy měla letadla na leteckou aplikaci v zemědělství. Stroj byl osazen motorem Pratt & Whitney R-985 o 450 koňských silách (336 kW). Tento výkon umožnil do letadla naložit 900 kg užitečného materiálu. Pozdější verze byla osazena motorem P&W R-1340 o výkonu 600 koňských sil (448 kW), to umožnilo zvýšit i užitečné naložení z 900 kg na 1 350 kg. S navýšením výkonu byl v letadle připojen i zadní kokpit pro dalšího pilota. Letadlo uskutečnilo svůj první let roku 1956, druhá verze Ag-2 N8331H vzlétlo v Torrance v červnu 1958, poslední verze Ag-2 N8232H byla vyrobena v Panamě v roce 1959.

Jak již toto napovídá, nejednalo se o masově vyráběný stroj. Letadlo Ag-2 bylo hodně nadčasovým a v té době nedoceneným strojem. Letadlo se nachází na obrázku č.10. Jeho prvky byly v 80. letech minulého století znovu zaváděny a uplatňovány na nově vznikající koncepty. Pro svou dobu byla ovšem rozhodujícím faktorem jeho pořizovací cena, která činila v roce 1956 25 000 USD. V porovnání s tímto byla cena za předělaný vojenský letoun Stearmans a námořní letoun N3N pouhých 5 000 USD [20].



Obrázek 10: Zemědělsko/hasící letadlo Ag-2 [20]

Délka letadla byla 8,5 metru, výška stroje byla 2,9 metrů. Celkové rozpětí křídel bylo 12,1 metrů, od předchozích strojů byly křídla tohoto letadla velmi hluboké a vysoké. To umožňovalo takové užité zatížení, protože většina nádrží jak na užitný materiál, tak i palivové nádrže byly uloženy právě v křídlech [20].

2.2.4 Grumman G-164 Ag Cat

Ne všechna zemědělská letadla vychází z konceptu stroje Ag-1. Důkazem pro to může být velmi úspěšný stroj Firmy Grumman G-164 Ag Cat. Stroj je možno si prohlédnout na obrázku 11. V roce 1955 konstruktéři ze společnosti Grumman, byli jimi Joe Lipper a Arthur Koch, předložili vedení společnosti návrh na sestavení zemědělského letadla na leteckou aplikaci hnojiv a postřiků. Tento návrh byl přijat, protože firma chtěla uspokojit naléhavou poptávku po zemědělských letadlech v zemědělské komunitě a také diverzifikovat své produkty. Marketingový průzkum provedený na počátku naznačoval, že by firma mohla být schopná

prodat 100–200 letounů ročně. Počáteční projekt byl pojmenován Farmair 1000. První stroj G-164 byl postaven v květnu 1957 a absolvoval celkem 46 zkušebních letů, kdy dokázal, že se jedná o dobře navržené a odolné letadlo. Firma Grumman neměla s výrobou odolného letadla žádné konstrukční ani ideologické problémy, jelikož firma byla tou dobou velmi známým výrobcem vojenských letadel, jako byly F4F Wildcat a F6F Hellcat. Tyto stroje byly během druhé světové války jedny z nejnásazovanějších letadel, jak na evropském, tak i na tichomořském bojišti, kdy tyto stroje prosluly svojí extrémní odolností. Kvůli této skutečnosti byl původní projekt přejmenován na G-164 Ag Cat. Šlo hlavně o příponu Cat, kterou měly ve jméně všechny letouny vyráběny společností. Díky velkým vojenským kontraktům měla firma dostatek financí k financování projektu, ale na druhou stranu nebyla schopna stroje G-164 Ag Cat vyrábět sama, aniž by ohrozila vojenské kontrakty. Z toho důvodu byla výroba zemědělského letounu přenesena na subdodavatele Schweizer aircraft Company z Elmiry v New Yorku. Firma vyrobila roku 1958 podle dodané dokumentace svůj první stroj, který byl odeslán na zkoušky do firmy Grumman, aby došlo ke kontrole, že stroj bude mít i při výrobě jinou společností stejné vlastnosti a parametry, jako stroje vyrobeny firmou Grumman. Tento stroj byl celý rok na testování u domovské společnosti, a ta v roce 1959 povolila sériovou výrobu těchto strojů. Stroj byl vyráběn v rozmezí let 1959 až 1981, kdy byla jeho výroba ukončena. Stroj byl postupem let modifikován, ale žádná modifikace nebyla považována za razantní, jednalo se vždy jen o malé vylepšení. Tento fakt odráží i některé prvky, které byly na svoji dobu nadčasové, jako například přetlakový kokpit, aby se aplikované pesticidy udržely venku a neohrozily tak pilota. Dále pak klimatizace a konstrukce trupu, která byla navržena tak, aby se letadlo při havárii zhroutilo postupně a oblast kde je umístěn pilot, byla namáhána jako poslední. Tento fakt odráží i ocenění, kdy Lippert a Koch obdrželi ocenění za své inovace v oblasti zemědělských letadel udělenou společností Delta Air Lines v roce 1974 a to cenou Puffer Award. Obliba toho stroje byla značná a o tom napovídá i počet prodaných strojů, kdy během 22 let, kdy se stroj vyráběl, prodalo 2 455 letadel typu G-164 a dalšího typu G-165 1 730 kusů [21].



Obrázek 11: Zemědělský letoun Grumman G-164 Ag Cat [21]

Jedná se o jednomístný dvojplášník poháněný motorem Pratt & Whitney Canada PT6A-34AG o výkonu 750 koňských sil (560 kW). Tento výkon umožnil i velkou kapacitu zásobníku na užitný prostor, kdy maximální kapacita byla 1 514 litrů. Délka stoje byla 8,4 metrů, výška pak 3,68 metrů. Celkové rozpětí křídel činilo 12,9 metrů. Letoun dosahoval maximální rychlosti 209 kilometrů za hodinu a byl schopen na jednu plnou nádrž uletět 319 kilometrů [21].

2.2.5 Cessna 188

Cessnu 188 můžeme zařadit do kategorie lehkých zemědělských letadel (obrázku 12). Její vývoj začíná počátkem 60. let minulého století, kdy také firma Cessna zaznamenala nemalý zájem o leteckou aplikaci a absenci těchto strojů na trhu. Proto přichází s vlastním návrhem zemědělského letounu. Na začátku nebyl představen žádný koncept, ale firma začala oslovovat piloty s konkurenčními letadly. Myšlenka byla vyzvědět co nejvíce od pilotů, kteří delší dobu na zemědělských trojích létají. Jejich poznatky a zkušenosti byly přeneseny do konečného návrhu stroje. První změna od přechozích letounů byla v konstrukci trupu, kdy trup nebyl tvořen monokovovou konstrukcí, ale tento stroj měl již semi-monokovovou konstrukci. Samotný skelet byl tvořen hliníkem a skleněným vláknem. Jednalo se tedy o velmi lehkou konstrukci trupu. První letoun Cessna 188 vzlétl v únoru 1965, kdy získal potřebné certifikace, a za rok mohla začít výroba. První rok bylo dodáno 241 letadel. Návrh Cessny 188 byl tak úspěšný, že po celou dobu její výroby, což bylo 17 let, zůstal drak letadla nezměněn. Jedinou změnou na celém letadle byly drobné zásahy do ventilačního systému, modernizace motorů a systémů

aplikace zemědělských produktů. Za celou dobu produkce bylo vyrobeno celkem 3976 letadel ve čtyřech modifikacích. Letadla se používají dodnes, již ale jako vlečná letadla pro rekreační kluzáky [22].



Obrázek 12: Letoun Cassa 188 při nízké letecké aplikaci [22]

Jednomístný letoun osazený motorem Continental IO-250-D, vzduchem chlazený plochý šestiválec o výkonu 300 koňských sil (220 kW). Délka stroje je 8 metrů, výška 2.35 metrů a rozpětí křídel je 12,7 metrů. Kapacita užitého materiálu je 1 100 litrů a kapacita paliva je 210 litrů. Maximální rychlost je až 195 kilometrů za hodinu. Na plnou nádrž zvládne uletět vzdálenost 475 kilometrů [22].

2.2.6 Embraer EMB 202 Ipanema

V roce 1960 pocítilo i brazilské zemědělství nedostatek zemědělských strojů na trhu, a proto se místní firmy Indústria Aeronáutica Nieva a Embraer rozhodly postavit vlastní letoun. Nemałym problémem brazilského zemědělství byl fakt, že drahé stroje ze zahraničí si nemohly dovolit, a jejich provoz byl také velmi nákladný. Proto firmy přišly s nápadem nepohánět motor klasickým leteckým benzínem, ale zkusit udělat verzi letounu, který by byl poháněný ethanolém. Ethanol by poskytl silnou ekonomickou výhodu oproti benzínovým verzím. Exportní trh Brazílie tvořily zejména sója a cukrová třtina, oba tyto produkty jsou velmi vhodné pro leteckou aplikaci. Letoun absolvoval svoji první zkušební cestu v červnu 1970, jednalo se tehdy o první verzi stroje, a to EMB-200. O dva roky později se začíná se sériovou výrobou,

kteřou provádí firma Embraer se sídlem v Botucatu. V roce 1974 přichází druhá verze EMB-201. Verze EMB-201 byla zcela nová a mnoho z komponentů EMB-200 nezůstalo stejnými. Stroj byl osazen lepším motorem, novou vrtulí, novými křídly a díky silnějšímu motoru i zvětšenou kapacitou užitého materiálu. Stroj je zachycen při letu na obrázku 13. V roce 1982 došlo ke sloučení obou firem, kdy firma Embraer koupila firmu Indústria Aeronáutica Nieuw. Poslední a nejlepší verze stroje byla představena v roce 1992, a to pod názvem EMB-202 Ipanema. U stroje byla výrazně vylepšena aerodynamika, o 40 % zvětšena kapacita užitého prostoru a moderní výbava pro elektrostatickou leteckou aplikaci. Největší předností se, ale stává pohonná jednotka na ethanol, kdy je v Brazílii ethanol běžně dostupným produktem a jeho náklady jsou v porovnání s benzínem okolo 25 – 30 %. Také náklady na údržbu a provoz jsou díky ethanolu o 20 % nižší. V roce 2005 byl vyroben jubilejní 1000. kus. Tento stroj je zastoupený v brazilské zemědělské letecké flotile z 80 %. Stal se také exportním zbožím pro všechny jihoamerické státy, důkaz že se jedná o úspěšný stroj, dokládá i fakt, že se letoun vyrábí v Brazílii dodnes [23].



Obrázek 13: Zemědělský letoun Embraer EMB-202 Ipanema [23]

Brazilský stroj je jednomístný dolnoplošník, poháněný motorem Textron Lycoming IO-540K1J5D na ethanol o výkonu 300 koňských silách (224 kW). Kapacita užitého prostoru činí 950 litrů kapaliny nebo 750 kg pevného materiálu. Délka stroje je 7,43 metrů, výška 2,2 metrů a celkové rozpětí křídél je 11,69 metrů. Kapacita palivové nádrže je 264 litrů ethanolu a letadlo je schopno na toto množství paliva uletět 938 kilometrů. Maximální rychlost stroje je 230 kilometrů za hodinu [23].

2.2.7 PZL-106 Kruk

Potřeba zemědělského letounu byla vnímána i v tehdejších zemích takzvaného východního bloku. Z tohoto důvodu se země RVHP domluvily na vzniku vlastního zemědělského letounu. Tento projekt byl přenechán Polsku. Již před vznikem tohoto stroje byly v zemích východního bloku vyráběny zemědělské letouny, ale tento stroj měl být primárním strojem zemědělských leteckých flotil východních států. Počátkem 60. let minulého století byl projekt přidělen firmě WSK PZL Warszawa-Okęci. Ve společnosti vznikla velká řada návrhů na finální podobu stroje, ale z důvodů politických nebo ekonomických, nebyly schváleny. To se konečně podařilo až u návrhu předloženým Andrzejem Frydrychewiczem v roce 1971. I když byl návrh schválen, z politických důvodů se jeho výroba stále odkládala. Stroj PZL-106 Kruk 71, zachycen na obrázku 14. při aplikaci postřiku. Vycházel z řady prototypů a návrhů uskutečněných v rozmezí let 1963 až 1971. První prototyp tohoto stroje vzlétl až v roce 1973. Konstrukteři dbali na zvýšenou bezpečnost, proto se velmi inspirovali strojem Piper PA-25 Pawnee. Nádrž na aplikované chemikálie byla uložena před pilotem, a také jako PA-25 byl konstruován na postupné hroucení trupu, kdy kokpit pilota byl silově namáhán až jako poslední část stroje. Stroj šel do výroby až v roce 1976 a stroj byl dodáván do všech zemí RVHP a spřátelených zemí komunistického zřízení. To zahrnovalo státy v Jižní Americe, Africe a Asii. Výroba stroje byla ukončena až v roce 2007 a za tuto dobu bylo vyrobeno více jak 275 kusů. Tyto zemědělské letouny jsou stále používány, a to v afrických i latinskoamerických státech [24].



Obrázek 14: Polský letoun PZL-106 Kruk při letecké aplikaci postřiku [24]

Jednomístný dolnoplošník s motorem PZL-3SR o výkonu 600 koňských sil (450 kW), který je vzduchem chlazený a přeplňovaný radiální pístový motor. Maximální rychlost stroje je 215

kilometrů za hodinu. Díky velkému výkonu je schopen startovat a přistávat na krátkých ranvejích, kdy letadlu stačí pouze 250 metrů. Kapacita palivové nádrže je 560 litrů ve dvou integrovaných nádržích v křídlech a k tomu je možno navýšení o jednu přídatnou nádrž na 390 litrů. V kokpitu je místo pro jednoho pilota. Celková kapacita na užitný materiál je 1 300 kg pevných látek nebo 1 400 litrů kapalných látek. Stroj je dlouhý 9,25 metrů, vysoký 3,32 metrů a celkové rozpětí křídel jen 14,9 metrů [24].

2.2.8 Zlín Z-37 Čmelák

Český jednomotorový dolnoplošník navrhnutý pro potřeby československého zemědělství, tedy na leteckou aplikaci hnojiv a chemických látek. Tento letoun ovšem neplnil jen úlohu zemědělského letounu, ale používal se i k vlečení větroňů, k marketinkové propagaci, fotogrammetrickou činností nebo jako cvičný letoun. Celá myšlenka vzniku československého zemědělského stroje byla iniciována, jak to bylo tou dobou zvykem ve státech takzvaného východního bloku, Radou vzájemné hospodářské pomoci (RVHP). Na návrh byl kladen obsáhle široký výčet nároků, kdy mezi ně patřilo kupříkladu možnost startovat z krátkých a neupravených ploch, provádět leteckou aplikaci ve velmi malých výškách a v malých rychlostech nebo dostatečná odolnost proti hrubému zacházení a vlivu špatného počasí. Fotografie letounu operujícího v malé výšce je na obrázku 15. V roce 1960 byla uskutečněna soutěž a na jejím konci byl vybrán návrh XZ-37, který vznikl za spolupráce moravských firem LET Kunovice a Moravan Otrokovice. První prototyp vzlétl v červnu 1963. Letoun byl pilotován Vladimírem Vlkem a již tehdy stroj potvrdil, že valná většina požadavků na stroj byla splněna. Sériová výroba začala ale až v roce 1965 a celý výrobní proces byl rozdělen mezi tři společnosti. Firma Moravan Otrokovice vyráběla trup a aplikační zařízení, křídla a ocasní plochy měla na starosti firma LET Kunovice a podvozek vyvinula a vyráběla firma Technometra Radotín. Všechny tyto komponenty poté byly dodány do závodu LET Kunovice, kde se celý stroj finálně seskládal. Od roku 1971 se začal letoun vyrábět v nové verzi Z-37A, u kterého byla zvýšena odolnost proti korozi. Tuto verzi bylo možno dále upravit do verze Z-37A-2, kdy bylo do letounu přidáno další sedadlo, které bylo umístěno za sedadlo první. Takto upravené letadlo sloužilo výhradně k výcviku nových pilotů. Pro potřeby státní letecké inspekce vznikla čtyřmístná varianta Z-37C3 (zvaná Hyena). Československý zemědělský stroj měl nemalé ambice, proto vznikla i exportní verze pro západní trhy Z-37C, která byla osazena americkým řadovým šestiválcem Continental. Její výkonost byla ovšem slabá a z tohoto důvodu stroj na západní trhy nepronikl. Celkový počet vyrobených kusů se pohybuje kolem

čísla 713. Tento stroj byl hojně využíván zeměmi východního bloku, ale působil i v Egyptě, Indii, Bulharsku a Jugoslávii [25].



Obrázek 15: Československý zemědělský letoun Zlín Z-37 Čmelák [25]

Trup letadla byl tvořen celokovovou kostrou potaženou duralem, zadní část byla pokryta tesilovou tkaninou s polyuretanovým nátěrem, kterým byl stroj vybaven z důvodu vysoké odolnosti proti chemikáliím. Stroj nebyl vybaven univerzálním aplikačním mechanismem, ale před každou aplikací muselo být na stroj namontováno rozmetadlo na pevná hnojiva nebo postřikovací zařízení s tryskami. Křídlo bylo, z důvodu dobré ovladatelnosti v nízkých rychlostech, rozděleno na třídílné celokovové části s pevnými sloty a dvěma velkými dvoušterbinovými klapkami. Hlavní palivová nádrž měla kapacitu 250 litrů, ale letadlo bylo možno vybavit dalšími dvěma podvěsnými nádržemi, každá o kapacitě 125 litrů. Z těchto nádrží nebylo možno palivo přecerpávat za letu, letoun musel přistát a pilot přecerpat palivo mechanicky na zemi. Kokpit pilota byl umístěn vysoko nad přídělí letounu, díky tomuto pilot získal vynikající výhled při letu ve velkém náklonu. Za sedadlem pilota byla umístěna nádrž na aplikované chemikálie o objemu 650 litrů (600 kg). Za touto nádrží je umístěno ještě jedno sedadlo (trucovna), které bylo určeno pro mechanika. Ten letěl s pilotem za předpokladu, že se stroj nebude vracet na svoji domovskou základnu, ale třeba zůstane přes noc na polním letišti.

Vysoký a robustní podvozek pomáhal k dosažení nízké přistávací rychlosti, ale i k bezpečné vzdálenosti vrtule od země. Stroj byl osazen hvězdicovým devítiválcem Ivčenko AI-14, který byl přejmenován na Avia M-462RF. Tento motor dokázal vyvinout výkon 315 koňských sil (235 kW). Maximální rychlost stroje činila 210 kilometrů za hodinu a stroj při aplikacích létal rychlostí až 120 kilometrů za hodinu. Délka letounu je 8,55 metrů, výška 2,9 metrů a celkové rozpětí křídel 12,22 metrů. Stroj se vyznačuje velmi krátkou drahou potřebnou pro přistání a vzlet. Tato potřebná dráha musí být 150 metrů [25].

2.2.9 Air Tractor Inc.

Společnost Air Tractor Inc. Je v současné době největší a nejdůležitějším výrobcem zemědělských letadel na aplikaci hnojiv, postřiků a setí. Řada jejich letadel je dosud stále vyráběna. Firma sídlí v Olney v Texasu ve Spojených státech amerických. Společnost byla založena v roce 1978, kdy se k jejím zakladatelům připojil asi nejvýznamnější návrhář zemědělských letadel Leland Snow. Jeho práce s letouny na vzdušnou aplikaci je patrná už na stroji prvního a nadčasového stroje S-1, kdy ve svých 21 letech se podílel na jeho konstrukci. V průběhu života dále pracoval na zemědělském letadle Ag-2. V roce 1972 se rozhodl odejít z pozice viceprezidenta Aero Divize u firmy Rockwell-Standard a založil si vlastní firmu Air Tractor, aby se mohl věnovat svojí celoživotní vášni, a to zemědělským letadlům. Jeho první nově navržené letadlo mělo být vylepšené moderní zemědělské letadlo s elegantním, aerodynamickým drakem, který měl navazovat na úspěšný stroj Ag-2. Tím se stal stroj AT-300, který poprvé vzlétl v roce 1973. Stroj je na obrázku 16. V roce 1976 se začalo s jeho sériovou výrobou a do dnes, kdy se stroj i nadále vyrábí, bylo postaveno 1973 letadel tohoto typu. Tento stroj odstartoval řadu dalších letadel, jako jsou AT-400, AT-501, AT-602 a nejmodernější z nich AT-802. Tato společnost se stala velmi důležitým výrobcem letadel pro zemědělce na celém světě. Letoun AT-802 je zemědělský aplikační letoun. V jeho případě byly zatím navrženy dvě verze, jedna zemědělská a druhá na letecké hašení. Stroj má pro tyto dva účely ideální předpoklady, protože má zásobníky na užitný prostor o objemu 3028 litrů umístěné mezi motorem a kokpitem pilota. Stroj byl představen v roce 1990 a o tři roky později se začalo s jeho sériovou výrobou. U stroje byl požadavek na možnost operovat z malých a nedokonalých, co se vzletové a přistávací plochy týče, letišť. Letoun je poháněn jedním turbovrtulovým motorem Pratt & Whitney Canada PT6A-65AG, který je schopen maximálního výkonu 1 007 kW. Dále je stroj vybaven Epicyklickou převodovkou s redukcí otáček, kvůli možnosti optimalizace výstupních otáček tak, aby maximalizovala výkon a minimalizovala

hluk vrtule. Stroj je také vybaven pětistou vrtulí s reverzibilní vrtulí s konstantní rychlostí, která se otáčí 1 700 otáček za minutu. Maximální rychlost, kterou je letoun schopen letět je 356 kilometrů za hodinu a maximální dosah na jednu nádrž je 1 289 kilometrů. Délka stroje je 10,95 metrů, výška stroje je 3,89 metrů a maximální rozpětí stroje je 18,06 metrů. Tento stroj je vyobrazen na obrázku 17. Do dnešního dne společnost Air Tractor vyrobila více jak 6 000 kusů všech typů zemědělských letadel. Do budoucna toto číslo bude nadále růst, protože ani jedno z výše jmenovaných letadel se nepřestalo vyrábět. Faktem je, že jsou stroje velmi kvalitní a robustní, ale také že společnost vyrábí stroje v celém spektru, a to jak pro malé zemědělce, tak i pro velké zemědělské společnosti [26].



Obrázek 16: Zemědělský letoun AT-300 [26]



Obrázek 17: Zemědělský letoun AT-802 [26]

2.3 Navigační systémy pro leteckou aplikaci v zemědělství

V letecké aplikaci hnojiv, postřiků a osiva je asi největší problém s přesným shozem materiálu na cílovou oblast. Největší zátěž je na pilota zemědělského letadla kladena při plánování trasy, a při dodržování aplikačního řádku, aby nenastalo překrytí nebo naopak vynechání nějaké části pole. Obzvláště hraje v letecké aplikaci důležitou roli postřik neboli aplikace chemické látky na ochranu před škůdci. Letecká aplikace dává možnost zasáhnout na velké ploše v rychlém čase, a tak zabránit dalšímu šíření nemoci nebo škůdce. Na rozdíl od pozemní aplikace nastává velká možnost nepřesností způsobena velkým výškovým spektrem při letecké aplikaci. Zemědělský letoun může aplikační činnost provádět v rozmezí 10 – 300 metrů nad zemí. Poryvy větru se proto stávají největším problémem letecké aplikace. Proudění vzduchu se může měnit každých 10 metrů v horizontálním směru, ale také ve vertikálním, a to způsobuje velké nepřesnosti. Z tohoto důvodu se začaly zemědělské letouny vybavovat navigačními systémy, které pomocí dostupných informací a výpočetním systémem jsou schopné tyto vnější vlivy co nejvíce eliminovat, aby aplikace byla co nejpresnější. Nikdo nestojí o to, aby granulové hnojivo dopadlo do vodního díla, nebo aby nějaký herbicid dopadl na obytnou oblast. Snahou výrobců zemědělských leteckých navigací je co nejvíce předpovědět, za znalosti rychlosti stroje a proudění větru v každé letové hladině, snos aplikované látky, ale také pomoci s plánováním optimálních leteckých tras, navigace na dodržování aplikačních řádků a vyhodnocení kvality aplikace a to vše v reálném čase [27].

Letecké navigace se skládají ze dvou komponentů, a to z hardwaru a ze softwaru. Hlavním hardwarovým vybavením je průmyslový tablet nebo PC. Ten nemá se samotným systéme nic společného, je to pouze zprostředkovatel samotné aplikace. Samozřejmě jen ve zjednodušeném pojetí, protože samotný hardware musím mít dostatečné výkonné parametry pro plynulou funkčnost softwaru. Také je to vizuální zařízení, které musí být uživatelsky příjemné pro obsluhu stroje. Jak bylo zmíněno, hlavním požadavkem na hardware je poskytnou dostatečné procesní parametry pro software a taky zprostředkovávat komunikaci zařízení s přijímačem globálního navigačního satelitního systému (dále jen GNSS). Existuje mnoho procesů v navigačním systému, budou zde zmíněné jen ty základní z nich. Navigační systém nabízí dva způsoby, jak zajistit klíčový požadavek, a to plánování trasy. Plánování trasy může být prováděno ještě před letem. Tato možnost plánování ještě před aplikací se používá na zemědělskou půdu se složitými hranicemi pozemku, nebo na plochu, která byla již dříve zmapována například pozemní technikou. Také se mohou do systému hranice pozemku vkládat pomocí satelitního snímkování. Stejně tak jde v aplikační zóně vytýčit zakázané zóny, na které nesmí být v žádném případě prováděna aplikace. To jsou například vodní díla, obytné zóny nebo jiná plocha. Software je většinou schopen předpovědět, že za stejné dráhy letu a rychlosti může být tato zakázaná zóna zasažena, pilot je pak pomocí akustických a vizuálních signálu upozorněn. Některé letecké navigace dokážou i přes to, že pilot na tyto signály nereaguje, samovolně odstavit aplikační mechanismus, a tak zabránit nechtěné aplikaci na zakázanou zónu. Druhá možnost plánování trasy je podobná jako u pozemních aplikátorů, a to vytýčení hranici pozemku pomocí obletu. Stroj vytýčí sám danou zónu. Na rozdíl od pozemních aplikátorů je u letadel rychlost samotného stroje mnohonásobně větší, a to klade velké požadavky na výpočetní systém, aby byl schopen tyto informace zpracovat v reálném čase a nabídnout optimální trasu a řádkování pro aplikaci. Další důležitou funkcí je vyhodnocení proudění vzduchu pod strojem, aby bylo do snosu započítáno i již to zmíněné proudění vzduchu a díky tomu je i přizpůsobena volená trasa aplikace. S touto možností se ale ještě příliš nesetkáme v praxi. Jedná se o novou funkci u zemědělských leteckých navigacích. Této inovaci se ale v leteckém zemědělství dává velká váha. Koncept vychází z klasických leteckých navigacích pro letecký provoz. Funkce klade velké požadavky na lokální předpověď počasí, kdy bez této informace je absolutně nulová pravděpodobnost správně vyhodnotit podmínky. Bližší informace bohužel jsou stále nedostupné z důvodu, že každý výrobce si chrání svůj způsob, jak tyto vkládané informace vyhodnocuje a dále poskytuje uživateli jeho navigace. Pro zpětné vyhodnocení letecké aplikace je také nutné neustálé povědomí, kde se stroj nachází a

jak se má trasa letounu upravit při změně směru nebo rychlosti. Přijímač GNSS poskytuje údaje o poloze navigačnímu systému. Většina GNSS poskytuje tyto informace o poloze dalšímu softwarovému protokolu, který organizuje data do různých témat. Jako jsou například letecký řádek, vyhodnocení aplikace atd. Tyto informace, jako jsou zeměpisná délka, šířka, výška a rychlost, jsou podle transformativního modelu převedeny do vizuální navigační informace, které dokážou pilota efektivně vést. Zjednodušeně navigace pilotovi říká, kde je a co má dále dělat, aby byla aplikace provedena správně [27].

2.3.1 Letecké navigace od firmy AG-NAV Inc.

Společnost AG-NAV byl založena v roce 2000 jako součást skupiny Picodas group Inc. Jedná se o společnost zabývající se více jak 35 let navigacemi ve všech možných oblastech využití GPS navigace. V oblastech jako všeobecná navigace, životní prostředí, zemědělství a lesnictví. Firma sídlí ve městě Barrie v Ontariu v Kanadě. Společnost je ale schopna oslovit své zákazníky na celém Světě, tento fakt dokládá, že společnost má prodejní a servisní místa na 6 kontinentech [28].

Základním prvkem je přijímač GPS (GNSS) signálu P-500, na obrázku 18. Pro tyto výrobky firma dodává univerzální anténu GPS s elektronickým procesorem. Anténa je umístěna v nízko profilovém hliníkovém vodotěsném pouzdře, což umožňuje anténu připevnit nebo namontovat na jakékoliv místo na stroji. Proto se tento přijímač objevuje na letecké, pozemní, ale i námořní navigaci [28].



Obrázek 18: GPS (GNSS) přijímač P-500 od společnosti AG-NAV [28]

Pro noční leteckou aplikaci se stále více používají světelné lišty. Tyto pokročilé světelné lišty byly navrženy tak, aby používaly LED technologii s vysokou intenzitou svícení, která

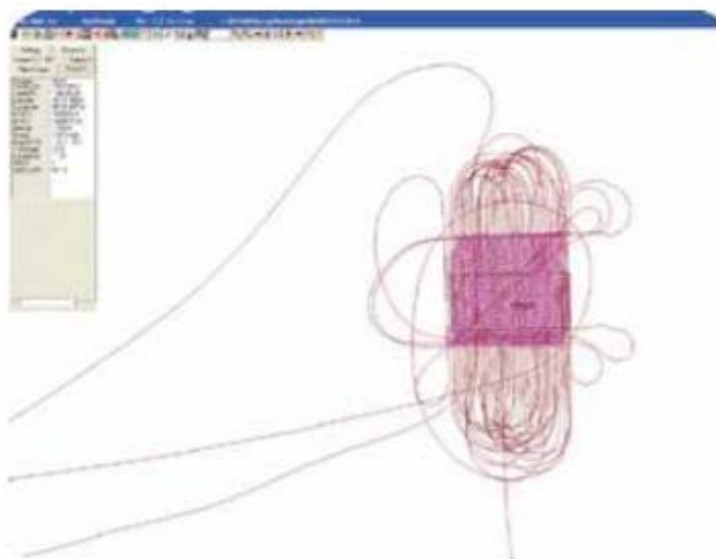
umožňuje operátorovi mít jasné navádění při nejintenzivnějších světelných podmínkách tak i při nejnižších světelných podmínkách, což je důležitou výhodou při nočních aplikacích. Pohled na světelnou lištu je na obrázku 19. Je to bezpečnější i z hlediska, že pilot není vystavován vysokému oslnění z obrazovky a jeho oči jsou více přivyknuty tmě. Světelná lišta obsahuje všechny důležité informace, jako jsou varování před překážkami, nadmořská výška a jiné. Firma dodává dvoje provedení světelných lišt, a to světelnou lištu 889 a světelnou lištu 887. 889 je určena pro klasická zemědělská letadla a 887 je určena pro malé zemědělské letouny a vrtulníky [28].



Obrázek 19: Světelná lišta 887 od společnosti AG-NAV [28]

Navigace jsou vybaveny také přesným GPS lokátorem TrackNav. Je to funkce, která se využívá při správě většího množství letadel. Lokátor přenáší informace a data do vašeho počítače v kanceláři. Poskytuje informace v reálném čase, to umožňuje kontrolním pracovníkům sledovat a porovnávat trasy, kde by letoun měl být a kde se letoun ve skutečnosti nachází. Jedná se o systém, který zrychluje odezvu v případě nehody, poruchy, stavu zásobníku na užitný materiál nebo na stav paliva. Další funkcí je přesný software GIS (Geografický informační systém) nazvaný NavViewW. Tento program pomáhá s geografickými mapovacími potřebami. Program je schopen vytvořit a uložit letecké trasy a mapování pozemků, také je schopen analyzovat získaná data po aplikaci a vytvářet zprávy o postupu. Informace jsou snadno přenosné už z důvodu připojení k internetu, kdy si to můžete stáhnout z kanceláře, i když stroj někde provádí samotnou aplikaci nebo pomocí USB disku. Software podporuje řadu různých souborových formátů jako možnost zpracovat data v aplikaci Excel, datových tabulkách, Sharp nebo DXF formátu. Největší předností je ale spolupráce s firmou Google a jeho aplikací Google Earth, kdy můžete využít řadu satelitních snímků a digitálních map. To pak je možno využít k tvorbě pozemku pro samotnou aplikaci, viz. obrázek 20. Plusem je, že

společnost si neúčtuje žádné roční poplatky, po zakoupení produktu tedy je tato možnost tvorby aplikačních tras přenositelná [28].



Obrázek 20: Tvorba letové trasy pomocí programu NavViewW [28]

LINAV je navigační systém používaný firmou AG-NAV. Je navržený tak, aby splňoval specifické požadavky pro obecný letecký průzkum. Systém předává pilotovi informace o řádce, jeho směrové vedení a další navigační informace pro přesnou leteckou aplikaci. LINAV používá horizontální indikátor křížení stopy v rovině XY (vpravo/vlevo) a vertikální směr Z pro nadmořskou výšku. Horizontální navigace se provádí pomocí již předdefinovaného leteckého plánu. Svislá, tedy vertikální, navigace se získává z mřížkového signálu pomocí Geosoftwaru. Na hlavním displeji umístěným v kokpitu letadla je možno pozorovat současnou polohu, směr, rychlost a další informace. Systém například porovnává skutečnou nadmořskou výškou letounu s referenční nadmořskou výškou, tedy výškou, kterou by měl stroj dosahovat pro naplánovanou aplikaci za povětrnostních podmínek. Tyto informace jsou zobrazeny pomocí letadla na displeji, kdy se letoun pohybuje nad referenční hodnotou tak ikona letadla nutí pilota klesat, při opačném případě, tedy že se letoun pohybuje pod referenční výškou, ikona letadla nutí pilota ke stoupání. LINAV může zaznamenávat cestu letounu s ukládáním hodnot X, Y a Z v každém okamžiku letu [28].

Navigace Guia Platinum představuje nejlepší možnou nabídku navigace od firmy AG-NAV (obrázek číslo 21), která má vysoký displej (8,4“) s vysokým spektrem nastavená jasů. S vestavěnou Wi-Fi, podporou 3G sítí a Bluetooth připojením. S funkcí včasného varování před kolizí a překážkami, s možností automatického vedení pomocí autopilota. S možností předdefinování zakázaných oblastí a s tím spojené automatické vypínání a zapínání aplikačního

mechanismu. Řízení mokrého, suchého a granulovaného toku materiálu. Zařízení je předem nastaveno a může být za letu přizpůsobováno podle aplikovaného materiálu. AG-NAV poskytuje integrovanou kontrolu nad změnami proměnlivé regulace rychlosti pro tekuté a pevné aplikované materiály. Také je systém přizpůsoben pro granulový shoz, jak pro minerální hnojiva, tak i pro osivo. Přístroj je vybaven taky funkcí bezdrátové komunikace, u tohoto přístroje není potřeba přehrávat informace pomocí přenosného USB disku, ale systém je vybaven komunikací země-vzduch. Kdy software poskytuje plnou obousměrnou komunikaci pro nahrávání a stahování leteckých map, trasovacích bodů a dalšího množství informací. Guia Platinum se podle výrobce těší i předností možnosti aktualizace softwaru, ale také poskytuje předepsané informace o výšce, rychlosti a intenzitě aplikace pro danou rostlinu a daný zemědělský letoun. Navigační systémy od firmy AG-NAV jsou považovány za špičku v leteckých navigacích, proto se s jejím použitím setkáme na většině zemědělských letadel po celém světě [28].



Obrázek 21: Guia Premium, letecká zemědělská navigace od firmy AG-NAV [28]

2.3.2 SATLOC

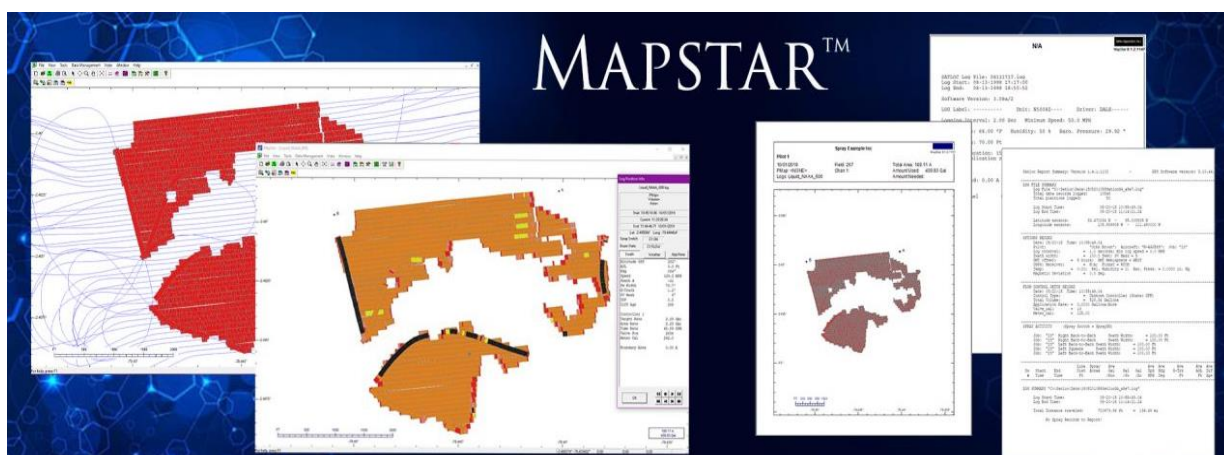
Společnost se zabývá vývojem a prodejem pokročilých produktů GPS navigace a aplikačními mechanismy pro leteckou aplikaci v zemědělství. Firma byla založena Johnem Tomasem Waltonem a sídlí ve městě Wichita Falls ve státě Texas v USA. Ta se v roce 2018 spojila s firmou Transland, která patří k hlavnímu výrobcí aplikačních mechanismů pro letadla. Díky tomuto spojení se Transland a Satloc stávají jedním z nejlepších dodavatelů pro vybavení a technologii pro letecký aplikační průmysl. Firemní politika se zaměřuje na jednoduché, ale zároveň pokročilé systémy, které jsou známy svou univerzálností a flexibilitou. Technologické požadavky se stále více zvyšují a pokrok ve vědě přináší nové a nové možnosti, a tak i firma

Satloc má rozsáhlou vývojovou divizi na software i hardware. Úspěšnost vývojového oddělení jde doložit i tím, že firma vlastní více jak 70 patentů v oblasti navigace a aplikačních mechanismů. Společnost je nadnárodním celkem, protože se jejich pobočky můžeme nalézt ve více jak 50 zemích světa [29].

Satloc nabízí vlastní software, který obsahuje řadu nástrojů, které zjednodušují práci zemědělským pilotům. Jedním z nabízených nástrojů je funkce Satloc AirTrac™. Tato funkce poskytuje pohyblivou mapu v reálném čase, díky které se pilot snáze orientuje při navádění. Funkce softwaru také poskytuje nezbytné informace pro stříkání řádku, jako hranice řádků a hranice pole, vynechání a překrývání aplikačního pásu, označování a trasování bodů. Satloc AirTrac™ poskytuje velkou možnost leteckých vzorů pro nastavení leteckých a technologických parametrů k různým zemědělským letadlům a k různým plodinám. Tento software umožňuje aplikaci pevných i kapalných látek [29].

HQ™ je nástroj od společnosti Satloc, který slouží ke sledování aktivity daného letounu v reálném čase. Umožňuje tedy sdílení polohy a údajů o právě prováděné aplikaci. Díky připojení k internetu, HQ™ poskytuje okamžitou možnost stahování a odesílání dat letadlu, bez nutnosti fyzického propojení počítače a letounu. Tento produkt je ideální pro zemědělské letecké společnosti s více letadly, který slouží k efektivnímu řízení leteckých aktivit. Je také schopen ukládat informace z předešlých letů. Jedná se i o velkého pomocníka pro firmy poskytující aplikační služby pro zemědělce, kdy může být zemědělcům poskytnut přístup do webového rozhraní, aby si mohl nastavit své vlastní parametry postřiku na vlastní půdě. Tedy pokud si zemědělec najme firmu pro leteckou aplikaci v zemědělství na určitou plochu a z historického povědomí ví, že se na oné ploše nachází místo, kde je výnosnost historicky velmi nízká i při sebevětší dávce hnojiva, může množství dávky sám snížit nebo dokonce vynechat onu část při aplikaci. Dochází tedy k dokonalejšímu a efektivnějšímu způsobu hnojení a postřiku ze zkušeností lokálních zemědělců [29].

MapStar™ je software sloužící k mapování a plánování leteckých tras před aplikací, také lze použít k mapování stavu rostlin/pozemku před aplikací a provádí analýzu po aplikaci. Informace je možno ukládat a přenášet v širokém spektru běžných formátů pro usnadnění práce s následnou prací v jednom z agronomických programů. MapStar™ slouží k úspoře času a peněz při plánování tras, poskytuje grafické zprávy o aplikaci postřiků a hnojiv. Grafické analýzy po aplikaci patří k hlavní funkci celého softwaru (obrázek 22) [29].



Obrázek 22: Grafická analýza postřiku pomocí nástroje MapStar™ od firmy Satloc [29]

Firma Satloc nabízí v současné době dva produkty Satloc Bantam a prémiový produkt Satloc G4 [29].

Satloc Bantam poskytuje moderní navádění pomocí GPS pro leteckou aplikaci. Systém se skládá z přijímače GPS signálu A21, devíti palcoví dotykové LED obrazovky, z externí světelné lišty L7 používanou pro noční aplikaci a procesoru pro software Satloc Bantam (obrázek 23). Všechny prvky hardwaru jsou vyrobeny z odolného materiálu. Produkt poskytuje možnost výpočtu stříkané plochy, upozornění na překážky a nebezpečné prvky na trase aplikace, možnost navigace na poslední aplikovaný bod, možnost tvorby a analýzy pole, přenos dat v běžných formátech a automatické vypínání a zapínání aplikačního mechanismu [29].



Obrázek 23: Letecká navigace Satloc Bantam [29]

Satloc G4TM (obrázek 24) je prémiovým produktem společnosti Satloc a jedná se o nepokročilejší a nejúplnější navigační systém pro leteckou aplikaci. Produkt se skládá z přijímače GPS signálu A21, devíti palcové dotykové LED obrazovky, z externí světelné lišty L7 používané pro noční aplikaci a procesoru pro software Satloc G4. Poskytuje přesnou a flexibilní navigační technologii pro současnou potřebu zemědělských pilotů. Produkt je schopen automaticky navrhnout technické parametry letounu i aplikačního mechanismu podle druhu plodiny. Umožňuje variabilní přepínání mezi tekutým a pevným materiálem. Díky internetu je schopen okamžité možnosti nahrávání a stahování informací o aplikaci. Produkt je vybaven prémiovým přístupem pro meteorologická data o počasí. V této verzi letecké navigace jsou za pořizovací cenu přístupné funkce MapStarTM, HQTM, oproti produktu Satloc Bantam, kdy je nutné si tyto funkce dokoupit [29].



Obrázek 24: Letecká navigace Satloc G4 [29]

2.3.3 DynaNav Systems Inc.

Firma DynaNav byla založena v roce 1995 se sídlem ve Vancouveru v Britské Kolumbii v Kanadě. Společnost se zabývá vývojem a výrobou leteckých navigačních systémů pro zemědělství. Software a hardware jsou navrženy tak, aby se prezentovaly jednoduchým ovládním, kontrolou a zvýšením efektivnosti aplikace při snížených nákladech. Navigační systém je navržen tak, aby splňoval vysoké standardy a zároveň nabízel dynamicky poskytované informace s velkou rozlišovací schopností. Navigace je možno použít i na jiných

strojích, jak na zemi, tak i na moři. Filozofií společnosti DynaNav je jednoduchý přístup a flexibilní aplikace [30].

K prémiovému produktu patří systém navigace DynaFlight 3, který poskytuje přesné navádění na aplikaci a poskytuje záznam dat. Systém je schopen všech již výše zmíněných funkcí jako produkty od konkurence, ale firma DynaNav přišla s revoluční interpretací zobrazovacího systému, kdy je kokpit pilota vybaven dalším vnitřním předním sklem, které je ovšem schopno zobrazovat všechny poskytované informace a neodvádí pozornost pilota na obrazovku umístěnou u přístrojové desky (obrázek 25). Prvek DynaHUD Upgrade je patentovaný právě firmou DynaNav. Kdy může být systém nainstalovaný i na starší zemědělská letadla. Na skle je vytvořen pomocí holografické projekce umělý horizont a dokresluje informacemi klasický výhled z kokpitu [30].



Obrázek 25: Zobrazovací prvek leteckého navádění HUD Upgrade [30]

Systém je vybaven řadou funkcí pro ulehčení navigace, například funkcí TeamViewer, která umožňuje se živě připojit k letadlu za účelem podpory, servisu, školení a upgradů v reálném čase pomocí mobilnímu zařízení a provádět diagnostiku a řešit problémy i za letu. DynaCloud slouží k přenosu a nahrávání dat dvěma směry [30].

2.4 UAV v zemědělství 4.0

Bezpilotní letouny (UAV) mají významný potenciál v zemědělství a s příchodem digitální éry a zemědělství 4.0 se tato platforma stává stále více důležitou. Letouny, díky možnosti pořizování digitálních snímků, pomáhají při monitorování půdy a zisku dat. V budoucnu by mohlo dojít dokonce k nahrazení klasických satelitních snímků právě těmi z bezpilotních letounů, protože snímky s vysokým rozlišením činí UAV velmi atraktivní metodou získávání potřebných informací. Drony se dají také použít k optimalizaci letecké aplikace hnojiv a postřiků ze zemědělských letadel, nebo ze samotných bezpilotních letounů. Díky nedávným pokrokům v technologii datové vědy mají UAV prominentní postavení v pomoci zemědělcům při efektivním rozhodování a automatizaci zemědělských procesů. Budoucnost bezpilotních letounů se dá shrnout do pěti základních témat: topografický průzkum, fyziologické hodnocení plodin, biofyzikální hodnocení, biologické monitorování a precizní aplikace postřiků [31].

2.4.1 Topografický průzkum

Získaná topografická data jsou využívána k tvorbě podpůrných map pro zemědělství. Díky modernizaci technik dálkového průzkumu Země jsou data stále dostupnější. Tyto data jsou používána ke dvěma základním modelům. První model zkoumá nadzemní část půdy, jako například vegetační pokrytí, který je nazván Digital SurfaceModel (DSM), tedy digitální povrchový model. Druhý model se zabývá čistě pozemními informacemi, jako modelování povrchu půdy. Tento model je znám jako Digital TerrainModel (DTM), v češtině digitální terénní model [31][32].

Získané informace ze snímků jsou vyhodnocovány pro agronomické účely. Důraz je kladen na jejich zvýšenou přesnost. Přesnost se ale liší podle druhu použitého GNSS zabudovaného do UAV. Se snižováním ceny dronů se stávají dostupnější pro větší počet zemědělců, ale to je vykoupeno kvalitou zaznamenaných snímků. Běžně dostupné drony jsou vhodné pro snímky na navigační účely, ale pro detailnější účely, jako je sledování půdní eroze už nedostačují. Pro navigaci se dají použít snímky s chybovostí v řádu centimetrů, ale pro přesné aplikace hnojiv nebo postřiků je v nejlepších podmínkách požadována milimetrová chybovost. V budoucnu, se stále pokročilejšími kamerami na UAV, bude topografický průzkum pomocí dronů asi ten nejvyužívanější, i když je považován za časově náročný a pracný [31][32].

2.4.2 Fyziologické posouzení

Tato oblast využití UAV poskytuje přehled a analýzy o prostorových a časových datech, o síle a vývoji plodin, obzvláště během vegetačního období, díky němuž může zemědělec zvolit optimální technologické postupy, a tím zvýšit efektivnost pěstování plodiny, tedy zvýšit výnosnost. Data potřebná pro tyto analýzy lze získávat pomocí senzorů zabudovaných do UAV. Sensory jsou schopny získávat informace založené na barevném spektru rostliny a podle druhu odrazových vlastností. Po provedení analýzy mohou rostliny vykazovat charakteristické znaky chování jako jsou například vadnutí, žloutnutí, omezený růst atd. Některé charakteristické chování rostlin lze získat pouze ze senzorů schopných zachytit specifické odrazové signály získané pomocí multispektrálních a hyperspektrálních senzorů, které jsou zatím velmi drahé a nemůže si je dovolit velké množství zemědělců. V budoucnu by cena senzorů mohla být nižší, a tím by se preciznímu zemědělství za využití dronů mohlo věnovat více zemědělců. Přispělo by to k zrychlenému povědomí o stavu plodin, následováno efektivním a cíleným zásahem pro zlepšení stavu plodin [31][32].

Analýza stavu rostlin pomocí UAV poskytuje například informace o obsahu, nebo potřebě aplikace dusíkatého hnojiva. Tedy jsme schopni posoudit stav dusíku a růst rostlin během vegetačního období a rozhodnout, zda je potřeba cíleně aplikovat na části pole s rostlinou proměnlivé množství dusíku do půdy. Obsah dusíku je zjistitelný pomocí červeného barevného spektra. Problém nastává, jak bylo výše zmíněno, u relativně levných dronů, kdy rozlišovací schopnost senzorů není v milimetrové chybovosti. Dron ztrácí schopnost rozlišit mezi obsahem dusíku v rostlině (nasycenosti rostliny) a červeném pásmu vyzařujícím z půdy (tedy obsah dusíku v půdě). Nastává tedy situace, že stejný pixel na snímku obsahuje informaci o odrazivosti červeného spektra jak z rostliny, tak i z půdy. Vzhledem k vysokým nákladům na multispektrální senzory s infračerveným pásmem, byly provedeny výzkumy se snahou nahradit tyto senzory dostupnějšími RGB senzory. Barevný model RGB pracuje na principu červené-zelené-modré barvy a jejich míchání, kdy kombinací těchto základních barev je dosaženo širokého spektra různých barev. Tato technologie je dostupnější a méně nákladná. Pomocí dronu není sledováno červené spektrum barev zachycující přímo přítomnost dusíku, ale je sledován obsah zeleného spektra (chlorofylu). Nepřímou metodou lze podle obsahu chlorofylu získat data o obsahu dusíku. Jedná se o dobrou náhradu drahých senzorů, ale zatím se nepotvrdila lepší účinnost, nebo alespoň stejná [31][32].

2.4.3 Biofyzikální posouzení

UAV je schopno zjistit biofyzikální atributy rostlin, jako je fáze růstu, akumulace biomasy a obecné podmínky plodin. Tyto informace jsou pro zemědělce velmi užitečné pro sledování vývoje plodin a plánování dalšího technologického, nebo agronomického procesu, jako je aplikace hnojiv, nebo začátek sklizně. Jedná se o velmi užitečnou informaci, protože opožděná nebo naopak brzká sklizeň může znatelně ovlivnit výnosnost plodiny [31][32].

Tato datová analýza je závislá na 3D senzorech, kdy dron generuje velké množství 3D bodů, díky kterým je možno vymodelovat celou rostlinu od půdy až po nejvyšší bod rostliny. To dodává představu o obsahu biomasy a lze určit i obsah a velikost výnosové části rostliny. Jedna jediná rostlina může být tvořena tisíci, ba i milionem 3D bodů, proto náročnost technologických parametrů na UAV a jeho výpočetní techniku a extrémní. V praxi dochází k prvním pokusům, kdy je dron vybavený senzory na 3D záznam doplněn RGB senzory. Například je prováděn výzkum na citronovníkové a pomerančovníkové plantáži. Každý ovocný strom je pomocí UAV 3D vymodelován a pomocí RGB senzorů je barevně každý bod obarven. V programu dochází k vykreslení celého stromu i s plody, díky tomuto je možno každý strom zanalyzovat a sledovat jejich dozrávání a určit přenou dobu sklizně u každého stromu zvlášť. Také je možnost vypočítat velikost sklizně z každého stromu. To by mohlo znamenat velký krok vpřed v oblasti ovocnářství a vinařství. V oblasti vinařství je v tuto technologii vkládáno velké očekávání, jelikož s různými odrůdami vinné révy by byla možnost sledování a přesného vyhodnocení každé odrůdy zvlášť a bez stále nutného fyzického dozoru. Jedná se o velmi slibný směr využití UAV, ale jak bylo řečeno náročnost na technické parametry UAV je extrémní, což bude i pořizovací cena. V současné době se tedy nejedná o praktické využití velkým množstvím zemědělcům [31][32].

2.4.4 Biologické monitorování

V biologickém monitorování dochází k identifikaci látky, která znehodnocuje zemědělskou rostlinu, jako například řasy, hmyzí škůdci a různé choroby rostlin. Práce na ochranu rostlin před škůdci patří k rutinní záležitosti každého zemědělce. Současné metody pro nalezení a určení tohoto znehodnocujícího prvku probíhá za podmínky manuální práce při odběru vzorku. UAV, díky své vysoké rozlišovací schopnosti a prostorovému rozlišení, je v budoucnu možný pomocník s automatizovanou diagnostikou tohoto problému. Pro úspěšnou funkci je nezbytné velké množství rozlišovacích senzorů všech typů, aby došlo ke správné identifikaci

charakteristik chorob a škůdců. Systém musí za pomoci výpočetní techniky rozhodnout o způsobu nápravy a informaci poskytnout zemědělcům. Tento monitoring zahrnuje řadu požadavků z topografického monitorování, fyziologického monitorování a biofyzikálního pozorování. Z topografického hlediska je nutné vysoké rozlišení a z biofyzikálního zase prostorové rozlišení. K identifikaci plevelů, a s tím spojené vytvoření herbicidních map, jsou využívány multispektrální senzory. Pro úspěšnou identifikaci je nutné mít snímky o vysokých detailech než snímky s prostorovým zobrazením. Například již zmíněné RGB senzory se používají k rozeznání plísní u pšenice. Na choroby se nejvíce hodí hyperspektrální senzory. Infračervené spektrum se využívá pro nalezení živých škůdců. V této kategorii musí být dron osazen všemi možnými senzory, což je i velmi finančně náročné. Další překážkou, nebo ztížením, je i letová výška. Multispektrální snímače musí operovat v nižších letových hladinách, aby došlo k dostatečnému prostorovému rozlišení snímače RGB. To vyžaduje více času a více průletu UAV nad zkoumaným porostem. Při zkoumání se zaměřuje na charakteristické atributy jako je barva, tvar, struktura a četnost výskytu škůdce nebo příznaků v pěstované rostlině. Existuje řada ztěžujících faktorů pro identifikaci, které se v okamžiku mohou diametrálně měnit, jako osvětlení a zastínění, okluze zkoumaných prvků atd. Při identifikaci škůdců musí být UAV schopno přesně zaostřit a vyfotografovat škůdce a toto foto porovnat s databází škůdců. Při sebemenším narušení, nebo zakrytí škůdce nemusí dojít k nalezení v databázi a musí být identifikace provedena ručně. Jedná se o jednu z nejnáročnějších disciplín použití UAV, zejména v nárocích na operační modely a technické parametry, ale možné benefity z tohoto využití UAV by byly revoluční. Stále větší očekávání ve výzkumné úrovni přináší i velký pokrok v umělé inteligenci. V současné době běží řada výzkumů zabývajících se právě touto disciplínou monitorování [31][32].

2.4.5 Precizní aplikace postřiků

Další využití UAV v precizním zemědělství je možnost cílené a efektivní aplikace postřiků, nebo tekutých hnojiv. První postřikovací UAV jsou zaznamenány v Asii, zejména v Číně, Jižní Koreji a Japonsku, kdy jsou nasazovány jako malé mobilní prostředky ve svažitých oblastech s nedostatkem lidské pracovní síly. Využití aplikačních dronů se v současné době uplatňuje v oblastech, kde se tradiční postřikové zemědělské stroje nedostanou. Kapacita dronu pro užitečný materiál není nijak velká, proto musí být před aplikací provedena odborná analýza, pro nalezení přesných míst, kde se bude roztok, látka aplikovat. Zdravá část je vynechána a tím přichází úspora na chemikálii i na zbytečném vsakování chemikálii do půdy [31][32].

Ke vzdušné aplikaci jsou využívány UAV s vertikálním vzletem s jedním nebo více motory. Většina je poháněna elektrickou energií z baterií, najdou se i takové, které jsou rozměrově větší a ty mohou být poháněny spalovacími motory. Na velikosti dronu je přímo závislá i kapacita nádrže na užitný materiál. Objem nádrže se pohybuje od 5 litrů až ke 20 litrům. V Japonsku byl proveden výzkum, kdy na stejném poli byla provedená aplikace postřiku pomocí UAV a pomocí pozemního postřikovače. Pozemní postřikovač spotřeboval 30 litrů postřiku na hektar půdy. UAV spotřebovalo po provedení analýzy pole pouze 1 litr hnojiva na hektar. Zpětná analýza a vyhodnocení postřiku mělo relativně stejný výsledek, a to i při úspoře 29 litrů postřiku díky aplikaci UAV. Drony při aplikaci musí započítávat velkou část proměnných parametrů, které mohou negativně ovlivnit konečnou aplikaci. Od základních parametrů jako je proudění vzduchu, výška aplikace, směr letu a jiné, tak i ty do této doby ojedinělé jako počet motorů dronů, jejich sklon a rychlost proudění vzduchu od jejich vrtulí. Vznikají i speciální trysky pro aplikaci hnojiv pomocí UAV. Tryska s rozstříkem 110° a průtokem 375,5 mililitrů. Tryska vytváří větší kapičky s průměrem 160 mikronů, které mají lepší nanášení kapek, lepší penetraci a menší drift pro postřiky. Drift při postřiku je největší ohrožení pro okolní přírodu, proto jak i u zemědělských letadel, vznikají aplikace snažící se omezit nevhodný drift. Díky řadě senzorů umístěných na UAV vznikají systémy pro přizpůsobení letových parametrů v reálném čase. Získávají se informace o pozici, o rychlosti a směru větru, o okolní teplotě, o relativní vlhkosti vzduchu, o rychlosti letu a nadmořské výšce, počtu rotorů a trysek, a také druhu trysek, je velmi důležitý. Tyto informace musí být UAV schopno vyhodnotit v reálném čase a po okamžitém zásahu obsluhy musí přijít znovu s novými pokyny pro současnou situaci. Nároky na UAV jsou opravdu vysoké, ale je to nezbytná součást pro úspěch a rozšíření UAV v oblasti zemědělství. S relativně nedávným příchodem technologie UAV dosud neexistují významnější zákony nebo omezení v používání UAV, ale to bude v budoucnu právně ošetřeno a upraveno. Již nyní musí mít obsluha UAV absolvovaný kurz pro obsluhu UAV a certifikát opravňující jeho obsluhu. To bude v budoucnu jistě nahrazeno a bude více byrokracie a nezbytných oprávnění k jejímu nasazování [31][32].

3. Cíl práce

Cílem předložené diplomové práce je na základě literární rešerše a polního měření vyhodnotit kvalitu a výkonnost letecké aplikace minerálních hnojiv a poukázat na výhody a nevýhody letecké a pozemní aplikace

Cílem práce je potvrdit nebo vyvrátit vědeckou hypotézu, že letecká aplikace minerálních hnojiv je alternativou k jejich pozemním aplikacím

Cíl praktické části byl vzhledem k pandemii Covid zúžen na návrh a výrobu měřícího zařízení pro vyhodnocení rovnoměrnosti letecké aplikace.

4. Metodika

Ke zhodnocení kvality letecké aplikace minerálních hnojiv byl stanoven experiment, pro který bylo nutné navrhnout a vyrobit měřicí zařízení. Experiment spočívá v tom, že zemědělské letadlo provede aplikaci minerálního hnojiva nad pozemkem, kde bude umístěno měřicí zařízení. Záběr rozhozu zemědělského letadla je podle technických parametrů letadla 30 metrů. Za účelem zhodnocení rovnoměrnosti aplikace bylo rozhodnuto, pro provedení experimentu, že měřicí zařízení musí být široké 60 metrů, tedy na dva aplikační přelety letounu. K výrobě měřicího zařízení byla navržena plachta s rozměry 1 x 60 metrů. Celková šíře plachty byla rozdělena do 30 odběrných oken, která mají rozměry 1 x 2 metry. Měřicí zařízení muselo být opatřeno pevnými kraji a vymezeními přepážkami mezi každým odběrným oknem. Z nutnosti manipulace a přepravy měřicího zařízení bylo nutno vyrobit zařízení z ohebných a lehkých materiálů, zároveň ale nesmí docházet k mísení a ztrátě granulí hnojiva. Z důvodu lehkosti měřicího zařízení, musela být přidána konstrukce k uchycení celého zařízení k zemi.

Pomocí základního výpočtu byl stanoven normativ pro množství granulového hnojiva ulpěného v každém odběrném oknu. Tento normativ bude dále porovnán se skutečně naměřenými hodnotami získané při polním experimentu. Granulové hnojivo je z odběrného okna smeteno do odběrného pytlíku, které budou odvezeny k vyhodnocení.

5. Praktická část

5.1 Stanovení normativu pro granulové hnojivo

Pro stanovení normativu bylo potřeba na počítadle semen (obrázek 26) stanovit množství 1000 granulí minerálního hnojiva. K změření a navážení bylo vybráno hnojivo NPK a močovina. Odměřené množství granulového hnojiva bylo sváženo a hmotnost byla zapsána do tabulky. Tato separace a následná vážení bylo u každého druhu hnojiva provedeno třikrát. Získané hmotnosti byly pomocí základních vzorečků zprůměrovány a byl vytvořen normativ pro námi zvolený experiment.

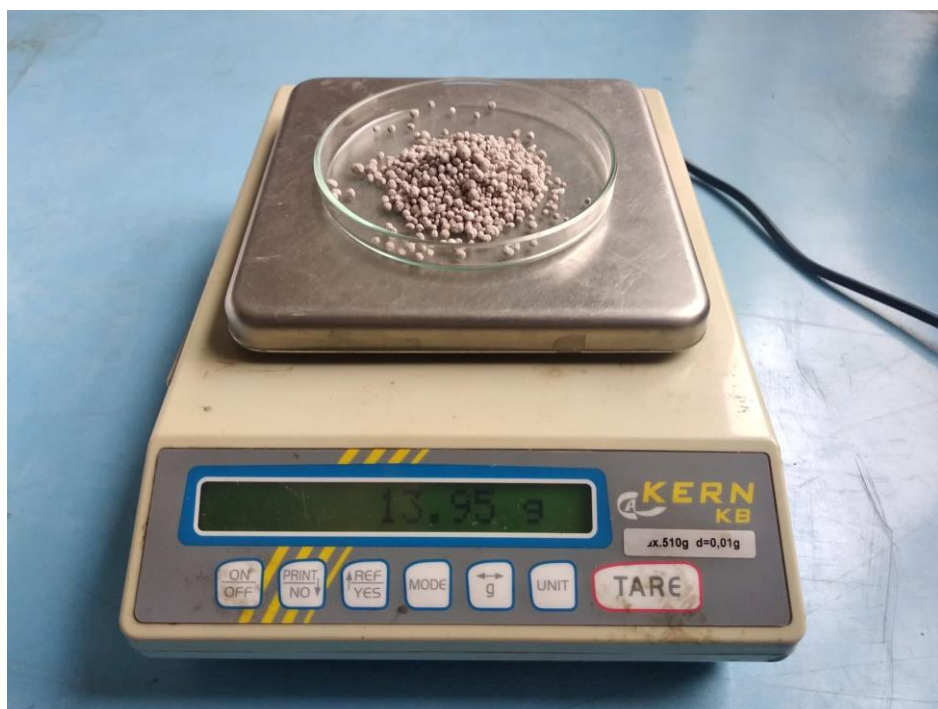


Obrázek 26: Počítadlo semen [33]

5.1.1 Normativ pro NPK

Prvním zvoleným granulovým hnojivem je hnojivo NPK. NPK hnojivo obsahuje tři základní složky živin, které jsou nezbytné pro optimální růst a vývoj rostlin. Jedná se o tři základní prvky N (dusík), P (fosfor), K (draslík).

Na počítadle semen bylo třikrát odpočítáno 1000 kusů granulí hnojiva NPK. Dále bylo provedeno vážení každého vzorku hnojiva (obrázek 27). Hmotnost byla zapsána, a využita k výpočtu normativu. Výsledky vážení byly u prvního vzorku 13,95 gramů, u druhého 14,76 gramů a u třetího 12,41 gramu. Uvažovaná aplikační dávka hnojiva na jeden hektar je 150 kilogramů na jeden hektar.



Obrázek 27: Vážení prvního vzorku NPK [33]

Prvním výpočtem je důležité zjistit jaké je hmotnost jedné granule hnojiva. Naměřená hmotnost hnojiva dělená počtem granulí (vzorec 1). S aplikační dávkou a vypočítanou hmotností jedné granule hnojiva lze zjistit celkový počet kusů granulí v celé aplikační dávce na jeden hektar. Aplikační dávka dělená hmotností jedné granule, krát počet granulí ve váženém vzorku. (vzorec 2). Po tomto výpočtu již známe celkové množství granulí, které by mělo být rovnoměrně aplikováno na celou plochu jednoho hektaru. Nyní bylo potřeba zjistit kolik kusů granulí by mělo být aplikováno na jeden metr čtverečný. Tedy celkový počet granulí děleno počtem čtverečných metrů v hektaru (vzorec 3). Pro zjištění, kolik gramů hnojiva bude shozeno na jeden metr čtverečný, počítáme navážená hmotnost vzorku dělená počtem granulí ve vzorku krát počet kusů granulí na jeden metr čtverečný (vzorec 4). Tento postup je opakován u všech tří vzorků. Pro konečný normativ jsou tyto hodnoty zprůměrovány. Výsledek je pro přehlednost uveden do tabulky (tab. 1)

Hmotnost jedné granule hnojiva:

$$a = \frac{m}{1000} \quad (1)$$

a ... hmotnost jedné granule hnojiva [g]

m ... hmotnost naváženého vzorku hnojiva [g]

Počet kusů granulí v celé aplikační dávce:

$$b = \frac{d}{a \cdot 1000} \quad (2)$$

b ... Celkový počet kusů granulí na jeden hektar

d ... aplikační dávka hnojiva na jeden hektar [kg/ha]

Počet kusů granulí na jeden metr čtverečný:

$$c = \frac{b}{10000} \quad (3)$$

c ... Počet kusů granulí na jeden metr čtverečný

Celková hmotnost hnojiva na jeden metr čtverečný:

$$f = \frac{m}{1000 \cdot c} \quad (4)$$

f ... Celková hmotnost hnojiva na jeden metr čtverečný [g]

Získané hodnoty byly zprůměrovány a byl vytvořen normativ pro letecké hnojení, hnojivem NPK. Výpočty u všech tří vzorků a výsledný normativ jsou zaznamenány v tab. 1.

Tab. 1: Normativ pro aplikaci NPK

Vzorek	<i>m</i> (g)	<i>a</i> (g)	Počet kusů ve vzorku	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>f</i> (g)
1.	13,95	0,01395	1000	10752688,17	1075,268817	15
2.	14,76	0,01476	1000	10162601,63	1016,260163	15
3.	12,41	0,01241	1000	12087026,59	1208,702659	15
Normativ	13,707	0,013707	1000	11000772,13	1100,077213	15,07839

[34]

Výsledný normativ pro leteckou aplikaci NPK je, že na jednom metru čtverečném dopadne přibližně 1 100 granulí hnojiva NPK o hmotnosti 15,07839 gramů, při počítané aplikační dávce 150 kilogramů hnojiva na jeden hektar.

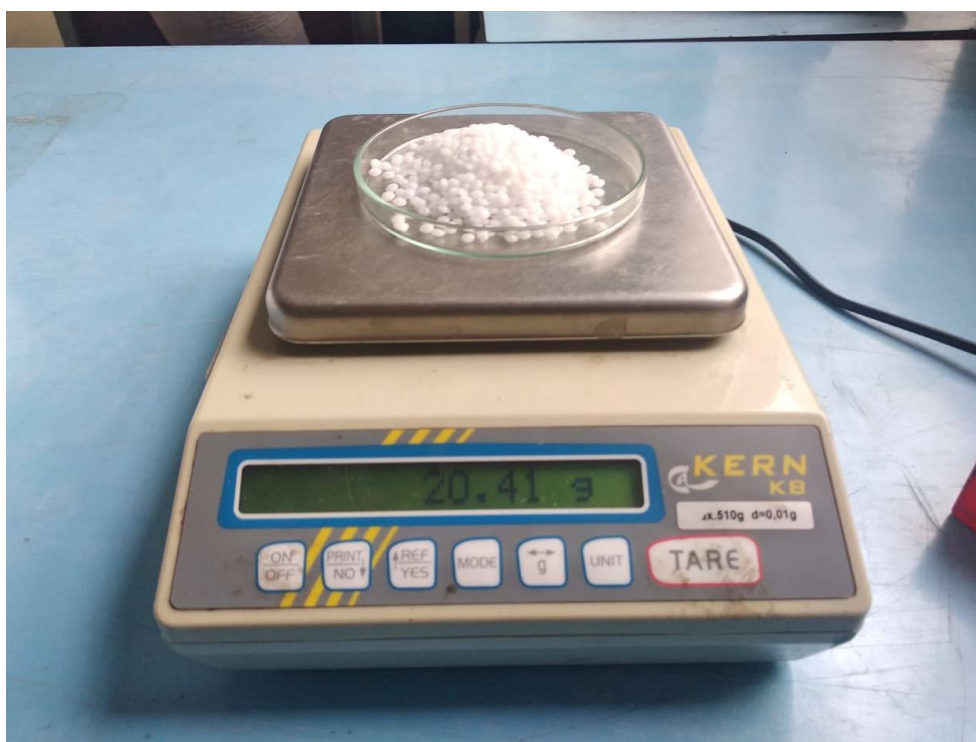
5.1.2 Normativ pro močovinu

Druhým zkoumaným granulovým hnojivem je močovina. Jedná se o hnojivo s vysokým obsahem dusíku. Močovina je nejkonzentrovanejším tuhým dusíkatým hnojivem. Hnojivo může být do půdy aplikováno před setím nebo sadbou a také během vegetace. Slouží k výživě rostliny.

Na počítadle semen bylo odpočítáno 1 000 kusů granulí močoviny (obrázek 28), stejně jako u prvního hnojiva, a i tady byly vytvořeny tři reprezentativní vzorky. Vzorky byly všechny zváženy a jejich hodnoty zapsány k dalším výpočtům (obrázek 29). Hmotnosti jednotlivých vzorků jsou u prvního 20,54 gramů, u druhého 20,67 gramů a u třetího 20,59 gramů. Stejně jako u předchozího hnojiva je aplikační dávka 150 kilogramů na jeden hektar.



Obrázek 28: Reprezentativní vzorek močoviny odpočítaný na počítadle semen [33]



Obrázek 29: Vážení druhého vzorku močoviny [33]

K výpočtu normativu aplikované močoviny byl použit stejný postup jako je zmíněn v předchozí podkapitole. Byly také využity vzorce (1), (2), (3) a (4). Tento postup byl také

prováděn u každého reprezentativního vzorku a spolu s normativem jsou pro přehlednost uvedeny v tab.2.

Tab.2: Normativ pro aplikaci močoviny

Vzorek	<i>m</i> (g)	<i>a</i> (g)	Počet kusů ve vzorku	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>f</i> (g)
1.	20,54	0,02054	1000	7302823,759	730,2823759	15
2.	20,67	0,02067	1000	7256894,049	725,6894049	15
3.	20,59	0,02059	1000	7285089,849	728,5089849	15
Normativ	20,6	0,0206	1000	7281602,552	728,1602552	15,0001

[34]

Výsledný normativ pro leteckou aplikaci granulové močoviny je, že na jednom metru čtverečný dopadne přibližně 728 granulí močoviny o hmotnosti 15,0001 gramů, při počítané aplikační dávce 150 kilogramů hnojiva na jeden hektar.

5.2 Výroba měřicího zařízení

Měřicí zařízení muselo být vyrobeno v rozměrech 1 x 60 metrů. Jedna z podmínek byla, že zařízení musí být skladné, aby bylo možno ho převážet v dodávce. Byla zvolena igelitová plachta a k tvorbě obvodové konstrukce a přepážek byla zvolena izolační trubka z PVC (polyvinylchlorid) na obrázku 35. Tyto trubky byly z jedné strany nařezány a kraje plachty vsunuty dovnitř trubky. Dále byla trubka a igelitová plachta slepena pomocí lepicí pásky.



Obrázek 30: Izolační trubka z PVC použita k obvodové konstrukci a tvorbě přepážek [33]

Trubky byly doručeny v délce 2 metry. K tvorbě obvodového rámu bylo potřeba 61 kusů této trubky. K vytvoření přepážek mezi okny bylo potřeba 7 kusů dvoumetrové trubky. Přepážka je vytvořena metrovou trubkou, která je v podélném směru rozříznuta v půlce. Vniklý tvar je tedy půlkruh. Ke spojení plachty a trubky je použita lepicí páska (obrázek 31).



Obrázek 31: Začátek výroby měřicího zařízení [33]

Celé měřicí zařízení je složeno z 30 odběrných oken (obrázek 32). Jedno okno se skládá ze dvou dvoumetrových trubek a dvou jednometrových přepážek. Okna jsou tvořena v návaznosti na sebe, aby byla zajištěna celistvost (obrázek 33). V průběhu výroby měřicího zařízení, ale kvůli nedostatečně pevnému spojení pomocí lepící pásky docházelo k jejímu trhání a vlivem skládání, kvůli podmínce že musí být schopno transportovat zařízení v dodávce, muselo být celé zařízení rozděleno do tří dvacetimetrových bloků. Jeden blok se tedy skládá z 10 oken každé po dvou metrech, tedy celková délka bloku je 20 metrů. Tento fakt ale v důsledku nijak negativně neovlivní celé měření, dokonce výrazně usnadní manipulaci s měřicím zařízením.



Obrázek 32: Jedno okno měřicího zařízení [33]



Obrázek 33: Tvorba bloku měřícího zařízení [33]

Po transportu na místo určení jsou všechny tři bloky lehce znovu spojeny pomocí lepící pásky, jako je tomu i při spojování jednotlivých oken. Celý jeden blok je ukázán na obrázku 34.



Obrázek 34: Jeden ze tří bloků měřícího zařízení [33]

Kvůli lehkým zvoleným materiálům musí být zařízení při měření přichyceno k zemi (k půdě) pomocí kovových tyčí. Tak bude zamezeno jakémukoliv posunu měřícího zařízení vlivem proudícího vzduchu za letadlem, nebo aktuálními povětrnostními podmínkami.

6. Diskuse

Měřicí zařízení bylo navrženo na dva přelety zemědělského letounu. Další podmínkou bylo, že musí být nařízení lehké a manipulace s ním velmi jednoduchá. Všechny tyto podmínky byly splněny a byla vyrobena měřicí plachta o rozměrech 1 x 60 metrů, skládající se ze 30 odběrových oken o rozměru 1 x 2 metry. Pro snazší manipulaci byla celá plachta rozdělena do 3 sekcí, každá pak o 10 odběrných oknech. Při použití igelitové plachty a PVC trubek vzniklo měřicí zařízení, které bylo velmi jednoduché na výrobu, ale dokonale odpovídá požadavkům a cílům, pro které bylo celé zařízení navrženo.

Nevýhodou zařízení je možnost přetržení lepící pásky, která drží PVC trubky a igelitovou plachtu pohromadě. K tomuto přetržení může dojít vlivem skládání a namáhání pásky, ale díky jednoduchosti je možné přetrženou pásku odstranit a nahradit novou za velmi krátký čas.

Vyrobené měřicí zařízení má výhodu, že může být rozděleno a poté zase spojeno, proto existuje další využití tohoto zařízení, například při hodnocení dronů a pozemních rozmetadel. Odběrová okna mohou být dle potřeby dále dělena a přestavována k účelu měření.

Celý experiment se bude skládat ze tří částí měření, kdy bude stejný pozemek vystaven nejprve letecké aplikaci bez navigace leteckého systému, tedy pilot bude aplikaci a navigaci určovat jen podle svých dovedností a zkušeností. Druhá část bude letecká aplikace s využitím navigačního systému, kdy navigační systém převezme navigaci a samotnou aplikaci za pilota. Poslední částí bude, že stejné pole bude pohnojeno pomocí pozemní techniky (traktor a rozmetadlo minerálních hnojiv). V tomto případě bude použita odlišná metodika odběru vzorků, popřípadě budou výsledky z letecké aplikace porovnávány s údaji v literatuře ohledně rovnoměrnosti aplikace pozemní. U letecké aplikace budou, po přeletu z každého odběrového místa o velikosti 1 x 2 metru, granule hnojiva smeteny do sáčků a v sáčcích převezeny do laboratoře, kde budou zváženy. Na základě zváženého množství hnojiva v jednotlivých odběrných místech je pak možno zjistit rovnoměrnost letecké aplikace.

Dle mého názoru bude porovnání letecké aplikace a pozemní aplikace velmi podobné. U letecké aplikace je však řada faktorů, které jsou v současné době velmi sledované, jako možnost neúmyslné aplikace do zakázaných zón, jako jsou vodní díla, obytné zóny a jiné. Taky v našich podmínkách existuje řada výškových překážek a jejich četnost na celé rozloze republiky je

velmi vysoká. Z tohoto důvodu je samotná letecká aplikace nebezpečná pro zemědělské piloty, tento faktor lze odstranit použitím nejmodernějších leteckých navigačních systémů, které obsahují databázi překážek a jsou schopné včas upozornit pilota na jejich přítomnost. Další nevýhoda pro leteckou aplikaci je ze strany státu, kdy stát reguluje celkovou výměru jedné plodiny.

Na druhou stranu je u letecké aplikace řada výhod, které jsou také velmi aktuální pro zemědělce. Jako je utužení půdy, způsobené přejezdy pozemní techniky, tedy kdy je půda utužována pod koly a hmotností traktorů a jiných strojů. To zásadně ovlivňuje celkovou výnosnost plodin. Zároveň nedochází k poškozování již vzešlé rostliny, a tedy k dalšímu snižování výnosu, kvůli špatnému stavu plodin.

7. Závěr

Využívání letecké aplikace neodmyslitelně patří k současnému zemědělství. Je pravdou, že intenzita využívání zemědělských letounů je v každé zemi, kontinentu rozdílná. V České republice se dnes příliš s leteckou aplikací nesetkáme, anebo pouze zřídka. Je to dáno geografickou rozmanitostí naší země, ale také vlivem platných vládních nařízení a zákonů, které například omezují celkovou výměru osetí půdy jednou plodinou. Maximální využití letecké aplikace totiž nastává při aplikaci na lány půdy s vysokou výměrou. Proto je letecká aplikace velice oblíbená v zemích Severní, Střední a Jižní Ameriky, Asii a Austrálii. I u nás ale nastávají situace, kdy se čeští zemědělci obracejí k využití zemědělských letadel, a to například při hospodaření na hůře dostupných pozemcích pro pozemní techniku, nebo při četném a vydatném úhrnu srážek, kdy je půda rozmáčená a pozemní technika nedokáže efektivně provádět dané úkony bez nebezpečí zapadnutí, nebo poškození rostlin. Letecká aplikace může v budoucnu nabídnout řadu možností, jak zdokonalit precizní zemědělství ať už dálkovým průzkumem Země k monitorování půdy, nebo k samotné aplikaci hnojiv a postřiků. Jednou z hlavních výhod letecké aplikace je, že nedochází ke zbytečnému zhutnění půdy vlivem přejezdů zemědělské techniky, a také nedochází k poškození již vzešlých rostlin.

Největší slibnou vyhlídkou je v současné době možnost plošného a všestranného nasazení UAV v zemědělství. Využití UAV v zemědělství prošlo podstatným vývojem s vyhlídkou na nahrazení činností, kdy je potřeba náročné a neefektivní lidské činnosti. Výzkum a rozvoj UAV je lukrativní cestou pro budoucnost zemědělství. Tento fakt podporuje snaha vědců a zemědělců po celém světě o pokrok a zdokonalení tohoto technického odvětví. Jelikož je v zemědělství stále těžší a těžší získat odborné pracovníky, nabízí umělá inteligence možnost, jak nahradit chybějící pracovníky v zemědělství.

8. Literatura

- [1] Lan Y B, Chen S D, Fritz B K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017; 10(3): 1–17
- [2] Agaviation2020: First Aerial Application. Agaviation100 [online]. 15. září 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/1922/>
- [3] Boll Weevils [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/1921/>
- [4] Forestry Seeding [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/about/timeline/>
- [5] Aerial Seeding [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/about/timeline/>
- [6] Stearman Biplane [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/stearman-biplane/>
- [7] Aerial Firefighting [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/about/timeline/>
- [8] U.S. Department of Agriculture [online]. USDA-RA [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.usda.gov/our-agency/about-usda>
- [9] The U.S. Military and the Herbicide Program in Vietnam [online]. Washington DC.: National Academies Press US, 1994 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK236347/>
- [10] Turbine Engines Introduced [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/turbine-engines-introduced/>
- [11] Technological Advances [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/technological-advances/>
- [12] High-Speed Wind Tunnel Used [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/2131/>
- [13] Technologi Revolution [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/>
- [14] Strobilurin fungicides [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/strobilurin-fungicides/>
- [15] Digitalization with the Use of Unmanned Aerial vehicle (UAV) in Agriculture. *Journal of Industrial policy and Technology Management*. Istanbul, Turkey: Istanbul Commerce University, 2020, 2020(3).

- [16] Cover Crops [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/cover-crops/>
- [17] Integration of UAV Systems [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/integration-of-unmanned-aircraft-systems/>
- [18] Ag-1 [online]. agaviation2020, 2020 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://agaviation100.com/timeline/s-1/>
- [19] Piper PA-25 Pawnee [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://www.owlapps.net/owlapps_apps/articles?id=1236583&lang=en
- [20] Transland Ag-2 [online]. all-aero [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <http://www.all-aero.com/index.php/home2/11137-transland-ag-2>
- [21] Grumman G-164 Ag-Cat [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://airandspace.si.edu/collection-objects/grumman-g-164-ag-cat/nasm_A20080395000
- [22] AgWagon [online]. Daryl Murphy, 2005 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.cessnaflyer.org/cessna-singles/cessna-188/item/577-agwagon-the-poor-man-s-p-51.html>
- [23] New Aircraft, Big and Small [online]. Scientific American, 2005 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/new-aircraft-big-and-small/>
- [24] PZL-106 Kruk [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: http://www.aviastar.org/air/poland/pzl_kruk.php
- [25] Let Z-37 [online]. agroportal24h [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/let-z-37-cmelak-legenda-mezi-praskovacimi-letouny>
- [26] Air Tractor [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://airtractor.com/>
- [27] ZHANG, M.J., R.R. ZHANG, G. XU a L.P. CHEN. Design and development of a navigation system for agricultural aerial spraying. *Advances in Animal Biosciences*. 2017, 8(2), 870-875. ISSN 20404700. Dostupné z: doi:10.1017/S2040470017001108
- [28] AG-NAV GPS Precision Navigation [online]. AG-NAV [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.agnav.com/>
- [29] Aerial Application - Guidance [online]. Satloc [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://satloc.com/>
- [30] DynaNav - Dynamic Navigation Systems [online]. DynaNav Systems [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://dynamnav.com/>

- [31] RADOGLU-GRAMMATIKIS, Panagiotis, Panagiotis SARIGIANNIDIS, Thomas LAGKAS a Ioannis MOSCHOLIOS. A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*. 2020, 172. ISSN 13891286. Dostupné z: doi:10.1016/j.comnet.2020.107148
- [32] AMARAL, Lucas Rios do, Cristiano ZERBATO, Rodrigo Greggio de FREITAS, Marcelo Rodrigues BARBOSA JÚNIOR a Isabela Ordine Pires da Silva SIMÕES. UAV applications in Agriculture 4.0. *REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA*. 2020, 51(5). ISSN 1806-6690. Dostupné z: doi:10.5935/1806-6690.20200091
- [33] Vlastní fotodokumentace
- [34] Vlastní tvorba

9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Vojenské letadlo "Jenny" využité k první letecké aplikaci insekticidu v zemědělství [2]	4
Obrázek 2: Přestavěné zemědělské letadlo Firmy Huff-Daland Dusters, Inc [3]	5
Obrázek 3: Znovu zalesněná oblast ostrovu O'ahu [4]	6
Obrázek 4: Letadla aplikující koncentrovaný herbicid za války ve Vietnamu [9].....	8
Obrázek 5: Ukázka digitální mapy pro precizní zemědělství [15]	11
Obrázek 6: Zemědělský letou sející semena krycí plodiny [16]	12
Obrázek 7: Letecký simulátor, simulující srážku s UAV [17]	13
Obrázek 8: První speciálně vyrobené zemědělské letadlo Ag-1 [18].....	15
Obrázek 9: Zemědělský letoun Piper PA-25 Pawnee [19].....	16
Obrázek 10: Zemědělské/hasící letadlo Ag-2 [20]	18
Obrázek 11: Zemědělský letoun Grumman G-164 Ag Cat [21]	20
Obrázek 12: Letoun Cassa 188 při nízké letecké aplikaci [22].....	21
Obrázek 13: Zemědělský letoun Embraer EMB-202 Ipanema [23]	22
Obrázek 14: Polský letoun PZL-106 Kruk při letecké aplikaci postřiku [24].....	23
Obrázek 15: Československý zemědělský letoun Zlín Z-37 Čmelák [25]	25
Obrázek 16: Zemědělský letoun AT-300 [26].....	27
Obrázek 17: Zemědělský letoun AT-802 [26].....	28
Obrázek 18: GPS (GNSS) přijímač P-500 od společnosti AG-NAV [28].....	30
Obrázek 19: Světelná lišta 887 od společnosti AG-NAV [28].....	31
Obrázek 20: Tvorba letové trasy pomocí programu NavViewW [28]	32
Obrázek 21: Guia Premium, letecká zemědělská navigace od firmy AG-NAV [28].....	33
Obrázek 22: Grafická analýza postřiku pomocí nástroje MapStar™ od firmy Satloc [29]	35
Obrázek 23: Letecká navigace Satloc Bantam [29].....	35
Obrázek 24: Letecká navigace Satloc G4 [29]	36
Obrázek 25: Zobrazovací prvek leteckého navádění HUD Upgrade [30].....	37
Obrázek 26: Počítadlo semen [33]	45
Obrázek 27: Vážení prvního vzorku NPK [33].....	46
Obrázek 28: Reprezentativní vzorek močoviny odpočítaný na počítadle semen [33]	49
Obrázek 29: Vážení druhého vzorku močoviny [33]	49
Obrázek 30: Izolační trubka z PVC použita k obvodové konstrukci a tvorbě přepážek [33] ..	51

Obrázek 31: Začátek výroby měřicího zařízení [33]	51
Obrázek 32: Jedno okno měřicího zařízení [33].....	52
Obrázek 33: Tvorba bloku měřicího zařízení [33]	53
Obrázek 34: Jeden ze tří bloků měřicího zařízení [33].....	54