



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra techniky a kybernetiky

Bakalářská práce

**Porovnání navigačních systémů a snímkových dronů
v rostlinné výrobě**

Autor práce: Jakub Hofman

Vedoucí práce: Ing. Aleš Heřmánek

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Podpis

Abstrakt

Bakalářská práce obsahuje detailní informace o novodobých navigačních systémech, popisuje jejich využití a výhody pro co nejefektivnější zemědělství. Obsahuje také porovnání jednotlivých navigačních systémů a výběr té nejvhodnější varianty pro vybraný podnik. Dále se zde nachází téma o snímkovacích dronech, které poslouží ke zmapování pole a ulehčí v rozhodování úpravy postižených míst v porostu. Nejdůležitějším bodem této práce je porovnání těchto technologií, jak po finanční stránce, přesnosti, kompatibilitě a spolehlivosti.

Klíčová slova: Navigační systémy, snímkovací drony, John Deere, Lpis, GNSS...

Abstract

The bachelor thesis contains detailed information about modern navigation systems, describing their application and benefits for the most efficient agriculture. It also includes a comparison of various navigation systems and the selection of the most suitable option for a selected enterprise. Furthermore, there is a section on imaging drones, which will be used for field mapping and will facilitate decision-making regarding interventions in affected areas of the crops. The most crucial point of this thesis is the comparison of these technologies in terms of financial aspects, precision, compatibility, and reliability.

Keywords: Navigation systems, imaging drones, John Deere, LPIS, GNSS...

Poděkování

Děkuji panu Ing. Alešovi Heřmánkovi za vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat manažerům podniku, pro který jsem tyto informace získával, za poskytnutí informací o podniku a strojích náležící tomuto podniku. Poděkování, také patří všem pracovníkům z firem, kde jsem se byl dotazovat na jejich systémy.

Obsah

Úvod.....	7
1 Precizní zemědělství.....	8
2 Navigační systémy	9
2.1 Vesmírná část	10
2.2 Pozemní část.....	11
2.3 Uživatelská část.....	11
2.4 NAVSTAR GPS.....	12
2.5 Glonass	12
2.6 Galileo	12
2.7 COMPASS BeiDou – 2.....	13
3 Navigace strojů pomocí GNSS	15
3.1 Manuální navádění strojů	15
3.2 Asistované navádění strojů.....	15
3.3 Automatické navádění strojů.....	16
4 Snímkovací drony	18
4.1 Dokumentace pěstební plochy pomocí dronu	18
4.1.1 Multispektrální mapy	19
4.1.2 Multispektrální snímkování	20
4.2 Legislativa	20
4.2.1 Drony bez štítku	20
4.2.2 Drony se štítkem	21
5 Metodika	22
5.1.1 Náklady na spotřebu osiv	23
6 Stroje vybraného podniku	25
6.1 Traktory.....	25
6.2 Secí stroj.....	26
7 Testovaná pole	29
7.1 Výsledky výpočtů přesevu	32
8 Systémy k porovnání.....	34
8.1 Drony.....	34
8.1.1 Dron DJI Mavic 3 Multispectral SP.....	34

8.1.2	Křídlo SenseFly eBee X + Kamera SenseFly S.O.D.A. 3D ..	35
8.2	Navigační systémy	36
8.2.1	John Deere StarFire 7000.....	36
8.2.2	Licence SF1 a SF3	37
9	Návrh vhodných technologií	38
9.1	Porovnání licencí navigačního systému	38
9.1.1	Licence SF1.....	38
9.1.2	Licence SF3.....	39
9.2	Porovnání snímkových dronů	40
10	Diskuse.....	41
	Závěr	45
	Seznam použité literatury.....	46
	Seznam obrázků	49
	Seznam tabulek	50
	Seznam grafů.....	51
	Seznam zkratk	52

Úvod

V současné době se všechny technologie pohybují velmi rychle dopředu. Na manuální práce už není potřeba tolik zaměstnanců jako dříve, pracovníky nahrazují autonomní stroje a systémy. Je tomu tak i v zemědělství, které využívá řadu autonomních systémů. Na zemědělské technice se čím dál častěji objevují navigační systémy, které zvyšují efektivitu a výnosy v zemědělské výrobě. Navigační systémy pomáhají optimalizovat přesné setí, aplikaci hnojiv a postřiků. Tímto způsobem minimalizují plýtvání osivy, postřiky a hnojivy, a zároveň snižují náklady na pohonné hmoty, protože technika obdělává pouze nezbytnou polní plochu, aniž by zbytečně přejížděla.

Rostlinná výroba je základní a velmi důležitá položka v zemědělství. Slouží k výživě lidí a hospodářských zvířat. Rostlinné posklizňové zbytky mohou sloužit, jak k výživě nové úrody, která bude později na poli vyseta, tak i ke sběru a dalšímu využití mimo pole. Stroje, které tuto práci vykonávají, musí vykonávat během sezóny spousty polních operací od přípravy půdy až po sklizeň. Aby tyto operace byly co nejefektivnější, jsou využívány navigační systémy, které snižují náklady na setí, hnojení, postřiky, sklizeň a pohonné hmoty.

Dalším pomocníkem v rostlinné výrobě může být snímkovací dron, který z ptáčích perspektiv zmapuje pole, a případná ošetření pomocí postřiků se díky tomu mohou aplikovat pouze bodově a nemusí se dělat plošné ošetření, což také výrazně sníží náklady.

V bakalářské práci jsou popsány základní stroje pro rostlinnou výrobu, na které se práce vztahuje. Dále jsou popsány navigační systémy a snímkovací drony.

Hlavním bodem bakalářské práce je porovnání výroby bez navigačních systémů a s navigačními systémy. Dále analýza a vyhodnocení nejlepší varianty těchto systémů pro vybraný podnik. Rozhodujícím bodem pro vyhodnocení výsledku bude pořizovací cena, přesnost a posouzení zda se pořízení systému v dlouhodobém spektru vyplatí. Posledním bodem bude výběr snímkovacího dronu, který bude porovnáván způsobem porovnání cena/výkon.

1 Precizní zemědělství

Koncept precizního zemědělství, který využívá moderní technologie v zemědělské výrobě, vznikl na konci osmdesátých a devadesátých let. Odlišnost precizního zemědělství a tradičních způsobů spočívá v úrovni řízení managementu polních prací. V konvenčním zemědělství je pozemek často považován za homogenní celek, zatímco v precizním zemědělství se využívá heterogenita půdy a individuálních vlastností pozemků díky novým technologiím. Jako hlavní kritérium správné funkčnosti této pěstební technologie je naprosté zachování zásad správné zemědělské praxe, což znamená plnění pěstebního plánu, zajištění všech polních operací ve správném čase a v odpovídající kvalitě, nebo také poctivý sběr všech agronomických informací a jejich evidenci, ze které lze vycházet při dalších důležitých manažerských rozhodnutích (Neudert et Lukas, 2015).

Precizní zemědělství integruje nové technologie do pokročilých zemědělských metod, zejména při pěstování plodin, s cílem optimalizovat vstupy podle skutečných potřeb plodin na individuálních částech pozemku. To znamená, že je zemědělec schopen podle získaných dat přesně ošetřit daný kus půdy a nemusí toto ošetření aplikovat na celou plochu, díky tomu může výrazně ovlivnit náklady a výnosy v hospodaření. Moderní technologie, jako jsou senzory, mapování půdy, výnosová data a satelitní navigace, umožňují identifikaci a korekci nežádoucích procesů v zemědělských postupech. Tyto metody jsou využitelné ve všech typech zemědělství a podporují neustálý vývoj nových technik ve sklizni (Neudert a Lukas, 2015).

Tento trend v zemědělství odráží rostoucí potřebu zemědělců a stimuluje výrobce zemědělských strojů k inovaci a vývoji technických řešení pro tyto moderní přístupy (Neudert a Lukas, 2015).

2 Navigační systémy

Globální družicový navigační systém je obecným označením pro technologie určování polohy pomocí satelitní sítě obíhající kolem Země. Tyto systémy fungují na principu analýzy rádiových signálů vysílaných družicemi a přijímaných navigačními přijímači GNSS. Systémy jsou konstruovány tak, aby jejich pokrytí sahalo přes celý svět, a díky tomu jsou přijímače schopny určit přesnou polohu kdekoli na povrchu Země. (Neudert a Lukas, 2015).

Přijímače GNSS zpracovávají signál vysílaný satelity prostřednictvím měření doby, kterou trvá signálu cestovat od satelitu k anténě přijímače, a transformují ji na vzdálenost mezi přijímačem a satelitem (viz. Obrázek 1). Zároveň také sledují rozdíl mezi frekvencí, na které vysílá satelit (ta je vždy u všech satelitů stejná), a frekvencí, kterou přijme. Tento rozdíl vzniká kvůli Dopplerově jevu, který způsobuje pohyb satelitu nebo pohyb přijímače. Tyto informace umožňují zaměřit místo, kinetickou energii vyjádřenou v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a zároveň jakým směrem vůči světovým stranám sledovaný přijímač mění svou polohu. Pro stanovení polohy je nutné znát charakteristiky alespoň čtyř družicových zařízení současně s informacemi o jejich poloze v okamžiku vyslání signálu. Každý satelit poskytuje tyto údaje prostřednictvím navigačních zpráv. Výpočet polohy se řídí zásadou určení průsečíku několika sfér v prostoru. Měření doby, kterou signál putuje, se provádí tak, že satelit vysílá známý signál s informací o čase vyslání. Přijímač porovnává tento signál s kopií, kterou generuje stejně jako satelit, postupně zpožďuje generovaný signál, dokud nenajde hodnotu zpoždění, při které se oba signály shodují. Tento proces se nazývá korelace signálů. Získaná hodnota zpoždění se následně převede na vzdálenost pomocí známé rychlosti šíření elektromagnetických vln. Měření Dopplerova posunu frekvence představuje efektivní metodu pro určení vektoru rychlosti pohybu přijímače bez nutnosti znalosti vzdálenosti od satelitu. Výpočet vektoru rychlosti je založen na jednoduchém sčítání vektorů (Rapant, 2002).



Obrázek 1 Pokrytí Země GNSS satelity (Thornton, 2021)

K získání polohy za využití družicových signálů existuje několik metod, mezi něž patří Úhloměrná, Dopplerovská, Interferenční a Dálkoměrná. V současné době je nejrozšířenější a nejčastěji používanou metodou pro stanovení polohy prostřednictvím družic právě dálkoměrná metoda, která tvoří základní prvek téměř všech systémů GNSS. Dopplerova metoda pro určení polohy původně dominovala zejména v systému Transit, avšak v současnosti se od této metody ustupuje a využívá se spíše jako doplňková metoda, která se kombinuje s dálkoměrnou metodou pro vzájemné posílení efektivity. GNSS se skládá ze tří částí. První částí je vesmírný segment, druhou částí je pozemní segment a třetí částí je segment uživatelský (Šebesta, 2012).

2.1 Vesmírná část

Vesmírný segment GPS sestává z původně 24, nyní až 32 satelitů, pohybujících se ve výšce 20 200 km nad zemským povrchem po 6 kruhových drahách s inklinací 55° . Tyto dráhy jsou navzájem posunuty o 60° a na každé z nich se nachází původně 4, dnes však 5-6 nepravidelně rozložených pozic pro satelity. Každý satelit má hmotnost přibližně 1,8 t a pohybuje se rychlostí $3,8 \text{ km} \times \text{s}^{-1}$ na střední oběžné dráze (Štroner, 2022).

Každý z těchto satelitů je vybaven třemi nebo čtyřmi velmi přesnými atomovými hodinami, komunikačními anténami pro spojení s pozemními kontrolními stanicemi, optickými, rentgenovými a pulzními elektromagnetickými detektory, senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů, solárními panely a bateriemi jako zdrojem energie. V České republice

bylo v roce 2008 průměrně vidět 8 družic při elevační masce 10° , což je úhel mezi zemí a polohou satelitu GPS, kdy platí, že čím větší úhel je nad horizontem, tím přesnější je určení polohy. Satelity jsou několikrát ročně, obvykle plánovaně, odstaveny pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy. Průměrná životnost satelitu činí asi 10 let, a obměna vesmírného segmentu probíhá přibližně každých 20 let (Štroner, 2022).

2.2 Pozemní část

Segment se skládá z několika částí, včetně velitelství na letecké základně Los Angeles v Kalifornii, řídicího střediska na letecké základně USAF v Colorado Springs a tří povelových stanic na základnách USAF, konkrétně v Kwajaleinu, Diego Garcia, Ascension Island a případně i Cape Canaveral. Dále zahrnuje 18 monitorovacích stanic. Řídicí a kontrolní segment sleduje kosmický segment, vydává pokyny družicím, provádí manévry a údržbu atomových hodin. Každá družice má systém, ve kterém uvádí podrobnou zprávu s informacemi o navigačním monitorování. Tyto informace jsou platné po dobu několika hodin. V případě možného zničení nebo poruchy u pozemních vojenských stanic, je připraven pro družice režim AUTONAV (Autonomní Navigační Režim), který je schopen fungovat po dobu 6 měsíců. Dochází ke vzájemné komunikaci družic mezi sebou. Při komunikaci si sdělují údaje o poloze a stav palubních hodin. K aktivaci tohoto režimu ještě nikdy nedošlo a informace o tom, zda byl někdy vyzkoušen test, není dosud veden žádný záznam (Štroner, 2022).

2.3 Uživatelská část

Uživatelé využívají GPS přijímač k zachycení signálů z družic, které jsou v daný okamžik nad obzorem. Na základě těchto signálů (obsahujících časové značky a polohu družic) a předem stanovených parametrů přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesné datum a čas, který GPS poskytla. Komunikace probíhá jednosměrně, od družic k uživateli, což znamená, že GPS přijímač je pasivní. Geodetický GNSS přijímač se skládá z antény, přijímače a kontroleru a existuje mnoho různých uspořádání a kombinací těchto komponent. V České republice jsou v současnosti využívány

přístroje, které přijímají signály jak ze systému GPS, tak i ze systému GLO-NASS (Štroner, 2022).

2.4 NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS je družicový radiotechnický systém, který je v současné době nejrozšířeněji používán. Provozuje ho Ministerstvo obrany Spojených států amerických. Poskytuje data ve standardním veřejném režimu pro všechny uživatele a ve zvláštním režimu s přesným určením polohy pouze pro vojenské účely (Navstar GPS, 2023).

Standardní polohovací služba je veřejně přístupná a poskytuje služby pro všechny uživatele. Přesnost a dostupnost této služby však není garantována. SPS byla vybavena bezpečnostním opatřením, kvůli možnému bojovému zneužití. Systém tedy záměrně ukazoval nepřesnou polohu. To měl na starost do roku 2000 režim Selective Availability, který když byl aktivován, tak se přesnost pohybovala v přesnosti přibližně 100 m. V této době se však přesnost pohybuje kolem 5 m. Rozšiřujícím režimem je technika DGPS, která dokáže přesnost zvětšit až na 0,5 m (Neudert a Lukas, 2015).

2.5 Glonass

Glonass představuje ruský navigační systém, jehož základní princip fungování je téměř identický se systémem GPS NAVSTAR. Vývoj systému Glonass započal v osmdesátých letech dvacátého století. V devadesátých letech dvacátého století se objevily problémy, zejména nedostatek zdrojů, což vedlo ke zpomalení celého vývoje a údržby systému. V první dekádě 21. století docházelo postupně k doplňování satelitů na oběžnou dráhu, a v březnu 2010 bylo dosaženo počtu 21 satelitů, přičemž zbývající tři satelity byly plánovány k vypuštění do roku 2011 (Neudert et Lukas, 2015). Když porovnáme systémy Glonass a GPS zjistíme, že v současné době se využívá více systém GPS, který disponuje vyšším počtem satelitů na oběžné dráze.

2.6 Galileo

Systém Galileo je evropský globální družicový navigační systém (GNSS). Tento systém má fungovat nezávisle na americkém systému Navstar GPS a ruském systému GLONASS. Jeho výstavbu zajišťují státy Evropské unie

prostřednictvím Evropské kosmické agentury a dalších institucí (Steiner, 2006), (Štroner, 2022).

Původní plány na GNSS Galileo sahají do roku 1999, kdy byl koncipován jako veřejný projekt financovaný soukromými investory. Avšak tento finanční model nakonec selhal, a proto Evropská komise představila plán financování projektu z rozpočtu EU a posunula spuštění na rok 2012. První technologická navigační družice pro testování komponent tohoto systému, nazvaná Giove-A, byla vyslána do vesmíru dne 28. prosince 2005. Druhá družice, Giove-B, následovala s vypuštěním na oběžnou dráhu dne 27. dubna 2008. Dne 21. října 2011 byly vyneseny na oběžnou dráhu dva další satelity (Štroner, 2022).

Vesmírná část systému Galileo má zahrnovat celkem 30 operačních družic, z nichž 27 bude plně operativních, a 3 budou záložní. Tyto družice obíhají ve výšce přibližně 23 tisíc kilometrů nad povrchem Země po drahách se sklonem 56° k zemskému rovníku, vzájemně posunutých o 120° . Každá dráha bude mít 9 pozic pro družice a 1 pozici jako zálohu, což zajišťuje rychlé doplnění systému v případě selhání družice (Štroner, 2022).

2.7 COMPASS BeiDou – 2

Tento systém pochází z Číny a je už druhou generací. Jeho předchůdcem byl BeiDou Satellite Navigation Experimental System.

Konstelace vesmírné části COMPASS se odlišuje od ostatních GNSS tím, že kombinuje satelity na třech typech oběžných drah. Současná konstelace zahrnuje šest satelitů na geostacionární dráze v nadmořské výšce přibližně 35 800 km, pět satelitů na nakloněné geosynchronní dráze obíhající ve stejné výšce nad Zemí a pět satelitů na střední oběžné dráze ve výšce přibližně 21 500 km. Vesmírná část bude plně operačně obsahovat celkem 35 satelitů na třech typech drah – 5 satelitů na geostacionární dráze, 3 satelity na třech nakloněných geosynchronních drahách a 27 satelitů na střední oběžné dráze. Satelity umístěné na střední oběžné dráze budou sledovat tři dráhy s osmi aktivními satelitními pozicemi a jednou rezervní pozicí. Posledním vypuštěným satelitem je šestý satelit na geostacionární dráze, který má nahradit starší

satelit vypuštěný v roce 2009, který je nyní mimo provoz a není řízen. Signály, které COMPASS vysílá, jsou rozlišeny na základě techniky CDMA, která sdílí svá data mezi různými místy pomocí elektronického, nebo optického spojení, stejně jako u systémů GPS a Galileo. Pásmo E1, E2, E5b a E6 jsou pásma, ve kterých tento systém vysílá a díky tomu překrývající signály vysílané družicemi Galileo (Bezpalec, 2015).

Pozemní část systému Compass je podobný jako u ostatních navigačních satelitních systémů. Zahrnuje hlavní řídicí stanici, dvě stanice pro přenos zpráv k satelitům a třicet monitorovacích stanic. Uživatelský segment se skládá z přijímačů signálů Compass/BeiDou. Podobně jako v případě ostatních satelitních navigačních systémů umožňují tyto přijímače přesné určení polohy, rychlosti a času (Bezpalec, 2015).

3 Navigace strojů pomocí GNSS

I když je navigace zemědělských strojů již na vysoké úrovni, stále se vyvíjí s důrazem na opakovatelnost tras, které se dokupují buď v podobě měsíčních licencí anebo ročních licencí. Dále také kladou důraz na přesné setí, díky kterému se dají výrazně snížit náklady. Pracuje se také na rozvinutí systémů jako je Section-Control, Auto-Track a další podobné funkce. V současnosti byly tradiční metody navigace nahrazeny moderními technologiemi GNSS. Výrobci na trhu přibývá a jejich navigační zařízení nabízejí různé typy navigačních prostředků, ale princip navigátorů zůstává obdobný.

Základním záměrem efektivního řízení zemědělských strojů na poli je optimalizovat využití osiva při setí, regulovat množství minerálních a statkových hnojiv a postřiků, snížit spotřebu paliv a omezit opotřebení samotného stroje. Efektivita stoupá také díky zkrácení doby na poli a stroj je schopen obdělat větší plochu za menší časový úsek. Při aplikaci minerálních hnojiv a chemických postřiků je důležitá šetrnost vůči pěstovaným plodinám a životnímu prostředí. Navigace pomocí GNSS se rozděluje na manuální, asistované a automatické navádění (Kumhála, 2007).

3.1 Manuální navádění strojů

Manuální navádění znamená, že stroj lze ovládat pomocí obsluhy, která sleduje navigaci buď na LCD displeji, který se většinou nachází na pravé straně kabiny traktoru u řadicí páky, nebo na LED diodové liště. Tato lišta je složena z LED diod a signalizuje vychýlení stroje z liniové dráhy: při odchylce na levou nebo pravou stranu se rozsvítí odpovídající LED diody, přičemž správný směr je indikován zeleným světlem a vychýlení červenými pruhy. Tato lišta může také pomáhat při otáčení stroje na souvrati, protože ukazuje stopy, které si obsluha zadala do palubního počítače. Lišta bývá obvykle umístěna před čelním sklem ve středové ose stroje, aby obsluha měla optimální výhled (Kovaříček, 2005).

3.2 Asistované navádění strojů

U asistovaného navádění strojů probíhá práce tak, že přijímač přijímá informace o aktuální poloze stroje a následně je zpracovává a výsledky následně propojuje s informacemi o pozemku. Údaje, které přijímač získá, jsou poté

předávány řídicí jednotce, která na základě těchto informací generuje impulzy pro ovládání elektromotoru, který odpovídá za otáčení volantu. V praxi se lze setkat se zemědělskou technikou, která nedisponuje moderní technologií a není schopna otáčet volantem sama. Pro tuto techniku existuje posilovač řízení, který se do traktoru nainstaluje a otáčí volantem sám. Přesnost a plynulost zatažení celého stroje závisí na kvalitě přijímače a frekvenci přijímaného signálu. Tato technologie je flexibilní a lze ji použít na různé druhy zemědělských strojů, včetně traktorů, sklízecích mlátiček, samohodných postřikovačů a dalších, ale vyžaduje přítomnost vestavěného posilovače řízení. Systém je možné dát i na závěsné stroje a slouží jako pomocný lokátor, není ovšem možné aby sám s připojeným strojem manipuloval, proto je potřebné, aby vždy byl tímto systémem vybaven i traktor, za kterým je stroj připojen (Kumhála, 2007).

3.3 Automatické navádění strojů

Implementace automatického řízení u zemědělských strojů je zaměřena na substituci obsluhy automatickým naváděcím systémem (viz. Obrázek 2). Pokud pomineme některé aspekty manuálního řízení stroje, lze říci, že systémy pro sběr a analýzu dat jsou podobné těm, které se používají běžně právě u manuálního a asistovaného řízení. Do nezbytné výbavy každého stroje, který má být určen pro automatizovaný pohyb po poli, se jako první počítá sada snímačů. Ty v celém systému zajišťují sběr dat o natočení kol, poloze volantu a přesné poloze na poli (GPS přijímač). Dále je nutné mechanizaci vybavit ventily s kapalinovým principem fungování, a to konkrétně v části samotného ovládání směru pohybu stroje. Stroj musí být také vybaven multifunkční palubní deskou, kterou jsou již moderní stroje v současnosti vybaveny v základní výbavě. Tato deska musí obsahovat zvláštní tlačítko, kterým obsluha kontroluje zapojení režimu automatiky ovládání do činnosti stroje při pohybu na poli. (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 2 Automatické navádění stroje (Charlies Stores Ltd., 2022)

4 Snímkovací drony

Snímkovací drony jsou bezpilotní letouny ovládané na dálku. Drony mohou být vybaveny několika rotory, na kterých se nachází vrtule. Nejčastěji jsou k vidění kvadrokoptéry, tedy drony se čtyřmi rotory. Drony jsou díky těmto motorům schopny létat. Aby se dron mohl naklánět, je potřeba, aby každý motor byl schopen zvýšit nebo snížit počet otáček za minutu. Důležité také je, aby se polovina motorů točila opačným směrem, a vrtule musí být protilehlé. Tento systém je pak schopen létat bez ocasního rotoru jako mají například helikoptéry. V dronu se nachází spousta senzorových čipů. Tyto čipy mají na starost zpětnou vazbu mezi dronem a řídicím systémem. Čipy mají na starost také senzory náklonu, senzory otáčení, senzory větru a spousty dalších. O množství senzorů rozhoduje výbava dronu. (Juračka, 2017)

Drony se dělí na dvě základní kategorie. První kategorii zastupují drony, které nejsou vybaveny GPS systémy. Druhou kategorií jsou drony vybaveny GPS systémy. Pro pořizování snímků jsou vhodné oba typy dronů, pro kvalitnější a přesnější snímky jsou výhodnější drony se zabudovaným GPS systémem. Umožňují totiž stabilizaci dronu na pevném bodě a obsluha se může naplno věnovat pořizování snímků. GPS systém sice usnadňuje ovládání dronu, nicméně pilotování dronu stále vyžaduje odpovídající dovednosti. Drony jsou ovládány ovladačem, ve kterém buď může být zabudovaná obrazovka, nebo se obraz pořízený z dronu dokáže promítat na mobilní telefon. Vylepšenou verzí promítání obrazu jsou speciální brýle s vestavěným displejem. Tyto brýle zajišťují lepší spojení mezi obsluhou dronu a samotným dronem, protože obsluha má pocit, že se nachází přímo v dronu. (Novák, 2021)

4.1 Dokumentace pěstební plochy pomocí dronu

Precizní mapování zemědělských pozemků by bylo velmi časově a technicky náročné nebýt bezpilotních letadel vybavených specializovanou snímací technikou. Záznamy pořízené z výšky jsou rychlým, precizním a efektivním způsobem vyhodnoceny a zpracovávány do podoby aplikačních map a ortofotomap. S jejich pomocí lze přesně, dle potřeby dávkovat hnojiva a postřiky a zužitkovat tak veškerý potenciál pole. Výstupy ze snímkování vedou ke

zvýšení výnosů, snížení nákladů a zlepšení celkové efektivity hospodaření (Djetlink, 2024).

4.1.1 Multispektrální mapy

Využitím dronu vybaveného termokamerou nebo multispektrální kamerou lze snadno identifikovat například rostliny postižené nedostatkem vody, a to mnohem dříve, než by bylo možné to rozpoznat lidským okem. Čas získaný tímto způsobem může být využit k včasné detekci problému a prevenci před většími škodami. Klíčové faktory, které ovlivňují celkový výnos, kvalitu a ziskovost zemědělské produkce, zahrnují dostupnost vody pro rostliny a jejich odolnost vůči případnému nedostatku během růstu. Mapa rovněž poskytuje přesné informace o oblastech, které vyžadují detailnější průzkum pro efektivní plánování, což znamená méně času stráveného zkoumáním půdních bloků a více času věnovaného péči o plodiny, které potřebují zvláštní pozornost (Djetlink, 2024). Pro praktické využívání slouží 5 důležitých map, které se využívají.

První mapou je NDVI mapa. Jedná se o normalizovaný rozdílový vegetační index. Hlavní funkcí této mapy je využití rozdílu odrazivosti v infračerveném a červeném spektru. Skládá se ze tří částí. První je zelená barva, která označuje oblast s vysokou aktivitou vegetace, tímto se indikují zdravé rostliny. Druhá část je žlutá nebo oranžová barva ta ukazuje střední vegetační aktivitu, to může znamenat stres rostlin. Třetí částí je červená barva, ta označuje oblasti s nízkou vegetační aktivitou, to by mohlo být zapříčiněno nemocí rostliny, škůdci, anebo nedostatek vody (Quezada a Zhang, J., 2024).

Druhou mapou je EVI mapa poskytuje podrobnější informace než NDVI tím, že minimalizuje atmosférické vlivy a zvýrazňuje signál z vegetace. Skládá se ze dvou částí, první část jsou vysoké EVI hodnoty, ty indikují hustou a zdravou vegetaci. Druhou částí jsou nízké EVI hodnoty, ty ukazují na řídkou nebo stresovanou vegetaci (National Center for Atmospheric Research Staff, 2023).

Třetí mapou je SAVI mapa. Tato mapa upravuje vegetační indexy o vliv půdy, což je užitečné v oblastech, kde je řídká vegetace. Vysoké SAVI hodnoty ukazují na zdravou vegetaci s minimálním vlivem půdy. Nízké SAVI hodnoty indikují méně hustou vegetaci (Quezada a Zhang, J., 2024).

Čtvrtou mapou je mapa chlorofylového obsahu. Tato mapa využívá specifická spektrální pásma citlivá na chlorofyl, což umožňuje hodnocení zdraví rostlin a jejich fotosyntetické aktivity. Vysoké hodnoty chlorofylu označují zdravé, fotosynteticky aktivní rostliny. Nízké hodnoty chlorofylu naznačují rostliny ve stresu nebo trpící nedostatkem živin (Quezada a Zhang, J., 2024).

Pátou mapou je mapa teploty povrchu. Tato mapa ukazuje teplotu povrchu půdy a rostlin, což může být indikátorem vodního stresu nebo nemoci. Vysoké teploty mohou signalizovat nedostatek vody nebo přehřívání rostlin. Nízké teploty mohou indikovat dobře zavlažované a zdravé rostliny (Quezada a Zhang, J., 2024).

4.1.2 Multispektrální snímkování

Multispektrální snímkování slouží ke zmapování území, jevů a procesů, ke kterým na pozemku dochází. K zachycení snímku je potřebný snímač, který zaznamenává údaje o zemském povrchu. Multispektrální snímky jsou zachyceny na černobílý film, obsahují data několika spektrálních pásem, která tvoří stupnice odstínů šedi. Lze je také vytvořit díky kombinaci tří pásem barevnou syntézou („Dálkový průzkum Země“, n.d.).

4.2 Legislativa

Pro létání s drony venku mezi lidmi a budovami, je potřeba dodržovat několik pravidel, aby nedošlo k újmě na zdraví osoby, ale také aby nedošlo k poškození majetku. Od 31. 12. 2020 vstoupila v platnost nová pravidla pro létání s drony a pro všechny drony s kamerou je nově povinná registrace dronu a pilota. Drony se dělí do kategorií bez štítku a se štítkem, poté se zařazují do kategorií a tříd (Dronpro, 2024).

4.2.1 Drony bez štítku

U dronů lehčích než 250 g je přiřazena kategorie OPEN A1 jedná se o doma vyrobené a drony aktivované před 1. 1. 2024. Registrace provozovatele je nutná jen v případě že je dron vybaven kamerou nebo jiným senzorem. Pilot nemusí mít pilotní průkaz. Pilot by se měl vyhnout přeletům nad nezapojenými osobami, ale pokud se tak stane, musí délku přeletu minimalizovat (Dronpro, 2024).

U dronů těžších než 250 g je přiřazena kategorie OPEN A3 opět se jedná o doma vyrobené a drony uvedené na trh před 1. 1. 2024. Registrace provozovatele je nutná vždy. Pilotní licence je nezbytná (pro kategorii OPEN A1/A3). Pilot je povinen létat nejméně 150 m od nezapojených osob a obytných, obchodních, průmyslových nebo rekreačních budov a prostorů (Dronpro, 2024).

4.2.2 Drony se štítkem

Od 1. 1. 2024 by všechny nové drony měly mít štítek.

V kategorii C0 – OPEN A1 je registrace provozovatele nutná jen pokud se jedná o verzi dronu s kamerou nebo jiným senzorem. Pilot pro jeho ovládání nemusí mít pilotní průkaz, stačí jen studie uživatelské příručky. Je možné létat i nad nezapojenými osobami, avšak se to nedoporučuje kvůli bezpečnosti a nezapojená osoba s tím také nemusí souhlasit.

V kategorii C1 - OPEN A1 je registrace provozovatele nutná vždy. Pilotní licence je nezbytná (pro kategorii OPEN A1/A3). Pilot by se měl vyhnout přeletům nad nezapojenými osobami, ale pokud se tak stane, musí délku přeletu minimalizovat a dbát zvýšené opatrnosti.

V kategorii C2 – OPEN A2 je registrace provozovatele nutná vždy. Základní i rozšířená pilotní licence je nezbytná (pro kategorii OPEN A1/A3 a OPEN A2). Pilot je povinen udržovat vzdálenost od nezapojených osob dle pravidla 1:1 (maximální výška rovna vzdálenosti) a minimální vzdálenost pak 30 m, případně 5 m při zapnutém nízkorychlostním režimu.

U kategorie C2,C3,C4 – OPEN A3 je registrace provozovatele nutná vždy. Pilotní licence je nezbytná (pro kategorii OPEN A1/A3). Pilot je povinen létat nejméně 150 m od nezapojených osob a obytných, obchodních, průmyslových nebo rekreačních budov a prostorů (Dronpro, 2024).

5 Metodika

Praktická část je vypracována za pomoci výpočtu současných nákladů na pěstování rostlin a případném pořízení a uplatnění navigačních systémů a snímkovacích dronů ve vybraném podniku na okraji Plzně s obhospodařovanou půdou o výměře 965 ha. Podnik vykonává pouze rostlinnou výrobu s osevním postupem zaměřeným na pšenici, ječmen a řepku, dále také hrách a sója. Hrách i sóju si podnik nechává osít pomocí služeb, které pro podnik i poskytují při žních jednu sklízecí mlátičku. Tato práce je však zaměřená pouze na pšenici a ječmen, protože tyto plodiny jsou dlouhodobě pěstovány v podniku v největším množství.

Nejdůležitějším bodem praktické části je tedy detailní rozbor dostupných navigačních technologií a snímkovacích dronů a výpočet přesevu při setí u secího stroje Kuhn Espro 6000.

Všechny traktory v podniku jsou značky John Deere. Proto připadá v úvahu systém StarFire 7000, který je nejnovější navigační technologií od výrobce John Deere. Ve vlastní práci jsou tyto stroje popsány podrobně podle technických údajů.

Pro celkové srovnání je rozhodujícím faktorem secí stroj, podle kterého se odvíjí zbytek operací na poli. Podnik využívá princip setí na koleje řádky, což je metoda, při které secí stroj vynechává setí v rozteči shodné s roztečí kol postřikovače a tudíž nedochází k pojezdům již zaseté plodiny. Proto se výnos odvíjí od kvality a přesnosti výsevu.

Pro výběr vhodných přístrojů a systémů budou důležité tyto faktory:

1. zmapování přístrojů, na které bude navigační systém uplatněn,
2. zmapování náročnosti a svahovitosti terénu,
3. výpočet nákladů na pěstování vybraných plodin,
4. konzultace s manažery podniku,
5. konzultace se zástupci podniků, které navigační systémy a snímkovací drony používají ve svých podnicích,
6. získání informací od prodejců těchto technologií,
7. výpočet teoretických úspor na pěstování rostlin po zavedení vhodných nových přístrojů, systémů a dronů,

-
8. náklady na pořízení a provoz vybraných technologií. Současné náklady na pěstování rostlin

Náklady na pěstování rostlin jsou všechny náklady podniku, které zahrnují:

1. náklady na pohonné hmoty,
2. pořízení a údržba strojů,
3. podnájem a pořízení orné půdy,
4. mzdové náklady,
5. náklady na pořízení osiv a hnojiv.

Tato práce je zaměřena na problematiku přesného setí úzkořádkových plodin, jako jsou obilniny, které jsou v podmínkách České republiky zastoupeny největším podílem ze všech polních kultur. Téma tedy cílí především na ekonomickou stránku spotřeby osiv s důrazem na efektivitu těchto nákladů a jejich možné snížení pomocí navigačních technologií a techniky zpracování obrazu. Informace o nákladech osiv byly poskytnuty provozovatelem podniku.

5.1.1 Náklady na spotřebu osiv

Jelikož se práce zaměřuje na GPS systémy, je počítán přesev osiva. Měření probíhalo po setí, kdy byly měřeny jednotlivé vzdálenosti přesevu fyzicky na poli s použitím svinovacího metru. Následně byly naměřené hodnoty zprůměrovány. Z toho byl zjištěn přesev na jeden pracovní záběr. Přesev osiv byl měřen na poli poté, co rostliny dosáhly odnožovací fáze. Následně byla vyměřena osetá plocha, ta se vypočítala dle údajů ze stránky Lpis.cz. Na této stránce jsou k dispozici přesné rozměry jednotlivých polí a celková plocha v ha. Z podniku byly poskytnuty údaje pro rok 2024 o cenách osiv, plocha, na které jsou plodiny zasety a výsevek plodin. U pšenice se jednalo o celkovou zasetou plochu o výměře 340 ha a výsevek $170 \text{ kg} \times \text{ha}^{-2}$. U ječmene se jednalo o celkovou zasetou plochu o výměře 200 ha a výsevek $160 \text{ kg} \times \text{ha}^{-2}$. Z poskytnutých údajů od manažera podniku byla vypočítána průměrná cena osiv. Průměrná cena pšenice za 1 t je 12 333 Kč, cena ječmene za 1 t je 10 500 Kč. Následně byly využity početní vztahy, díky kterým se zjistila přesevá plocha, poté hmotnost přesevého osiva, průměrný přesev na 1 ha a následně náklady, které by díky použití navigačních systémů mohli být zásadně nižší.

Jako pomocné výpočty posloužily následující početní vztahy.

Počet přejezdů secího stroje dle vztahu (1).

$$S_{pp} = \frac{\text{šířka pole}}{\text{pracovní záběr secího stroje}} \quad [\text{ha}] \quad (1)$$

$$S_{pp} \quad \text{počet přejezdů} \quad [\text{ha}]$$

Celková přeseť šířka dle vztahu (2).

$$S_{pš} = \frac{\text{počet přejezdů} \times \text{vyměřený přesev} [\text{cm}]}{100} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

$$S_{pš} \quad \text{přeseť šířka} \quad [\text{m}]$$

Výsledné hodnoty ze vztahu (2) byly použity ve vztahu (3).

$$S_{pl} = \frac{\text{celková přeseť šířka} [\text{m}] \times \text{délka pole} [\text{m}]}{10000} \quad [\text{ha}] \quad (3)$$

$$S_{pl} \quad \text{přeseť plocha} \quad [\text{ha}]$$

Dle vztahu (4) byla vypočítána celková hmotnost přeseťového osiva na plochu měřeného pole.

$$m = \frac{\text{celková přeseť plocha} [\text{ha}] \times \text{výsevek plodiny} [\text{kg} \times \text{ha}^{-2}]}{1 [\text{ha}]} \quad [\text{kg} \times \text{ha}^{-2}] \quad (4)$$

Výpočet přesevu na 1 ha byl vypočítán dle vztahu (5)

$$S = \frac{\text{hmotnost přeseťového osiva} [\text{kg}] \times 1 [\text{ha}]}{\text{plocha pole} [\text{ha}]} \quad [\text{kg} \times \text{ha}^{-2}] \quad (5)$$

Dle vztahu (6) byla vypočítána celková hmotnost přeseťového osiva na celkovou plochu oseté plodiny.

$$m_c = \emptyset \text{ přesev} \times 1 \text{ ha}^{-2} \times \text{plocha oseté plodiny} [\text{ha}] \quad [\text{kg}] \quad (6)$$

$$m_c \quad \text{celková hmotnost přeseťového osiva} \quad [\text{kg}]$$

Dle vztahu (7) byla vypočítána cena přeseťového osiva na celkovou plochu oseté plodiny.

$$C = \frac{m_c \times \text{cena osiva} [\text{Kč} \times \text{t}^{-1}]}{1 [\text{t}]} \quad [\text{Kč}] \quad (7)$$

6 Stroje vybraného podniku

Pro měření byly použity dva stroje z daného podniku. Prvním strojem byl traktor John Deere 7230R (viz. Obrázek 3), který měl po celou dobu testování stálou obsluhu. Za traktorem byl připojen secí stroj značky KUHN ESPRO 6000R (viz. Obrázek 4). Detailní informace o těchto strojích jsou popsány v kapitole 6.1 a v kapitole 6.2.

6.1 Traktory

V podniku se využívají traktory značky John Deere. Jedná se celkově o 9 strojů. Navigační systémy budou ale využívat pouze 4 stroje. Jedná se o 2 modely z řady 8. Těmi jsou traktory John Deere 8320R a 8320. Dále 2 modely z řady 7. Těmi jsou traktory John Deere 7250R a 7230R. Specifikace jednotlivých strojů se nachází v Tabulce 1. Pro zkoumané polní operace byl použit pouze jeden traktor, a to John Deere 7230R (viz. Obrázek 3). Pro přesné měření byl traktor obsluhován pouze jedním řidičem, který v podniku jako jediný momentálně secí stroj obsluhuje. Ostatní traktory jsou využívány na jiné polní operace a využití navigačních systémů by mohli uplatnit v jiných polních operacích, avšak to není tématem této práce a proto se traktory více ne-testovaly.



Obrázek 3 John Deere 7230R (vlastní zpracování)

Tabulka 1 Technické údaje traktorů (LECTURA, 2024)

	John Deere 8320R	John Deere 8320	John Deere 7250R	John Deere 7230R
Výkon	235 kW	183 kW	184 kW	169 kW
Hmotnost	12,075 t	9 t	10,425 t	10,425 t
Zdvihový objem	9 l	8,1 l	6,8 l	6,8 l
Počet válců	6	6	6	6
ISOBUS	ano	ne	ne	ne
Emisní úroveň	IV	IV	IV	IV
Závěs	třibodový	třibodový	třibodový	třibodový
Max. rychlost	42 km×h ⁻¹	40 km×h ⁻¹	50 km×h ⁻¹	50 km×h ⁻¹
Točivý moment	1420 Nm	1115 Nm	1170 Nm	1075 Nm

6.2 Secí stroj

Podnik využívá k setí pouze jeden secí stroj značky KUHN a jedná se o model ESPRO 6000R (viz. Obrázek 4). Secí stroj nejdříve rozbije předním pneumatikovým pěchem hroudy zeminy a poté nakypří půdu s využitím kypřících disků. Tyto disky vytvoří jemný povrch pro osivo, poté secí stroj půdu konsoliduje další řadou pneumatik. Do připravené zeminy pomocí secích btek je aplikováno osivo, které je následně zamačknuto zamačkávacími kolečky do půdy a zakryto pomocí zavlačovačů.



Obrázek 4 KUHN ESPRO 6000 (vlastní zpracování)

Tento secí stroj má výhodu v rozpoložení váhy, díky tomu je možné provádět setí i v lehkých půdách a nedochází k hromadění zeminy před gumovými válci a nevznikají následně nahrnuté boule zeminy, které poté stroj jen přejede a nedokáže tyto hrboly rozbít. Další výhodou tohoto stroje jsou zadní opěrné pneumatiky, které nejen roznáší váhu, ale jsou rozmístěny tak, že je vždy každá druhá dvojice pneumatik posunuta o 20 cm před vedlejší dvojici pneumatik (viz. Obrázek 5). Takto jsou zadní opěrné pneumatiky rozmístěny po celé pracovní šířce secího stroje. Při rozbíjení hrud, které vzniknou od kypřících disků, se díky takto rozmístěným pneumatikám rovnoměrně urovná a utuží půda, do které následně disky secích btek aplikují osivo. Obsluha secího stroje se na poli dokáže pohybovat v liniích díky znaménáku, který značí linii pro další přejezd. Díky tomu obsluha má přehled, kde osivo už aplikovala.



Obrázek 5 Zadní opěrné pneumatiky (vlastní zpracování)

Technické údaje secího stroje jsou popsány níže v Tabulce 2.

Tabulka 2 KUHN ESPRO 6000 (KUHN, 2024)

KUHN ESPRO 6000	
Pracovní šířka	6 m
Transportní šířka	3 m
Hmotnost	8000 kg
Závěsný systém	3 spodní ramena
Minimální výkon traktoru	147 – 257 kW
Objem zásobníku	3500 l
Počet pracovních disků	48
Počet řádků	20
Rozteč mezi řádky	15 cm

7 Testovaná pole

Ke zjištění přesevu byla potřeba zjistit plocha testovaných polí a rozměry pro zmapování pohybu stroje na poli. Traktor při setí jezdil pokaždé podél delší strany pole, to proto, aby docházelo k co nejvyšší efektivitě. Pokud by traktor jezdil podél kratší strany, docházelo by ke zbytečným ztrátám pohonných hmot a celková práce by se prodloužila.

Testovány byly 3 různé polní plochy s odlišnou svahovitostí. Svahovitost daných polí byla zjištěna na internetové stránce Lpis.cz. Jelikož podnik obhospodařuje polní plochy s různými svahovitostmi, byly vybrány 3 různá pole, na kterých je svahovitost svažité, tedy v rozmezí 8-15% sklonu a mírně svažité v rozmezí 3-8% sklonu. Tím se ve výpočtech mohlo docílit výpočtu přesevu na celkovou osetou plochu. Měření velikosti přesevu secího stroje probíhalo tak, že na každém ze tří testovaných polí se vždy po 6m vzdálenosti, což je pracovní šířka secího stroje, změřil přesev svinovacím. Poté byly naměřené hodnoty přesevu testovaného pole zprůměrovány podle vzorce aritmetického průměru. Tím je suma všech hodnot vydělena počtem hodnot. Stejně jako přesev může vzniknout také nedosev, ten je zapříčiněn pohybem stroje v nedokonalé přímce, anebo smykem secího stroje směrem dolů ze svahu, pokud se tedy po svahu stroj pohybuje (viz. Obrázek 6).

Jak bylo již v práci uvedeno, v roce 2024 se osela plocha pšenice o výměře 340ha a plocha ječmene činila 200ha. Takový rozdíl v oseté ploše je rozdílný díky osevnímu postupu daného podniku. Jelikož je ječmen i pšenice vhodnou předplodinou pro řepku, vysévají se tyto plodiny každý rok s přibližně stejnou výměrou, jako v roce 2024, a proto se v práci používala zrovna tato plocha.

Na testovaných polích v době měření byla zaseta pšenice, ale jelikož se obě plodiny vysévaly se stejně nastaveným secím strojem, mohly se údaje naměřené u testovaných polí, na kterých byla zaseta momentálně pšenice, použít i pro výpočty přesevů u ječmene.



Obrázek 6 Neosetá plocha (vlastní zpracování)

První pole mělo výměru 14,3 ha, průměrnou svahovitost 9,82 % a průměrné rozměry 420 m × 320 m (Lpis, 2024). Na tomto poli byl naměřen přesev pro jeden přejezd secího stroje v průměru 22 cm. (viz. Obrázek 7)



Obrázek 7 Pole č. 1 (Lpis, 2024)

Druhé pole mělo výměru 29,31 ha, průměrnou svahovitost 7,26 % a průměrné rozměry 600 m × 560 m (Lpis, 2024). Na tomto poli byl naměřen přesev na jeden přejezd secího stroje v průměru 7,5 cm. (viz. Obrázek 8)



Obrázek 8 Pole č. 2 (Lpis, 2024)

Třetí pole mělo výměru 15,12 ha, průměrnou svahovitost 5,07 % a průměrné rozměry 950 m × 165 m (Lpis, 2024). Na tomto poli byl naměřen přesev na jeden přejezd secího stroje v průměru 2,5 cm. (viz. Obrázek 9)



Obrázek 9 Pole č. 3 (Lpis, 2024)

7.1 Výsledky výpočtů přesevu

Počty přejezdů secího stroje byly vypočítány dle vztahu (1). Kdy traktor jezdí vždy rovnoběžně s delší stranou pole.

Po zjištění přejezdů jednotlivých polí byl potřebný výpočetní vztah (2), díky kterému se zjistila šířka zbytečně přesetých plodin. Následný vztah (3) byl pouhé roznásobení průměrné délky pole a šířky pole. Výsledek tohoto roznásobení vypověděl, jak velká plocha byla zaseta navíc. Početní vztah (4) poté ukázal, kolik kilogramů se zaselo navíc na daném poli.

Dle vztahu (5) byl za pomoci trojčlenky vypočten přebytečný výsevek na 1 ha. Tyto hodnoty se následně ze všech tří poté zprůměrovaly a byl zjištěn průměrný přesev na celkovou plochu osetých plodin. Výsledky jsou vyobrazeny v Tabulce 3.

Tabulka 3 Výsledky výpočtu přesevu (vlastní zpracování)

	Pole č. 1 Pšenice	Pole č. 2 Pšenice	Pole č. 3 Pšenice	Pole č. 1 Ječmen	Pole č. 2 Ječmen	Pole č. 3 Ječmen
Počet přejezdů	53	93	28	53	93	28
Přeseta šířka [m]	11,66	6,975	0,7	11,66	6,975	0,7
Přeseta plocha [ha]	0,4897	0,4185	0,0665	0,4897	0,4185	0,0665
Hmotnost osiva / plocha pole [kg]	83,252	71,145	11,305	78,355	66,96	10,64
Přesev na 1 ha [kg × ha ⁻²]	5,8218	2,4273	0,7477	5,4794	2,2845	0,7023

Následně byl vypočítán průměrný přesev ze všech tří polí. Hodnota u pšenice ukázala ztrátu $2,9989 \text{ kg} \times \text{ha}^{-2}$ a u ječmene na $2,8221 \text{ kg} \times \text{ha}^{-2}$. Poté se vypočítala dle vztahu (6) celková hmotnost přaseté plodiny na celkovou zasetou plochu. U pšenice tato plocha byla 340 ha a u ječmene to byla plocha 200 ha. Posledním krokem byl výpočet dle vztahu (7), kde byla zjištěna cena zbytečně zaseté plodiny. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4 Kalkulace ceny přasetého osiva (vlastní zpracování)

	Pšenice	Ječmen
Celková hmotnost / celková plocha oseté plodiny [kg]	1 019,626	564,4
Cena přasetého osiva na celkovou plochu oseté půdy [Kč]	12 575	5 926

8 Systémy k porovnání

Porovnáván byl navigační systém Starfire7000 s licencí SF1 a SF3 proti seti bez navigačních systémů. Pro vyhodnocení byla rozhodující pořizovací cena s náklady na provoz těchto systémů. V Kapitole 9 byly tyto systémy porovnány jak mezi sebou, tak i mezi stávajícím stavem, kdy se žádná navigační technologie nevyužívala.

Porovnávány byly také letouny DJI Mavic 3 Multispectral SP a eBee X s křídly. Pro porovnání těchto dvou dronů byla rozhodující pořizovací cena, doba doletu, kvalita kamery, nebo také letové vlastnosti dronu.

8.1 Drony

K porovnání nám posloužily dva drony od značky DJI a SenseFly. Drony byly ve výsledcích práce porovnány podle technických dat a pořizovací ceny. Vybrán byl ten dron, který nejlépe odpovídal poměru cena/výkon.

8.1.1 Dron DJI Mavic 3 Multispectral SP

DJI Mavic 3 Multispectral SP (viz. Obrázek 10) je dron, který je vybaven 20MP RGB kamerou a čtyřmi 5MP) multispektrálními kamerami. Hodnoty megapixelů indikují maximální rozlišení, které je kamera schopna zachytit. Tento dron slouží k přesnému leteckému měření, sledování růstu plodin a také může být využíván pro běžné letecké snímky například ke komerčním účelům. Jelikož se jedná o kvadrokoptéru (dron se čtyřmi vrtulemi), tak je možné se s dronem vznášet stabilně nad konkrétním bodem. Výdrž baterie je 43 minut a za tuto dobu dokáže nasnímat přibližně 250 ha. Maximální dosah činní 8 kilometrů. Dron je navíc vybaven senzorem slunečního světla pro přesnější snímky a sběr dat o rostlinách (Djetlink, 2024).



Obrázek 10 DJI Mavic 3 Multispectral SP (Djetlink, 2024)

8.1.2 Křídlo SenseFly eBee X + Kamera SenseFly S.O.D.A. 3D

Dron eBee X s křídly (viz. Obrázek 11) je vhodný pro mapování rozsáhlejších oblastí, což by vyžadovalo opakované vyslání běžného multirotorového dronu. Jeho hlavní výhody spočívají v přesnosti a pokrytí. V případě rovinnatého terénu a při ideálních podmínkách dokáže nasnímat až 500 ha během 90 minut (s kamerou senseFly S.O.D.A. 3D). Dron dokáže pouze létat jako letadlo, což znamená, že není schopen vznášet se nad jedním bodem. Maximální dosah letounu činí 8 kilometrů a dokáže vyvinout rychlost až $110 \text{ km} \times \text{h}^{-1}$. Na dron je možné krom kamery připevnit i různé senzory (Djetlink, 2024). Kamera SenseFly S.O.D.A. 3D je specializovaná fotogrammetrická kamera, která aktivně mění svou orientaci během letu, aby zachytila tři snímky (dva šikmé a jeden svislý) a poskytla tak širší záběr. Kamera je ideální pro detailní digitální 3D rekonstrukce především vertikálních ploch, a také pro pokrytí rozsáhlých rovinnatých terénů. Ve spojení s dronem eBee X je schopna pokrýt až 500 ha během 90minutového letu ve výšce 120 metrů (Djetlink, 2024).



Obrázek 11 Křídlo SenseFly eBee X (Dronpro, 2024)

8.2 Navigační systémy

K porovnání systémů posloužil systém John Deere StarFire 7000 se základní licencí SF1 a John Deere StarFire 7000 s rozšířenou licencí SF3. Zařízení je nejnovějším systémem od značky John Deere. Rozdílné jsou však licence, od kterých se odvíjí přesnost navigace.

8.2.1 John Deere StarFire 7000

Navigační systém StarFire 7000 je nejnovější technologie, kterou momentálně John Deere nabízí. Díky schopnosti pracovat se signály čtyř hlavních satelitních systémů, kterými jsou GPS, GLONASS, BeiDou a Galileo má přijímač StarFire 7000 (viz. Obrázek 12) širší výběr satelitů na obloze. Tím se snižuje riziko stínění a umožňuje dosáhnout přesnosti ± 15 cm u licence SF1 a u licence SF3 je systém možný dosáhnout přesnosti až ± 3 cm, mezi jednotlivými průjezdy stroje (Deere, 2024).



Obrázek 12 Přijímač StarFire 7000 (Deere, 2024)

K zařazení takového systému do provozu je potřeba několik úkonů. Těmi jsou: pořízení přijímače, aktivace AutoTracku, kabelové napojení a pořízení univerzálního monitoru, který díky universálnosti je možný sdílet mezi stroji a stačí k němu pouze jedna licence, protože se licence neváže na samostatný stroj, ale pouze na monitor. Přijímač je proto možné přidat i na secí stroj a díky tomu může jezdit traktor, který má univerzální monitor, přijímač na střeše a zároveň přijímač i na secím stroji. Traktor je potom schopen díky synchronizaci dat ve svahu nadjet o potřebný kus výše, protože počítá se smykem secího stroje směrem ze svahu. Výsledkem je, že přesnost setí se zvýší a je schopen přesévat pouze tolik, kolik nabízí licence, která k danému systému patří. Pořizovací cena balíčku celkového navigačního systému StarFire 7000 činí 15 230 EUR, což je v přepočtu na českou korunu 380 750 Kč s kurzem 25 Kč. Tyto systémy však bude potřeba pořídit dva, celková cena činí tedy 761 500 Kč (Deere, 2024).

8.2.2 Licence SF1 a SF3

Licence SF1 je základní licenci při koupi StarFire 7000. U licence SF1 je přesnost navigace ± 15 cm. Cena této licence je zakomponována v ceně balíčku StarFire 7000. Licence SF3 je rozšířenou licenci pro model StarFire 7000. U licence SF3 je přesnost navigace ± 3 cm. Cena této licence po dobu 36 měsíců činí 65 000 Kč (Deere, 2024).

9 Návrh vhodných technologií

K porovnání bude vybrán dron eBee X s kamerou senseFly S.O.D.A. 3D a dron DJI Mavic 3 Multispectral SP. Oba drony mají jiné letové vlastnosti, dobu letu a kvalitu kamer.

U GPS systémů pro porovnání byl použit výše zmíněný systém John Deere StarFire 7000 s licencí SF1 a SF3. Po porovnání daných licencí byl následný systém hodnocen především z hlediska finanční stránky. Jelikož podnik do současnosti žádný takový systém nepoužíval, bylo následně vypočítáno, zda se pořízení navigačního systému vyplatí.

9.1 Porovnání licencí navigačního systému

K porovnání hospodaření s výpomocí navigačních systémů a hospodaření bez nich posloužily stejné výpočetní vztahy jako u výpočtů jednotlivých přesevů na konkrétních polích. Srovnány byly 3 faktory, a to hospodaření bez GPS, hospodaření se StarFire 7000 s licencí SF1 a hospodaření se StarFire 7000 s licencí SF3.

9.1.1 Licence SF1

Tato licence nabízí garantovanou maximální odchylku 15 cm. Pro výpočty byl tedy užit tento hraniční rozměr a bylo tedy počítáno s přesevem 15 cm. Viz. Tabulka 5.

Tabulka 5 Přesnost licence SF1 (vlastní zpracování)

	Pole č. 1 Pšenice	Pole č. 2 Pšenice	Pole č. 3 Pšenice	Pole č. 1 Ječmen	Pole č. 2 Ječmen	Pole č. 3 Ječmen
Počet přejezdů	53	93	28	53	93	28
Přeseta šířka [m]	7,95	13,95	4,2	7,95	13,95	4,2
Přeseta plocha [ha]	0,3339	0,837	0,399	0,3339	0,837	0,399
Hmotnost osiva / plocha pole [kg]	56,763	99,603	29,988	53,424	93,744	28,224
Přesev na 1 ha [kg × ha ⁻²]	3,9694	3,3983	1,9833	3,7359	3,1984	1,8667

Následně byl vypočítán průměrný přesev ze všech tří polí. Poté se vypočítala dle vztahu (6) celková hmotnost přaseté plodiny na celkovou zasetou plochu. U pšenice tato plocha byla 340 ha a u ječmene to byla plocha 200 ha. Posledním krokem byl výpočet dle vztahu (7), kde byla zjištěna cena zbytečně zaseté plodiny. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6 Kalkulace ceny přasetého osiva s licencí SF1 (vlastní zpracování)

	Pšenice	Ječmen
Celková hmotnost / celková plocha oseté plodiny [kg]	1 059,78	586,74
Cena přasetého osiva na celkovou plochu oseté půdy [Kč]	13 070,27	6 160,77

Zde bylo zjištěno, že tato licence by byla pro daný podnik zbytečná, protože by náklady na osiva snížit nedokázala.

9.1.2 Licence SF3

Tato licence nabízí garantovanou maximální odchylku 3 cm. Pro výpočty byl tedy užit tento hraniční rozměr a bylo tedy počítáno s přesevem 3 cm. Viz. Tabulka 7. Za tuto verzi se už platí období, kdy je tato licence k dispozici. Nejvýhodněji vychází nejdelší 36 měsíční období.

Tabulka 7 Přesnost licence SF3 (vlastní zpracování)

	Pole č. 1 Pšenice	Pole č. 2 Pšenice	Pole č. 3 Pšenice	Pole č. 1 Ječmen	Pole č. 2 Ječmen	Pole č. 3 Ječmen
Počet přejezdů	53	93	28	53	93	28
Přasetá šířka [m]	1,59	2,79	0,84	1,59	2,79	0,84
Přasetá plocha [ha]	0,0667	0,1674	0,0798	0,0667	0,1674	0,0798
Hmotnost osiva / plocha pole [kg]	11,339	28,458	13,566	10,672	26,784	12,768
Přesev na 1 ha [$\text{kg} \times \text{ha}^{-2}$]	0,2776	0,9709	0,8972	0,7463	0,9138	0,8444

Následně byl vypočítán průměrný přesev ze všech tří polí. Poté se vypočítala dle vztahu (6) celková hmotnost přaseté plodiny na celkovou zasetou plochu. U pšenice tato plocha byla 340 ha a u ječmene to byla plocha 200 ha. Posledním krokem byl výpočet dle vztahu (7), kde byla zjištěna cena zbytečně zaseté plodiny. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 8.

Tabulka 8 Kalkulace ceny přasetého osiva s licencí SF3 (vlastní zpracování)

	Pšenice	Ječmen
Celková hmotnost / celková plocha oseté plodiny [kg]	243,168	55,66
Cena přasetého osiva na celkovou plochu oseté půdy [Kč]	2 999	584,43

Zde bylo zjištěno, že licence SF3 by byla pro daný podnik užitečná, protože by dokázala snížit náklady na osiva.

9.2 Porovnání snímkovacích dronů

V této části se nachází podrobné porovnání snímkovacích dronů. V Tabulce 9 jsou jednotlivé specifikace znázorněny a tučně je zvýrazněna vždy hodnota, která je více vyhovující.

Tabulka 9 Porovnání snímkovacích dronů (Djetlink, 2024)

	eBee X s kamerou senseFly S.O.D.A. 3D	DJI Mavic 3 Multi-spectral SP
Hmotnost	1,600 kg	0,951 kg
Max. doba letu	90 minut	43 minut
Max. dosah	8km, 3km v ČR	8 km
Rozlišení	20MP	20MP
Možnost stabilizace	NE	ANO
Polohování	RTK	RTK
Počet hektarů na let	500	200
Senzor slunečního světla	NE	ANO
Tvorba reklamních snímků	NE	ANO
Provozní teplota	-10° C - 40° C	-10° C - 40° C
AI	NE	ANO
Cena	486 980 Kč	114 990 Kč
Výsledné skóre	5	10

10 Diskuse

Práce byla zjišťována pomocí měření aktuálních přesevů strojů na třech různých polích s odlišnou svahovitostí, aby byl zjištěn průměrný přesev na 1 ha. Nejdříve se zjistily rozměry a svahovitost jednotlivých polí. Práci se secím strojem vykonávala stejná osoba, takže nemohlo docházet k nepřesnostem kvůli individuálním schopnostem obsluhy stroje. Měřeny byly plodiny ozimé pšenice a ozimého ječmene. Tyto dvě plodiny byly vybrány z důvodu největšího zastoupení a největší výměry v osevním postupu. Navíc se výměra těchto dvou plodin dlouhodobě v osevním postupu podniku nemění. Celková osetá plocha pšenice byla 340 ha a celková osetá plocha ječmene byla 200 ha. Z výsledných výpočtů ve vlastní práci bylo zjištěno, že secí stroj bez použití navigačních technologií průměrně přesévá u pšenice na $2,9989 \text{ kg} \times \text{ha}^{-2}$ a u ječmene na $2,8221 \text{ kg} \times \text{ha}^{-2}$ (viz. Graf 1). Následně byly tyto hodnoty přepočítány na cenovou hodnotu přesevového osiva. Cena osiva pšenice, které bylo využito do přesevů vlivem nepřesnosti navádění secí soupravy, se ve finančních nákladech promítla cenou 12 575 Kč a u ječmene cenou 5 926 Kč.

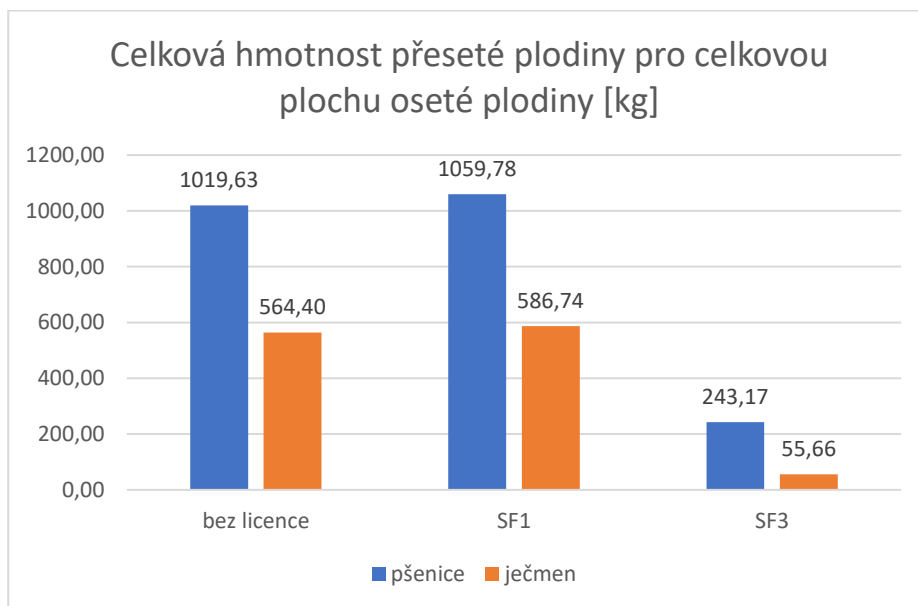
K porovnání naváděcích systémů byl vybrán systém StarFire 7000 s licencí SF1 a SF3. Licence SF1 je uživateli v základním balíčku v přepočtu i s kompletním setem naváděcí technologie za cenu 380 750 Kč, což je ale jen za jeden systém. Ke kompletnímu přesnému navádění by byly potřebné dva tyto systémy. Jedním systémem by byl vybaven traktor, který by vše díky přijímači ovládal a druhým systémem by musel být vybaven secí stroj, na kterém by byl přijímač připevněn pro zlepšení přesnosti setí například ve svahu, kdy je secí stroj díky svahovitosti vystaven smyku směrem dolů ze svahu a tím vzniká přesev. Pořízení dvou systémů je zde nezbytné, protože daný podnik právě takto svahovitými pozemky disponuje. Pokud však bude mít secí stroj tento systém, navigační systém bude schopný přizpůsobit pojezdové linie soupravy svahovitosti terénu a eliminuje tím přesev. Celková cena za pořízení naváděcí technologie StarFire 7000 by tedy vyšla v přepočtu na 761 000 Kč. Výsledky u výpočtů teoretického přesevu s licencí SF1, u které bylo počítáno s horní hranicí maximálního přesevu, tedy 15 cm by se pořízení do podniku nevyplatilo, protože by náklady byly nejspíše horší a v nejlepším případě stejné. Při tomto přesevu by náklady na zbytečně zaseté

osivo na výše uváděnou plochu odpovídaly u pšenice na 13 070,27 Kč a u ječmene na 6 160,77 Kč.

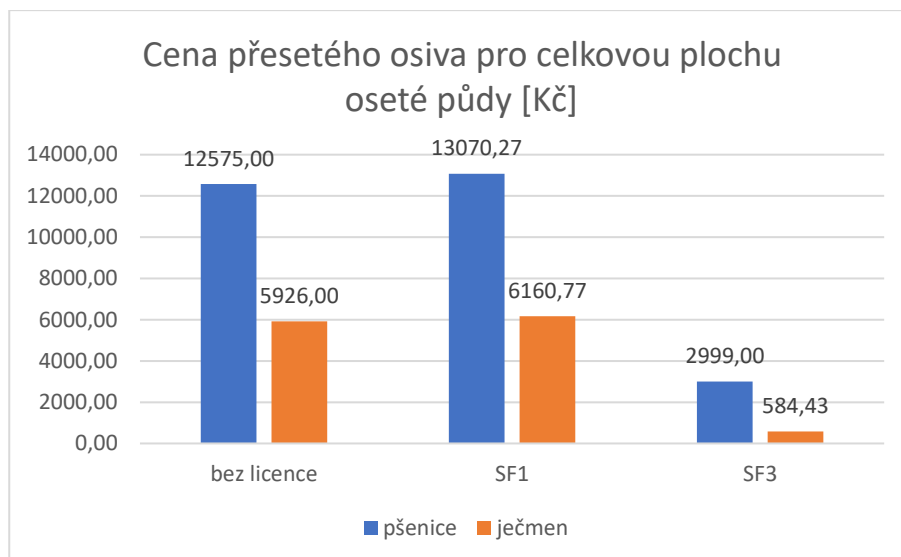
U licence SF3 se platí doba, na kterou chce hospodář licenci mít. Cenově nejvýhodnější je nabídka na 36 měsíců, tedy na 3 roky. Cena za tuto licenci na 3 roky vychází v přepočtu na 65 000 Kč. Tuto cenu tedy je nutné připočítat k ceně dvou systémů StarFire 7000. Ročně by tedy hospodáře zakoupení jedné této licence vyšlo za předpokladu, že bude systém využívat po dobu tří let na 21 666 Kč. Výsledky výpočtů teoretického přesevu 3 cm, které jsou garantovány jako maximální odchylka u navádění stroje, by už výrazně pomohla snížit náklady na osiva. Výsledné hodnoty u této licence by byly podstatně nižší než setí bez pomoci tohoto systému. U pšenice by se jednalo o 2 999 Kč a u ječmene 584,43 Kč za přesev osiva na výše uváděnou plochu (viz. Graf 2). Celkové náklady by se tedy u pšenice snížily o 9 576 Kč a u ječmene o 5 342 Kč. V součtu by se náklady celkově snížily o 14 918 Kč, což je ale stále méně, než stojí pořízení licence SF3 na 3 roky v přepočtu na 1 rok 21 666 Kč. Pořízení systémů by se tedy aktuálně podniku nevyplatilo. Vzhledem k četnosti polních operací a značné výměře obhospodařované půdy v celém podniku je za předpokladu využívání navigačních systémů u všech operací, pořízení tohoto systému již rentabilní jak zmiňuje ve své bakalářské práci i Malinka (2010). V nákladech jsou započítány jen náklady na osiva, nejsou ale započítané náklady na PHM, mzdové náklady a opotřebení strojů. Tyto náklady by vyžadovaly podrobnější prozkoumání, pro které však informace z podniku poskytnuty nebyly.

Posledním bodem bylo srovnání snímkovacích dronů DJI Mavic 3 Multispectral SP a Dron eBee X s kamerou SenseFly S.O.D.A. 3D. Tyto modely byly k porovnání vybrány na základě osobní schůzky s prodejcem těchto dronů a následné konzultaci o podmínkách daného podniku. Srovnání probíhalo systémem srovnání poměru cena/výkon. V porovnání zvítězil dron od značky DJI, který je levnější více než o půl ceny dronu eBee X. Sice má kratší dobu letu, ale pro daný podnik by měl tento výkon stačit. Systémy dronů ještě nejsou dostatečně využívány, a tudíž není dostatek kvalitních dat pro porovnání. Podnik by se musel pro pořízení dronu rozhodnout jakožto v rámci zavedení nové moderní technologie, která by zatím byla v testovací podobě

a až po zavedení by se pomocí ekonomických ukazatelů zjistilo, zda je pořízení dronu opravdu výhodné. Můj osobní názor je, že by dron DJI Mavic 3 Multispectral SP byl přínosem pro daný podnik, protože je možné zjistit nedostatky pouze v zasažených oblastech. Podnik by tedy nemusel zbytečně utrácet za zbytečné přejezdy přes celé pole a tím ušetřil náklady na PHM, mzdové náklady, náklady způsobené opotřebením strojů a za náklady na případné postřiky a podobné zásahy. Toto tvrzení také potvrzuje článek na internetové stránce The Farming Insider (2024). Použití dronu také může přispět k menší uhlíkové stopě a nebo může posloužit ke hledání zvěře při sečích.



Graf 1 Grafické vyobrazení hmotnosti přeseťého osiva (vlastní zpracování)



Graf 2 Grafické vyobrazení ceny přisetého osiva (vlastní zpracování)

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, jaké technologie dostupné a použitelné v zemědělství se nacházejí na trhu, a provést jejich vzájemné srovnání. Dále bylo cílem, co vše nabízí snímkovací drony a výběr ideálního dronu k zavedení do podniku. Ze zjištěných výsledných dat bylo zjištěno, že za použití Licence SF3 by se náklady na osiva ročně snížily o 14 918 Kč, což by sice snížilo náklady na osiva, ale pořízení momentálně výhodné není, jelikož jen pořízení licence a nikoli pořízení celého systému vyšla z výpočtů na 21 666 Kč. Pořízení celého balíčku s navigační technologií by vyšlo na 761 000 Kč. Proto v tento moment není vhodné pořízení těchto systémů. Pořízení by možná připadalo v úvahu momentě, kdy by se vypočítaly ušetřené náklady na pohonné hmoty, opotřebení strojů, mzdové náklady a náklady na hnojiva. Informace k těmto nákladům, ale poskytnuty nebyly, není tedy možné s jistotou říci, zda by bylo vhodné navigační systém pořídit.

Pro zemědělský sektor navigační systémy znamenají zásadní ulehčení polních operací, snížení nákladů a posun o krok vpřed v precizním zemědělství. Jedinou nevýhodou jsou snad jen vysoké pořizovací ceny nebo náklady na provoz těchto technologií. Tyto systémy dávají smysl na pořízení u větších podniků. Nicméně neustále se zpřísňující pravidla a zákony činí tyto technologie téměř nezbytné i z hlediska ochrany životního prostředí. Osobně bych s tím souhlasil, jelikož tyto technologie se stále zlepšují a díky jejich používání bude do budoucna možné takřka bezchybně hospodařit v zemědělském sektoru. Nevýhodou, co zde vidím je automatizace a robotizace, která by v kombinaci s těmito technologiemi mohla znamenat to, že obsluha těchto strojů už bude téměř zbytečná.

Ze snímkovacích dronů byl vybrán dron DJI Mavic 3 Multispectral SP, který lépe vyhovoval stanoveným kritériím a cenově by vyšel levněji o 371 990 Kč. Pro podnik by dron mohl být přínosem, díky pořízeným snímkům by se mohla zvýšit efektivita výroby a snížily by se náklady na pěstování rostlin. Další výhodou tohoto dronu je stabilizace dronu na jednom bodě. Proto by podnik mohl nabízet v období, kdy se na polích zrovna nic neděje, pořizování propagačních snímků pro případné klienty. Další možností by mohlo být snímání terénu pro různé instituce, nebo hledání zvěře.

Seznam použité literatury

Bezpalec, P. (2015). *Nové trendy v elektronických komunikacích Lokalizace a navigace*. ČVUT. ISBN 000-00-000-0000-0

Charlies Stores Ltd. (2022). *Starfire 7000* [online] [cit. 2. 8. 2024]. Dostupné z: <https://www.charliesagturf.co.uk/about-precision-ag/>

Dálkový průzkum Země (n. d.). [online] [cit. 2. 8. 2024]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vdgp_dpz2.pdf

Deere (2024). *Přijímač StarFire 7000 a signály* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://www.deere.cz/cs/precizni-zemedelstvi/zaklady/starfire-7000/> (Informace o cenách licencí byly poskytnuty fyzicky v pobočce John Deere STROM Praha – Dobřany.)

Djitelink (2024). *Drony v zemědělství a lesnictví* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/drony-v-zemedelstvi-a-lesnictvi/>

DRONPRO (2024). *Novinky v pravidlech pro drony 2024*. [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://dronpro.cz/novinky-v-pravidlech-pro-drony-2024>

Quezada, T. E., & Zhang, J., (2024) *Fundamentals of Precision Agriculture for Vegetable Crops*. NC State University [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://content.ces.ncsu.edu/fundamentals-of-precision-agriculture-for-vegetable-crops>

Juračka, P. J. (2017). *Drony - fotografování z ptáčích perspektiv: co všechno potřebujete vědět o dronech a jejich využití pro leteckou fotografii a video*. Grada. ISBN 978-80-247-5787-2

Kovaříček, P. (2005). *Strojní linky pro hnojení*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 80-86884-10-4

KUHN (2024). *Univerzální secí stroje* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://www.kuhncenter.cz/nabidka-stroju/univerzalni-seci-stroje/espro-6000r>

Kumhála, F. (2007). *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Česká zemědělská univerzita. ISBN 9788021317017

LECTURA (2024). *Specifikace a Technické údaje* (2024) [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://www.lectura-specs.cz/cz/model/zemedelska-technika/traktory-4wd-john-deere/7230r-11682581>

LPIS (2024). *Veřejný registr půdy* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>

Malinka, T. (2010). *Využití systémů GPS u techniky pro pěstování rostlin*. Bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně.

National Center for Atmospheric Research Staff, (2023). *The Climate Data Guide: NDVI and EVI: Vegetation Indexs (MODIS)* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ndvi-and-evi-vegetation-indices-modis>

Navstar GPS (2023). *NAVigation Satellite And Ranging Global Positioning System* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: http://rgla.upol.cz/soubory/_pro_studenty2007/04-navstar.pdf

Neudert, L., a Lukas, V. (2015). *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-311-0

Novák, J. A. (2021). *Drony: kompletní průvodce včetně přehledu nové legislativy*. Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0775-9

Rapant, P. (2002). *Družicové polohové systémy*. Vysoká škola báňská-Technická univerzita. ISBN 80-248-0124-8

Šebesta, J. (2012). *Globální navigační systémy*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. ISBN 978-80-214-4500-0

Štroner, M. (2022). *Globální navigační satelitní systémy*. ČVUT. [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/wp-content/uploads/2022/01/GNSS_obs.pdf

The Farming Insider, (2024). *Drones in Agriculture: The Future of Farming* [online] [cit. 2. 8. 2024]. Dostupné z: <https://thefarminginsider.com/drones-in-agriculture-farming/>

Thornton, W. (2021) *What's the Difference Between GNSS and GPS?* [online] [cit. 2. 8. 2024] Dostupné z: <https://www.spirent.com/blogs/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Pokrytí Země GNSS satelity (Thornton, 2021)	10
Obrázek 2 Automatické navádění stroje (Charlies Stores Ltd., 2022).....	17
Obrázek 3 John Deere 7230R (vlastní zpracování).....	25
Obrázek 4 KUHN ESPRO 6000 (vlastní zpracování)	26
Obrázek 5 Zadní opěrné pneumatiky (vlastní zpracování)	27
Obrázek 6 Neosetá plocha (vlastní zpracování).....	30
Obrázek 7 Pole č. 1 (Lpis, 2024).....	31
Obrázek 8 Pole č. 2 (Lpis, 2024).....	31
Obrázek 9 Pole č. 3 (Lpis, 2024).....	32
Obrázek 10 DJI Mavic 3 Multispectral SP (Djetlink, 2024).....	35
Obrázek 11 Křídlo SenseFly eBee X (Dronpro, 2024)	36
Obrázek 12 Přijímač StarFire 7000 (Deere, 2024).....	37

Seznam tabulek

Tabulka 1 Technické údaje traktorů (LECTURA, 2024).....	26
Tabulka 2 KUHN ESPRO 6000 (KUHN, 2024)	28
Tabulka 3 Výsledky výpočtu přesevu (vlastní zpracování)	33
Tabulka 4 Kalkulace ceny přasetého osiva (vlastní zpracování)	33
Tabulka 5 Přesnost licence SF1 (vlastní zpracování)	38
Tabulka 6 Kalkulace ceny přasetého osiva s licencí SF1 (vlastní zpracování)	39
Tabulka 7 Přesnost licence SF3 (vlastní zpracování)	39
Tabulka 8 Kalkulace ceny přasetého osiva s licencí SF3 (vlastní zpracování)	40
Tabulka 9 Porovnání snímkovacích dronů (Djetlink, 2024).....	40

Seznam grafů

Graf 1 Grafické vyobrazení hmotnosti přisetého osiva (vlastní zpracování)	
.....	43
Graf 2 Grafické vyobrazení ceny přisetého osiva (vlastní zpracování)	 44

Seznam zkratek

GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
LPIS	Land Parcel Identification System
EU	Evropská unie
NAVSTAR	Navigation System with Timing and Ranging
GLONASS	Global Navigation Satellite
Galileo	Evropský globální navigační satelitní systém
BeiDou	Čínský globální navigační satelitní systém
RTK	Real-Time Kinematic
RGB	Red, Green, Blue
MP	Megapixel
DGPS	Differential Global Positioning System
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
ha	hektar
Kč	Koruna česká
m	metr
s	sekunda
km	kilometr
kg	kilogram
t	tuna
PHM	Pohonné hmoty
