



Využití bezpilotního průzkumu v precizním zemědělství
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

Vypracoval:
Igor Horniaček

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som prácu : **Využití bezpilotního průzkumu v precizním zemědělství.** vypracoval/a samostatne a všetky použité pramene a informácie uvádzam v zozname použitej literatúry. Súhlasím , aby bola moja práca zverejnená v súlade s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách v znení neskorších predpisov a v súlade s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Som si vedomý, že sa na moju prácu vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavretie licenčnej zmluvy a použitie tejto práce ako školského diela podľa § 60 odst. 1 autorského zákona.

Ďalej sa zaväzujem, že pred spísaním licenčnej zmluvy o využití diela inou osobou (subjektom) si vyžiadam písomné stanovisko univerzity, že predmetná licenčná zmluva nie je v rozpore s oprávnenými záujmami univerzity, a zaväzujem sa uhradiť prípadný príspevok na úhradu nákladov spojených so vznikom diela, a to až do ich skutočnej výšky.

V Brne dňa

.....
podpis

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Vojtěchovi Lukasovi, Ph.D. za odbornú pomoc, usmernenie a poskytnutie cenných rád pri písaní mojej bakalárskej práce, ďalej by som sa chcel poďakovať doc. Dr. Ing. Pavlíně Smutné z Ústavů pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství (AF MENDELU) za poskytnutie výsledkov poľného pokusu v Žabčiciach. Pre spracovanie bakalárskej práce boli ďalej využité jednotlivé výsledky riešenia výskumného projektu NAZV QJ1610289 „Optimalizace využití potenciálu půdy lokálně cílenou agrotechnikou“. Dáta bezpilotného prieskumu boli získané v spolupráci so spoločnosťou DATA PROCON, s.r.o. , a v neposlednej rade rodine za podporu pri písaní práce.

ABSTRAKT

Práca sa zaoberá využívaním bezpilotného snímkovania v precíznom poľnohospodárstve. Vysvetľuje, čo je to precízne poľnohospodárstvo, popisuje diaľkový prieskum Zeme, históriu dronov, príčiny variability pôdy, hodnotenie stavu porastov, ako môžeme dané problematiky monitorovať a následne spracovávať do podoby, ktorá je zrozumiteľná pre výstupné zariadenia v poľnohospodárstve. Vlastná práca skúma konkrétne vyhodnotenie výsledkov snímok z poloprevádzkových poľných pokusov a vyhodnocuje uplatnenie bezpilotných systémov pre monitoring pozemkov.

Kľúčové slová

Precízne poľnohospodárstvo, Diaľkový prieskum Zeme, drony, Normalizovaný diferenčný vegetačný index NDVI, Normalizovaný diferenčný Red Edge index NDRE

ABSTRACT

Thesis deals with the use of unmanned imaging in precision agriculture. Explains what a precision farming is, describes remote sensing, a history of drones, the causes of soil variability, evaluation of the condition of crops, how we can monitor and process the matter in understandable form of output for a farmer. The own work explores the concrete evaluation of the results from the semi-operational field trials and evaluates the use of unmanned land monitoring systems.

Key words

Precision agriculture, Remote sensing, drones, Normalized difference vegetation index NDVI, Normalized difference red edge index NDRE

OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Literárny prehľad.....	9
2.1	Precízne poľnohospodárstvo.....	9
2.1.1	Upresnenie charakteru precízneho poľnohospodárstva a jeho odlišností od konvenčného hospodárenia na pôde.....	9
2.1.2	Ako fuguje precízne poľnohospodárstvo	10
2.2	Diaľkový prieskum zeme (Remote sensing)	12
2.2.1	Rozdelenie diaľkového prieskumu Zeme	13
2.2.2	Prejavy vlastností hmotných objektov v elektromagnetickom spektre	14
2.2.2.1	Chemické zloženie hmotného objektu.....	14
2.2.2.2	Optické vlastnosti hmotného objektu	14
2.2.3	História dronov.....	15
2.2.4	Legislatíva bezpilotov v ČR.....	16
2.2.5	Príčiny variability a jej význam	18
2.2.6	Interpoláčn� metody	18
2.2.7	Kriging	20
2.2.8	Inverse distance weighting (v�a�en� inverzn� vzdialenosť).....	21
2.2.9	Mapování p�dn�ch podmínek.....	21
2.2.10	Vzorkovanie p�dy	23
2.3	Hodnotenie stavu porastov	24
2.3.1	Tradi�n� metóda mapovania (Agrobiologick� kontrola porastu).....	24
2.3.2	Nepriame metódy hodnotenia stavu porastov	25
3	Cieľ práce	27
4	Materiál a metodika.....	28
5	Výsledky a diskusia.....	30
6	Záver.....	42

7	Zoznam literatúry	43
8	Zoznam obrázkov	45

1 ÚVOD

Jedným z najdôležitejších predpokladov pre vedenie konkurencie schopného poľnohospodárskeho podniku je čo najefektívnejšie využívanie mechanizácie, či už pri všetkých poľných operáciách ale aj pri aplikácii ostatných potrebných vstupov. Pre maximálne dosiahnutie týchto predpokladov sa v súčasnej dobe implementujú do rastlinnej ale i živočíšnej výroby moderné technológie, ktoré nazývame precízne alebo presné poľnohospodárstvo a systémy monitorujúce pôdu i plodiny ale aj systémy navádzajúce stroje po poli. Dané systémy fungujú na princípe získavania informácií o geografickej polohe, analýze a ich správnej interpretácii v praxi, k čomu slúžia navigačné systémy. Takto získané informácie hrajú neskôr najpodstatnejšiu úlohu pri zbere úrody, hnojení, spracovaní pôdy a monitoringu plodín.

Pod pojem monitoring plodín a pôdy môžeme zahrnúť viacero možných variant, ktoré dokážu splniť naše požiadavky od tých menejnáročných, či už na obsluhu alebo spracovanie dát, až po tie najnáročnejšie. V dnešnej dobe sa najviac využívajú spôsoby zberu dát zo satelitných družíc, z pilotovaných lietadiel vybavených špeciálnymi kamerami a v neposlednom rade z bezpilotných leteckých prieskumov. Všetky tieto tri spôsoby však následne vyžadujú interpretovanie dát do použiteľného výstupu, na čo existuje rada nástrojov a programov.

Využitie bezpilotných systémov pre monitorovanie pozemkov a pre návrh lokálne cielených pestovateľských zásahov bolo donedávna skôr akýmsi sci-fi vo svete poľnohospodárstva, no doba napreduje a preto dnes môžeme bezproblémov zmapovať veľké plochy za rádovo nižšie náklady a čas ako v minulosti. Neustále napredovanie týchto systémov vedie k zvyšovaniu presnosti poľnohospodárskych zásahov do plodín a pôdy čo má za následok veľa dôležitých faktorov ako sú napríklad menšie opotrebovanie strojov, menej prejazdov po poli, nižšie utužovanie pôdy a šetrenie financií na pestovateľské zásahy.

2 LITERÁRNY PREHĽAD

2.1 Precízne poľnohospodárstvo

Pod pojem presné alebo precízne poľnohospodárstvo zahrňujeme taký systém obhospodarovania pôdy , ktorý nám umožňuje prispôbiť pracovné operácie pri pestovaní poľnohospodárskych plodín tzv. priestorovej variabilite. Pri takomto systéme poľnohospodárstva nám ide predovšetkým o dosiahnutie čo najlepších výnosov z daných plodín a vytvorenie efektívnej odolnosti rastlín voči škodcom a chorobám a to tak, že budeme používať pesticídy , insekticídy , herbicídy a hnojivá len tam , kde si to pôda a porast naozaj vyžadujú. Preto v tomto prípade dochádza k zmene od konvenčného poľnohospodárstva v ktorom sa vykonávajú všetky úkony jednotvárne na precízne poľnohospodárstvo , ktoré využíva najmodernejšie technológie na dosiahnutie týchto cieľov (Dudák, 2016).

Presné poľnohospodárstvo je prístup k riadeniu poľnohospodárskeho podniku, ktorý využíva informačné technológie , aby sa zabezpečilo, že plodiny a pôda dostávajú presne to, čo potrebujú pre optimálne zdravie a produktivitu. Cieľom je zabezpečiť ziskovosť, udržateľnosť a ochranu životného prostredia. Tento prístup je tiež známy ako satelitné poľnohospodárstvo (Rouse, 2016).

2.1.1 Upresnenie charakteru precízneho poľnohospodárstva a jeho odlišností od konvenčného hospodárenia na pôde.

- Podľa doterajších zistení je jasné, že presné poľnohospodárstvo chápe podmienky vrámci poľa inak ako konvenčné poľnohospodárstvo.
- Pracuje so skutočnosťou, že pole jako jeden celok a pôda svojimi zásobami živín, vlastnosťami a vlhkosťou je priestorovo rozmanité prostredie.
- K tejto danej skutočnosti je ďalej prispôbovaný systém hnojenia, dávkovania osiva a chemických prostriedkov.
- Kdeže sa jedná o precízne poľnohospodárstvo, dané zásahy si vyžadujú rozsiahlu technickú a informačnú základňu so získavaním a spracovaním údajov o pôde , o poli a plodine.
- Každá informácia je špecificky pridelená k jednému danému miestu na poli so známou geografickou polohou (Nozdrovický, 2006).

2.1.2 Ako funguje precízne poľnohospodárstvo

Precízne (presné) poľnohospodárčenie sa odlišuje od iných spôsobov hospodárenia úrovňou a spôsobom riadenia jednotlivých operácií. Pri konvenčnom poľnohospodárstve vychádzame z poznatkov, že základnou jednotkou je pozemok ako celko, ktorý považujeme za homogenný. Narozdiel od toho presné poľnohospodárstvo prehliada tento zaužívaný aspekt a snaží sa využitím moderných technológií využívať heterogenitu pôdnych podmienok vrámci obhospodarovaných pozemkov i rozdielov v časovej postupnosti produkčných systémov (Křen,2015).

Precízne poľnohospodárstvo ako jedno z najmodernejších odvetví farmárčenia funguje na princípe získavania dát z družíc. Aby mohlo presné poľnohospodárstvo fungovať je dôležité poznať geografickú polohu daného objektu , naktom máme v pláne prevádzkovať presné poľnohospodárstvo. Medzi tieto geografické informácie môžeme zaradiť napríklad tvar pozemku, poloha stroja, lokalizácia pozemku, zásobenosť živín v pôde , choroby rastlín, škodcovia , zaburinenosť a iné. Tieto informácie vieme získať využitím moderných technológií v poľnohospodárstve ako je napríklad GPS (Global Positioning System) , ktorý je odnožou GNSS (Global Navigation Satellite System) (Nozdrovický , 2008).

Kontrolné centrá zlučujú dáta zo snímačov a obrazové vstupy s ďalšími údajmi, ktoré poskytujú schopnosť identifikovať oblasti, ktoré si vyžadujú liečbu a určiť optimálne množstvo vody, hnojív a pesticídov, ktoré budú používať. Táto schopnosť pomáha farmárom vyhnúť sa plytvaniu zdrojmi a zabezpečuje to, že pôda má správne množstvo aditív pre optimálne zdravie, pri súčasnom znížení nákladov a zároveň monitoruje dopad úkonov farmy na životné prostredie (Rouse, 2016).

V súčasnej dobe je presné poľnohospodárstvo väčšinou obmedzené na väčšie podniky, ktoré môžu mať prístup k IT infraštruktúre a ďalším zdrojom potrebné na prevedenie daných úkonov tak aby podnik z toho profitoval. Avšak, rozvojové trendy, ako sú mobilné aplikácie a rôzne spolupráce medzi spoločnosťami , internet a M2M (komunikácia medzi strojmi, či už na báze drôtových alebo bezdrôtových technológiach) , by sa čoskoro mohlo robiť presné poľnohospodárstvo nielen na veľkých poľnohospodárskych podnikoch no dokonca aj na malých rodinných farmách (Rouse, 2016).

Celé získavanie dát v precíznom poľnohospodárstve je založené na získaní presných informácií o polohe a čase.

V súčasnosti existuje viacero satelitných navigačných systémov a sú to tieto. Spojené štáty Americké prevádzkujú najrozšírenejší systém v komerčnej sfére NAVSTAR GPS, Európa má systém EGNOS, v Rusku majú systém GLONASS , v Číne spustili systém BeiDou a nemožeme zabudnúť opomenúť ďalší pripravovaný projekt Európskej únie a tým je spustenie systému GALILEO , ktoré je naplánované na rok 2018.

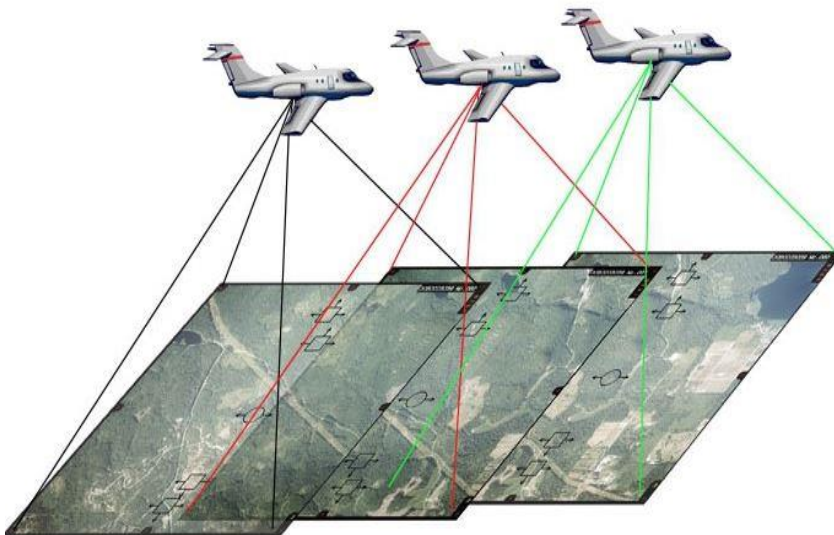
2.2 Diaľkový prieskum zeme (Remote sensing)

Diaľkový prieskum Zeme je veda i umenie získavať užitočné informácie o objektoch, polohách či javoch prostredníctvom dát meraných na zariadeniach, ktoré s týmito skúmanými objektami, plochami či javmi niesú v priamom kontakte.

Diaľkový prieskum je zhromažďovanie informácií o prírodných zdrojoch s využitím snímkov vyhotovených senzormi umiestnenými na palubách lietadiel alebo družíc.

Diaľkový prieskum môže byť definovaný ako zhromažďovanie informácií o objektoch bez fyzického kontaktu s nimi. Lietadlá a družice sú bežnými nosičmi, z ktorých sa tieto merania z diaľky zhotovujú. Pojem diaľkový prieskum je obmedzený na metódy, ktoré využívajú elektromagnetické žiarenie ako prostriedok k zisťovaniu objektov a merania jeich charakteristík.

Diaľkový prieskum je spôsob získavania informácií o zemskom povrchu i vodných plochách s využitím snímkov vyhotovených z vtáčej perspektívy, využíva elektromagnetické žiarenie v jednom alebo viacerých intervaloch spektra, toto žiarenie je odrážané alebo emitované zo Zeme (Železný, 2016).



Obrázok 1 Ukážka leteckého snímkovania
Zdroj: <http://www.aaadopyt.sk>

2.2.1 Rozdelenie diaľkového prieskumu Zeme

Konvenčné (fotografie)

Digitálne (imagery)

Aktívne snímacie metódy využívajú vlastné zdroje žiarenia

Pasívne snímacie metódy registrujú žiarenie cudzích zdrojov

Podľa druhu nosiča : lietadlá, družice, modely lietadiel, balóny, vrtuľníky drony, a iné

Podľa zaznamenatej časti elektromagnetického spektra : panchromatické, infračervené, tepelné, radarové

Podľa zorného poľa kamery : s úzkym uhlom, normálne, širokohlé

Podľa osy záberu : zvislé a šikmé

Podľa veľkosti snímaného územia : globálne, oblastné, lokálne, detailné (Železný, 2016).

Ako už bolo uvádzané v definíciách, diaľkový prieskum Zeme využíva elektromagnetické žiarenie. Toto žiarenie je akýmsi prírodným médiom, ktoré prenáša informácie o predmetoch cez priestor na veľké vzdialenosti. Tento jav sa využíva v DPZ k nadobúdaniu informácií o sledovaných objektoch na Zemi bez toho, že by sme museli priamo zistiť ich vlastnosti na miestach kde sa nachádzajú. V diaľkovom prieskume vieme z jednoduchého obrazu odvodiť ich vlastnosti a druh. Hľadané informácie nadobúdame analýzou žiarenia, ktoré sa odrazilo od daného objektu v priestore a získané údaje porovnávame s už známymi údajmi (Bitter, 2005).

Ak by sme si zoradili do radu všetky známe druhy elektromagnetického žiarenia v závislosti na energii fotónov, dostali by sme obraz elektromagnetického spektra. Tu sa nám radia vedľa seba rádiové vlny, mikrovlny, infračervené žiarenie, žiarenie gama a na koniec tzv. kozmické žiarenie (Bitter, 2005).

2.2.2 Prejavy vlastností hmotných objektov v elektromagnetickom spektre

Výsledkom vzájomného pôsobenia elektromagnetického žiarenia s hmotou sú znaky zanechané v spektre pozorovaného objektu, s ktorým žiarenie spolupôsobilo. Vďaka tomu sa dané žiarenie stáva veľmi pestrým obsahom znalostí o danom objekte. Výsledkom vzájomného pôsobenia bude teda zmena zloženia žiarenia, z ktorej vieme odvodiť vlastnosť objektu. Tento jav ovplyvňujú dva navzájom sa prekrývajúce faktory, ktorými sú chemické zloženie a optické javy (Bitter, 2005).

2.2.2.1 Chemické zloženie hmotného objektu

Všetky chemické prvky ale aj zlúčeniny sa pri kontakte s elektromagnetickým žiarením preukážu vlastným charakteristickým komplexom spektrálnych čiar. Podoba daných spektrálnych čiar súvisí so zložením vrchných vrstiev elektrónového obalu atómu alebo molekúl spolupôsobiacej látky. Súčasne sa do spektrálnych čiar odrážajú i niektoré iné fyzikálne vlastnosti objektov. Vďaka tomu môžeme rozoberať na diaľku celý rad vlastností hmotných objektov analýzou žiarenia, ktoré objekty vysielajú alebo odrážajú (Bitter, 2005).

2.2.2.2 Optické vlastnosti hmotného objektu

Pri dopade elektromagnetického žiarenia na objekt môžu nastať rôzne vizuálne javy. Konkrétne sú tieto javy tri. Prvým javom je odrazenie elektromagnetického žiarenia nazad do priestoru. Ďalším z nich je pohltenie žiarenia, no a tretím javom je, že môže dôjsť k prechodu žiarenia cez hmotný objekt alebo čiastočné preniknutie do určitej hĺbky. Tieto tri javy pôsobia na objekt vždy spoločne. Všetky hmotné objekty majú svoje chemické zloženie a ich hmota je teda akýmsi určitým chemickým prostredím. Istá časť žiarenia sa vracia / odráža naspäť do priestoru a so sebou odnáša presné informácie o danom objekte, od ktorého sa odrazilo. Informáciu v tejto podobe môžeme zobrazit' pomocou spektra objektu, ktoré obsahuje jasné a tmavé spektrálne čiary, ktoré vypovedajú o zložení a fyzikálnom stave objektu. Podľa nich vieme spoznať, a akých vlnových dĺžkach môžeme objekt v danom fyzikálnom stave sledovať (Bitter, 2005).

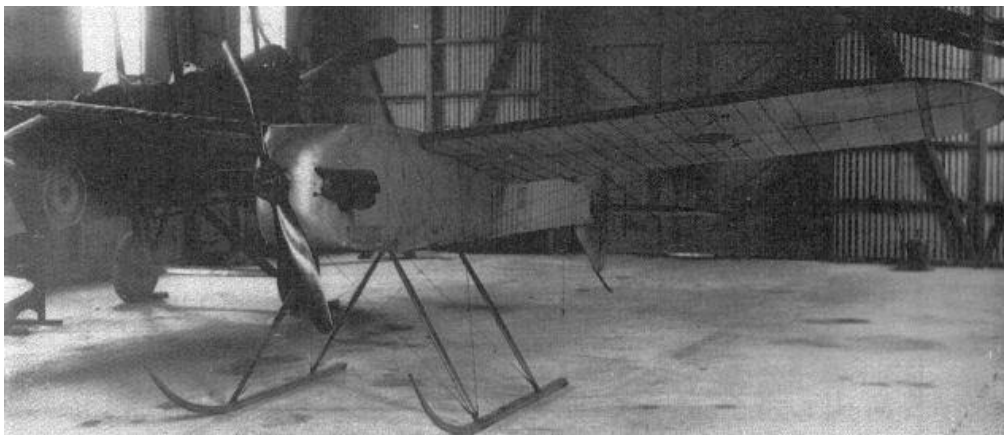
2.2.3 História dronov

Korene dronov a história bezpilotných systémov siaha až ku koreňom ľudstva. Prvý vyhodенý predmet do vzduchu sa dá považovať za bezpilot. Nikola Tesla si dal patentovať v roku 1898 „teleautomatizáciu“, diaľkové ovládanie motorovej loďky na vode. V jeho poznámkach bolo zrejmé, že mal úvahy aj o zostrojení bezpilotného leteckého systému (Karas, Tichý, 2016).

V roku 1916 bolo naprojektované prvé bezpilotné lietadlo anglickým inžinierom archibaldom Montgomerym známym vynálezcom riadených rakiet, torpéd a pod. Toto bezpilotné lietadlo pomenoval „Aerial Target“ čo v preklade znamená (vzdušný cieľ). Hneď na to nasledovala rada lietadiel riadených na diaľku, ktorých hlavným účelom bolo slúžiť ako torpéda, napríklad experiment Kettering Bug, ktoré dokázalo trafiť cieľ až na 64km a prvý krát bolo úspešne testované na konci roku 1918 (Karas, Tichý, 2016).

Najznámejším historickým dronom je však MQ-1 Predator, ktorý bol prvý krát vypustený v roku 1994 letectvom Spojených štátov Amerických. Jeho prvotné označenie bolo RQ-1 Predator, kedy „R“ označovalo výzkumnú funkciu a „Q“ bezpilotný systém. Najväčšie využitie našiel pri pátraní po Usámovy Bin Ládinovy (Karas, Tichý, 2016).

Všetko ale zmenil letecko teroristický útok 11. Septembra 2001 v USA a onedlho nato sa zmenilo označenie RQ na MQ, kde „M“ označovalo funkciu „multi-role“ (viacúčelový) (Karas Tichý, 2016).



Obrázok 2 Aerial Target 1916

Zdroj : <https://sites.google.com/site/uavuni/1910-s>

2.2.4 Legislatíva bezpilotov v ČR

Vzhľadom k tomu, že je letectvo veľmi komplexným odborom, ktorý okrem samotného lietania musí zahŕňať viacero dôležitých krokov, nemôže byť pochýb o tom, že podlieha mnohým pravidlám, nariadeniam, zákonom a legislatívam. Týmto nariadeniam teda podliehajú všetky prístroje pohybujúce sa vo vzduchu, či už sa jedná o rekreačné lietanie, športové alebo prepravu osôb.

Odkedy bsa však začalo hromadné využívanie ultraľahkých lietadiel bolo nutné definovať nové zákony upravené tak, aby do nich spadali aj tieto zariadenia.

Využívanie vzdušného priestoru v Českej republike, či už za komerčným alebo rekreačným účelom podlieha zákonu č.49/1997 Sb. o civilnom letectve. Podľa § 2 druhého odstavca sa pre účely tohto zákona lietadlom nemyslí model lietadla, ktorého maximálna vzletová hmotnosť nepresahuje 20kg. Preto podlieha prevádzkovanie modelov predovšetkým občianskemu zákonníku a z neho vyplývajúca zodpovednosť pilota je absolútne dostačujúca. Dňa 1. marca (březen) 2012 však vošiel v ČR do platnosti Doplnok X predpisu L2 podľa ustanovení § 102 odstavca 2 zákona o civilnom letectve, v ktorom sa zavádza pojem „bezpilotné lietadlo“, pre ktorého prevádzkovanie stanovil podmienky približujúce sa ku zvyklostiam v pilotovaom letectve a veľmi presne tak oddelil modelárske aktivity od komerčného využitia diaľkovo ovládaných strojov (Karas, Tichý,2016).

Ak je lietadlo ovládané na diaľu využívané iba na rekreačné, športové alebo súťažné účely nazývame ho model lietadla. Avšak je treba dodať, že pojmy ako, bezpilotný prostriedok, UAV(unmanned aerial vehicle), UA(unmanned aircraft), RPA(remotely piloted aircraft) či dron, sú iba synonymá a platí pre ne rovnaká definícia v Doplnku X ako pre bezpilotné lietadlo (Tichý, Karas, 2016).

Bezpilotné lietadlá sa v Českej republike môžu používať iba s povolením ÚCL (úrad civilného letectva). Ide predovšetkým o povolenia k lietaniu (§. 52 zákona č. 49/1997 Sb. o civilním letectví) a ďalej o povolenia k prevádzkovaniu leteckých prác, leteckých činností pre vlastnú potrebu alebo k vykonávaniu obchodnej leteckej dopravy.

Využívanie bezpilotných lietadiel bez povolení, ktoré sú potrebné, môže dojsť k pokute až do výšky 5 000 000 Kč.

Povolenia ÚCL však nie sú potrebné iba pre modely lietadiel s maximálnou vzletovou hmotnosťou presahujúcou 20kg. Definície modelu lietadla a vymedzenie druhu leteckých činností okrem iného vylučujú používanie takýchto modelov na iné činnosti ako sú športové a rekreačné.

Pre bezpiloty do 20kg určené výhradne na rekreačné a športové účely sa podľa § 52 leteckého zákona povolenie nevydáva (Úrad pro civilní letectví, 2011).

Primárnym úmyslom zavedenia Doplnku X bolo definovanie rozdielu medzi modelom lietadla a bezpilotným lietadlom. Keď má diaľkovo riadený model nainštalovaný systém, ktorý mu umožňuje automatický let na zvolené miesto, nejde o model lietadla ale o bezpilotné lietadlo (Tichý, Karas, 2016).

Kompletné znenie Doplnku X môžeme nájsť na stránkach Leteckej informačnej služby Riadenia letovej prevádzky ČR : <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>



Obrázok 3 Prehľad požiadavkov na bezpilotné systémy

Zdroj: <http://www.caa.cz/>

2.2.5 Príčiny variability a jej význam

Variabilitu pozemku si uvedomovali naši predkovia už odpradáva. Vychádzali vtedy ale z jednoduchých pozorovaní, kedy videli, že na jednej časti pozemku majú vyšší výnos ako na inej časti.

Rôznorodosť pozemkov sa dá chápať v dvoch podobách – priestorová a časová.

Pri priestorovej variabilite sa pozeráme na zmeny v ploche pozemku (napr. hĺbka pôdy v trojrozmernom priestore) . Najčastejším príkladom môže byť rôznorodosť vrámci jednej plodiny na pozemku alebo utuženie pôdy. Dôsledkom priestorovej variability môžu byť napríklad odlišnosť pôdneho prostredia , nerovnomerný rozsah operácií na pozemku a bioticky škodlivé vplyvy (Lukas, 2011).

Časová variabilita oproti tomu znázorňuje zmeny znakov v čase. Jej príčinou býva väčšinou priebeh poveternostných podmienok , ktoré výrazne ovplyvňujú vývoj pozorovaného javu. Ako príklad môžeme použiť hodnoty množstva nadzemnej biomasy alebo úroveň napadnutia plodiny škodlivými organizmami (Lukas,2011).

Oba tieto druhy priestorovej rôznorodosti sa vzájomne prelínajú a ich výsledný prejav je dostatočne známy. Rôzne poľnohospodársky významné ukazovatele udávajú rôznu úroveň priestorovej a časovej variability, zakiaľ čo sa napríklad hodnoty mineralizovaného dusíka v pôde rýchlo menia , zrnitosť pôdy sa dá považovať za stabilnú veličinu z krátkodobého hľadiska (Lukas,2011).

2.2.6 Interpoláčné metódy

Na popísanie priestorovej rôznorodosti používame geoštatistické metódy. Tento pojem , geoštatistika, prvý krát použil v roku 1962 matematik z francúzska, Georges Matheron, a dondnes je tento pojem celosvetovo používaný pre vednú disciplínu, ktorá zahŕňa špecifické metódy spracovania dát nameraných na ploche či v priestore. Bežná štatistika pozerá na jednotlivé hodnoty ako na náhodné odchýlky od celkového priemeru a jej primárnym cieľom je popísať hodnoty celého súboru. Geoštatistické metódy prihliadajú na priestorovú závislosť a pokúšajú sa nájsť zákonitosti v priestorovom rozložení (Kraus, 2007 in Lukas 2011).

Vychádza sa teda z predpokladu, že pozorovania , ktoré sú robené vo väčšej vzdialenosti od seba sú si menej podobné ako pozorovania vyhotovené v bližšej vzdialenosti. Popri tom sa

predpokladá , že získaná závislosť priestorovej premennej, ktorú sme sledovali na dvoch miestach nevyplýva z miesta kde sa robilo meranie ale vyplýva z vzdialenosti týchto miest (Kraus, 2007, in Lukas, 2011).

Priestorové interpolácie znázorňujú metódy odhadu sledovaných hodnôt na miestach, ktoré sme vzorkovaním nepokryli, teda na miestach medzi odbermi. Prevedenie priestorovej interpolácie je nutné predovšetkým pri diskretnom mapovaní, napr. pri bodovom pôdnom vzorkovaní (Lukas, 2011).

Priestorové interpolačné metódy vieme zaradiť podľa rôznych kritérií ako sú napr. :

a) Globálne a lokálne metódy

Globálny prístup plynie z toho, že hodnoty z celého dátového súboru vstupujú do výpočtu. To znamená, že na výsledok má vplyv zmena hodnoty v jednom bode vstupného poľa a ,že pre dátový súbor sa používa jedna funkcia.

V prípade lokálneho prístupu priestorovej interpolácie sa predpovedaná hodnota vypočítala iba z dielu dátového súboru a najčastejšie pomocou pohyblivého sa okna na výpočet robíme toľko krát , kým pohybujeme sa okno neprejde celým dátovým súborom. Výsledok výpočtu v miestach, kde sa konkrétna hodnota nachádza ovplyvní iba zmena hodnoty vstupného bodového poľa v tom istom mieste.

b) Deterministické a stochastické metódy

Deterministické metódy sú postavené na výpočte z hodnôt, ktoré sme získali meraním. Teória pravdepodobnosti nie je využívaná pri definovaní hodnôt vstupného bodového poľa. Výsledok, ktorý sme dosiahli sa nezmení ani pri opakovaných výpočtoch.

Stochastické metódy sú založené na teórii pravdepodobnosti a na náhodnosti. Pri opakovaní výpočtu môžeme dosiahnuť aj iný výsledok preto ho pokladáme skor ako za jednu z možností. Stochastické metódy vyplývajú z geoštatistických modelov, ktoré sú založené na priestorovej korelácii hodnôt.

c) Exaktné a aproximujúce metódy

Interpolačné metódy , pri ktorých interpolačná funkcia prechádza všetkými bodmi vstupného bodového poľa sa nazývajú exaktné . Vašinou tu ide o také body, v ktorých bola meraním určená ich hodnota. O aproximujúce metódy ide práve vtedy ak priebeh

interpoláčnej funkcie neprechádza bodmi vstupného bodového poľa , ale nachádza sa mimo nich.

- d) Metódy váženého priemeru a metódy iných funkcií (označované ako štatistické a matematické metódy)

Interpoláčné funkcie sa dajú rozdeliť na metódy využívajúce matematické funkcie (napr. Spline, Metóda trendového povrchu, metóda najbližšieho suseda a pod.) a druhú skupinu tvoria funkcie , ktoré sú založené na váženom priemere hodnôt vstupného bodového poľa (napr. Thiessenove polygóny, IDW, Kriging, Metóda prirodzeného suseda a pod.) (Kaňuk, 2015).

Interpoláčné metódy Kriging a Inverse distance weighting (IDW) sa používajú najčastejšie pri tvorbe spojitých priestorových máp. Ako uvádzam vyššie obe tieto metódy sú založené na váženom priemere hodnôt vstupného bodového poľa. Líšia sa len v spôsobe výpočtu váhy.

2.2.7 Kriging

Interpoláčná technika , v ktorej sú okolité namerané hodnoty vážené tak, aby odovzdali predpokladanú hodnotu pre nameranú oblasť. Váhy sú odvodené na základe vzdialenosti medzi meranými bodmi, predikcie polohy a celkovým priestorovým usporiadaním medzi meranými bodmi. Kriging je unikátny spôsob medzi interpoláčnymi metódami, ktoré poskytujú jednoduchý spôsob pre charakterizovanie odchýlky, alebo presnosti predikcie. Kriging je založený na variabilnej regionalizovanej teórii , ktorá predpokladá, že priestorová variácia , ktorá je dátami modelovaná je homogenná v priestore. Znamená to, že rovnaký vzor variácie sa dá pozorovať na všetkých miestach v priestore. Táto technika bola pomenovaná podľa juhoafrického banského inžiniera Danie Gerhardus Krige (Esri,2017).

Ako prvý krok pri krigingu musíme preskúmať dáta na identifikáciu priestorovej štruktúry, čo je zastupované empirickým variogramom. Váhu hodnôt predikovaných na nevzorkovaných miestach určuje matematická funkcia, ktorou je experimentálny variogram preložený. Túto metódu robí robí výpočtne náročnejšou samotný výpočet a následné modelovanie. Jedným z kladov krigingu môžeme označiť možnosť určenia odhadu rozptylu predpovedanej hodnoty, teda stanovenie chyby vypočítaného odhadu. Túto výhodu môžeme využiť pre návrh čo najprimeranejšej hustoty vzorkovacej siete na základe zvolenej miery nepresnosti (Oliver a Webster 1991 in Lukas, 2011).

2.2.8 Inverse distance weighting (vážená inverzná vzdialenosť)

Metóda IDW nepotrebuje vypočítanie variogramu, i napriek tomu je to veľmi presná metóda, ktorá je rýchla a matematicky menej obtiažna. So zväčšujúcou sa vzdialenosťou klesá intenzita váhy a interpolovaná hodnota sa približuje dátovému bodu, teda dáta sú vážené podľa vzdialenosti od ostatných susediacich bodov. Pre danú metódu je charakteristická prítomnosť tzv. „očí“ (bulls eye), ktoré predstavujú lokálne vystupujúce ostre ohraničené štruktúry okolo dátových bodov. Na prevedenie daného výpočtu je nevyhnutné nastaviť iba parameter p (power), ktorý znázorňuje ako rýchlo hodnoty váh klesajú k nule s narastajúcou vzdialenosťou od bodu výpočtu. Zvyčajne aplikované hodnoty parametra p sa pohybujú od 1 do 3 (Lukas, 2015).

Metóda IDW je senzitívna na zhľuky meraných bodov a taktiež na odľahlé hodnoty. Určitou nevýhodou je taktiež, že minimálna a maximálna hodnota interpolovanej veličiny sa môže nachádzať iba v bodoch merania (is.muni.cz,2017).

2.2.9 Mapování půdních podmínek

Variabilita pôdných podmienok je zapríčinená veľkým množstvom faktorov, ktorých vplyv sa mení vzhľadom na priestorový rozmer pozorovania. V regionálnom poňatí prevláda charakteristika povrchu krajiny, vegetačný pokryv pôdy, vplyv klimatických faktorov a spôsob využitia pôdy. Ak zoberieme pole ako celok, tak jeho hlavnými faktormy ovplyvňujúcimi variabilitu sú: predošlý spôsob hospodárenia, predplodina, reliéf terénu a pôdny typ. V globále môžu mať väčší vplyv stupeň utuženia pôdy, smer riadkov porastu, technológie spracovania pôdy a spôsob aplikácie živín. Ostatné činitele ako sú napríklad človek a voda môžu spôsobiť pozitívne, či negatívne zmeny pôdy a tým prispieť k zvýšeniu pôdnej premenlivosti (Borůvka, 2001 in Lukas, 2011).

U vlastností, ktoré sú dôležité pre anorganické rozhodovanie, robíme mapovanie priestorovej variability pôdy. Väčšinou sa teda jedná o agrochemické pôdne vlastnosti ovplyvňujúce spracovanie pôdy (reliéf terénu, fyzikálne vlastnosti pôdy), vlastnosti na korekciu hnojenia (obsah živín v pôde) a vápnenie pôd (pH pôdy). Vzhľadom na počet vstupov, ktoré vieme do pôdy dostať nám umožňuje oblasť hnojenia a výživy rastlín dosiahnutie najväčších prínosov (Lukas, 2011).

Ak chceme robiť precízne poľnohospodárstvo potrebujeme mať podrobnú znalosť o priestorovej variabilite pôdných podmienok. Tradičné postupy zberu informácií o pôde v podobe pôdneho vzorkovania nám poskytujú vysokú presnosť meraní, no na druhej strane sú pomerne časovo náročné a nákladné a preto ich nemôžeme robiť v dostatočnej hustote. Existujú aj iné spôsoby ako tieto informácie o pôde získať a to napríklad mapy BPEJ a pedologické mapy, ktoré sú dostupné i v elektronickej podobe no ich priestorové roylišenie je nevzhovujúce pre účely precízneho poľnohospodárstva. Senzorické merania pôdných vlastností sú preto výbornou alternatívou k týmto metódam.

Využívanie senzorických meraní pomocou špeciálnej techniky nám umožňuje detailne popísať rôznorodosť sledovanej časti poľa vo veľmi vysokom rozlíšení a tak dosiahnuť menej finančne náročné a efektívnejšie sledovanie pôdných vlastností. Mapovanie pôdy vo veľmi hustej sieti nám umožňuje senzorová technika a GPS prijímače, ktoré v precíznom poľnohospodárstve používame. To nám vo veľkej miere znižuje celkové náklady na získavanie potrebných dát a vďaka hustej sieti sa skoro odstraňujú problémy s dopočítavaním údajov na nevzorkovaných miestach sledovaného pozemku. Veľa výskumných stredísk sa pokúša vyvynúť tzv. on-the-go senzory, ktoré slúžia na priebežné meranie pôdných vlastností. Dané senzory pracujú na rôznych princípoch, veľa z nich je známych a postavených na ydanlivo jednoduchých princípoch meraní. Preto je veľmi pravdepodobná šanca aby sa dané senzory uplatnili v mapovaní pôdných podmienok (Lukas, 2015).

2.2.10 Vzorkovanie pôdy

Vzorkovanie pôdy je tradičný spôsob získavania informácií o pôdnych vlastnostiach. Znázorňuje výber podmnožiny vzorkov z celej plochy, ktoré budú sledované. Merania robené na tomto vzorku slúžia ako podklad ku komplexnému stanoveniu vlastností alebo parametrov celej plochy. Vzhľadom na to, že je meranie celej plochy ako celku v praxi nemožné slúži vzorkovanie ako základná podstata akéhokoľvek terénneho výskumu v pôdnych vedách. Aby sme čo najlepšie dokázali zachytiť variabilitu pôdy na celej ploche, musíme k tomu prispôsobiť množstvo odberov vzoriek, čím viac vzoriek, tým presnejšie sledovanie variability no zároveň i vyššie náklady. Ak by sme spravili sledovanie s menším počtom vzoriek, nemuseli by sme zachytiť niektoré dôležité lokálne rozdiely. Optimálny počet vzoriek v precíznom poľnohospodárstve je cca. 1-5 na ha (Lukas, 2011).

Popri hustote vzorkovania má taktiež veľký význam rozmiestnenie odberových bodov na pozemku, tzv. schéma vzorkovania /sampling design. Schéma vzorkovania predstavuje výber najužitočnejšej metódy odoberania vzoriek, je to taktiež faktor, ktorý najviac ovplyvňuje nákladnosť a efektívnosť pôdneho vzorkovania. Z praktického hľadiska môžeme rozdeliť schémz mapovania pôdnej variability na ciele vzorkovanie taktiež nazvané aj zónové vzorkovanie, ďalej náhodné vzorkovanie a nakoniec vzorkovanie v pravidelnej sieti (Lukas,2015).

Pri sledovaní vyrovnaných pozemkov s cieľom získať priemernú hodnotu pre celú plochu môžeme použiť náhodné vzorkovanie.

Vzorkovanie v pravidelnej sieti môžeme využiť na miestach, kde je malá alebo žiadna znalosť variability pôdy vrámci pozemku. Nevýhodou pri vzorkovaní v pravidelnej sieti sú náklady, ktoré sú vysoké i pri nízkom odbere. Preto je dôležitým faktorom vzdialenosť jednotlivých bodov vzorkovania, čiže hustota vzorkovania. Rozostupy medzi vzorkami vieme stanoviť z rozsahu variogramu nadobudnutého náhodným vzorkovaním. Limitné hodnoty rozsahu pravidelnej štvorcovej siete a teda i najpriaznivejšiu hustotu odberov vzoriek skúmanej pôdnej charakteristiky určuje rozsah variogramu, ktorý predstavuje hranicu priestorovej závislosti.

Zónové vzorkovanie vyplýva z poznatkov o priestorovej variabilite pozemku.

2.3 Hodnotenie stavu porastov

Variabilitu plodiny pestovanej na pozemku môže ovplyvňovať viacero činiteľov ako sú napríklad : heterogenita pôdnych podmienok, odlišná frekventovanosť obhospodarovania pozemku a výskyt burín, či škodcov. Vzhľadom k tomu, že väčšina pôdnych vlastností sa v krátkodobom hľadisku nemení teda jej monitorovanie stačí robiť raz za dlhšie obdobie, vlastnosti pestovaných plodín sa menia veľmi frekventovanejšie a preto je potrebné ich sledovanie počas celého vegetačného obdobia (Lukas, 2011).

Mapovanie porastu sa dá rozdeliť na dve základné metódy. Prvou je tradičná metóda mapovania kde patrí agrobiologická kontrola a druhou nepriame metódy hodnotenia stavu porastov , ktoré môžeme ešte ďalej rozdeliť na on-the-go alebo inak povedané online metódy a offline metódy.

2.3.1 Tradičná metóda mapovania (Agrobiologická kontrola porastu)

Snahou pestovateľa je dosiahnuť požadovanú rentabilitu pri pestovaní poľnohospodárskych plodín. Jednotlivé agrotechnické zásahy ,počínajúc spracovaním pôdy až po zber úrody, musia byť preto vykonávané v optimálnej príhodnej dobe a tomu odpovedajúcej kvalite. Systém agrobiologickej kontroly predstavuje progresívny spôsob „chodenia po poli“ , kedy nám znalosť konkrétneho stavu porastu a rastlín umožní vyvarovať sa chybám. Cieľom agrobiologickej kontroly je dosiahnutie optimálneho výnosu pri minimálnych nákladoch na jednotku produkcie pri čo najnižšom zaťažení životného prostredia. Tento systém vyžaduje znalosti vzťahu medzi prostredím, porastom a výnosom. Praktické uplatnenie tohto systému je založené na

- 1) Vstupnej kontrole – znalosti fyzikálnych a agrochemických vlastností pôdy, zaburinenie, predplodine, kvalite osiva a sadby, kvalite prípravy pôdy a siatí. Súčasťou vstupnej kontroly je i voľba technologického postupu pestovania plodiny.
- 2) Priebežná kontrola – pri jednotlivých vstupoch do porastu zisťujeme stav porastu-hustotu a medzerovitosť, rastové fázy porastu, výskyt chorôb a škodcov, stav zaburinenia, výživný stav, priebeh počasia.
- 3) Výstupná kontrola – hodnotí úrodu a jej štruktúru, straty po zbere, kvalitu produktu, konečné ekonomické zhodnotenie vstupov a celkový ekonomický výsledok pestovania (Praxe,2014).

2.3.2 Nepriame metódy hodnotenia stavu porastov

Z poľnohospodárskeho hľadiska môžeme povedať, že najvýznamnejšími vlastnosťami, ktoré sledujeme v rámci porastu sú hustota porastu, výživný stav rastlín, poškodenie rastlín a zaburinenie. Senzory, ktorými kontrolujeme zmeny daných vlastností využívajú rôzne fyzikálne princípy, ale v praxi sa najčastejšie používajú čidlá, ktoré merajú spektrálne vlastnosti rastlín, pretože každá rastlina vykazuje špecifickú odrazivosť v jednotlivých pásmach elektromagnetického žiarenia.

Modrá a červená časť žiarenia sú väčšinou pohltené pri procese fotosyntézy, časť zeleného spektra sa odráža a preto sa nám rastliny javia ako zelené. V blízko-infračervenom spektre je väčšina žiarenia odrážaná. Toto žiarenie je pre ľudské oko neviditeľné a preto je na jeho zaznamenávanie potrebné špeciálne detekčné zariadenie. V skratke môžeme povedať, že odrazivosť vo viditeľnom žiarení nám dáva informácie o stave fotosyntetického aparátu rastliny a blízko-infračervené žiarenie o množstve biomasy (Lukas, 2011).

V závislosti od toho, kedy a kde sa realizujú jednotlivé kroky zberu informácií a rozhodovacieho procesu, možno rozlišovať dva koncepčné systémy a to off-line systém a on-line systém.

2.3.2.1 *Offline metódy*

Offline metóda (systém mapovania) sa vyznačuje tým, že samotný plán zásahu do porastu je vypracovaný na počítači a pomocou pamäťovej karty je tento plán prenesený do palubného počítača techniky, s ktorou bude zásah realizovaný. Vďaka tomu, že sú informačné zdroje zozbierané ešte pred samotným vytváraním plánu nám tento systém mapovania umožňuje dôkladnú prípravu a kontrolu porastu.

Dôležitým základným nástrojom pre prácu s dátami z informačných zdrojov v offline systéme je geografický informačný systém GIS v spojení s ďalšími agronomickými systémami (Nozdrovický, 2006).

2.3.2.2 Online metódy

Narozdiel od offline metód tie online sledujú a vyhodnocujú počas jazdy potrebu hnojenia a v reálnom čase vykonávajú potrebnú variabilnú aplikáciu. Táto metóda si vyžaduje vhodné senzory a výkonný palubný počítač, ktorý dokáže s dátami pracovať. Systémy, ktoré určujú geografickú polohu niesú v tomto prípade nutnosťou, no môžu byť veľmi užitočné pre následnú kontrolu a dokumentáciu hnojenia. V dnešnej dobe je viacero prístrojov na online mapovanie a aplikovanie hnojív, pričom najvýraznejšie rozšírenie v praxi zaznamenal systém N-senzor (Nozdrovický, 2006).



Obrázok 4 Ukážka princípu fungovania N senzoru

Zdroj: <http://www.leadingfarmers.cz/yara/presentations/2006.asp>

3 CIEĽ PRÁCE

Cieľom bakalárskej práce je vyhodnocovanie vhodnosti možnosti využitia bezpilotného snímkovania v precíznom poľnohospodárstve a overenie poznatkov danej problematiky na konkrétnom vyhodnotení údajov z bezpilotného snímkovania na konkrétnych pozemkoch.

V rámci literárneho prehľadu skúmanej problematiky sa práca zaoberá predstavením precízneho poľnohospodárstva, diaľkového prieskumu Zeme a predstaveniu dronov všeobecne, ďalej opisuje samotné príčiny variability pôdy a ako sa dá pôda mapovať. A tiež hodnotenia stavu porastov, ktoré sa používajú v súčasnosti.

Vlastná práca je zameraná na konkrétne spracovanie výsledkov bezpilotného snímkovania z poloprevádzkových poľných pokusov a na jednom väčšom pozemku zo snímok vegetačných indexov NDVI a NDRE. Ďalej má vyhodnotiť uplatnenie bezpilotných systémov pre monitoring pozemkova pre návrh lokálne cielených pestovateľských zásahov.

4 MATERIÁL A METODIKA

Praktická časť je založená na hodnotení konkrétnych sledovaniach a vyhodnocovaniach snímok z bezpilotného monitrovania konkrétnych pozemkov.

- Vychádza z poznatkov získaných pri študovaní predmetu Precízni zemédelství a Aplikační pěstovatelský software, získaných na Agronomickej fakulte Mendelu
- Údaje potrebné pre spracovanie praktickej časti pochádzajú z bezpilotného snímkovania na pozemkoch školského podniku „Žabčice“ (treba konkrétny názov) a pozemku Otnice.
- Konkrétne sa jedná o bezpilotné snímky v spektre vegetačných indexov NDVI a NDRE, ktoré zobrazujú potrebu ďalších pestovateľských zásahov pre optimálne výnosovosti porastu.

Pri vyhodnocovaní multispektrálnych snímok sme v práci využívali dva vegetačné indexy a to NDVI a NDRE.

Metóda vyhodnocovania NDVI nie je nová, už v dobách pred digitálnymi fotoaparátmi vyrábala Kodak špeciálny film, ktorý vedel fotiť priamo NDVI snímky. Prvé snímky sa zhotovovali zo satelitov. Pre účely vyhodnocovania NDVI potrebujeme samostatne merať odraz svetla od listov rastlín vo viditeľnom pásme (listy najviac odrážajú zelenú a modrú časť spektra a preto sa nám javia ako zelené, zatiaľ čo červenú časť spektra pohlcujú pre potreby fotosyntézy) a zároveň samostatne merať odrazené svetlo v neviditeľnom pásme, v tzv. pásme NIR (near infra red), ktoré leží medzi viditeľným pásmom a pásmom infračerveným (rastliny odrážajú toto tepelné žiarenie, aby sa bunky v listoch neprehrievali). Pomer medzi svetlom odrazeným vo viditeľnom pásme a v pásme NIR je potom samotný NDVI index.

Ak sa akokoľvek naruší zdravotný stav rastliny, okamžite sa to prejaví práve na hodnote NDVI. Celá metóda spočíva v porovnaní vývoja NDVI mapy v kultúre počas celej vegetačnej sezóny. Veľkou výhodou je následné dlhodobé porovnávanie týchto máp medzi jednotlivými ročníkmi u stálych kultúr (IoTCluster,2016).

Pre výpočet NDVI sa používa vzorec

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$$

NDRE používa červený okraj filtra pre zobrazenie odrazivosti na vrchole plodiny. RE je oblasť v red-NIR prechodovej zóne vegetácie odrazeného spektra a označuje hranicu medzi absorpciou chlorofylu v červenej viditeľnej oblasti a rozptýlenie v dôsledku vnútornej štruktúry listu v oblasti NIR. To nám umožňuje určiť mnoho rôznych premenných spojených s managementom plodiny. Pochopenie hladiny chlorofylu nám umožňuje možnosť sledovať aktivitu fotosyntézy.

Medzi faktory, ktoré môžu zmeniť hladinu chlorofylu a spôsobujú stres plodiny sú hmyzie napadnutia. Pomocou NDRE môžeme určiť, aké závažné je napadnutie porastu hmyzom a potom použiť presný spôsob likvidácie napadnutia. To nám umožňuje nie len sledovať ohniská napadnutia ale tiež znížiť náklady spojené s ochranou rastlín proti škodcom (AAI,2015). Pre výpočet NDRE sa používa vzorec

$$NDRE = \frac{R_{NIR} - R_{RE}}{R_{NIR} + R_{RE}}$$

Dáta, ktoré boli v práci využívané boli zozbierané z bezpilotného monitorovania pokusných políčok pšenice ozimej zo školského poľnohospodárskeho podniku Žabčice, ktoré sa nachádza vo vzdialenosti necelých 25 km južne od mesta Brna v okrese Brno – venkov. Poľná rastlinná výroba vychádza z možností, ktoré pôdne a klimatické podmienky oblasti poskytujú – suchá teplá kukuričná oblasť, 70% ľahkých piesčitých pôd, pozemky sú väčšinou rovinného charakteru s priemernou nadmorskou výškou 185m.n.m.

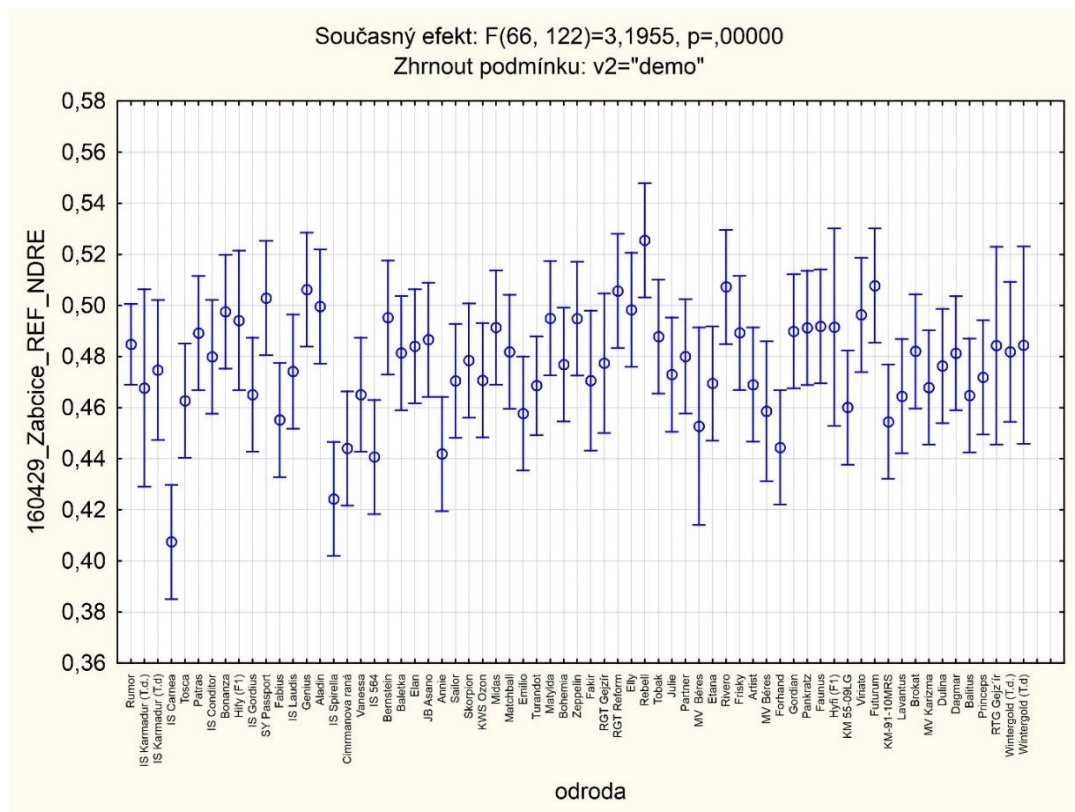
Ďalej boli dáta použité v práci zozbierané z pozemku o výmere 68,77 ha v lokalite Otnice (Újezd u Brna, 49°5'27"N, 16°50'32"E) v roku 2016. Pozemok je mierne svažité (215 – 277 m n.m.) s prevládajúcimi pôdnymi typmi hnedozem a černoze.

Bezpilotný prieskum sa robil pomocou dronu Sensefly eBee. Dron bol vybavený digitálnymi kamerami pre viditeľné (RGB) a blízko infra-červené spektrum v oblasti Red-edge.

V roku 2016 bolo realizované snímkovanie spoločnosťou DATA PROCON s.r.o. jedným preletom multispektrálnou kamerou MULTISPEC4C. Následne boli snímky vyhodnocované v programoch ArcGIS, Excel a Statistica.

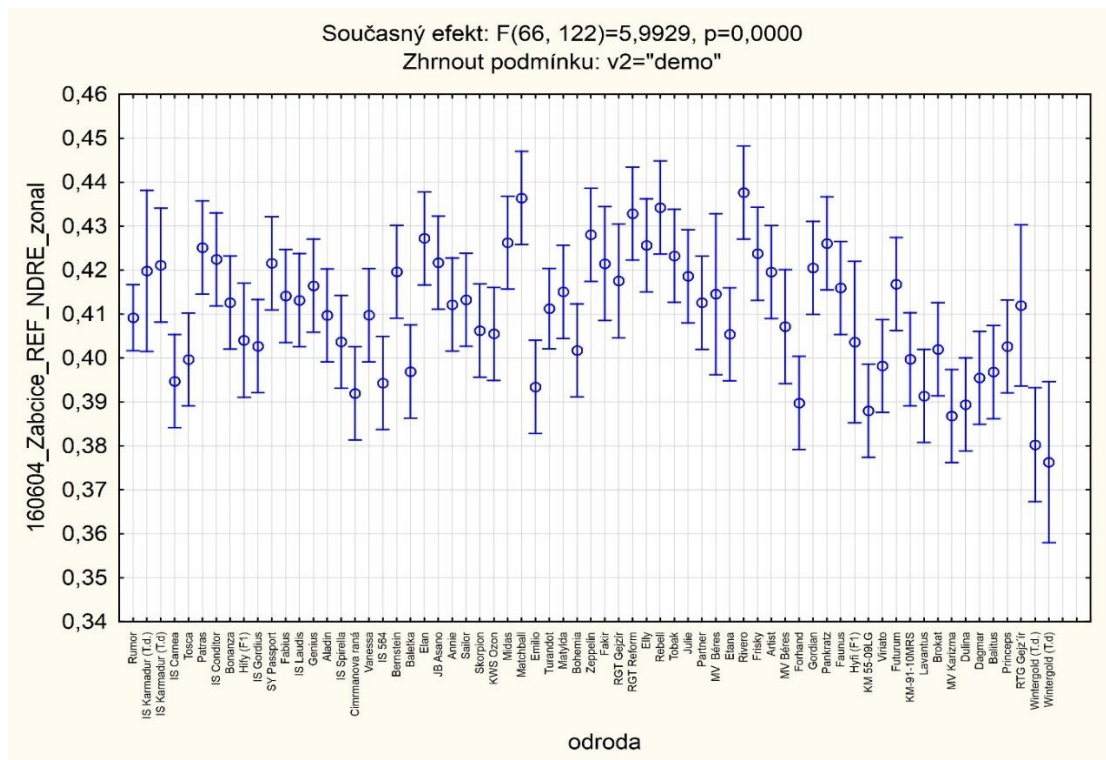
5 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Táto kapitola sa venuje vyhodnoteniu konkrétnych grafových obrázkov a mapových obrázkov.



Obrázok 5 ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016

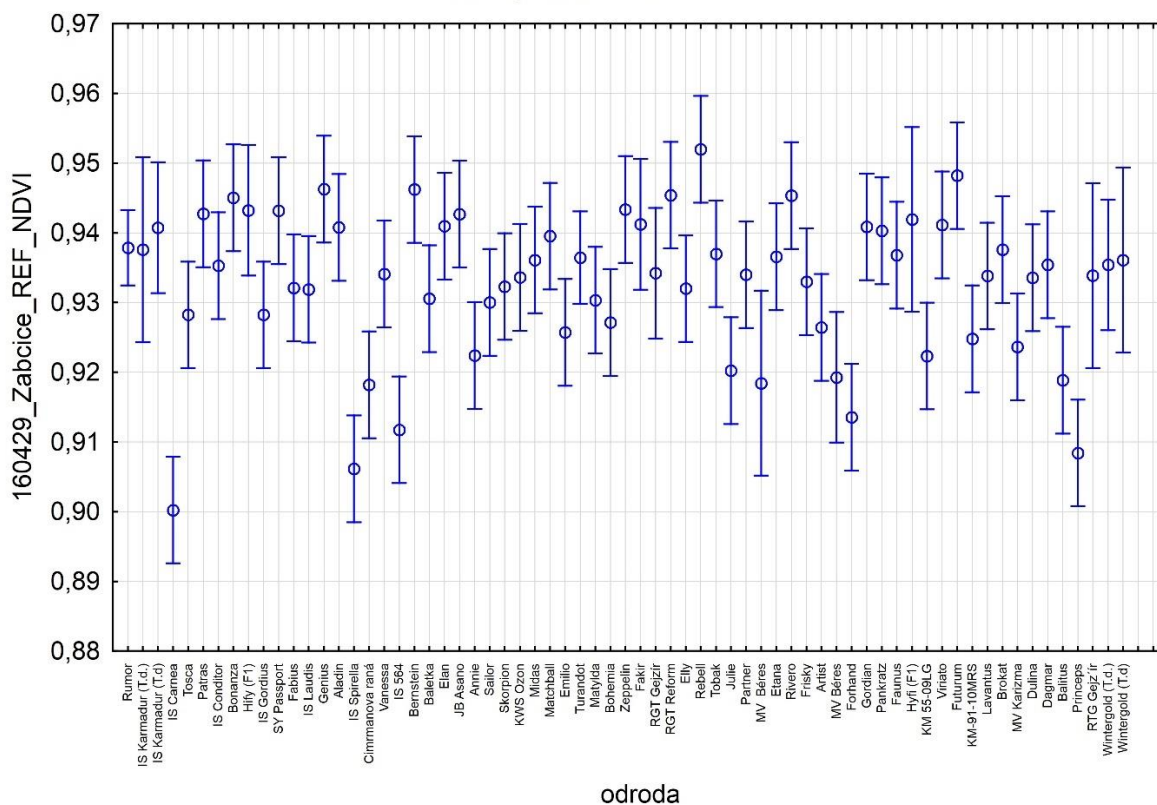
Ako môžeme vidieť z obrázkov 5 a 6, ktoré sme vytvorili v programe Statistica pomocou nástroja ANOVA, ktoré hodnotia index NDRE je značné, že v prvom termíne snímkovania vykazovali odrody vyšších hodnôt a boli vrámci skúšobných políčk viac vyrovnané so väčším rozsahom čo sa týka jednotlivých odrôd. Najnižšie hodnoty v prvom termíne vykazovala odroda IS Carnea, ktorá nedosahovala ani veľkého rozsahu, čo znamená, že najnižšie hodnoty vykazovala vo všetkých troch radách a teda mala najmenšiu hustotu porastu. Naopak najvyšších hodnôt v priemere i celkovo vykazovala odroda Rebell, ktorej rozsah sa javí ako jeden z najmenších a teda vykazovala vysokú hustotu vegetácie vo všetkých radách.



Obrázok 6 ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016

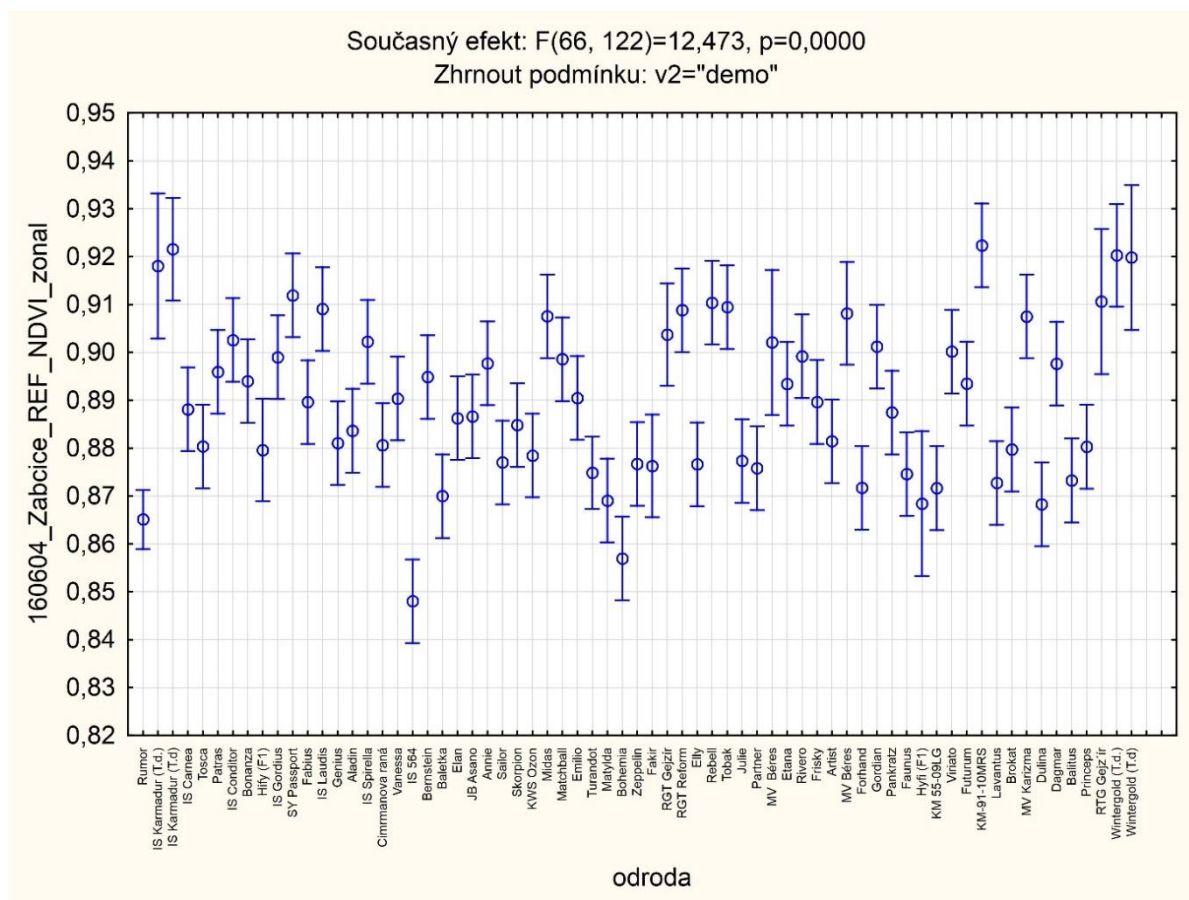
V druhom termíne snímkovania v spektre vegetačného indexu NDRE (obrázok 6) už hodnoty nevykazovali takú vyrovnanosť vrámci pozemku, no o to lepšie je vidieť rozdiely medzi najnižšou a najvyššou hodnotou. Na snímku z 4.6.2016 vykazuje najnižších hodnôt odroda Wintergold (T.d.) , ktorá má i najväčší rozptyl vrámci políčka teda javí značnú nevyrovnanosť. Naopak najlepšie/najvyššie hodnoty má odroda Rivero, ktorá je skoro identická s hodnotami odrody Matchball.

Současný efekt: $F(66, 122)=7,1688, p=0,0000$
 Zhrnout podmínku: $v2="demo"$



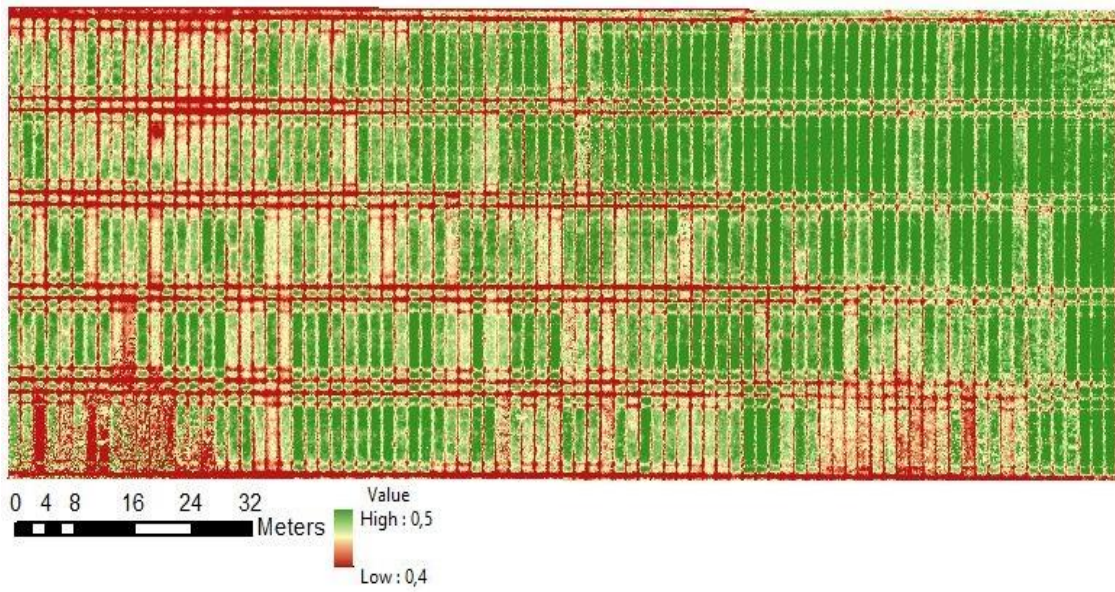
Obrázok 7 ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016

Obrázky 7 a 8 nám znázorňujú hodnoty vegetačného indexu NDVI. Takisto ako pri NDRE sa snímkovalo v dvoch termínoch, ktoré sú identické v NDVI i NDRE a to 29.4.2016 a 4.6.2016 na školskom podniku Žabčice. Pri NDVI nevykazujú hodnoty prílišnú vyrovnanosť ani v prvom termíne snímkovania ani v druhom, no v prvom snímokovaní dosahovala najnižších hodnôt odroda IS Carnea tak ako aj pri snímke v spektre NDRE v tomto termíne a taktiež najvyššie hodnoty odráža odroda Rebell.

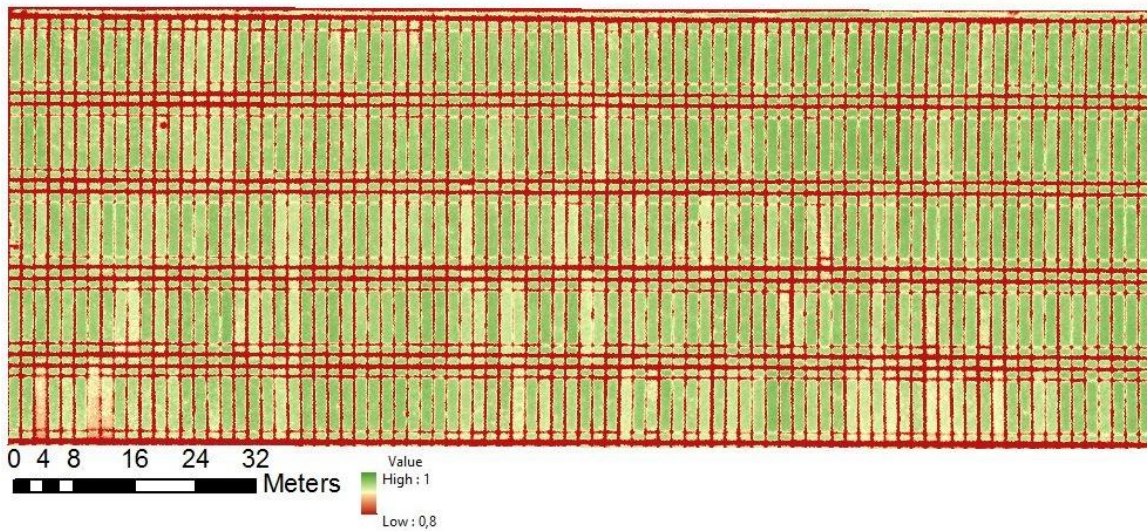


Obrázok 8 ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016

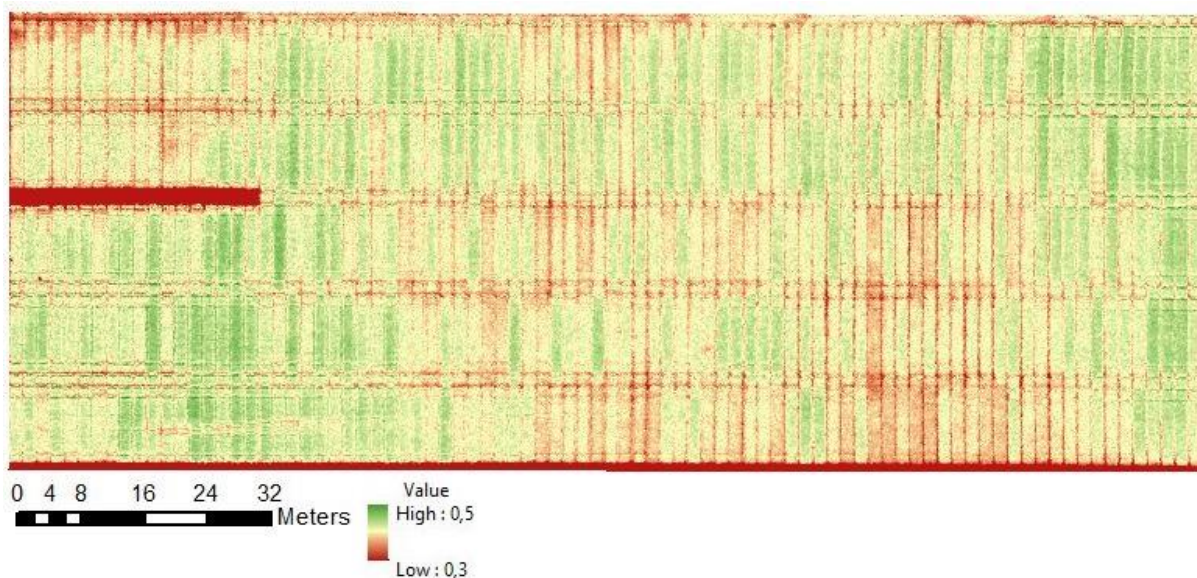
V druhom termíne snímkovania sú hodnoty veľmi nevyrovnané no najnižiu hodnotu jednoznačne nadobúda odroda IS 564 a najvyšších hodnôt dosahujú dve odrody , ktoré sú skoro identické svojou priemernou hodnotou NDVI za dané políčko a to sú IS Karmadur(T.d.) a odroda Wintergold (T.d.)



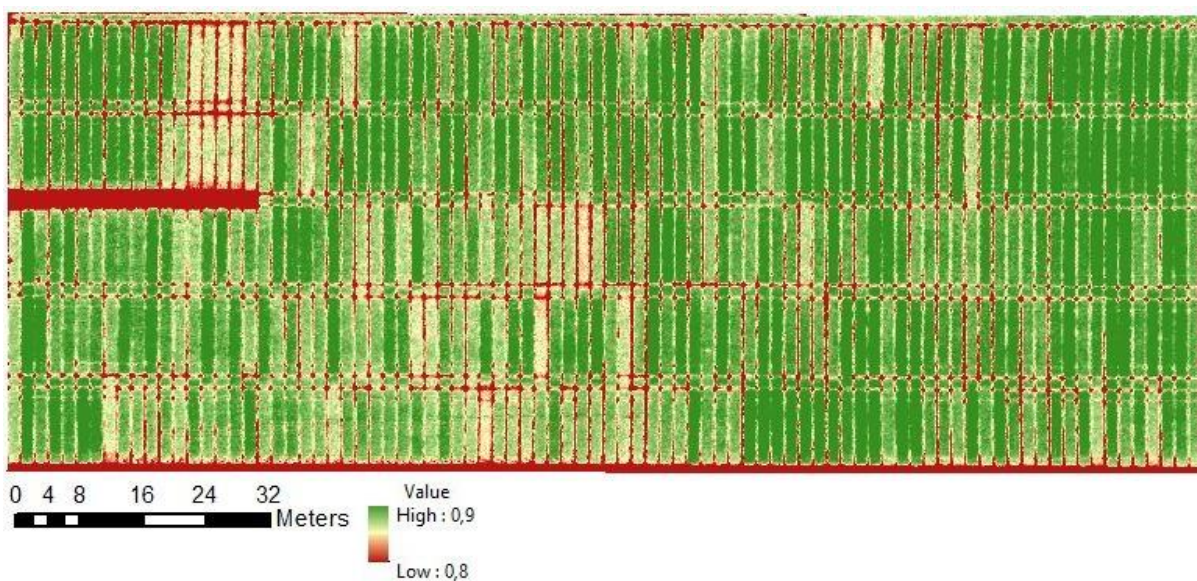
Obrázok 9 Snímok NDRE z školského pozemku Žabčice 29.04.2016



Obrázok 10 Snímok NDVI z školského pozemku Žabčice 29.04.2016

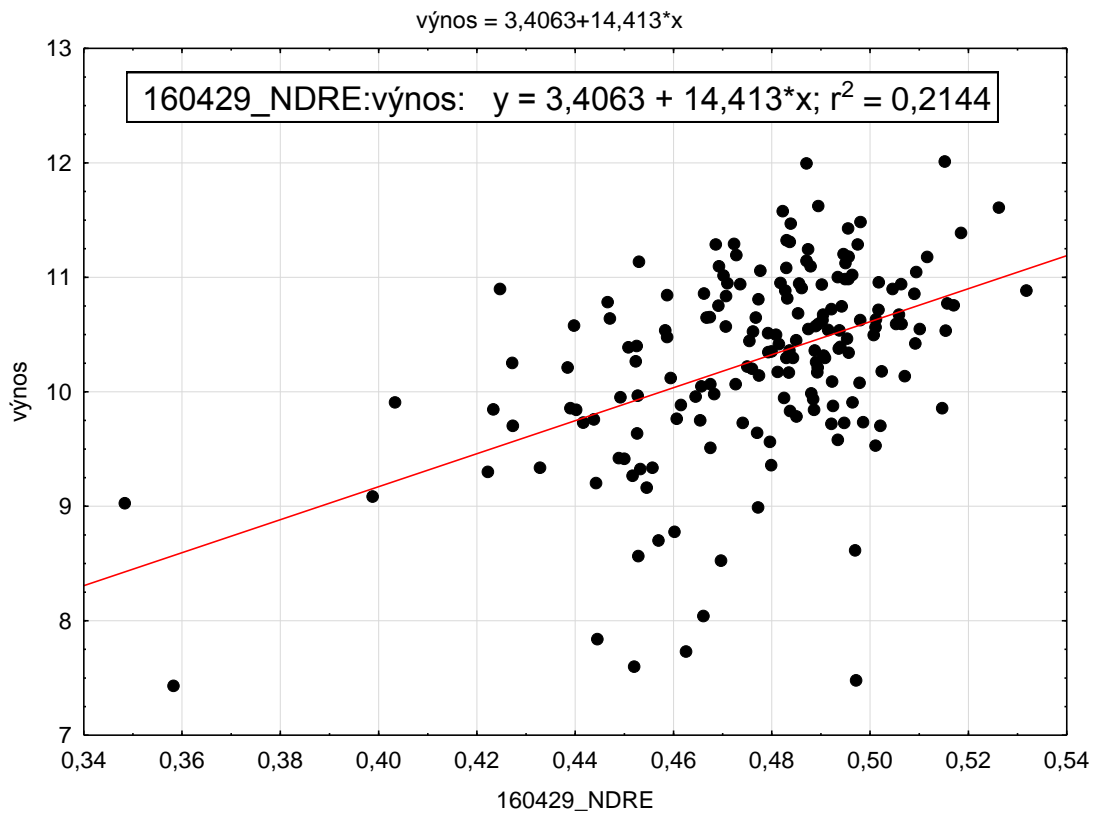


Obrázok 11 Snímok NDRE z školského pozemku Žabčice 04.06.2016

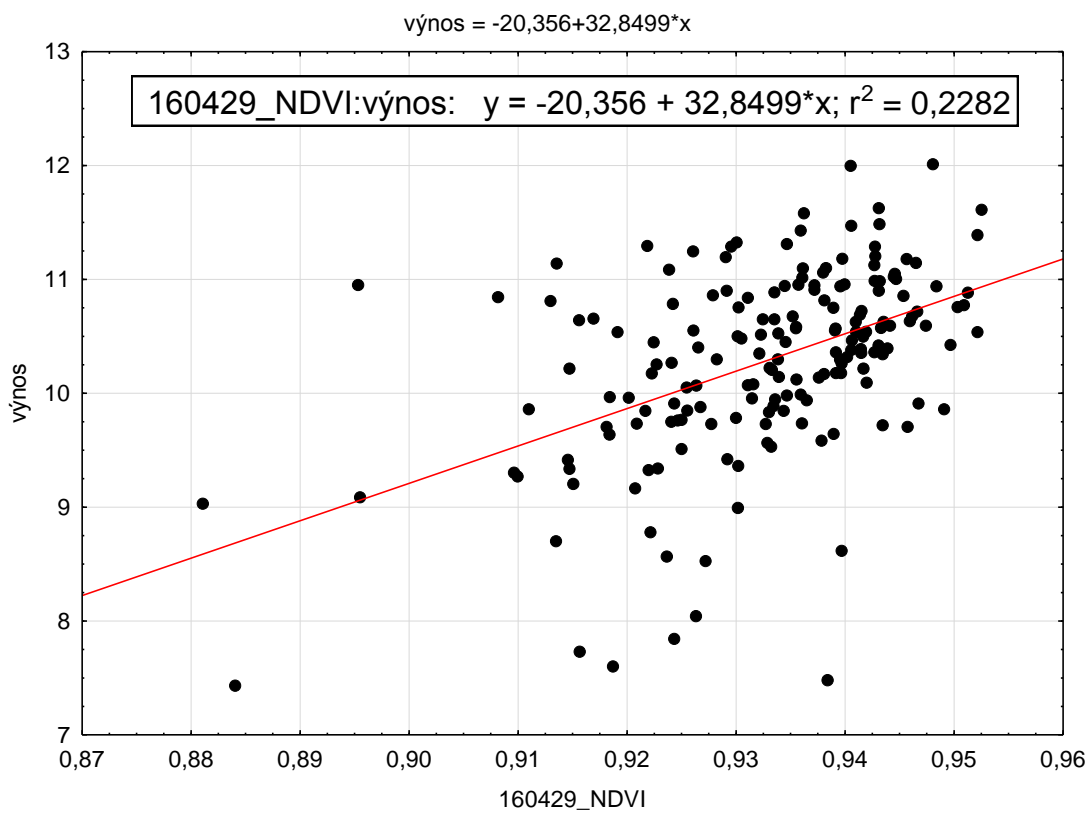


Obrázok 12 Snímok NDVI z školského pozemku Žabčice 04.06.2016

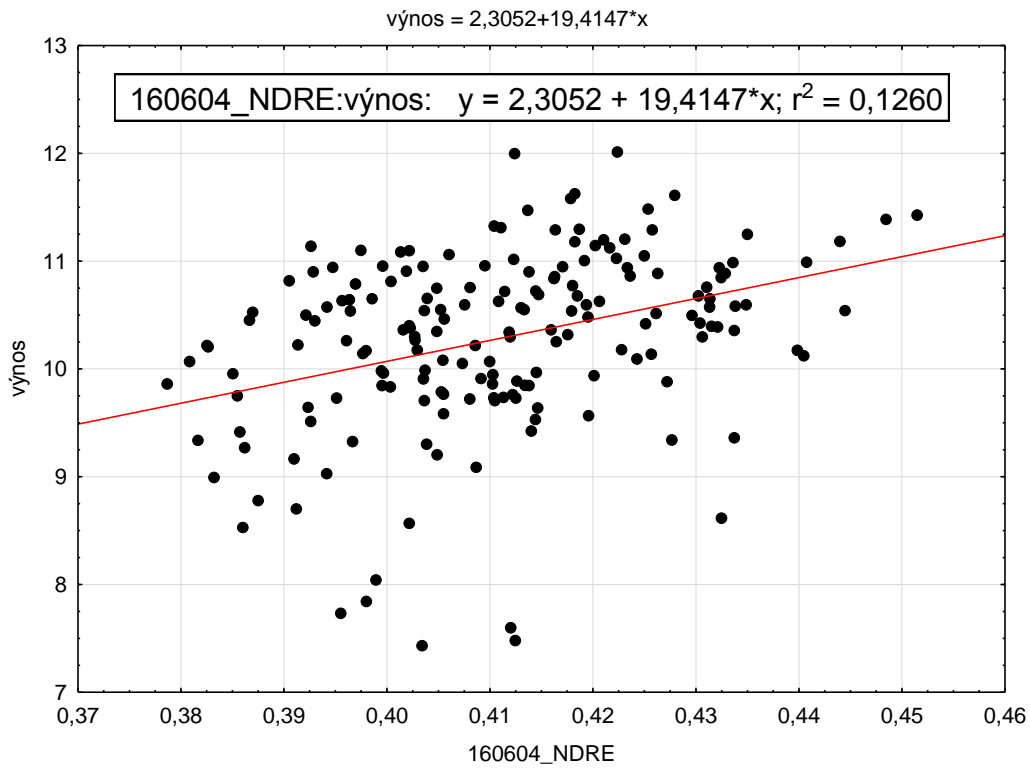
Ďalej je možné vidieť rozdieli vo vegetačných indexoch i z obrázkov 9-11 , kde je vyobrazený celý pokus odrôd pšenice na školskom podniku v Žabčiciach. Vyhodnocovaný pokus demo sa nachádza v spodných troch radoch , kde môžeme pozorovať červené miesta, ktoré znamenajú nižší vegetačný index.



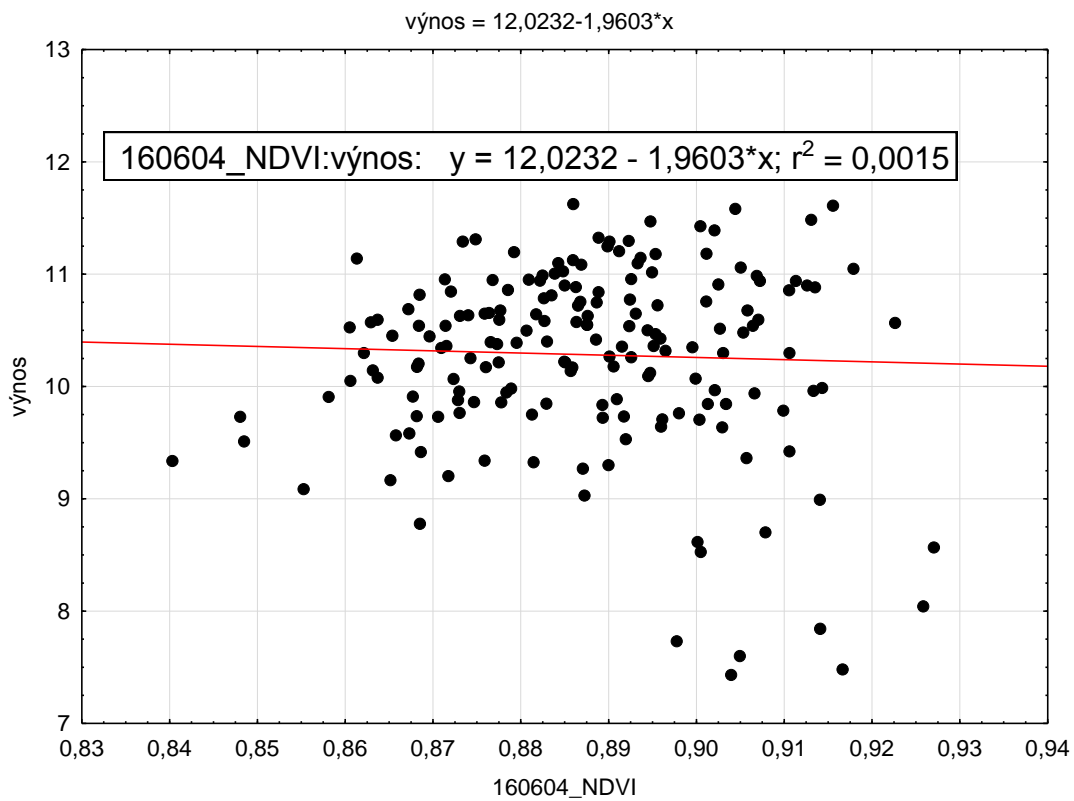
Obrázok 13 Scatter plot výnosu na NDRE , pozemok Žabčice 29.04.2016



Obrázok 14 Graf 4 Scatter plot výnosu na NDVI , pozemok Žabčice 29.04.2016

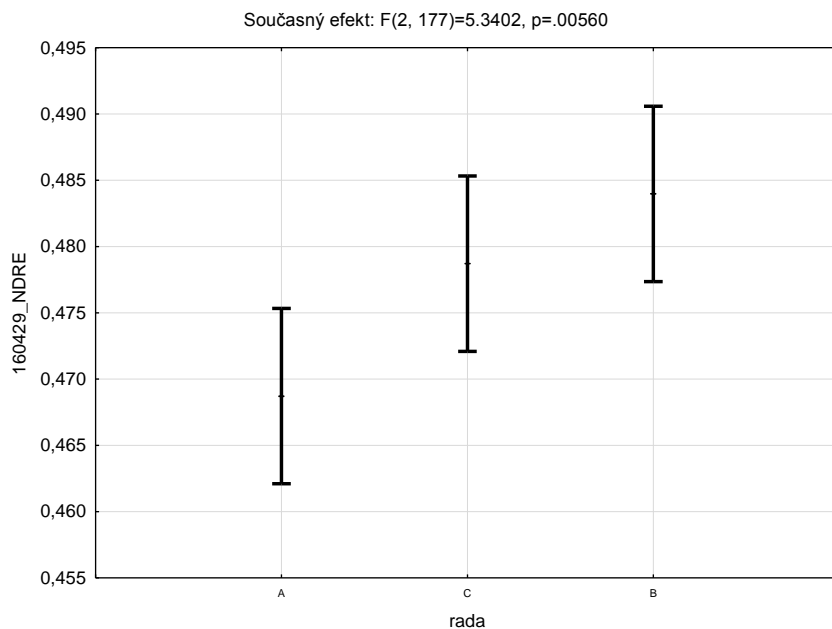


Obrázok 15 Scatter plot výnosu na NDRE , pozemok Žabčice 04.06.2016

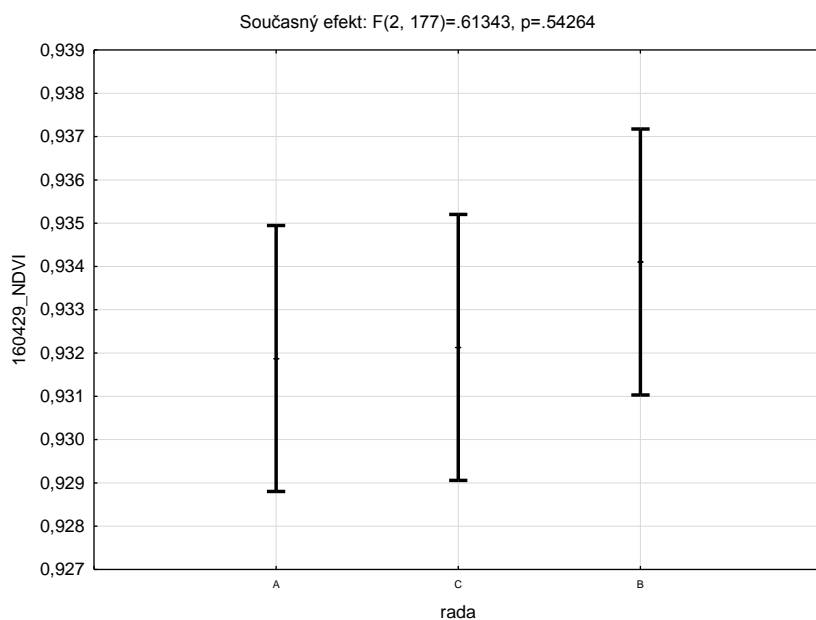


Obrázok 16 Scatter plot výnosu na NDVI , pozemok Žabčice 04.06.2016

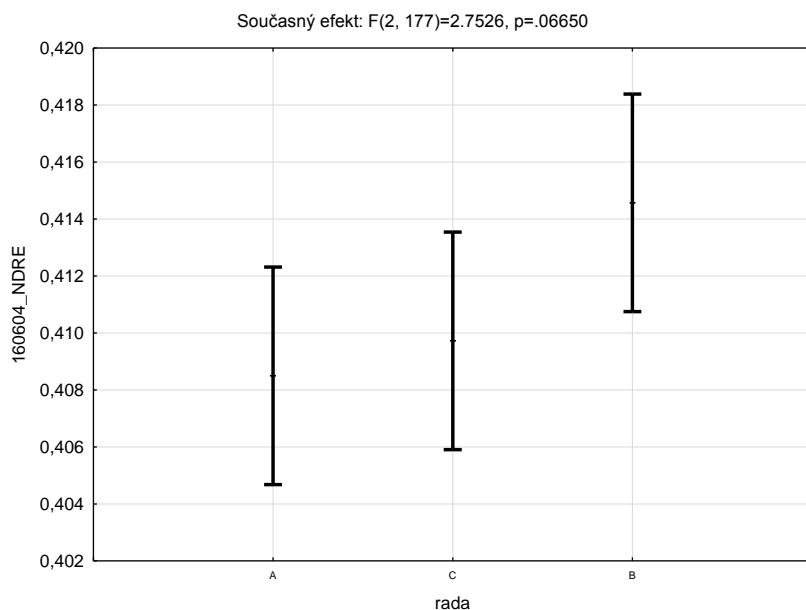
Na obrázkoch 13-16 môžeme sledovať korelácie závislosti NDVI a NDRE na výnos v sledovaných termínoch. Čo však vidno z grafov je, že korelácie nevykazujú tak preukázateľné závislosti aby sa dal spoľahlivo odhadovať výnos .



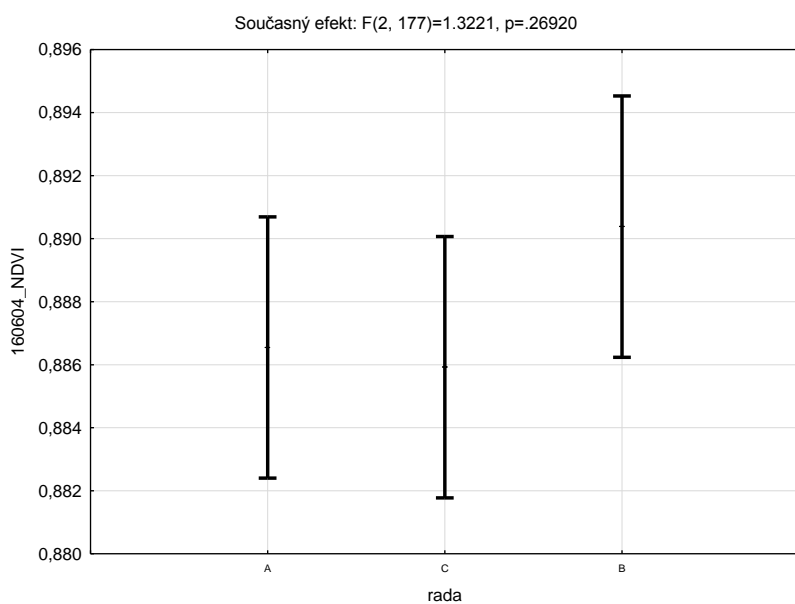
Obrázok 17 ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016 za jednotlivé rady



Obrázok 18 ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016 za jednotlivé rady



Obrázok 19 ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016 za jednotlivé rady



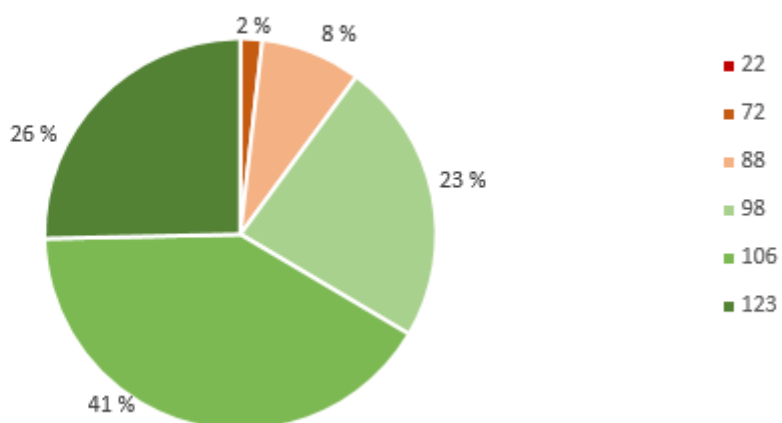
Obrázok 20 ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016 za jednotlivé rady

obrázky 17. 18, 19, 20 , nám pomocou štatistickej metódy ANOVA ukazujú vyrovnanosť odrôd pšenice na pokuse Demo v jednotlivých radách A B C. Pri NDVI hodnoty s časom síce klesajú ale javia sa pomerne vyrovnané. Zaujímavá je ANOVA rady C , ktorá ukazuje, že v prvom termíne snímkovania nebola pokusná plocha z hladiska NDRE úplne vyrovnaná.



Obrázok 21 Snímok NDVI z pozemku Rostenice v lokalite Otenice 17.03.2016 orez pozemku

percentuálne zobrazenie silných a slabých plôch



Obrázok 22 Percentuálne zobrazenie silných a slabých častí pozemku Rostenice

Ďalej sa v praktickej časti spracovávali i dáta z veľkoplošného pozemku v Rosteniciach. Vyhodnocované boli dáta vo vegetačnom indexe NDVI snímkané bezpilotne dňa 17.3.2016. Na obrázku 9 môžeme vidieť mapku lokality vykreslenú do šiestich farieb, kde červená farba znázorňuje miesta so slabším indexom NDVI teda s menej hustým porastom a miesta vyfarbené zelenou farbou znázorňujú hustejší porast. V grafe č. 9 je následne znázornené percentuálne vyjadrenie silných a slabých plôch vrámci daného pozemku, z ktorého je vidno, že sa na pozemku vyskytuje iba malé množstvo plôch s veľmi nízkym vegetačným indexom. Z danej mapy by mohol agronóm napríklad vyhodnotiť, na ktoré miesta je potreba dodať dusík pri hnojení. Jednoducho by sa podľa mapy určila hranica, ktorá je pod optimálnou hodnotou NDVI. Takáto výnosová mapa sa následne zadá do stroja, ktorý robí aplikáciu hnojiva a ten bude hnojiť iba miesta, ktoré sú pod hladinou optimálneho indexu NDVI pre dané obdobie. Takto prevedené variabilné hnojenie vrámci precízneho poľnohospodárstva môže znížiť prejazdy po poli a teda utoženie pôdy a znížiť náklady na hnojivá a pohonné hmoty potrebné pre vykonanie daného zásahu.

6 ZÁVER

Po spracovaní výsledkov bezpilotného snímkovania z poloprevádzkových poľných pokusov môžeme vyhodnotiť, že sú medzi sledovanými odrodami viditeľné veľké rozdiely rámci monitorovaných vegetačných indexov NDVI a NDRE, ktoré v dvoch snímkových termínoch vyhodnocovali hustotu porastu. Korelácia medzi danými vegetačnými indexami a výnosovými parametrami bola na nízkej úrovni a to znamená, že predikovanie výnosu by bolo v tomto prípade neefektívne. Naopak na sledovanom veľkoparcelovom pozemku vieme skvele demonštrovať využiteľnosť bezpilotného snímkovania v precíznom poľnohospodárstve vzhľadom na to, že vegetačný index NDVI rozdelil pozemok do zón s nižšou hustotou porastu a vyššou. Vzhľadom na to môže poverený zamestnanec firmy predikovať niektoré zásahy do vegetácie ako napríklad hnojenie dusíkom.

Môžeme teda zhodnotiť, že bezpilotný prieskum predstavuje efektívnu alternatívu k ďalším metódam využívaným v poľnohospodárstve na snímkovanie polí a to družicovému a leteckému snímkovaniu. Vzhľadom k tomu, že bezpilotné snímkovanie vykazuje vyššiu kvalitu obrazových dát môžeme predpokladať uplatnenie dronov v poľnohospodárstve napríklad vo forme služieb, ktoré by mohlo nahradiť prieskumy prevádzkované samotnými poľnohospodárskymi podnikmi.

7 ZOZNAM LITERATÚRY

AAI: *About NDRE* [online]. Spiral Commercial Services, 2015 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://aerialagimagery.com/NDRE.html>

AGROPODNIKÁNÍ. *Učební texty a vzdělávací materiály z předmětu Praxe* [online]. 2014 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.szesabor.cz/media/page/2015-2-21-1-agropodnikani.pdf>

BITTERER, Ladislav. *Základy fotogrametrie: Učebný text pre študentov bakalárskeho štúdia odboru geodézia a kartografia* [online]. Žilina, 2005 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://svf.uniza.sk/kgd/skripta/fotogrametria/kap14.pdf>. Žilinská univerzita v Žiline.

DOBROVOLNÝ, Petr. *Metody prostorové interpolace* [online]. Brno, 2005 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/Z8102/um/Geostatistika_6.pdf. Masarykova univerzita.

DUĎÁK, Jozef. *Roľnícke noviny: Precízne poľnohospodárstvo* [online]. 2013 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://rno.sk/precizne-polnohospodarstvo/>

ESRI: *Kriging* [online]. 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/kriging>

IoT Cluster: Využití metody NDVI snímování zemědělských kultur v přesném zemědělství [online]. 2016 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.iotcluster.cz/vyuziti-metody-ndvi-snimkovani-zemedelskych-kultur-v-presnem-zemedelstvi/>

KAŇUK, Jan. *Priestorové analýzy a modelovanie*. Košice: Univerzita Pavla Šafárika v Košiciach, Prírodovedecká fakulta, 2015. ISBN 978-80-8152-290-1.

KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4

LUKAS, Vojtěch a a kol. *Metodika pro praxi: Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 978-80-7375-562-1.

NEUDERT, Lubomír, Vojtěch LUKAS a a kol. *PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ: Technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 987-80-7509-311-0.

NOZDROVICKÝ, Ladislav. *Presné pôdohospodárstvo: Implementácia s podporou informačných technológií a techniky*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. ISBN 978-80-552-0123-8.

NOZDROVICKÝ, Ladislav. *Rozpracovanie systému presného hospodárenia na pôde v podmienkach Slovenskej republiky*. Nitra: Agentúra Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied, 2006. ISBN 80–89162–22-3.

ROUSE, Margaret. *TechTarget: Precision agriculture* [online]. 2016 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://whatis.techtarget.com/definition/precision-agriculture-precision-farming>

ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ: *Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel* [online]. 2011 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/informace-souvisejici-s-provozem-bezpilotnich-letadel-a-1>

ŽELEZNÝ, Miloš. *DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ: KKY/DPZ* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2016 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/dpz/DPZ-prednasky-160921.pdf>

8 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1	Ukážka leteckého snímkovania	12
Obrázok 2	Aerial Target 1916	15
Obrázok 3	Prehľad požiadavkov na bezpilotné systémy	17
Obrázok 4	Ukážka princípu fungovania N senzoru	26
Obrázok 5	ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016	30
Obrázok 6	ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016	31
Obrázok 7	ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016	32
Obrázok 8	ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016	33
Obrázok 9	Snímok NDRE z školského pozemku Žabčice 29.04.2016	34
Obrázok 10	Snímok NDVI z školského pozemku Žabčice 29.04.2016.....	34
Obrázok 11	Snímok NDRE z školského pozemku Žabčice 04.06.2016.....	35
Obrázok 12	Snímok NDVI z školského pozemku Žabčice 04.06.2016.....	35
Obrázok 13	Scatter plot výnosu na NDRE , pozemok Žabčice 29.04.2016	36
Obrázok 14	Graf 4 Scatter plot výnosu na NDVI , pozemok Žabčice 29.04.2016	36
Obrázok 15	Scatter plot výnosu na NDRE , pozemok Žabčice 04.06.2016	37
Obrázok 16	Scatter plot výnosu na NDVI , pozemok Žabčice 04.06.2016	37

Obrázok 17	ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016 za jednotlivé rady	38
Obrázok 18	ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 29.04.2016 za jednotlivé rady	38
Obrázok 19	ANOVA priemerných hodnôt NDRE odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016 za jednotlivé rady	39
Obrázok 20	ANOVA priemerných hodnôt NDVI odrôd pšenice na pokuse Demo, Žabčice 04.06.2016 za jednotlivé rady	39
Obrázok 21	Snímok NDVI z pozemku Rostenice v lokalite Otenice 17.03.2016 orez pozemku	40
Obrázok 22	Percentuálne zobrazenie silných a slabých častí pozemku Rostenice	40