JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 – Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika: obchod, servis a služby

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Precizní zemědělství

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Filip

Autor bakalářské práce: Jiří Němec

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Jiří NĚMEC**
Osobní číslo:	**Z17260**
Studijní program:	**B4131 Zemědělství**
Studijní obor:	**ZDTb-16 – specializace Zemědělská technika**
Téma práce:	**Stroje pro precizní zemědělství – příprava výukových materiálů**
Zadávající katedra:	**Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování

Cíl práce:

Cílem bakalářské práce je návrh textu, který by mohl být využit jako podpůrný studijní materiál pro studenty Katedry zemědělské, dopravní a manipulační techniky ZF JU. Práce se bude zabývat problematikou strojů používaných v precizním zemědělství.

Struktura hlavní části práce bude následující:

1. Stručný úvod do problematiky, základní přehled, názvosloví, souvislosti s dalšími obory, historický kontext.
2. Technické principy GPS.
3. Přehled a charakteristika techniky dostupné na stávajícím trhu.
4. Závěrečné shrnutí a poznámky.
5. Obsáhlá obrazová příloha. Vítanou součástí práce může být soubor video-dokumentace, který bude přiložen na datovém nosiči. Součástí práce může být soubor fotografií či video dokumentace, který bude přiložen na datovém nosiči. Umožní-li to charakter získaných dat, pokusí se student výsledky opublikovat.

Rozsah pracovní zprávy:	**30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací:	**obrázky, fotografie, grafy dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce:	**tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

KUMHÁLA, František a kol. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7.

STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ. GPS od A do Z. 4., aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 8023975161.

LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 9788073755621.

KOVÁŘ, Pavel. Družicová navigace: od teorie k aplikací v softwarovém přijímači. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 9788001059890.

RATAJ, Vladimír, Jana GALAMBOŠOVÁ, Miroslav MACÁK a Ladislav NOZDROVICKÝ. Presné poľnohospodárstvo: systém – stroje – skúsenosti : vysokoškolská učebnica. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 9788086726649.

KOVÁŘ, Pavel. Družicová navigace: od teorie k aplikací v softwarovém přijímači. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 9788001059890.

materiály přístupné přes databáze (např. Web of Knowledge, ScienceDirect atp.)

propagační materiály prodejců zemědělské techniky

internet

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Filip**
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **11. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 25. března 2019

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 1668, 370 05 České Budějovice

L.S.

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Martinovi Filipovi za cenné rady a připomínky, které mi při tvorbě této bakalářské práce velmi pomohly.

Rád bych poděkoval taktéž společnostem Leading Farmers a.s., Daňhel agro a.s., Kooprodukt a.s., a Agrodružstvu Žimutice, které mi pomohly poskytnutím podkladových materiálů, či svých postřehů k danému tématu.

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to

- v nezkrácené podobě
- v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum Podpis studenta

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá technologiemi precizního zemědělství. Konkrétně technologiemi zjišťování variability pozemků s využitím odběru vzorků, za pomoci elektromagnetických, mechanických, akustických, elektrochemických senzorů a metod dálkového průzkumu. Dále se zabývá technologiemi zjišťování variability porostů zemědělských plodin za pomoci senzorů mechanických, optických a metodami dálkového průzkumu, či využitím výnosových map. Práce se taktéž zabývá navigačními systémy používanými v zemědělství a jejich fungováním.

Klíčová slova:

Precizní zemědělství, variabilita pozemku, variabilita porostu, senzory, dálkový průzkum, navigace.

Abstract

The bachelor thesis deals with technologies of precision agriculture. Specifically, technologies for determining the variability of land using sampling, using electromagnetic, mechanical, acoustic, electrochemical sensors and remote sensing methods. It also deals with technologies for determining the variability of crops with the help of mechanical, optical sensors and remote sensing methods, or the use of yield maps. The work also deals with navigation systems used in agriculture and their operation.

Keywords:

Precision agriculture, land variability, vegetation variability, sensors, remote sensing, navigation.

Obsah

Úvod 10

1 Precizní zemědělství 11

1.1 Variabilita pozemku 12

1.1.1 Rozdělení pozemkové variability 12

2 Zjišťování pozemkové variability za pomoci odběru vzorků 14

2.1 Tvorba map na základě výsledků odběrů 15

2.1.1 Inverse distance weighting (IDW) 15

2.1.2 Kriging 16

3 Zjišťování pozemkové variability s využitím senzorů 17

3.1 Elektromagnetické a elektrické senzory 17

3.1.1 Invazivní metody měření 17

3.1.2 Neinvazivní metody měření 18

3.2 Mechanické senzory 20

3.3 Akustické senzory 22

3.4 Elektrochemické senzory 22

3.5 Senzory využívající gamma záření 22

4 Zjišťování variability pozemku dálkovým průzkumem 24

4.1 Pasivní senzory pro DPZ 24

4.2 Aktivní senzory pro DPZ 25

4.3 Faktory ovlivňující DPZ 26

4.4 Nosiče senzorů DPZ 26

5 Diagnostika stavu porostů 31

5.1 Vegetační indexy 31

5.1.1 LAI a FVC index 31

5.1.2 NDVI a GNDVI index 32

5.1.3 SAVI index 32
5.2 Mechanické senzory pro diagnózu stavu porostů 32
5.2.1 Crop Meter 32
5.2.2 Yara Water Solution 33
5.3 Optické senzory 34
5.3.1 Optické senzory při variabilních aplikacích 35
5.3.2 Yara N-Sensor 36
5.3.3 Isaria Crop Sensor a Cropxplorer 37
5.3.4 Trimble WeedSeeker 37
5.4 Využití dálkového průzkumu Země pro diagnostiku porostu 38
5.5 Využití výnosových map v precizním zemědělství 39
5.5.1 Měření výnosu u sklízecích mlátiček 39
6 Role navigačních systémů v precizním zemědělství 43
6.1 Satelitní navigační systémy 43
6.1.1 Navstar GPS 43
6.1.2 GLONASS 44
6.1.3 Galileo 44
6.1.4 BeiDou 45
6.2 Zpoždění signálu 45
6.2.1 Korekce zpoždění signálu 46
6.3 Navigační systémy v zemědělství 47
6.3.1 Základní součásti systému 47
6.3.2 Navigace eFarmer 47
6.3.3 Navigace Trimble 48
6.3.4 Navigační řešení John Deere 50
Závěr 54

Obrazová příloha 55

Seznam použité literatury 61

Seznam obrázků 70

Úvod

Zemědělství se stejně jako jiná výrobní odvětví neustále potýká s cenovým tlakem trhu. Zákazníci chtějí kvalitní produkty za co možná nejnižší cenu bez ohledu na náklady, se kterými se potýká zemědělec. Požadovaného snížení ceny lze dosáhnout například zvyšováním výkonu či zvětšováním záběrů. V tomto směru již ale narážíme na limity, jelikož velký stroj na jeden přejezd zpracuje široký pruh pozemku, ale při obdělávání menších pozemků ztratí mnoho času při otáčení a přejezdech. Lepší možností, jak vylepšit produktivitu podniku je tedy provádění jednotlivých operací efektivněji a pohlížet na celé zemědělství komplexněji. Značný vývoj v oblasti zjišťování variabilit v celém zemědělském odvětví nám umožňuje hospodárněji využívat půdu, či nám šetří náklady na chemické ošetřování a hnojení, bez kterého se prozatím nelze obejít. Zjišťování variabilit, které bylo dříve zdlouhavé a nepraktické je dnes možné provádět při přejezdu pozemku a získané informace ihned použít například při hnojení. Značně nám pomáhá také enormní množství družic na oběžné dráze, které lze taktéž využít pro monitorování stavu pozemku, či porostu.

Důležitým pomocníkem pro efektivitu zemědělství je využíváni navigačních systémů, které umožňují řízení pohybu stroje po pozemku s přesností až +- 2,5 cm, což nedovede sebezkušenější obsluha.

Pod pojmem precizní zemědělství se skrývá mnoho technologií, které vylepšují efektivitu a výkonnost zemědělství. Tato práce se zabývá především řešením variability pozemku a porostu, které napomáhá efektivnímu využití půdy.

1 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství je systém hospodaření, při kterém se využívá moderních technologií pro zajištění efektivní péče o plodinu a pozemek při zohlednění variability pozemků a porostů. Základem precizního zemědělství je jiný pohled na pozemek oproti tradičnímu systému hospodaření. Při tradičním systému hospodaření je pozemek považován za nejmenší jednotkou zemědělského systému a jako celek je chápán jako homogenní. V systému precizního zemědělství na pozemku rozeznáváme další malé celky, které mohou mít každý jiné vlastnosti jako je obsah živin, utužení a podobně. Precizní zemědělství se však nezabývá pouze pozemkem jako takovým, ale také řeší stav porostu na pozemku, jelikož ten může být také značně variabilní. Cílem využívání precizního zemědělství je tedy vyrovnaný a zdravý porost na celém pozemku, kterého je dosaženo pomocí cílených zásahů prováděných na správném místě ve správný čas a se správnou intenzitou. (Lukas, 2015), (Křepelka, 2010)

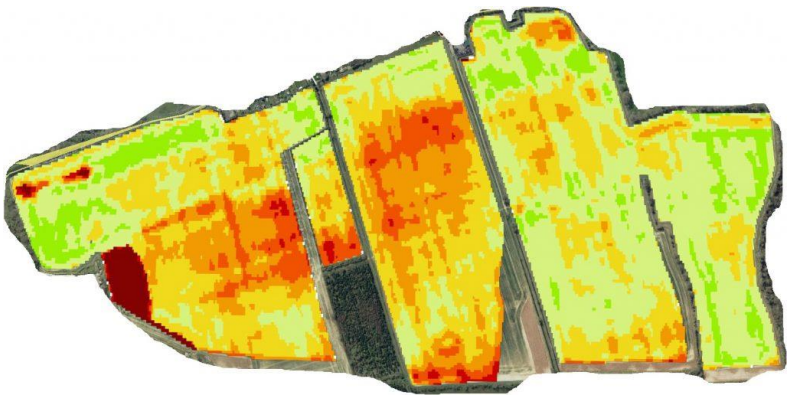
Obrázek 1 Využití v praxi- N-Senzor (agropodnikhk.cz)

Je tedy jasné, že základním předpokladem pro využívání metod precizního zemědělství je právě nevyrovnanost pozemků. Většina metod precizního zemědělství využívá přístroje nebo služby, jež vyžadují nemalé finanční náklady, a tak pokud pozemek nevykazuje žádnou heterogenitu, je lepší využít metody tradiční a provádět uniformní způsob obdělávání. Abychom tedy mohli využívat metod precizního zemědělství, potřebujeme mít k dispozici značné množství informací o daném pozemku. Právě proto došlo k rychlému rozvoji precizního zemědělství až v 80. a 90.

letech 20. století, kdy se rozšiřovaly možnosti využití výpočetní techniky potřebné ke sběru a analýze důležitých informací. Sběr dat o pozemku je pro precizní zemědělství klíčový. Tato data samotná by však k ničemu nebyla, kdyby neměla přiřazenou přesnou polohu. Proto je precizní zemědělství také úzce spojeno s rozvojem globálních satelitních navigačních systému, které pomáhají určit přesnou prostorovou identifikaci dané oblasti. (Křepelka, 2010)

1.1 Variabilita pozemku

Variabilita pozemku je hlavním předpokladem pro využití metod precizního zemědělství. Pokud pozemek variabilitu nevykazuje, nemá použití těchto metod z ekonomického hlediska smysl a je tedy výhodnější pozemek obhospodařovat klasickým uniformním systémem. Pokud však pozemek či porost naopak vykazuje variabilitu, lze uplatnit metody systému precizního zemědělství. Pokud máme například problémy s nevyrovnaným porostem, můžeme uplatnit zásah v podobě diferencovaného hnojení. Pokud nevěnujeme těmto problémům pozornost a neřešíme je, začnou se projevovat na stavu porostu což lze někdy poznat pouhým pohledem. Největším problémem však je následné snížení výnosu což samozřejmě vede k nemalým finančním ztrátám, kterým bylo možné do jisté míry zabránit. Na obrázku 2 je zobrazena mapa výnosového potenciálu, již můžeme využít k aplikaci zlepšujících opatření. (Křepelka, 2010)



Obrázek 2 Mapa výnosového potenciálu (mechanizaceweb.cz)

1.1.1 Rozdělení pozemkové variability

Variabilitu pozemku lze rozdělit na dva druhy, variabilita časová a prostorová. U prostorové variability, rozeznáváme rozdíly v prostoru, a to jak na ploše pozemku, tak i pod jeho povrchem. Pro představu prostorové variability lze uvést například:

utužení půdy, výskyt plevele, či rozdílný výnos. U variability časové tedy rozeznáváme změny v čase. Jako příklad časové variability lze uvést například: rozvoj napadení škůdci v čase či množství vody obsažené v půdě. V praxi se většinou setkáváme s oběma druhy variability najednou, avšak v různých poměrech. Nejlepším případem pro využití precizního zemědělství je vysoká prostorová variabilita spolu s nízkou časovou variabilitou. Bohužel možnosti zjišťování časové variability nejsou prozatím na takové úrovni, aby bylo možno je využívat v potřebném měřítku. Naopak metody zjišťování prostorové složky již dosáhly takového vývoje, že je možné jich efektivně využívat v praxi. (Křepelka, 2010), (Lukas, 2011)

2 Zjišťování pozemkové variability za pomoci odběru vzorků

Přímou metodou získávání dat pro mapování jsou rozbory půdních vzorků odebraných na sledovaném pozemku. Po provedení rozborů je možné vytvořit mapu pozemku, na které jsou zaznamenány sledované veličiny jako je obsah vody, obsah živin, pH a podobně. Přesnost hodnot zobrazených na výsledné mapě v tomto případě závisí na hustotě sítě, podle které byly vzorky odebírány. Čím vetší počet vzorků máme k dispozici, tím přesnější budou výsledky, zároveň ale rostou náklady a časová náročnost takového mapování. Nejčastěji se pracuje s hustotou jeden vzorek na 1-5 ha. Hustota odběrových bodů však není jediné hledisko ovlivňující přesnost získaných dat. Velmi záleží také rozmístění těchto bodů po ploše pozemku. Volba vhodného rozmístění velmi ovlivní nákladnost a efektivnost celého procesu, jelikož při vhodném rozmístění můžeme získat dostatečně kvalitní data z menšího počtu vzorků. Způsob rozmístění vzorků po pozemku nazýváme schématem vzorkování. Nejčastěji se pak setkáme se třemi základními: vzorkování náhodné, zónové vzorkování, a pak vzorkování v pravidelné síti. Použité schéma se odvíjí od naší předběžné znalosti daného zkoumaného pozemku. (Lukas 2011), (Lukas 2015)

Náhodné vzorkování spočívá v odběru vzorků na pozemku bez předběžného přesného určení jejich polohy. Tato metoda je nejvhodnější pro pozemky, které se nevyznačují velkou variabilitou. Na základě získaných dat zjistíme celkový průměr a s tím dále pracujeme při určování agrotechnických zásahů. (Lukas 2015)

Zónové či také cílené vzorkování využíváme u pozemků, kde již máme představu o jejich variabilitě například na základě dálkového průzkumu leteckého či družicového. Na základě pořízených snímků či jiných údajů ze senzorů spolu s topografickými znalostmi pozemku jsou určeny zóny, ve kterých je následně prováděno měření. Určování zón pro měření může také vycházet z průzkumu půdní vodivosti za pomoci senzorů, nebo také podle topografické znalosti pozemku. Tvar, velikost a množství zón je podle stupně variability pozemku. Při vlastním vzorkování je pak zjišťována průměrná hodnota uvnitř těchto jednotlivých zón. Tento způsob vzorkování je nejvhodnější u vysoce variabilních pozemků. (Lukas 2011), (Lukas 2015)

Poslední z uvedených způsobů, tedy vzorkování v pravidelné síti je vhodné použít u pozemků, kde nemáme žádnou předběžnou znalost týkající se jejich variability. Body odběru vzorků se určují podle pomyslné sítě, která dělí pozemek na stejně velké čtverce. Tato metoda je ze všech nejvíce nákladná, avšak pro použití na neznámých pozemcích nejlepší. (Lukas, 2015)

2.1 Tvorba map na základě výsledků odběrů

Rozborem půdních vzorků odebraných z pozemku získáme přesná data o vlastnostech půdy na daném místě. Tato data však platí pouze pro bod, kde byl daný vzorek odebrán. Abychom mohli data využít v praxi, potřebujeme s pomocí zjištěných hodnot vytvořit celoplošnou mapu pozemku. Tato mapa se pak může stát základem pro provedení agrotechnického zásahu cíleného na zlepšení stavu pozemku. (Lukas, 2015)

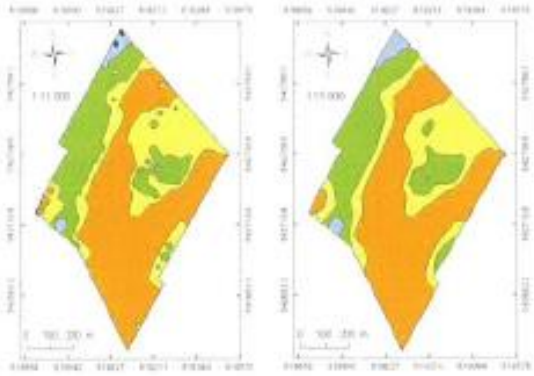
Abychom získali celoplošnou mapu, musíme hodnoty měřené veličiny v okolí měřených bodů odhadnout. K tomuto účelu nám slouží metody „Prostorových interpolací“. Výsledek je ovlivněn zvolením přesné nebo vyrovnávací interpolační metody. Při požití přesných metod zůstává hodnota v bodě měření tak, jak byla laboratorně zjištěna, její váha tedy činí 1,0. Oproti tomu u metod vyrovnávacích se váha v bodě měření pohybuje pod váhou 1,0. Mapy vytvořené vyrovnávacími metodami se tedy vyznačují nižší přesností kvůli vyhlazování ostrých rozdílů. V praxi nejvíce používáme dvě metody a sice: IDW a Kriging bez vyrovnávacího efektu. Interpolační metodu volíme dle požadavku na zvýraznění či upozadění lokálních problémů, nebo dle druhu a rozmístění vstupních dat. Na obrázku 3 vidíme rozdíly mezi dvěma metodami tvorby map. (Lukas, 2015)

2.1.1 Inverse distance weighting (IDW)

IDW je metoda přesné prostorové interpolace. V mapách vytvořených touto metodou je typický výskyt tzv. *„Bulls eye“* neboli očí. To jsou ostře ohraničené tvary v okolí datových bodů. Při tvorbě map touto metodou je váha hodnot určována podle vzdálenosti daného bosu od bodů okolních. Ve výpočtu je upravován pouze parametr *power*, který udává, jak rychle hodnota váhy klesá k nule s rostoucí vzdáleností od bodu. Běžně parametr *power* nastavujeme na hodnotu mezi 1 a 3. (Lukas 2015)

2.1.2 Kriging

Pro svou flexibilitu jde nejspíše o nejvíce užívanou interpolační metodu. Interpolace probíhá výpočtem váženého průměru z hodnot okolních bodů. Existují různé metody krigingu, nejjednodušší je rozdělení na kriging bodový a blokový. Bodový kriging vychází podle názvu z hodnot zjištěných v bodě. Blokový kriging vychází z průměrných hodnot na určitých plochách, příkladem může být směsný půdní vzorek z plochy 20x20 m. Při použití metody krigingu lze použít jak jeho formu, která zajistí vyhlazení extrémních hodnot tak též formu, která poskytuje velmi přesné výsledky. (Lukas, 2015)



Obrázek 3 Mapa stejného pozemku vytvořená metodami IDW a Kriging. (Lukas, 2015)

3 Zjišťování pozemkové variability s využitím senzorů

Rozbor půdních vzorků nám přináší velmi přesné výsledky, bohužel proti jeho širokému využití v precizním zemědělství stojí jeho nákladnost spolu s časovou náročností. Potřebné informace lze čerpat také z pedologických či jiných map. Pro potřeby precizního zemědělství však tyto mapy nejsou dostatečně aktuální ani přesné. Jako řešení se tedy nabízí senzorická měření námi sledovaných vlastností půdy. Měření senzory probíhá ve velmi husté síti. Díky tomu odpadá problém s odhadem hodnot mimo měřená místa, který komplikuje měření za pomoci odběru půdních vzorků. Senzory jsou často navrženy tak, že měření probíhá kontinuálně při pojezdu po pozemku. Tím pádem jde o velmi efektivní proces získávání informací při relativně nízkých nákladech. (Egmond, 2010), (Gebbers, 2014), (Lukas, 2015)

Při zjišťování variability používáme různé senzory a sice: elektromagnetické a elektrické, mechanické, akustické a pneumatické, elektrochemické či senzory využívající k měření gamma záření. V následujících kapitolách bude popsáno, které veličiny se danými senzory měří a jak tyto senzory fungují.

3.1 Elektromagnetické a elektrické senzory

Tyto senzory pracují na měření elektrických veličin při průchodu elektrického proudu anebo elektromagnetického pole půdou. Měřit lze vodivost půdy, elektrickou kapacitu, nebo odpor. Tyto veličiny vypovídají o půdních vlastnostech v daném měřeném místě, jelikož jsou těmito vlastnostmi přímo ovlivňovány. Bohužel celá řada parametrů může měření vodivosti ovlivnit. Jsou to například: vlhkost, zasolenost, půdní druh a jiné. Základní rozdělení senzorů elektrické vodivosti je dle způsobu jejich použití na invazivní a neinvazivní. Výslednou elektrickou vodivost udáváme v jednotkách [$mS.m^{-1}$] (mikrosiemens na metr). Hodnoty 5-15 $mS.m^{-1}$ jsou běžné u písčitých půd. Výsledek mezi 30 a 60 $mS\text{-}m^{-1}$ pak odpovídá půdě jílovité. Hlinité půdy se pohybují mezi 15 a 30 $mS\text{-}m^{-1}$. (Lukas, 2011), (Lukas, 2015)

3.1.1 Invazivní metody měření

Senzory, které měří invazivní metodou, vstupují do půdy a narušují její povrch. Měřící zařízení tedy využívá přímého kontaktu elektrod s půdou. Stroj je sestaven z několika párů kotoučových elektrod. Tyto elektrody pronikají do půdy, při čemž jedna z páru vysílá a druhá přijímá elektrický proud. Napětí přijatého proudu je oproti

vysílanému nižší. Tento pokles je způsoben elektrickým odporem, který půda klade. Díky tomuto jevu může měřící zařízení vypočítat elektrickou vodivost půdy. Měření může probíhat v různých hloubkách díky přestavitelné vzdálenosti elektrod. Čím je vzdálenost elektrod vyšší, tím hlouběji měření probíhá. Nejznámějším výrobcem senzorů pro invazivní měření půdní vodivosti je firma Veris technologies Inc. Vyrábí širokou škálu senzorů lišících se v provedení, počtu měřících elektrod. Nejúspěšnější je zařízení Veris 3150, podle výrobce dokáže měřit až do hloubky 90 cm. Díky přímému kontaktu elektrod s půdou nedochází k ovlivnění změnou teploty vzduchu, ovlivnění měření teplotou a vlhkostí půdy však zabránit nelze. Senzor řadíme mezi on-the-go zařízení, jelikož měření probíhá tažením přístroje po pozemku. Šířku měřených pásů půdy volíme podle záběrů našich mechanizačních prostředků tak, abychom byli schopni provést případný zásah dle zjištěných hodnot. Příklad zařízení sloužícího k invazivnímu měření elektrické vodivosti půdy je na obrázku 4. (Lukas, 2015), (Srinivasan, 2006), (Veris technologies, 2014)

Obrázek 4 Přístroj pro měření elektrické vodivosti půdy Veris 3150 (veristech.com)

Výsledná data můžeme použít pro určení odběrových bodů k laboratorním rozborům, nebo přímo pro určení opatření ke snížení vlivu variability. Příkladem může být diferencovaná dávka hnojení, variabilní zpracování půdy či setí. (Veris technologies, 2014)

3.1.2 Neinvazivní metody měření

Invazivní metoda měření půdní vodivosti díky odporu půdy poskytuje uspokojivě přesné výsledky a není ovlivněna kovovými předměty v půdě. Při měření

však dochází k mechanickému narušení povrchu půdy, a tak není možné provádět měření na pozemku s porostem rostlin, došlo by k jejich poškození, nebo i zničení. V kamenitých půdách může také dojít ke zhoršenému kontaktu elektrod s půdou, nebo jejich poškození. Neinvazivní metody měření nevyžadují přímý kontakt s půdou, a tak je možné měření provádět na pozemku s pokryvem rostlin, aniž by došlo k jejich poškození. Rovněž použití v kamenitých půdách není u těchto senzorů problém. (Lukas, 2011), (Veris technologies, 2014)

Neinvazivní senzory pracují díky existenci jevu elektromagnetické indukce. Senzory tvoří dvě cívky, jedna vysílá elektromagnetické pole do půdy, kde dojde díky fyzikálně-chemickým jevům k tvorbě druhého elektromagnetického pole. Toto druhé elektromagnetické pole zaznamenává druhá cívka zároveň s elektromagnetickým polem vysílaným z první cívky. Výpočetní jednotka provádí porovnání obou polí a vypočte výslednou hodnotu elektrické vodivosti půdy. Některé přístroje umožňují měření současně ve více hloubkách, nejčastěji však ve dvou. (Lukas 2011)

Elektromagnetické senzory jsou citlivé na ovlivnění kovovými předměty, proto jsou nejčastěji umístěny do platových utěsněných pouzder. Umístění do pouzdra navíc také efektivně brání poškození zařízení vlhkostí. V ideálních podmínkách lze měřit až do hloubky 2 metry. Senzory jsou koncipovány jako on-the-go zařízení, takže měření probíhá za pohybu zařízení po pozemku, a to tažením po povrchu, nebo nesením nad povrchem v případě pozemku s porostem rostlin. Senzory nejsou obzvláště těžké a je možné je po pozemku přenášet ručně, tažením za strojem však dosáhneme vyššího plošného výkonu. Jako příklad uvádím přístroj CMD Explorer vyráběný společností Gf Instruments sídlící v Brně (Obrázek 5). (Lukas, 2011)

Obrázek 5 Přístroj CMD Explorer pro měření elektrické vodivosti půdy (gfinstruments.cz)

3.2 Mechanické senzory

Se vzrůstající snahou o co nejvyšší výkonnost zemědělských strojů spolu s nevhodnými intenzivními zásahy roste negativní vliv na půdu ve směru jejího utužení. Půda obsahuje obecně málo organické hmoty, a tak je náchylná ke zhutňování. Negativním následkem zhutnění je pak vysoká energetická náročnost při pracovních operacích, neefektivní využití dodávaných živin, zhoršení výnosů a kvality produkce. Půda je taktéž více ohrožena erozí a hůře zadržuje vodu. (Javůrek, 2008)

Právě s utužením půdy jsou úzce spjaty mechanické senzory. Vždy pracují na principu zjišťování síly potřebné k průchodu určitého předmětu půdou. Základním zařízením ke zjišťování této veličiny je ruční penetrometr. Jde o kovovou tyč s kuželem, kterou zatlačujeme do země a zařízení zaznamenává sílu k tomu potřebnou. Starší typy zaznamenávaly sílu na papírový proužek čistě mechanicky přes soustavu pák a pružin. I v současné době se můžeme setkat s jednoduchými analogovými zařízeními pro používání v menším měřítku. Existují však také zařízení, která zaznamenávají data digitálně spolu s polohou měření. Získaná data pak můžeme použít k vytvoření počítačového modelu zhutnění daného pozemku. Ruční tlačení penetrometru do půdy je značně fyzicky náročné, a proto existují i zařízení pro agregaci s traktorem kdy odpadá fyzická námaha. Penetrometry nejsou senzory pro použití on-the-go, takže plošná výkonnost je při relativně vysokých nákladech poměrně malá. Obrázky 6 a 7 zobrazují dvě varianty penetrometrů, první přístroj zapisuje data digitálně i s přesnou polohou měření dle GPS. Druhý přístroj nedisponuje

GPS modulem, takže místo odběru musíme zanést do mapy ručně, rovněž naměřené hodnoty musíme odečítat z analogového ukazatele a ručně zapisovat. (Křepelka, 2012)

Obrázek 6 Penetrometr s GPS (rimik.com)

Obrázek 7 Jednoduchý penetrometr (leadingfarmers.cz)

Senzory pro mapování zhutnění půdy on-the-go jsou již po dlouhou dobu součástí výbavy zemědělských traktorů, jen nebyly využívány pro sběr dat. Většina traktorů vybavených tříbodovým závěsem pro tažení přípojných zařízení je vybavena tahovou regulací. Senzory v čepech ramen závěsu zjišťují odpor půdy vůči pronikání taženého zařízení, a když odpor přesáhne nastavenou mez, traktor automaticky pozvedne tažené

zařízení, aby nedošlo k zastavení stroje. Ke sběru dat o zhutnění je potřeba získat data ze senzoru tahu a převést je do formy mapy zhutnění. Pokud není možné tato data získat, musíme použít dodatečné zařízení pro měření odporu půdy. K tomu nám slouží rám s potřebnými senzory, který umístíme mezi traktor a připojené zařízení pro zpracování půdy. (Lukas, 2011), (Lukas, 2015)

3.3 Akustické senzory

Akustické senzory využívají ke sběru dat princip měření odrazu zvukových vln od objektů. Zařízení zvané sonar díky měření doby potřebné k vrácení vyslaných zvukových vln dokáže změřit vzdálenost povrchu země od vysílače a zároveň zaznamená i tvar povrchu, či těles na něm. Toto lze využít například při zjišťování množství a velikosti hrud na poli a následné optimalizaci předseťové přípravy. V praxi se však bohužel ukázalo toto řešení jako neefektivní. Větší využití akustické senzory nalézají v oblasti ochrany rostlin. (Reiser, 2017)

3.4 Elektrochemické senzory

Elektrochemické senzory mají potenciál do budoucna přinášet důležité informace. Za pomoci reakce iontů by mohly měřit obsah využitelných prvků jako je dusík nebo draslík. Pro správný růst rostlin je zároveň důležitá hodnota pH. Tu je možné zjistit pomocí reakce iontů vodíku a již v současné době existují přístroje vhodné pro měření pH v zemědělské praxi. Příkladem opět uvedu přístroj od firmy Veris technologies. Původně šlo o samostatný přístroj pro měření pH, v současné době je systém pro měření pH integrován do některých ostatních přístrojů tohoto výrobce jako volitelná výbava. I senzor pH funguje jako on-the-go zařízení. Měření probíhá automatickým odběrem vzorků z hloubky 10 cm. Odebraný vzorek je pak během asi 10 sekund otestován a výsledky jsou zapsány. Poté dojde k automatickému očištění měřicích elektrod a následně je odebrán další vzorek. Výsledky sice nelze srovnávat s laboratorním měřením, tuto nevýhodu však kompenzuje vysoká hustota sítě, ve které jsou vzorky odebírány. Díky informacím získaným měřením pH můžeme výrazně zlepšit účinek vápnění. (Lukas, 2015), (Veris technologies, 2014)

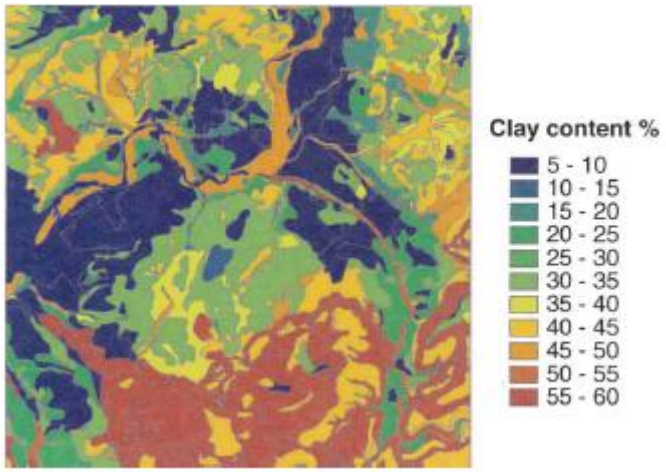
3.5 Senzory využívající gamma záření

Tato metoda je založená na měření gamma záření emitovaného z půdy. Toto záření nese informace o složení substancí, z nichž je emitováno. Za pomoci senzorů

schopných toto záření měřit tedy získáme důležité informace o pozemku, jichž můžeme dobře využít při praktikování metod precizního zemědělství. Jde zejména o strukturu půdní vrstvy či obsah jílu v půdě. Měření probíhá online, tedy pojezdem po pozemku. Ve stejnou dobu jako měření proběhne i odběr vzorků v místě, které bylo předtím několik minut měřeno. Vzorky jsou analyzovány a výsledky analýz porovnány s hodnotami naměřenými senzorem. Následně lze celkové výsledky promítnout do mapy pozemku. (Egmond, 2010), (Gebbers, 2014)

4 Zjišťování variability pozemku dálkovým průzkumem

Při dálkovém průzkumu Země (DPZ) provádíme snímání zemského povrchu. Toto snímání provádíme buď za pomoci satelitů na oběžné dráze, letadel či bezpilotních prostředků (dronů). Každá z možností si s sebou nese svá pro a proti, avšak vždy využívá toho, že cokoliv na zemském povrchu pohlcuje, odráží či vysílá jisté množství záření. Toto záření se vyskytuje v širokém pásmu vlnových délek, při čemž některé je viditelné pouhým okem a některé není. Příklad využití dat z dálkového průzkumu Země je zobrazen na obrázku 8. Jde o mapu obsahu jílu v půdě na ploše pozemku. Pro dálkový průzkum Země používáme široký sortiment různých senzorů na různých nosičích. (Copernicus, 2016), (CollGS, 2020), (Žížala, 2016)



Obrázek 8 Mapa obsahu jílu v půdě (collgs.cz)

4.1 Pasivní senzory pro DPZ

Pasivní senzory nevyužívají ke své funkci vlastní zdroj záření, využívají přirozených zdrojů. Následuje výčet senzorů spolu s jejich využitím.

Optické hyperspektrální senzory. Tyto senzory umožňují monitorovat množství spektrálně aktivních půdních komponent. V konečném důsledku tedy můžeme hodnotit obsah vody či organické hmoty. Senzor může nést satelit, ale i jiný např. letecký prostředek.

Multispektrální senzory slouží k popisu vegetačního pokryvu půdy a k analýze využití půdy lze sledovat vývoj vegetačního pokryvu, zalesňování, či stav porostů. Právě multispektrální měření provádí zřejmě nejpoužívanější satelity Sentiel 2a a Sentinel 2b.

Panchromatické senzory jsou vlastně obyčejné fotoaparáty. Většinou jsou integrovány do letecké či bezpilotní techniky. Podle druhu použitého filmu je výstupním materiálem fotografie v barevném či jiném spektru. Využití této technologie spočívá v identifikaci problémů či odchylek na pozemku vizuální interpretací nebo složitěji pomocí fotogrammetrických metod. Fotogrammetrie se zabývá rekonstrukcí tvarů, měřením rozměrů a určováním polohy předmětů zachycených na fotografii.

Termální senzory. Tento typ senzorů nám poskytuje informaci o teplotě půdy a tím pádem je možné odhadnout vlhkost půdy.

Pasivní mikrovlnné senzory. S jejich pomocí můžeme odhadovat vlhkost půdy a stav vegetačního pokryvu. Pasivní varianta však nedosahuje takového využití jako aktivní, jelikož zemský povrch vyzařuje v mikrovlnném spektru velmi málo. (IoT Cluster, 2016), (Copernicus, 2016), (CollGS, 2020), (Žížala. 2016)

4.2 Aktivní senzory pro DPZ

Oproti pasivním senzorům tyto senzory využívají k měření vlastní zařízení emitující záření. Díky vlastnímu emitoru záření jsou tyto senzory oproštěny od závislosti na slunečním či jiném přírodním záření. Měření je tudíž možné provádět ve dne či v noci. Nevýhodou naopak je poměrně velká energetická náročnost těchto zařízení spojená s potřebou tvorby vlastního záření.

Synthetic aperture radar (SAR). Radarový systém můžeme využít k určení půdní vlhkosti a členitosti terénu. Data toto zařízení získává průletem nad sledovanou oblastí, kdy vysílá na oblast mikrovlnné záření a následně analyzuje záření odražené zpět.

Lidar (Light Detection and Ranging) je další možnost mezi aktivními senzory v zemědělství. Funguje na podobném principu jako metoda SAR, avšak namísto mikrovlnného záření využívá záření světelného. Snímání tedy probíhá vysláním laserového paprsku na sledované území a následně jsou detekovány odražené paprsky.

Altimetr neboli výškoměr je zařízení sloužící k měření výšky objektu nad povrchem. Jeho využití je hlavně při sledování reliéfu krajiny. (CollGS, 2020), (SUAS News, 2019), (Žížala, 2016)

4.3 Faktory ovlivňující DPZ

Jako každé jiné měření je i DPZ neustále ovlivňován nejrůznějšími vlivy. Tyto vlivy mohou pocházet jak z okolního prostředí, tak ze samotné podstaty měřicího zařízení, nebo z podstaty sledovaného předmětu, v našem případě pozemku.

Jedním z hlavních témat, které u dálkového průzkumu řešíme, je prostorové rozlišení. Tento parametr nám udává velikost pixelů, které dohromady tvoří digitální obraz. Záznamové zařízení zapisuje při měření naměřenou hodnotu pro každý pixel. Čím menší jsou tyto základní stavební jednotky, tím přesnější je výsledný obraz. Snímkování v jemnějším rozlišení je však dražší, a proto je nutné si zvolit vhodný formát dle zamýšleného použití. (Gisat, 2017), (Žížala, 2016)

Dalším důležitým prvkem dálkového průzkumu je spektrální rozlišení použitého senzoru. Tato informace udává potenciál senzoru k rozeznávání jemnějších vlnových délek. Čím je rozsah vlnových délek pro dané pásmo užší, tím je spektrální rozlišení jemnější. Zjednodušeně řečeno senzor s jemnějším spektrálním rozlišením nám poskytne přesnější a detailnější výstupní data. (Earthdata, 2020), (Žížala, 2016)

Další prvek je radiometrické rozlišení. Tato hodnota je udávána v tzv. bitech a udává nám počet hodnot, které mohou být zaznamenány v rámci jednoho pixelu na výsledném snímku. Jako příklad u 8bitového rozlišení je možné potenciálně zaznamenat až 256 hodnot. (Earthdata, 2020), (Žížala, 2016)

Jedním z největších problémů vstupujících do problematiky DPZ je vliv zemské atmosféry na procházející záření. Průchod záření ovlivňuje vzduch, oblačnost, odražené světlo. Vliv oblačnosti však můžeme ovlivnit vhodným plánováním času, místa a způsobu snímání. V této problematice získávají aktivní senzory výhodu, jelikož je atmosférické vlivy ovlivňují jen minimálně. (Žížala, 2016)

4.4 Nosiče senzorů DPZ

Abychom mohli provést dálkový průzkum Země, musíme dostat snímací zařízení nad sledované území. Pro dopravu zařízení nad sledovanou oblast momentálně využíváme 3 hlavní nosiče. První možností jsou družice pohybující se po oběžné dráze naší planety, druhou možností je pak instalace snímací techniky do letadla, které přeletí nad zájmovou oblastí. Poslední varianta využívá k přenosu

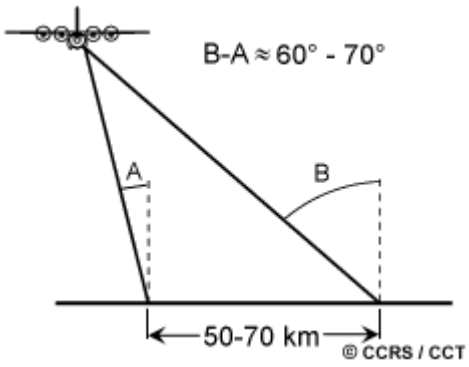
zařízení bezpilotní zařízení, tzv. drony. Každá z uvedených možností si s sebou nese pro a proti.

První varianta nosiče senzorové techniky pro dálkový průzkum jsou umělé družice. Družicové snímkování probíhá z oběžné dráhy planety Země. Družice nesoucí potřebné senzory operují stovky kilometrů vysoko. Díky tomu jsou schopny zabírat široký pruh povrchu při relativně úzkém úhlu záběru zhruba mezi 5 a 15 stupni. Družicové snímkování může negativně ovlivnit zejména výskyt oblačnosti nad sledovanou oblastí. Družice může nést široké spektrum různých senzorů. Může se jednat například o optické, radarové či mikrovlnné a další senzory. Data jsou obnovována podle obletu družice kolem planety například v případě družice Sentinel 2 jednou za 5 dní. Na obrázku 9 je zobrazena snímkovací družice Sentinel 2 vybavená multispektrálním snímkovacím zařízením. (Copernicus, 2016), (Natural Resources Canada, 2015), (Stehno, 2017)

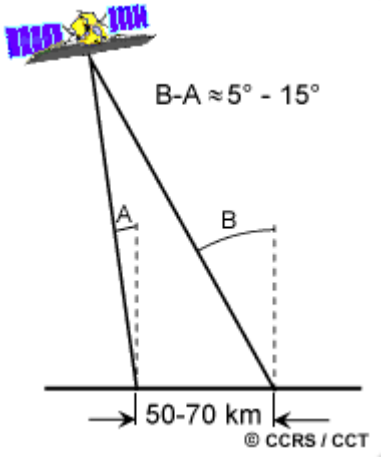
Obrázek 9 Družice Sentinel 2 (Esa, 2017)

Další možností dálkového průzkumu je letecké snímání povrchu. Letadla oproti družicím operují v nižších hladinách atmosféry. Senzorové vybavení snímkovacích letadel je možné měnit podle požadavků zákazníka. Pokud bychom se snažili při leteckém snímkování zaznamenat stejně široký pás jako při snímkování družicovém, byl by úhel záběru znatelně širší. Široký úhel záběru s sebou nese negativum v podobě velmi variabilního zobrazení stínování barev či vrstvení terénu. Tyto problémy jsou způsobeny právě širokým úhlem dopadu paprsků na snímač. Plošná výkonnost tohoto druhu snímání je tedy v konečném důsledku nižší než u satelitního, ale pořád o dost

vyšší ve srovnání s drony. Na obrázku 10 a 11 je znázorněn rozdíl při snímání z letadla a z družice. (Natural Resources Canada, 2015)



Obrázek 10 Letecké snímkování (Natural Resources Canada, 2015)



Obrázek 11 Družicové snímkování (Natural Resources Canada, 2015)

Poslední variantou průzkumu povrchu je průzkum prostřednictvím dronů. Toto odvětví zažívá v poslední době poměrně rychlý rozmach, jelikož došlo ke značnému rozšíření nabídky dronů použitelných v zemědělství. Drony jsou velice variabilní z pohledu možností osazení senzory. Některé drony disponují senzory vestavěnými, jiné nabízejí možnost výměny senzorů podle požadovaného výsledku. Snímkování drony probíhá z poměrně malé výšky a je snímán užší pruh terénu. Z hlediska variability pozemku můžeme identifikovat například obsah organické hmoty v půdě či vlhkost půdy. (Uav coach, 2019)

Dron samotný lze charakterizovat jako bezpilotní létající objekt. Samotný let probíhá ovládáním na dálku, nebo autonomně. Současné drony jsou vybaveny širokou škálou senzorů, které napomáhají bezpečnosti zařízení při ovládání operátorem, či zajišťují informace potřebné pro autonomní let. Základem je signál GPS pro přesné

určení polohy letounu, následně výškoměr, gyroskop či protikolizní senzory. Při mapování je v průvodním softwaru vyznačena zájmová oblast, přičemž ovládací program připraví pro dron letovou trajektorii tak, aby bylo mapování co nejefektivnější. Let při mapování je tedy autonomní. (E- Agriculture in action, 2018)

V oblasti konstrukce bezpilotních letounů používaných v zemědělství máme v současné době dva hlavní směry. Jedním jsou letouny konstruované jako letouny s pevným křídlem či samokřídla a druhá možnost jsou multikoptéry, které ve vzduchu udržuje tah vytvářený horizontálně uloženými rotory. Druhý jmenovaný typ se nazývá podle počtu rotorů kvadrokoptéra či hexa nebo oktakoptéra. Příklad hexakoptéry je na orázku 12. Samokřídlo je zobrazeno na obrázku 13. Pro účely mapování jsou využívány obě tyto konstrukce. Drony s pevným křídlem najdou uplatnění při mapování větších oblastí, oproti tomu multikoptéry jsou lepší k detailnímu zkoumání dané oblasti, jelikož z principu své funkce dovedou stát na jednom místě ve visu. Další rozdíl je v způsobu vzletu, multikoptérá vzlétá z podložky kolmo bez pomoci obsluhy. Drony s pevným křídlem vzlétají hodem z ruky případně ze startovací rampy. (Jensen, 2020)

Obrázek 12 Trimble ZX5 (trimble.com)

Obrázek 13 eBee Classic (sensefly.com)

Jak roste obliba používání dronů napříč různými odvětvími, roste i potřeba provoz těchto zařízení určitým způsobem regulovat. V České republice již platí předpisy pro létání s drony. Pilot musí mít dron neustále na dohled a maximálně smí vystoupat do výšky 300 metrů. Registrace je pak v současné době povinná pro osoby, které dron využívají k výdělečné činnosti. V červnu 2019 byla publikována nová legislativa pro drony v rámci Evropské unie. Do července 2020 pak musí členské státy tuto legislativu implementovat do své. Nová Evropská legislativa by měla především narovnat pravidla pro létání s drony napříč členskými státy. Tato nová legislativa rozděluje drony do 5 tříd podle jejich hmotnosti, rychlosti, hlučnosti a dalších parametrů. Drony také bude nutné registrovat, a to všechna zařízení o vzletové hmotnosti nad 250 gramů a také všechny drony, které zaznamenávají obraz či video v HD kvalitě či vyšší. Také je nově stanoven minimální věk pilota na 16 let, při posouzení konkrétního případu však může být tato hranice snížena. Piloti by navíc měli skládat online výcvikový kurz a test znalostí. Drony určené pro komerční využití pak budou muset být označeny registračním číslem a také bude muset být zřízeno pojištění. (Karas, 2019)

5 Diagnostika stavu porostů

Variabilitu, nebo též heterogenitu pozemku zjišťujeme především proto, že ve vysoké míře ovlivňuje stav porostu a tím pádem i výnosy a náš zisk. Stav porostu však není ovlivněn pouze půdní heterogenitou. Výrazný vliv na výnosy má taktéž růst rostlin, velikost listové plochy, obsah dostupných živin, výskyt plevelů a jiných škodlivých činitelů, obsah vody v rostlinách. Abychom byli schopni kontrolovat stav porostů a provádět zásahy k jeho zlepšení, využíváme rozličné metody. Nejčastěji diagnostiku provádíme pomocí senzorického měření, pro které máme k dispozici širokou škálu senzorů. Senzory dělíme na mechanické a optické. (Gebbers, 2014), (Shafi, 2019)

5.1 Vegetační indexy

Abychom mohli provést příslušné opatření, musíme znát stav porostu. Prostá data poskytovaná senzorem ovšem musíme správně interpretovat. Při výpočtu vegetačních indexů využíváme multispektrální data, na jejichž základě můžeme odhadovat stav rostlin, potřebu živin či hustotu porostu. Toto je možné díky tomu, že rostliny odrážejí či pohlcují různé druhy elektromagnetického záření v závislosti na momentálním stavu rostliny. Odrazivost porostu je závislá na obsahu chlorofylu a hustotě porostu. Nejdůležitější pro tuto metodu je odrazivost ve viditelném spektru a NIR spektru. Zkratka NIR znamená Near Infra Red tedy v překladu blízké infračervené. Na základě získaných informací tedy počítáme vegetační indexy. Těchto indexů existuje několik druhů, přičemž nejpoužívanější jsou indexy NDVI, GNDVI a SAVI. Odrazivost ovlivňuje také hustota porostu. Dále máme také indexy popisující velikost listové plochy rostlin a to LAI (Leaf Area Index) a FVC (Fractional Vegetation Cover), (Gebbers, 2014), (Lukas, 2015), (Shafi, 2019)

5.1.1 LAI a FVC index

LAI index udává velikost plochy horní strany listů rostlin na ploše půdy 1 m^2. Oproti tomu index FVC udává procenticky zakrytí půdy vegetací. Hodnoty těchto indexů se mění během vegetačního období dle růstu rostlin. Porost obilnin může dosáhnout LAI až 9, FVC až 100 %. (Gebbers, 2014), (Lukas, 2015)

5.1.2 NDVI a GNDVI index

Normalizovaný diferenční vegetační index je nejoblíbenějším vegetačním indexem. Využívá NIR a červenou část spektra. Zdravá rostlina absorbuje více světla z viditelného spektra a odrazí více světla z NIR spektra. Nezdravá rostlina oproti tomu pohltí více NIR světla a odrazí více viditelného světla. Výsledkem výpočtu je bezrozměrná hodnota mezi -1 a +1 přičemž vyšší kladný výsledek odpovídá vyšší hustotě biomasy a záporné hodnoty označují vodní či zastavěnou plochu. Hodnoty v okolí nuly a mírně kladné pak značí holou půdu. Určitý problém způsobuje velmi hustý porost, jelikož po dosažení určité hustoty dojde k nasycení a další zvyšování hustoty již index neidentifikuje. Dalším problémem je vysoká míra ovlivnění odrazivostí holé půdy. Holá půda vytváří kladné hodnoty, ale až pokud je NDVI větší, než 0,2 jde o hodnoty reflektované vegetací.

GNDVI je alternativa NDVI indexu, jen využívá NIR část spektra spolu se zelenou na rozdíl od červené u NDVI. Díky využití zeleného spektra je snížena možnost nasycení vlivem hustého porostu. (Lukas, 2015), (Shafi, 2019)

5.1.3 SAVI index

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) je obdoba NDVI indexu, která odstraňuje negativní vliv holé půdy. Do vztahu vstupuje korekční faktor pro jas půdy. Základní hodnota této korekce je 0,5, ale jinak je volena dle hustoty porostu. Díky této korekci pak získáme lepší výsledky bez ovlivnění holou půdou. (Brecht, 2018)

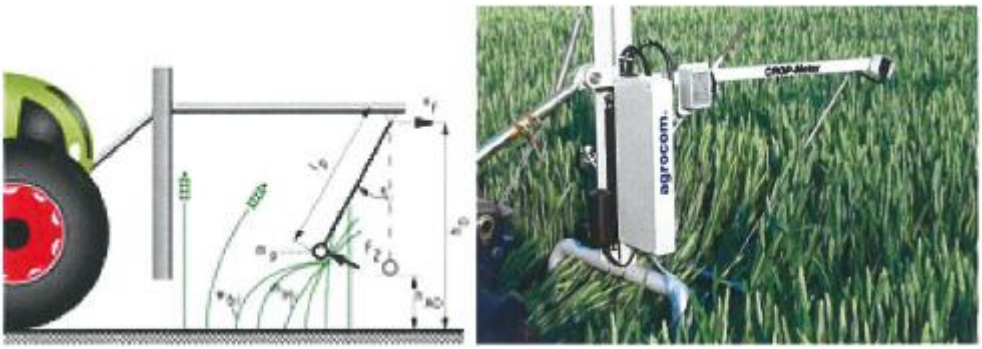
5.2 Mechanické senzory pro diagnózu stavu porostů

Mechanické senzory pracují na principu fyzické interakce s rostlinou. Tímto způsobem je možné měřit například hustotu porostu, nebo obsah vody v rostlině.

5.2.1 Crop Meter

Senzor Crop Meter od společnosti Agrocom, potažmo Claas je jednoduchý senzor sloužící k měření hustoty porostu (Obrázek 14). Jde o kyvadlo v podobě tyče o délce 1 metr, která prochází porostem, přičemž úhel vychýlení je měřen potenciometrem. Úhel vychýlení kyvadla je přímo úměrný hustotě porostu. Aby byla zajištěna správná funkčnost, je potřeba provést po příjezdu na pozemek kalibraci na dvou bodech pozemku ideálně v bodu s nejmenší hustotou a na bodu s největší hustotou. Měření

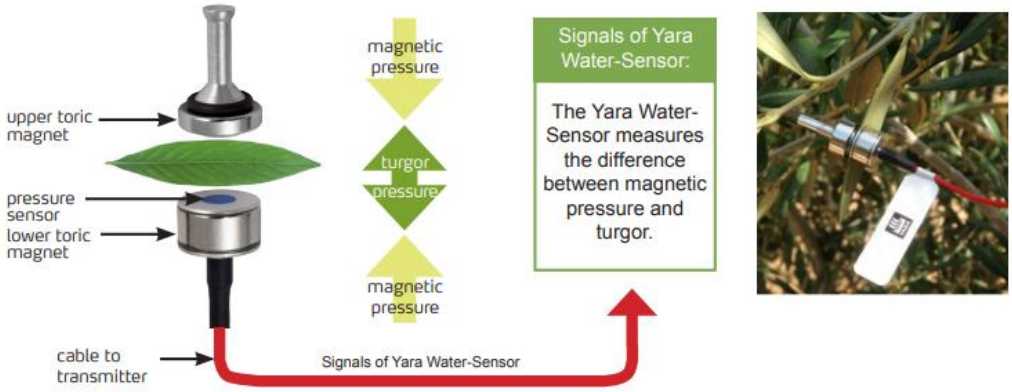
probíhá za jízdy, jde tedy o online metodu měření. Výška kyvadla musí být udržována stále konstantní, proto je přístroj vybaven čidlem výšky nad pozemkem. Softwarově zohledněna je pojezdová rychlost a rychlostní výkyvy při rozjezdech. Získaná data o hustotě porostu lze ihned použít pro řízení dávky hnojiva, fungicidu či morforegulátoru. Nevýhoda tohoto senzoru spočívá především v konstrukčním řešení. Přístroj je uchycen v předním tříbodovém závěsu či na závaží traktoru, tudíž je hustota porostu měřena uprostřed kolejových meziřádků, kde nemusí odpovídat hustotě ve zbylém pracovním záběru. (Gebbers, 2014), (Lukas, 2015)



Obrázek 14 Crop Meter (Lukas, 2015)

5.2.2 Yara Water Solution

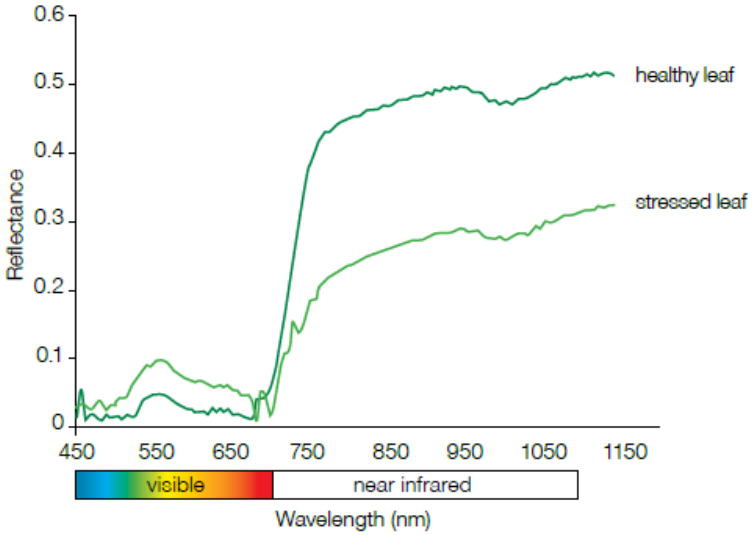
Dalším příkladem mechanického senzoru je řešení Yara Water Solution. Jde o senzorový systém, který slouží ke zjišťování obsahu vody v listech rostliny. Celý systém obsahuje kromě senzorů obsahu vody v listech navíc senzory teploty a vlhkosti vzduchu spolu se senzorem vlhkosti půdy. Na základě dat ze všech senzorů je pak možné upravovat zálivku tak, aby rostlina měla přesně tolik vody, kolik potřebuje. Správným řešením zálivky lze ušetřit vodu a tím pádem snížit náklady. Samotný senzor funguje díky tomu, že obsah vody v listu rostliny ovlivňuje takzvaný turgorův tlak v buňkách. Senzor sestává ze dvou magnetů, mezi něž je vložen list. Magnety se snaží list zmáčknout a turgorův tlak tlačí magnety od sebe. Senzor tedy měří změny turgorova tlaku a tím pádem obsah vody. Princip funkce senzoru je znázorněn na obrázku (Obrázek 15). Systém Yara water solution má největší uplatnění v ovocnářství, ale nabízí se i využití na porostech kukuřice v oblastech kde je využíváno umělé zavlažování. (Gebbers, 2014), (Yara Water Solution, 2017)



Obrázek 15 Senzor obsahu vody v listu (Yara Water Solution, 2017)

5.3 Optické senzory

Optické senzory při diagnostice porostů využíváme zejména k měření vegetačních indexů. Na základě údajů z těchto senzorů tedy můžeme zjistit například hustotu listového pokryvu či obsah chlorofylu v listech. Rostlina trpící nedostatkem živin, obsahuje méně chlorofylu, což se projevuje na jejím zbarvení. Rostlina je nedostatkem stresována, proto je tak v literatuře označována. Příklad rozdílu v odrazivosti zdravé a stresované rostliny je znázorněn na obrázku (Obrázek 16). Existují různé druhy optických senzorů s různými možnostmi využití. V praxi se setkáváme s využitím pro variabilní dávkování hnojiv či v oblasti cílené aplikace chemických ochranných látek. Hlavním přínosem těchto senzorů je vyrovnaný porost, lepší využití aplikovaných hnojiv. Lepší využití hnojiva rostlinou s sebou nese benefit v podobě snížení kontaminace půdy či podzemní vody. Při precizní aplikaci herbicidů, pesticidů či jiných ochranných látek je hlavním benefitem snížení množství použité chemické látky a tím pádem snížení nákladů. Nižší množství chemie se samozřejmě projevuje na sníženou zátěží produktů a půdy z pohledu reziduí. (Focus, 2013), (Gebbers, 2014)



Obrázek 16 Rozdíl v odrazivosti zdravého a stresovaného listu (Focus, 2013)

5.3.1 Optické senzory při variabilních aplikacích

Optické senzory sloužící pro řízení variabilního hnojení využívají ke své funkci měření spektrální odrazivosti porostu. Senzory fungují on-the-go, takže měření probíhá při jízdě a naměřené hodnoty jsou ihned vyhodnoceny a použity. Senzory je možné rozdělit na pasivní a aktivní ve smyslu zdroje světla. Pasivní senzory fungují s přirozeným světlem, a tudíž je jejich provozní doba omezena na část dne, kdy je světlo. Oproti tomu aktivní senzory jsou vybaveny vlastním zdrojem světla, který ozařuje měřený porost. Aktivní senzory tedy můžeme využívat po celých 24 hodin. Dávka hnojiva je upravována buď jen podle výstupů ze senzorů, nebo mohou do výpočtu vstupovat ještě výnosové mapy získané například ze sklízecí mlátičky z předešlé sklizně. Některé senzory také umožňují provádění samostatného měření a záznam dat pro případy, kdy chceme znát stav porostu, ale nechceme provádět hnojení. Hnojení většinou probíhá tak, že je nastavena dávka pro normální porost a ta je pak zvyšována v místech se slabým porostem, nebo snižována v místech s hustým porostem. Existuje však ještě také možnost, kdy je dávka upravována podle předpokládaného výnosu na daném místě. V oblastech s vyšším výnosovým potenciálem je tedy aplikována větší dávka a v oblastech s potenciálem menším zase dávka menší. V následujících odstavcích budou popsány různé senzory pro variabilní aplikaci hnojiv. (Focus, 2013), (Gebbers, 2014), (Padilla, 2018)

5.3.2 Yara N-Sensor

Přístroj Yara N-Sensor je optický senzor používaný pro online měření potřeby dusíku metodou měření odrazivosti listů rostliny. Senzor je montován na střechu traktoru, což napomáhá dostatečně širokému úhlu záběru. Získaná data mohou být zaznamenávána, nebo přímo použita v agregaci s rozmetadlem minerálních hnojiv k řízení dávky hnojiva. Použitím senzoru tedy zajistíme rostlině správnou dávku živin, čímž napomůžeme vyrovnanosti porostu a snížíme nebezpečí poléhání. N-Sensor prochází neustálým vývojem, čímž se vylepšuje jeho využitelnost. Tento senzor je možné dostat ve dvou provedeních, a sice N-Sensor (Obrázek 17) a N-Sensor ALS (Obrázek 18). Zkratka ALS znamená Active Light Source. N-Senzor ALS disponuje oproti druhé verzi zdrojem světla v podobě xenonových výbojek. Díky vlastnímu zdroji světla je tedy možné tuto variantu senzoru používat i v noci či za špatného osvětlení. Varianta bez vlastního zdroje světla snímá odraz přirozeného světla od rostlin. Toto světlo není po celý den stejné, a proto je senzor vybaven čidlem, které snímá toto světlo a kompenzuje jeho možné změny. Společnost Yara neustále provádí vývoj v oblasti zjišťování rozdílů v přijímání dusíku u různých odrůd a výsledky jsou implementovány do systému senzorů. Tak je zajištěna neustálá aktuálnost údajů a zajištěna co nejpřesnější funkčnost. (Leading Farmers, 2020), (Yara, 2020)

Obrázek 17 Yara N-Sensor (Leading Farmers, 2020)

Obrázek 18 Yara N-Sensor ALS (Leading Farmers, 2020)

5.3.3 Isaria Crop Sensor a Cropxplorer

Optický senzor Isaria se na trhu vyskytuje pod záštitou svou výrobců. Firma Claas jej označuje jako Crop Sensor. Společnost Agrotec pak jako Cropxplorer (Obrázek 19). V obou případech se ale jedná o stejné zařízení, a sice optický senzor, který měří index biomasy rostlin a index množství dusíku v rostlině. Spolu s měřenými indexy můžou být využívány mapové podklady pro zohlednění půdních typů, dřívějších výnosů a dalších faktorů. Tento senzor nalezne uplatnění při aplikaci desikantů či růstových regulátorů a při základním hnojení a přihnojování dusíkem či jinými živinami. Opět jde o optický senzor, který měří odrazivost rostlin. Senzor disponuje zdrojem světla v podobě výkonných LED diod, takže je možné jej využívat bez ohledu na denní dobu či počasí. Udávaná životnost diod je 50 000 hodin svícení, takže senzor dlouhodobou spolehlivost bez velkých nároků na údržbu. Senzor sestává ze dvou měřících jednotek umístěných na rámu uchyceném na přední části traktoru. Měřící jednotky jsou od sebe v závislosti na verzi vzdálené 6 či 6,9 metru. Umístění na přídi traktoru také chrání senzor před nepříznivým působením zvířeného prachu a hnojiva. (Agrotec), (Isaria crop sensor)

Obrázek 19 Cropxplorer (Agrotec)

5.3.4 Trimble WeedSeeker

Systém Trimble WeedSeeker je systém určený k variabilnímu hubení plevelů. Při jeho použití není potřeba při likvidaci plevelů dávkovat herbicid po celé šíři záběru. Systém pracuje s optickými senzory, které jsou montovány na ramena postřikovače a v případě, že zaznamenají plevel vydají povel trysce a herbicid je aplikován pouze na

plevelnou rostlinu. Tento systém má potenciál ušetřit velké množství nákladů na herbicidy, ovšem s sebou také nese poměrně velké náklady na vybavení postřikovače. Ovládání sekcí postřikovače v tomto případě není dostatečně přesné a v ideálním případě je potřeba ovládat každou trysku rychlým solenoidovým ventilem což nese další nemalé náklady. Dalším problémem je váha samotných optických senzorů, které mohou v kombinaci s velkými záběry u samochodných postřikovačů způsobit i problémy s praskáním ramen. Z pohledu funkčnosti je systém vhodný v USA, kde jsou ve větší míře používány takzvané kluzáky, což jsou postřikovače s rameny podepřenými podpěrnými koly. Tyto stroje váhu zařízení unesou bez problémů. (Propagační materiál Trimble Agriculture, 2015)

5.4 Využití dálkového průzkumu Země pro diagnostiku porostu

Metody dálkového průzkumu Země používané ke zjišťování pozemkové variability můžeme stejně dobře využít k mapování porostů. Sledováním porostu po delší časové období můžeme získat mapu předpokládaného výnosu. V současné době jsou nejhojněji využívána hyperspektrální data poskytovaná satelitními nosiči senzorů pro dálkový průzkum Země. Nová data jsou k dispozici nejčastěji každých 5 či 10 dnů v závislosti na využívaném satelitu. Takováto obnovovací frekvence spolu s dobrým rozlišením nám zajišťuje dobrý přehled o stavu porostu a můžeme tak hodnotit jeho zapojení, vodní či výživový stres, a u řádkových plodin lze dokonce odhalit míru zaplevelení. Takto získaná data můžeme následně využít ke správnému zacílení agrotechnického opatření jako je postřik herbicidem. Data jsou již tak přesná, že je možné na jejich základě provádět hnojení variabilní dávkou. Zjišťování stavu porostu však má ještě další využití, na základě mapy předpokládaného výnosu se například mohou rozhodovat pojišťovny při pojišťování sklizně. Do budoucna bude mít nejspíše toto odhadováni význam také kvůli čím dále vyšší nárokům lidstva na množství potravinářských výrobků. Jelikož je dálkový průzkum vlastně tvorba fotografií v různých spektrech, stále zůstává problém v podobě oblačnosti, která může zastínit zájmovou oblast. Dálkový průzkum Země taktéž nelze využít pro mapování výskytu škůdců, či chorob, jelikož i doba pěti dnů mezi snímky je příliš dlouhá. (Bognár, 2004), (Driml, 2019), (Weiss, 2020)

5.5 Využití výnosových map v precizním zemědělství

Výnosové mapy představují velmi cenný zdroj informací o pozemku. Pokud máme k dispozici data za více sezón, poskytnou nám ucelený obraz o charakteristice daného pozemku. Tato data můžeme následně využít pro úpravu agrotechnických zásahů, například při variabilním hnojení. Výnosové mapy můžeme získat přímo při sklizni, kdy data zaznamenává sklízecí mlátička nebo řezačka. Výnosová mapa udává množství sklizeného zrna či hmoty z jednotky plochy. Informace, které jsou strojem zaznamenávány během sklizně, jsou zobrazeny obsluze a případně zaznamenávány na paměťové médium (paměťová karta), nebo mohou být v reálném čase online odesílány například agronomovi. Výnosové mapy nám však neposkytují jen informace o výnosu plodiny. Pokud máme k dispozici mapy za větší časové období se stejnými plodinami, můžeme tyto mapy porovnat a získáme přehled o celkové variabilitě pozemku, jelikož můžeme lokalizovat oblasti kde s trvale vyšším či nižším výnosem. (Alley, 2009), (Grisso, 2009)

5.5.1 Měření výnosu u sklízecích mlátiček

Aby bylo možné tvořit výnosovou mapu, je třeba nasbírat potřebné informace. Proto sběr těchto informací slouží řada senzorů umístěných uvnitř sklízecí mlátičky. Jedná se o senzor výšky sklízecího adaptéru, senzor pojezdové rychlosti, senzor toku hmoty skrze mláticí ústrojí, senzor vlhkosti zrna a senzor výnosu zrna. Hodnoty nasbírané ze senzorů pak vyhodnocuje počítač a jsou zobrazeny na informačním displeji. Nedílnou součástí dat o výnosu je záznam polohy, kde byly jednotlivé hodnoty naměřeny. Propojení zjištěného výnosu s polohou umožňuje vytvoření výnosové mapy. (Alley, 2009), (Grisso, 2009), (Kulovaná, 2002)

Senzor výšky adaptéru a senzor toku hmoty podává informaci, zda stroj zrovna sklízí, nebo přejíždí se zdviženým adaptérem na další řádek. Senzor pojezdové rychlosti pak udává informaci o pohybu stroje, což napomáhá přesnějším výstupům z ostatních senzorů.

Senzor vlhkosti zrna je důležitý pro kalibrování čidla měřícího výnos, jelikož vlhkost zrna se může výrazně měnit v závislosti na denní době, nebo stavu porostu a bez zohlednění vlhkosti by byly údaje výnosového senzoru značně zkreslené. Senzory vlhkosti jsou většinou senzory kapacitní. Sestávají ze dvou vodivých desek, mezi které

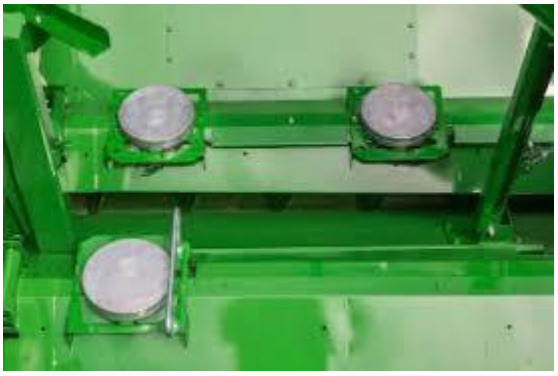
je dopraveno zrno ze zrnového dopravníku. Do jedné desky je vpuštěno napětí, které projde přes zrno díky tomu, že zrno je částečně vodivé. Následně je změřeno napětí, které došlo ke druhé desce. Různě vlhké zrno vykazuje různě velký odpor vůči průchodu elektrického proudu. Přepočítáním konstantou podle druhu sklízené plodiny můžeme z naměřeného napětí určit vlhkost vzorku.

Senzor výnosu může být realizován ve více variantách. Dnes již nepoužívaná, ale jednoduchá metoda měření výnosu je kombinace malého zásobníčku na konci zrnového dopravníku vybaveného senzorem hladiny zrna. Po naplnění tohoto zásobníku byl jeho obsah vypuštěn skrze lopatky odměrného kola. Z počtu otáček lopatkového kola vzhledem ke sklizené ploše bylo možné určit výnos.

Další metodou tentokrát již používanou i v současnosti je měření optickou metodou. Tato metody využívá vysílač a přijímač světelného paprsku. Tento senzor je umístěn uvnitř zrnového dopravníku. Procházející lopatky spolu s unášením zrnem přeruší světelný paprsek a z doby po kterou toto přerušení trvá, je vypočteno množství procházejícího materiálu. Aby byly zaznamenávané výsledky přesné, je nutné provádět kalibraci tohoto zařízení na začátku sklizně pokaždé, když se přechází na jinou plodinu, nebo když se znatelně změní podmínky sklizně. Kalibrace spočívá ve vážení a měření vlhkosti sklizeného zrna u několika počátečních souprav odvezených z pole. Správně provedená kalibrace ale není to jediné, co zajišťuje dobrou funkci optického senzoru. Senzor musí počítat s údaji z vlhkoměru a také ze senzoru náklonu stroje, jelikož při náklonu stroje se zrno na lopatkách zrnového dopravníku jinak rozsýpá a optický senzor by nepodával pravdivé informace.

Nejspíše nejrozšířenějším senzorem používaným pro monitorování výnosu u sklízecích mlátiček jsou senzory pracující na principu měření nárazové síly procházejícího materiálu. Tento senzor je umístěn na konci zrnového výtahu a vyskytuje se v různých provedeních. Může jít o rovnou či zahnutou desku, nebo pouze několik prstů. Tyto prsty či desky jsou uchyceny tak, že přes ně prochází proud zrna ze zrnového výtahu v případě prstů, nebo do nich naráží v případě desek. Při měření je pak tenzometrickým senzorem měřen pohyb nárazové desky a ze získaných hodnot dopočítána hmotnost procházejícího materiálu, kterou lze využít k vytvoření výnosové mapy. Senzor ke svému fungování potřebuje spolupracovat s vlhkoměrem, jelikož měří přímo hmotnost zrna a ta se mění v závislosti na vlhkosti. Uvádí se, že tyto

senzory stačí kalibrovat jednou na začátku sezóny, avšak pokud chceme dostávat přesná výstupní data, měli bychom kalibraci provést pokaždé, když dojde k větší změně sklizňových podmínek. Kalibrace opět spočívá ve vážení zrna odvezeného z pole a porovnání váhy s váhou udávanou senzorem. Jelikož je kalibrace důležitá pro správnou funkci senzoru, je nejlepší vyloučit lidský faktor, který s sebou nese možnost výskytu chyb. Nejdále v tomto oboru postoupila firma John Deere, která umožňuje vybavit své sklízecí mlátičky sestavou tří tenzometrických vah umístěných v zásobníku zrna (Obrázek 20). Tyto váhy měří hmotnost materiálu v zásobníku a řídící systém je spojí s daty ze senzoru vlhkosti. Systém počítá i s náklonem stroje. Tak dochází k automatické kalibraci výnosového senzoru, který pak spolehlivě poskytuje přesná data.



Obrázek 20 Tenzometrické váhy systému John Deere ActiveYield (ActiveYield, 2018)

Méně běžná metoda měření výnosu je metoda využívající gamma záření. Tato metoda pracuje s emitorem gamma záření na konci zrnového dopravníku s protilehlým detektorem tohoto záření. Sklizené zrno tedy při svém průchodu absorbuje část tohoto záření z čehož lze usoudit množství materiálu, které prochází skrze senzor. V případě, že z dopravníku nevychází žádné zrno, senzor si sám kalibruje výchozí hodnotu gamma záření. I u tohoto senzoru je nutné provádět kalibraci vzhledem k váze pro každou sklízenou plodinu.

Výnos můžeme měřit také metodou se stejným principem funkce jako senzor vlhkosti, tedy kapacitní metodou. Při této metodě jsou v zásobníku zrna umístěny proti sobě elektrody a měří se elektrické napětí, které zrno v zásobníku přenese z nabité elektrody na měřící elektrodu. Pro správnou funkci tohoto senzoru je nutné mít přesná data o vlhkosti zrna z vlhkoměru, jelikož právě vlhkost velmi ovlivňuje schopnost zrna

vést elektrický proud mezi deskami. (ActiveYield, 2018), (Grisso, 2009), (Kulovaná, 2002), (Reyns, 2002)

6 Role navigačních systémů v precizním zemědělství

Navigační systém nejčastěji nazývaný pouze GPS je často mezi širokou veřejností brán jako synonymum pro precizní zemědělství. Ve skutečnosti tomu tak není a precizní zemědělství je značně široký pojem, pod kterým se ukrývá mnoho postupů, zařízení a metod. Navigační systém je však bez diskuze tím nejdůležitějším, jelikož na něj prakticky všechny další součásti precizního zemědělství navazují nebo na něm závisí. Měření elektrického odporu půdy, měření zhutnění, variabilní aplikace, výnosové mapy, hospodárný pohyb strojů po pozemku. Toto všechno je v současné době možné provádět s výbornou přesností díky navigačním systémům. (Grisso, 2009), (Skalický, 2004)

6.1 Satelitní navigační systémy

V současné době na trhu navigačních systémů stále vede systém Navstar GPS provozovaný americkým ministerstvem obrany. Největší konkurenci pro GPS představuje ruský systém GLONASS. Další alternativy představují evropský navigační systém Galileo, který by měl přejít do plného provozu v roce 2020 a pak čínský systém BeiDou. Společným jmenovatelem všech satelitních navigačních systému pak je jejich složení z hlediska komponent. Každý systém se skládá ze satelitů, které jako umělé družice obíhají Zemi a nesou na palubě vysílací zařízení. Další součást tvoří síť kontrolních stanovišť na zemském povrchu, které se starají o chod systému a řízení družic. Poslední prvek je označován jako uživatelský segment a jde o přijímače signálu. Aby bylo možné využívat satelitní navigační systémy v přesnosti vyhovující zemědělskému využití, přidávají se do systému ještě prvky sloužící ke korekci chyb vznikajících při průchodu rádiového signálu atmosférou.

6.1.1 Navstar GPS

První z celkových 24 satelitů navigačního systému GPS byl vypuštěn do vesmíru v roce 1978. Plné funkce pak bylo dosaženo v roce 1995. Jelikož GPS je armádní projekt a panovala obava z jeho zneužití, byl signál družic záměrně vysílán s chybou. Tato chyba zapříčinila odchylku od přesné polohy až 50 metrů, takže možnosti využití v civilním sektoru byly téměř mizivé. Až v roce 2000 byla tato záměrná chyba vypnuta a od té doby je možné GPS volně využívat pro určování polohy či navigování. Satelity systému GPS obíhají na šesti oběžných drahách země ve výšce 20 200 km, přičemž na

každé dráze jsou 4 družice. Družice oběhnou Zemi zhruba každých 12 hodin. Každá družice vysílá rádiový signál s informacemi směrem k Zemi, i když k funkci je potřeba 24 družic, ve vesmíru jich v současnosti 31. Starší družice musí nahrazovat nové po dosažení jejich životnosti, zároveň je také na oběžné dráze několik družic záložních pro případ, že by došlo k nečekané poruše.

Přesná poloha bodu na Zemi je zjišťována měřením vzdálenosti mezi družicí a tímto bodem. Vzdálenost mezi družicí a tímto bodem je zjišťována z časového rozdílu mezi okamžikem, kdy družice vyšle signál a okamžikem, kdy je signál přijat přijímačem. Pokud známe vzdálenost mezi přijímačem a alespoň třemi družicemi, získáme přesnou polohu přijímače. Pro dosažení co nejvyšší přesnosti měřeného časového rozdílu jsou družice vybaveny atomovými hodinami. Přijímače využívané ke zjišťování polohy ale nemohou být vybaveny atomovými hodinami, jelikož by byly příliš drahé, jsou proto vybaveny konvenčním hodinovým aparátem. Aby bylo dosaženo přesného měření, je jich chod korigován korekčním signálem z dalších družic. (Grisso, 2009), (Kilián, 2018), (Pfost, 1998), (Skalický, 2004)

6.1.2 GLONASS

Navigační systém GLONASS je přímá odpověď na americký Navstar GPS. Jeho vývoj začal v Sovětském svazu a po jeho zániku pokračuje pod záštitou ruské federace. Princip funkce je velmi podobný jeho konkurentovi a jde tedy opět o pasivní dálkoměrný navigační systém. První družice byla vypuštěna v roce 1982, vývoj a vysílání dalších družic však provázely značné finanční problémy a plného operačního stavu bylo dosaženo až v roce 2010. Vývoj neustále pokračuje a hlavní snahou je prodloužit živostnost družic. Navigační systém GLONASS je stejně jako GPS vojenský projekt, avšak na základě dekretu prezidenta ruské federace je jeho používání zpřístupněno široké veřejnosti. Vysílače systému GLONASS jsou umístěny na oběžné dráze oproti systému GPS níže, konkrétně 19 100 km. (Glonass), (Chabot, 2017)

6.1.3 Galileo

Galileo je poměrně nový satelitní navigační systém, vyvíjený v Evropě. Jeho hlavním cílem je vyřešit největší problémy GPS a GLONASS, a sice fakt, že jde o vojenské projekty. U primárně vojenských projektů se může kdykoliv stát, že daná organizační složka přestane svůj navigační systém poskytovat, což by přineslo

obrovský problém. Projekt Galileo tedy spadá výhradně pod civilní správu, takže by mělo být zaručeno, že bude dostupný vždy a za jakýchkoliv okolností. Tento nový navigační systém také přináší přesnější určování polohy. První družice byly do kosmu vypuštěna v roce 2005, přičemž se jednalo o 2 testovací zařízení. První satelity určené pro provoz byly vyslány v roce 2011. Aby bylo dosaženo plné funkce, je potřeba 24 satelitů, toho by mělo být dosaženo v roce 2020. Celkem bude na oběžné dráze Země 30 satelitů systému Galileo, tedy 24 operačních a 6 záložních. Již od roku 2016 lze systém Galileo využívat na kompatibilních zařízeních, jelikož přijímač může najednou využívat družice Galileo spolu s GPS nebo GLONASS, a tak je zajištěna funkčnost. Pro složitější využívání v bezpečnostních či dopravních aplikacích je ale nutné mít funkčních všech 24 družic a otestovat spolehlivost systému. Proto se prozatím v těchto odvětvích nový systém nepoužívá. (European GNSS service centre), (Souček, 2020), (The history of Galileo)

6.1.4 BeiDou

BeiDou je čínský projekt satelitního polohového systému, který by měl přinést přesnější určování polohy. Jeho další výhodou je možnost přenášet krátké zprávy do rozsahu 1 000 čínských znaků, což by mělo velmi pomáhat v krizových situacích, jako jsou například přírodní katastrofy, kdy běžné komunikační technologie nemusí spolehlivě fungovat. První satelity pokrývající Čínu nazvané BDS-1 odstartovaly v roce 2000, přičemž plného pokrytí bylo dosaženo v roce 2007. Dalším cílem se stalo pokrytí Asijsko-Pacifické oblasti, což se povedlo v roce 2012, satelity z druhé fáze projektu nesou název BDS-2. První satelit BDS-3 ze třetí fáze projektu odstartoval v roce 2015. Cílem třetí fáze je pokrytí celého světa, které by mělo být dokončeno před koncem roku 2020. Konečný počet využívaných satelitů by měl být 35. (Jones, 2020), (Václavík, 2019), (Yamei, 2019)

6.2 Zpoždění signálu

Navigační systémy fungují na principu měření doby potřebné k přenosu rádiového signálu od vysílače k přijímači. Problém je, že rádiový signál je při cestě ovlivněn vnějšími vlivy což zapříčiní jeho zpoždění. Bez potřebné korekce má tato chyba za následek nepřesné určení polohy v rozmezí až 10 metrů. Pro běžné navigování, jaké nabízejí automobilové navigace je tato přesnost dostatečná, avšak pro

využití navigačních systémů v zemědělství potřebujeme polohu určit přesněji. Zpoždění způsobují zejména dvě vrstvy atmosféry planety. Největší zpoždění způsobuje ionosféra, která výrazně ovlivňuje průchod elektromagnetických záření. Na povrchu Země se tohoto jevu využívá k šíření rádiových vln od vysílače jejich odrazem o ionosféru. Další zpoždění přijde při průchodu signálu skrze troposféru, což je vrstva, ve které se vyskytují mraky. (How does DGPS work, 2018), (Chivers)

6.2.1 Korekce zpoždění signálu

Pro dosažení vyšší přesnosti určování polohy je potřeba zajistit korekci chyby zpoždění signálu. Jednou možností je využití referenční stanice na zemském povrchu s přesně známou polohou. Tato stanice přijímá signál z družice a podle něj vypočítává svou polohu. Následně je zjištěná poloha porovnána se skutečnou známou polohou a zprůměrovaný výsledek lze použít pro korekci. Tato korekční data pak mohou být poskytnuta vozidlu s přijímačem, které pracuje v blízkosti pevné stanice. Korekční data lze použít u blízkých přijímačů díky předpokladu, že signál při cestě bude ovlivněn totožnými atmosférickými vlivy.

Druhou možností je využití geostacionárních satelitů. Tyto satelity shromažďují informace o chybách signálu z většího množství pozemních referenčních stanic. Tato data pak může přijímat přijímač ve vozidle spolu s polohovým signálem a používat je ke korekci zpoždění navigačního signálu. Takto funguje například v Evropě korekční systém EGNOS. (How does DGPS work, 2018), (Chivers)

Reálné uživatelské využití těchto korekcí je realizováno skrze prodejce navigačních systémů. Využití referenční stanice je časté u zemědělců s větší rozlohou obdělávaných pozemků, jelikož jde o nákladnější variantu korekce. Zrychlení návratnosti investice je možné dosáhnout tím, že zemědělec poskytne korekční data své stanice i okolním podnikům, či soukromým zemědělcům. Druhá varianta korekce jsou placené signály. Tyto služby se liší podle dodavatele navigační technologie v přesnosti, ceně i způsobu platby. Platba může probíhat měsíčně či čtvrtletně. Jako konkrétní příklad poslouží signály Starfire výrobce John Deere. Základní signál SF1, který je přístupný zdarma pro použití na vlastních výrobcích nabízí přesnost +/- 15 cm. Takovou přesnost je možné využívat při sklizni či kultivaci půdy. Pro setí či jiné operace vyžadující vyšší přesnost je možné využívat signál SF3 s přesností +/- 3 cm

za měsíční poplatek již od 56€. Při využití vlastní základní stanice je pak přesnost +/- 2,5 cm. (Technologie precizního zemědělství John Deere, 2019)

6.3 Navigační systémy v zemědělství

Obliba navigačních systémů v zemědělské výrobě neustále roste. Je to zejména díky velkému potenciálu těchto systémů v oblasti úspor finančních prostředků. Při využívání navigačních systémů klesá množství překryvů jednotlivých jízd, což snižuje celkovou spotřebu paliva a zkracuje čas potřebný k provedení daného úkolu. Při setí, hnojení a chemické ochraně klesají náklady na osivo, hnojivo a chemické látky díky správnému navazování jízd. Navigační systémy také umožňují přesné řízení sekcí, což vede k dalším úsporám. Nižší množství přejezdů znamená také menší opotřebení pracovních částí stroje, jako jsou například disky či radličky a v neposlední řadě je snižováno utužení půdy zbytečnými jízdami navíc. Pokud se obsluha nemusí věnovat udržení směru stroje, může se lépe věnovat zbylému ovládání stroje, čímž se zvyšuje i výkonnost obsluhy. Rozšíření nepochybně napomáhá také snižování cen a uživatelská přívětivost. (Křepelka, 2012)

6.3.1 Základní součásti systému

Pokud se farmář rozhodne pro nákup navigačního systému, bude se rozhodovat mezi různými prodejci a provedeními. Systémy mohou být jednoduché i složitější což ovlivňuje i jejich cenu. Nejjednodušší navigační systém pro použití v zemědělství se skládá z přijímače a běžného tabletu, složitější systémy pak obsahují přijímač, speciální ovládací displej, systém pro ovládání natáčení kol a senzor natočení kol. Často opomíjenou, a přitom poměrně drahou součástí je pak kabeláž sloužící k propojení všech součástí dohromady. V následujících kapitolách budou zmíněny některé z dostupných zemědělských navigačních systémů. (Osobní konzultace)

6.3.2 Navigace eFarmer

Zemědělská navigace eFarmer (Obrázek 21) je jedna z nejlevnějších možností, jak začít s přesným řízením strojů. Klíčovým prvkem je aplikace nainstalovaná v běžném tabletu s operačním systémem Android. Tato aplikace umožňuje využít data ze systému LPIS pro zakreslení hranic jednotlivých pozemků. V aplikaci je možné ke každému pozemku zaznamenávat odrůdu, hnojení a další důležité informace. Zaznamenané informace je možné prohlížet i zpětně, a tak je možné aplikaci využívat

pro plánování osevních postupů a celkově k řízení podniku. Další součástí systému je přijímací anténa, která využívá navigační systém GPS a GLONASS, takže je zajištěn co nejlepší příjem signálu. Navigace po pozemku je pak možná podle A-B linie či křivky. Uváděná přesnost je 15-20 cm což je dáno tím, že navigace je realizována světelnou indikaci odchylky od navržené linie a korekce musí provádět řidič pootočením volantu. (Agri-Precision s.r.o., 2016), (Tomtomas, 2016)

Obrázek 21 Navigace eFarmer (Agri-Precision s.r.o., 2016)

6.3.3 Navigace Trimble

Společnost Trimble je jednou z nejznámějších v oblasti navigačních systémů pro precizní zemědělství. Systém je možné zastavit do libovolného zemědělského stroje v konfiguraci podle přání zákazníka. Základ tvoří ovládací displej, který může být vybaven integrovaným přijímačem satelitního signálu a s pomocí signalizačních LED diod může provádět navádění po zvolené linii. Příkladem takového ovládacího displeje Trimble EZ-Guide 250 (Obrázek 22). Při tomto způsobu navádění přesnost záleží zejména na reakční schopnosti řidiče. Pro dosažení vyšší přesnosti je nutné k displeji připojit přesnější externí přijímač satelitního signálu a některou variantu asistovaného řízení či autopilota. Displej může podle konfigurace kromě navádění provádět navíc ještě ovládání sekcí připojeného zařízení či variabilní dávkování. Kompatibilitu displeje s připojeným zařízením zajišťuje kompatibilita skrze ISOBUS. (Trimble EZ-Guide 250, Trimble Agriculture)

Obrázek 22 Trimble EZ-Guide 250 (leadingfarmers.cz)

Základní způsob automatizovaného řízení představuje asistované řízení. Jedná se o způsob řízení, kdy je elektromotorem ovládáno standartní řízení vozidla. Nejlevnější řešení ovládání vozidla je systém asistovaného řízení nazvaný Trimble EZ-Steer (Obrázek 23). Jde o váleček vybavený elektromotorem, který je při řízení opřený o věnec standartního volantu a otáčí s ním podle pokynů řídící jednotky. Tento řídící prvek pomáhá dosáhnout přesnosti mezi jízdami 15 až 25 cm. Další varianta asistovaného řízení je Trimble EZ-Pilot. Toto zařízení se montuje namísto původního volantu. Elektromotor otáčí řídící tyčí a tím ovládá natočení kol. Velikou výhodou oproti levnějšímu EZ-Steer je výrazně menší zásah do prostoru kolem volantu. Systém EZ-Steer je umístěn vedle volantu a pokud musí řidič během navádění zasáhnout do řízení tak mu překáží pastorek, který navádění provádí. Při zásahu do řízení u systému EZ-Pilot prostě dojde k odpojení elektromotoru a řidič může zatáčet jako u vozidla bez naváděcího systému. Společnou výhodou obou systémů je jejich přenositelnost mezi vozidly. (Trimble Agriculture, 2015), (Trimble.com)

Obrázek 23 Trimble EZ-Steer (leadingfarmers.cz)

Další možností navádění vozidla je použití automatického řízení. Toto zařízení neotáčí osou volantu, aby natočilo kola, ale přímo ovládá hydraulický ventil řízení. Montáž je rozdílná podle toho, zda je vozidlo pro používání takového systému připraveno či nikoliv. U vozidel s tovární přípravou je pouze připojeno elektronické zařízení, které impulzy ovládá natočení kol. Pokud vozidlo není připraveno, je nutné nainstalovat jiný hydraulický ventil k ovládání natáčení kol. Tato varianta je sice ze všech nejnákladnější a není přenosná mezi vozidly, avšak je uživatelsky nejpříjemnější, jelikož v kabině nepřekáží kolem volantu už vůbec nic a volant se při automatickém navádění neotáčí. (Leadingfarmers.cz, 2020)

Aby bylo možné provádět navádění, je nutné přijímat satelitní signál. K tomu slouží přijímače, které přijímají satelitní a korekční signál, který je po zpracování použit k lokalizaci vozidla a jeho navádění po zvolené trase. Konkrétní model Trimble NAV-900 je schopný přijímat signál ze satelitů GPS, GLONASS a je připraven i pro příjem signálu systému Galileo a BeiDou. Příjem signálu ale není jediný účel, který tato zařízení zastávají. Nesou uvnitř akcelerometr pro detekci pohybu vozidla a gyroskop, který měří jeho náklon. Zejména měření náklonu je důležité, jelikož je využíváno pro korekci posunu nářadí za traktorem při jízdě po svahu. (Trimble Agriculture, 2015)

6.3.4 Navigační řešení John Deere

Podobně jako společnost Trimble je i John Deere velmi známá společnost v oblasti zemědělských navigací. Mezi oběma subjekty je však rozdíl ve vývoji. Společnost Trimble od začátku vyvíjí univerzální technologii vhodnou pro použití v libovolném zemědělském stroji. Oproti tomu firma John Deere je primárně výrobce zemědělské techniky a svá navigační řešení tak navrhuje přímo na míru pro stroje vlastní výroby. Samotné stroje jsou pak také od výroby uzpůsobeny pro využívání dané navigační technologie. Díky vývoji zaměřenému na vlastní stroje je takový systém velmi uživatelsky přívětivý a velmi jednoduše je řešena přenosnost jednotlivých prvků mezi více stroji. Jelikož navigační služby John Deere chtěli využívat i zákazníci, kteří využívají zemědělskou techniku jiných výrobců, nebo starší stroje značky John Deere začali někteří prodejci experimentovat se zástavou systému i do strojů bez přípravy a strojů jiných značek. V současné době již firma John Deere přímo deklaruje, že jejich navigační systém je kompatibilní s více, než 600 stroji

starších modelových řad či konkurenčních výrobců jako je Fendt, Case, New Holland či Deutz-Fahr. (Propagační materiál John Deere-Technologie precizního zemědělství), (Osobní konzultace)

Základním prvkem navigačního řešení John Deere je v současné době přijímač signálu Starfire 6000 (Obrázek 24). Tento přijímač existuje ve dvou variantách podle požadované přesnosti navádění. První varianta využívá korekční signál SF1 a nabízí přesnost +/- 15 cm. Druhá varianta pak přijímá korekční signál SF3 a nabízí přesnost +/- 3 cm, navíc garantuje opakovatelnost tras po devíti měsících, což je důležité při pásovém zpracování půdy či mechanické kultivaci u řádkových plodin. Korekčním signálům bude dále věnována kapitola. Obě varianty nabízí příjem signálu z družic GPS a GLONASS zároveň, kompenzaci nerovností terénu a svahů. Oproti starší generaci je pak také vylepšen příjem a stabilita signálu. Neméně důležitou funkcí je zabezpečení proti krádeži prostřednictvím PIN kódu. (Strompraha.cz)

Obrázek 24 Přijímač Starfire 6000 (deere.com)

Další součástí systému jsou multifunkční ovládací displeje. Tato součást je tvořena dvěma skupinami, a sice displeji integrovanými ve strojích a přenosnými displeji. Další dělení spočívá ve velikosti plochy displeje a dostupných funkcích. Při používání navigace ve stroji John Deere je možné využívat vestavěného displeje, ale pro zvýšení produktivity je možné přidat druhý přenosný displej. Veškeré displeje jsou kompatibilní s ISOBUS rozhraním a lze tak skrze ně ovládat připojené zařízení. Primární displej může zobrazovat například provozní informace a ovládací prvky nářadí, zatímco sekundární displej zobrazuje rozhraní aplikací precizního zemědělství. Tyto funkce lze navíc mezi displeji libovolně přesouvat, takže je ovládání maximálně

uživatelsky přívětivé. Displeje navíc již v základní konfiguraci nabízejí možnost variabilního dávkování a bezdrátový přenos dat jako jsou data o obdělané ploše, výnosová data u sklízecích mlátiček a další informace. V případě potřeby lze displej updatovat čímž se zpřístupní možnost ovládání sekcí a další funkce jako například automatické otáčení stroje na souvrati, záleží zvoleném stupni aktualizace. Důležitým faktorem u přenosných displejů je jejich certifikace pro používání ve strojích bez kabiny, ta zaručuje vysokou odolnost proti vodě a prachu. Nové displeje čtvrté generace jsou stejně jako přijímač Starfire 6000 chráněny bezpečnostním PIN kódem proti krádeži. Příkladem přenosného displeje je displej 4240 (Obrázek 25). (Řešení managementu zemědělství, 2018)

Obrázek 25 Displej John Deere 4240 (deere.com)

U strojů John Deere připravených na používání navigačního systému stačí připojit přijímač a během několika okamžiků je možné pracovat. U starších či konkurenčních strojů je potřeba ještě navíc připojit displej a zařízení, které se postará o zatáčení kol tak, aby byl stroj veden rovně po zvolené řídící lince.

Jednou variantou je použití jednotky AutoTrac Universal 300 zkráceně značeno ATU 300 (Obrázek 26) což je zařízení, které se montuje místo původního volantu a při navádění pomocí elektromotoru otáčí řídící tyčí a natáčí kola dle potřeby navigace. Tato jednotka je stejně jako zbylé prvky navigačního systému jednoduše přenosná mezi různými stroji a kompletní přenos mezi stroji podle výrobce trvá méně, než 30 minut. Jednotka ATU 300 je stejně jako displeje odolná vodě a prachu, tudíž může fungovat i na strojích bez kabiny.

Obrázek 26 AutoTrac Universal 300 (deere.com)

Druhá varianta je zařízení AutoTrac Controller 300, které se instaluje do hydraulického ovládání řízení vozidla. Při použití tohoto zařízení lze dosáhnout i u vozidel bez přípravy stejný pocit z automatického navádění jako kdyby na něj vozidlo bylo připraveno z výroby. K ovládání vozidla je využíván původní volant a je zachován původní vzhled interiéru kabiny. Nevýhodou této varianty je nemožnost rychlého přenosu na jiný stroj. (Caes, 2020), (Řešení managementu zemědělství, 2018), (Technologie precizního zemědělství John Deere, 2019)

Závěr

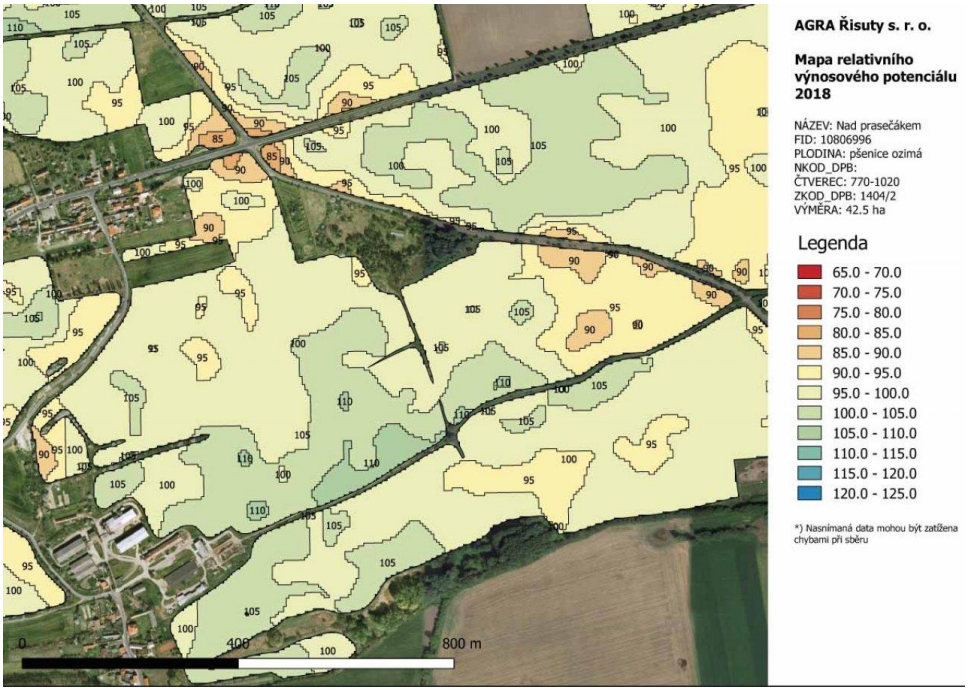
Cílem práce bylo seznámení s metodami a postupy využívanými při zjišťování variability pozemku a porostu v oblasti precizního zemědělství. Metody zjišťování variability odběrem vzorků lze považovat za nepoužitelné v praxi, jelikož laboratorní rozbory vzorků jsou velmi drahé a tedy je odebíráno malé množství vzorků vzhledem ke zkoumané ploše. Naproti tomu zjišťování pozemkové variability pomocí on-the-go senzorů je výborná varianta jelikož, je možné měření provádět ve velmi husté síti a poměrně rychle při zachování velmi přesných výstupních dat. Na trhu jsem se setkal s prováděním takovýchto měření formou služby, což minimalizuje problém vysoké pořizovací ceny potřebných senzorů. Využití senzorů pro měření variability porostu jako je například Yara N-Sensor či Isaria Copsensor podle informací ze zemědělských podniků přináší značné úspory a vysoká pořizovací cena technologie je rychle návratná. Senzory pro variabilní ochranu rostlin ještě potřebují značný vývoj, jelikož identifikace plevelné rostliny je jednoduchá v řádkových plodinách jako je kukuřice, ale například v pšenici už jde o těžký úkol.

Metody dálkového průzkumu země slibují levné identifikování variability porostů a lákají mnoho zemědělců. Nesou si s sebou však jeden hlavní problém, i když v současné době družice přelétají poměrně často, stále to není dost často a atmosférickým vlivům nelze zabránit. Tudíž se může stát, že zemědělec nedostane dostatečně kvalitní snímky včas a nemůže tak podle nich provést variabilní aplikaci. On-the-go senzory montované na traktor jsou zkrátka výrazně flexibilnější.

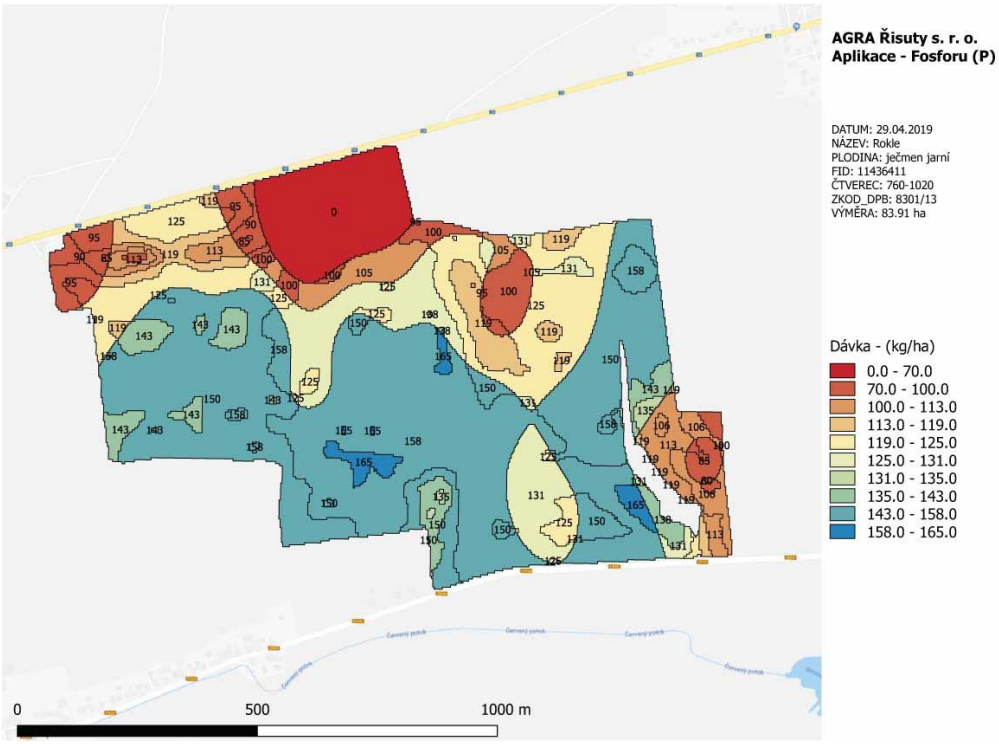
Při získávání informací jsem se setkal se značným množstvím odborníků z praxe ať už s obsluhami, či s prodejci zemědělské techniky. Dost často jsem se setkával s podobnými problémy a reakcemi. Značná část lidí pracujících v zemědělství patří do starší generace a nové technologie buď odmítají používat, nebo se s novinkami těžko seznamují. Z toho důvodu musí být kladen při vývoji nových technologií důraz zejména na jednoduchost jejich funkce a ovládání.

Sám do budoucna vidím velký potenciál v nových systémech online správy farmy, které jsou založeny na získávání, sdílení a používání informací ze strojů v reálném čase.

Obrazová příloha



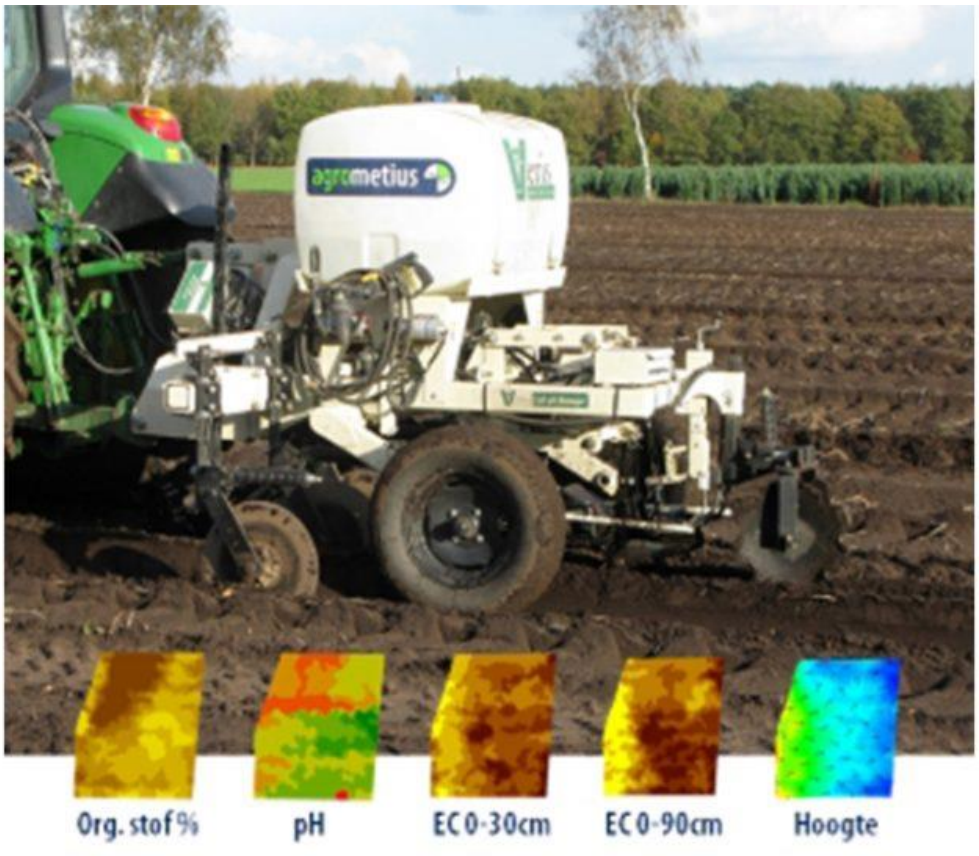
Obrázek 27 Mapa relativního výnosového potenciálu pro použití v precizním zemědělství (agromanual.cz)



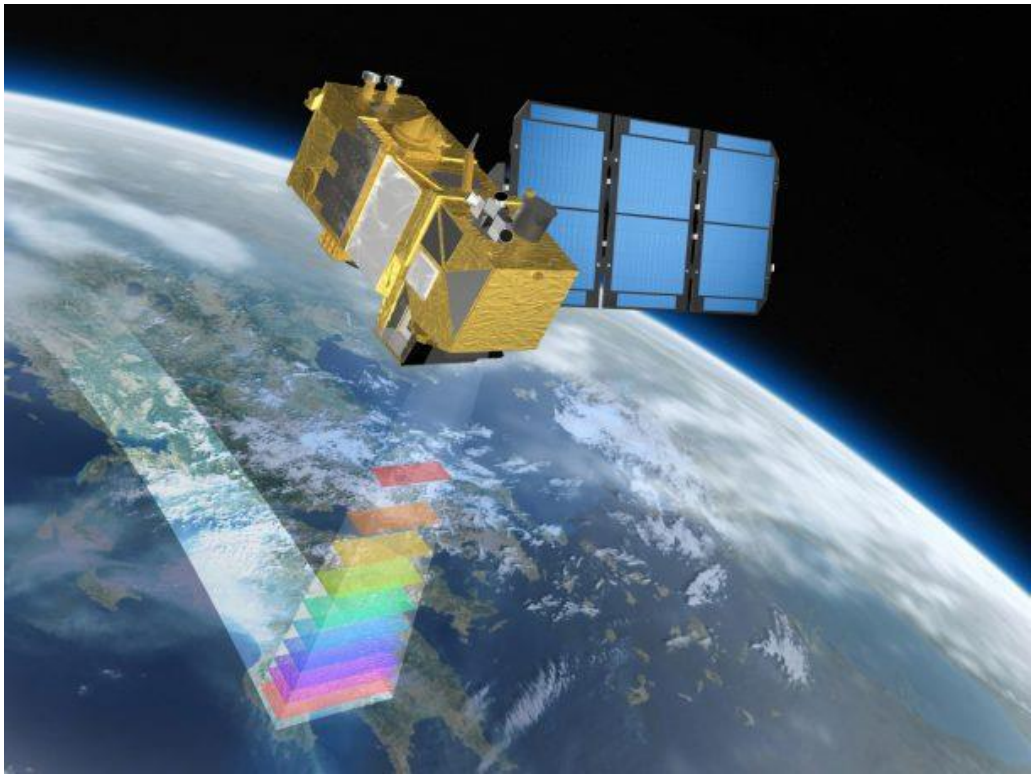
Obrázek 28 Mapa variabilní aplikace hnojiva (agromanual.cz)

Obrázek 29 Pomůcky pro odběr půdních vzorků (pedologicky-pruzkum.cz)

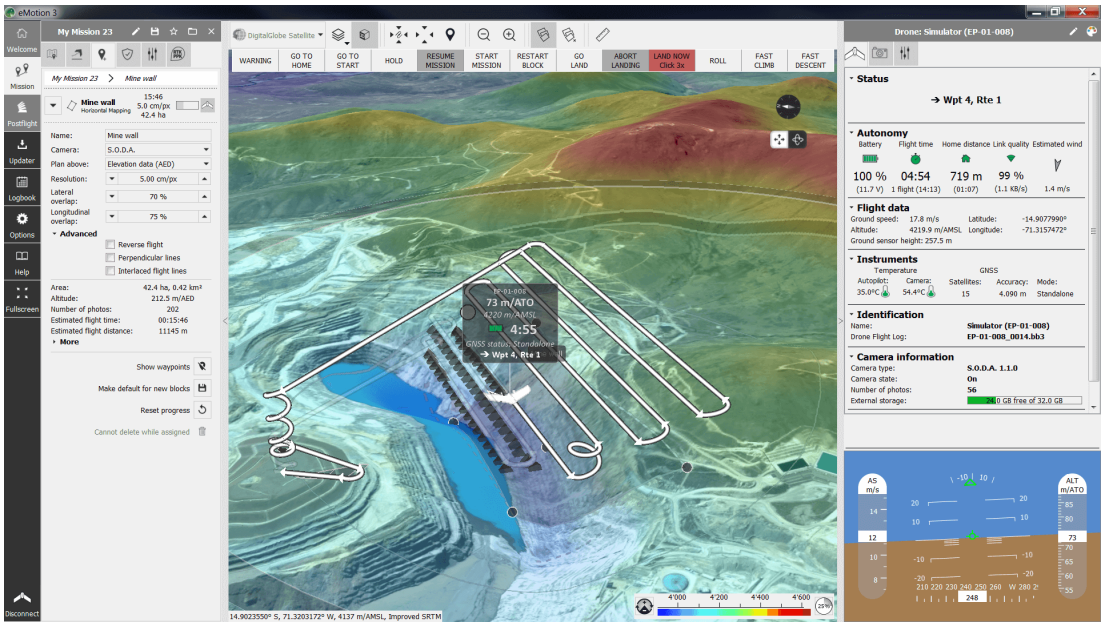
Obrázek 30 Mapování elektrické vodivosti půdy (veristech.com)



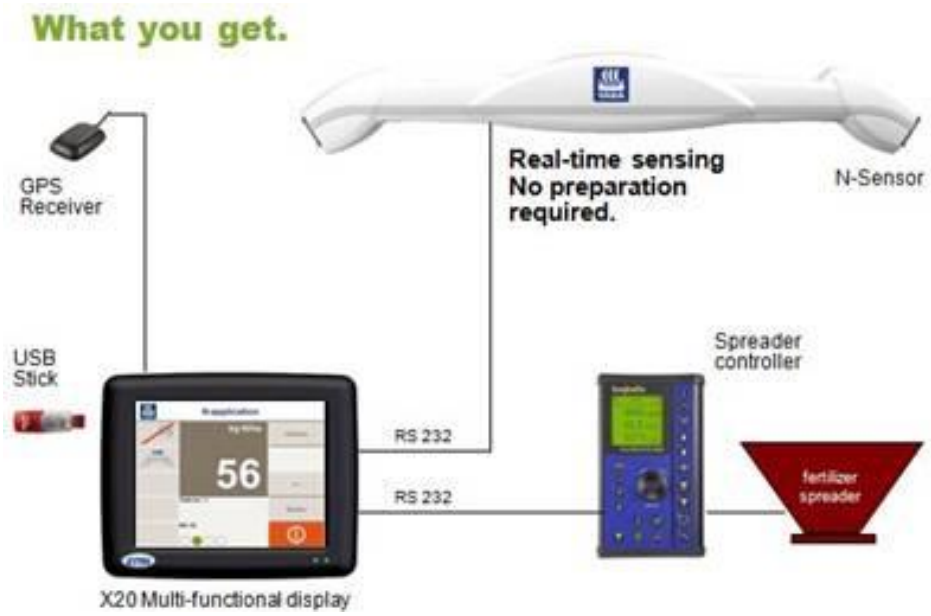
Obrázek 31 Přístroj pro měření elektrické vodivosti, podílu organické hmoty a pH v jednom přejezdu (vantage-agrometius.nl)



Obrázek 32 Dálkový průzkum Země multispektrálními senzory (mechanizaceweb.cz)



Obrázek 33 Trasa letu mapovacího dronu nad pozemkem (sensefly.com)



Obrázek 34 Schéma funkce N- Senzoru (cropservice.co.uk)

Obrázek 35 Systém variabilního hnojení CropXplorer (Agrotec)

Obrázek 36 Rozmetadlo minerálních hnojiv s možností úpravy záběru (vlastní foto)

Obrázek 37 Ovládací terminál Topcon- zobrazení sekčního rozhozu a hrazení pro okrajové jízdy (vlastní foto)

Obrázek 38 Zástavba automatického navádění Topcon do traktoru bez tovární přípravy (vlastní foto)

Seznam použité literatury

1. *ActiveYield: Operation and adjustment* [online], 2018. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: https://www.deere.com/assets/pdfs/common/parts-and-service/manuals-training/Active-Yield.pdf
2. AGRI-PRECISION S.R.O., 2016. *Tabletová navigace eFarmer* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.agroportal24h.cz/clanky/tabletova-navigace-efarmer
3. *Agropodnikhk.cz* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: http://www.agropodnikhk.cz/files/sluzby/111.jpg
4. *Agrotec* [online], [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.eagrotec.cz/getattachment/0afe4dcf-3646-4b86-b78c-347037d01782/N-senzory-ISARIA.aspx
5. ALLEY, Mark, Robert GRISSO, Phil MCCLELLAN a Steven PHILLIPS, 2009. *Interpreting Yield Maps – "I gotta yield map- now what?"*.
6. BOGNÁR, Péter, Csaba FERENCZ, Daniel HAMAR a János LICHTENGERGER, 2004. Crop yield estimation by satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. DOI: 10.1080/01431160410001698870.
7. BRECHT, 2018. *Remote Sensing Indices* [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://medium.com/regen-network/remote-sensing-indices-389153e3d947
8. CAES, Laurel, 2020. *John Deere AutoTrac Controller 300 Expands Automated Steering to More AG Machines* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.deere.com/en/our-company/news-and-announcements/news-releases/2020/agriculture/2020feb11-autotrac-controller-300/
9. *Collgs.cz* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://collgs.czechspaceportal.cz/files/files/klimova/8(1).png
10. CollGS, 2020. *CollGS Data z družic Sentinel v ČR* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy ČR [cit. 2020-01-24]. Dostupné z: https://collgs.czechspaceportal.cz/vyuziti-dalkoveho-pruzkumu-zeme/

11. Copernicus, 2016. *Copernicus v České republice* [online]. Praha: Cenia [cit. 2020-01-24]. Dostupné z: http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace-a-princip-dpz
12. *Cropservices.co.uk* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: http://www.cropservicesltd.co.uk/index.php?page=n-sensor
13. DRIML, Tomáš, 2019. *Službu My Data Plant používají velké i malé podniky. Jak jsou spokojené?* [online]. 16.7.2019 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/sluzbu-my-data-plant-pouzivaji-velke-i-male-podniky-jak-jsou-spokojene
14. Deere & Company 2018. Řešení managementu zemědělství
15. Deere & Company 2019. Technologie precizního zemědělství
16. *Deere.com* [online], [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/starfire-6000-receiver-with-sf3/?panel=harvest
17. *Deere.com* [online], [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/4240-universal-display/?panel=harvest
18. *Deere.com* [online], [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://atu300.deere.com/cs_CZ
19. *E- Agriculture in action: Drones in agriculture*, 2018. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 978-92-5-130246-0.
20. *Earthdata* [online], 2020. Washington, D.C., USA: NASA [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensing
21. EGMOND, Fenny, Eddie LOONSTRA, Jonah LIMBURG a Raphael ROSSEL, 2010. *Gamma Ray Sensor for Topsoil Mapping: The Mole*. DOI: 10.1007/978-90-481-8859-8_27.
22. *Esa.int* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Czech_Republic/Tymy_zajistujici_pripravu_druzice_Sentinel-2_jsou_pripraveny
23. *Esa.int* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Czech_Republic/Tymy_zajistujici_pripravu_druzice_Sentinel-2_jsou_pripraveny

24. *European GNSS service centre* [online], [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://www.gsc-europa.eu/galileo/what-is-galileo
25. *Focus: Crop sensing for nitrogen management*, 2013. Foundation for arable research. ISSN 1175-5504.
26. GEBBERS, Robin, 2014. Current Crop and Soil Sensors for Precision Agriculture. *ConBAP 2014, At Sao Pedro, SP, Brazil*. DOI: 10.13140/2.1.4038.2244.
27. *Gfinstruments.cz* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: http://www.gfinstruments.cz/version_cz/index.php?menu=gi&smenu=iem&cont=cmd_&ear=ov_cz
28. *Gisat* [online], 2017. Praha: Gisat [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data/objednani-dat/zakladni-pojmy/prostorove-geometricke-rozliseni
29. *Glonass* [online], [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://www.globalsecurity.org/space/world/russia/glonass.htm
30. GRISSO, Robert, Mark ALLEY a Conrad HEATWOLE, 2009. *Precision Farming Tools: Global Positioning System (GPS)*.
31. GRISSO, Robert, Mark ALLEY a Phil MCCLELLAN, 2009. *Precision Farming Tools: Yield Monitor*.
32. *How does DGPS Work* [online], 2018. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://racelogic.support/01VBOX_Automotive/01General_Information/Knowledge_Base/How_Does_DGPS_(Differential_GPS)_Work%3F
33. CHABOT, Alain, 2017. *Deployment of the GLONASS constellation* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: http://www.russianspaceweb.com/glonass_deployment.html
34. CHIVERS, Morag, *Differential GPS Explained* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html
35. IoT Cluster, 2016. *IoT Cluster* [online]. Frýdek Místek: Solidus tech [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: https://www.iotcluster.cz/vyuziti-metody-ndvi-snimkovani-zemedelskych-kultur-v-presnem-zemedelstvi/
36. *Isaria crop sensor* [online], [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.claas.jp/blueprint/servlet/blob/1655272/6576fd074660ea546177767396d0ecc3/320022-23-dataRaw.pdf

37. JAVŮREK, Miroslav a Milan VACH, 2008. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha 6: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 978-80-87011-57-7.
38. JENSEN, Jeremy, 2020. Agricultural Drones: How Drones Are Revolutionizing Agriculture and How to Break into this Booming Market. *Uav Coach* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: https://uavcoach.com/agricultural-drones/
39. JONES, Andrew, 2020. *China to complete its answer to GPS with Beidou navigation satellite launches in March, May* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://spacenews.com/china-to-complete-its-answer-to-gps-with-beidou-navigation-satellite-launches-in-march-may/
40. KARAS, Jakub, 2019. Povinná registrace a další novinky. Co přináší nová evropská regulace dronů? *Lupa.cz* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: https://www.lupa.cz/clanky/povinna-registrace-a-dalsi-novinky-co-prinasi-nova-evropska-regulace-dronu/
41. KILIÁN, Karel, 2018. *Satelitní určování polohy už dávno neznamená jen GPS. Konkurence roste na všech frontách* [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.zive.cz/clanky/satelitni-urcovani-polohy-uz-davno-neznamena-jen-gps-konkurence-roste-na-vsech-frontach/sc-3-a-196492/default.aspx
42. KŘEPELKA, Jiří, 2012. GPS navigace a udržitelné zemědělství. *Zemědělec* [online]. Praha 2: Profi Press [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.zemedelec.cz/gps-navigace-a-udrzitelne-zemedelstvi-2/
43. KŘEPELKA, Jiří, 2010. Mapování variability pozemku. *Zemědělec* [online]. Praha 2: Profi Press [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/14/
44. KŘEPELKA, Jiří, 2010. Precizní zemědělství a jeho přínosy. *Zemědělec* [online]. Praha 2: Profi Press [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.zemedelec.cz/precizni-zemedelstvi-a-jeho-prinosy/15/

45. KŘEPELKA, Jiří, 2012. Senzory pro měření půdních vlastností. *Zemědělec* [online]. Praha 2: Profi Press [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti-2/
46. KŘEPELKA, Jiří, 2012. *Navigační systémy 21. století v praxi* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.zemedelec.cz/navigacni-systemy-21-stoleti-v-praxi/
47. KULOVANÁ, Eliška, 2002. *Mapování výnosů u sklízecích mlátiček jako součást precizního zemědělství* [online]. Profi Press, 20.5.2002 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: https://www.mechanizaceweb.cz/mapovani-vynosu-u-sklizecich-mlaticek-jako-soucast-precizniho-zemedelstvi/
48. *Leadingfarmers.cz* [online], 2020. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.leadingfarmers.cz/shop/gps-navigacni-systemy/automaticke-rizeni
49. *Leading Farmers* [online], 2020. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.leadingfarmers.cz/shop/n-sensory-a-n-tester
50. *Leadingfarmers.cz* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://legacy.leadingfarmers.cz/shared/shopX/agreto_penetrometr.jpg
51. *Leadingfarmers.cz* [online], [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/ez-guide-250-s-antenou-patch/3
52. *Leadingfarmers.cz* [online], [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/ez-steer-pro-ez-guide-250-a-500/4
53. LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN, 2011. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-562-1.
54. LUKAS, Vojtěch, 2015. *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-311-0.
55. LUKAS, Vojtěch a Lubomír NEUDERT, 2016. *Senzorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů*. Brno: Karmášek. ISBN ISBN 978-80-7509-460-5.
56. *Mechanizaceweb.cz* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.mechanizaceweb.cz/dalkovy-pruzkum-zeme/

57. *Mechanizaceweb.cz* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.mechanizaceweb.cz/wp-content/uploads/sites/5/2017/09/Masek-3-1024x508.jpg
58. Mouser electronics, 2020. *Mouser elektronics* [online]. Brno: Mouser Electronics [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/applications/smart-agriculture-sensors/
59. *Natural Resources Canada* [online], 2015. Kanada: Canada [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/microwave-remote-sensing/airborne-versus-spaceborne-radars/9397
60. PADILLA, Francisco, Marisa GALLARDO, Teresa PENA-FLEITAS, Romina DE SOUZA a Rodney THOMPSON, 2018. *Proximal Optical Sensors for Nitrogen Management of Vegetable Crops: A Review*. DOI: 10.3390/s18072083.
61. PFOST, Donald, William CASADY a Kent SHANNON, 1998. *Precision Agriculture: Global Positioning System (GPS)* [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://extension2.missouri.edu/wq452
62. REISER, David, Javier LÓPEZ, Emir MEMIC, Manuel ARELLANO, Steffen BRANDNER a Hans GRIEPENTROG, 2017. 3D Imaging with a Sonar Sensor and an Automated3-Axes Frame for Selective Spraying inControlled Conditions. *Journal of imaging*. 2017(3). DOI: 10.3390.
63. REYNS, P., B. MISSOTTEN, H. RAMON a J. DE BAERDEMAEKER, 2002. A Review of Combine Sensors for Precision Farming. *Precision agriculture*. 169-182.
64. *Rimik.com* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.rimik.com/wp-content/uploads/2019/06/RIMIK-Cone-Penetrometer-CP40II-350px.jpg
65. *Sensefly.com* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/
66. SHAFI, Uferah, Rafia MUMTAZ, José GARCÍA-NIETO, Syed Ali HASSAN, Syed Aly RAZA ZAIDI a Naveed IQBAL, 2019. *Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications*.

67. SKALICKÝ, Vladimír, 2004. Využití systému určování polohy. *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha 2: Profi Press [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: https://www.mechanizaceweb.cz/vyuziti-systemu-urcovani-polohy/
68. SKALICKÝ, Vladimír, 2004. *Vývojové směry v zemědělství* [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.mechanizaceweb.cz/vyvojove-smery-v-zemedelstvi/
69. SOUČEK, Ondřej, 2020. *Zbylé satelity na oběžnou dráhu vyšleme ještě letos, věří Střelcová a Lopour z programu Galileo Více na https://www.e15.cz/byznys/technologie-a-media/zbyle-satelity-na-obeznou-drahu-vysleme-jeste-letos-veri-strelcova-a-lopour-z-programu-galileo-1366637* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://www.e15.cz/byznys/technologie-a-media/zbyle-satelity-na-obeznou-drahu-vysleme-jeste-letos-veri-strelcova-a-lopour-z-programu-galileo-1366637
70. SRINIVASAN, Ancha, 2006. *Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications*. Binghamton, New York: Food Products Press. ISBN 978-1-56022-954-4.
71. STEHNO, Luboš, 2017. Snímky z družic a dronů jako nástroj pro management zemědělských podniků. *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha: Profi Press [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: https://www.mechanizaceweb.cz/snimky-z-druzic-a-dronu-jako-nastroj-pro-management-zemedelskych-podniku/
72. *Strompraha.cz* [online], [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: https://www.strompraha.cz/zemedelska-technika/ams-precizni-zemedelstvi/prijimace-a-displeje-1/prijimace-a-displeje
73. *SUAS News* [online], 2019. USA: Press [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: https://www.suasnews.com/2019/10/redtail-lidar-systems-produces-amazing-corn-maze-images/
74. *The history of Galileo* [online], [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history_en
75. TOMTOMAS, 2016. *Zemědělská navigace eFarmer – Úvod – první díl* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://tomtomas.cz/zemedelska-navigace-efarmer-uvod-prvni-dil/

76. *Trimble.com* [online], [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://agriculture.trimble.com/product/ez-pilot-assisted-steering-system/
77. *Trimble.com* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.trimble.com/Survey/ZX5.aspx
78. Trimble 2015. Trimble Agriculture
79. Trimble 2015. Trimble EZ-Guide 250
80. *Uav coach* [online], 2019. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://uavcoach.com/agricultural-drones/
81. VÁCLAVÍK, Lukáš, 2019. *Čínský navigační systém BeiDou je nejrozsáhlejší na světě. Jak si stojí oproti GPS?* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.cnews.cz/beidou-gps-glonass-galileo-pocet-satelitu
82. *Vantage-agrometius.nl* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.vantage-agrometius.nl/en/product/veris-msp3-bodemscanner/
83. *Veristech.com* [online], [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: https://www.veristech.com/system/images/W1siZiIsIjIwMTQvMDcvMTgvMTgvMDgvNTUvOTc1L1NvaWxFQy5qcGciXV0/SoilEC.jpg
84. *Veristech.com* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.veristech.com/the-sensors/q-series
85. *Využití variabilních aplikací ve společnosti Agra Řisuty s.r.o.* [online], 2019. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/vyuziti-variabilnich-aplikaci-ve-spolecnosti-agra-risuty-s-r-o
86. *Veris technologies Inc.* [online], 2014. Salina: Veris Technologies [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: http://veristech.com/the-sensors
87. *Vzorkování půd* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: http://www.pedologicky-pruzkum.cz/wp-content/uploads/VZORKOV%C3%81N%C3%8D-P%C5%AED.pdf
88. WEISS, Marie, Frederic JACOB a Gregory DUVEILLER, 2020. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote sensing of environment*. 2020(236). DOI: 10.1016/j.rse.2019.111402. ISSN 0034-4257.
89. YAMEI, Wang, 2019. *China's Beidou navigation system to provide unique services* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://www.xinhuanet.com/english/2019-12/27/c_138661877.htm

90. *Yara* [online], 2020. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/farmers-toolbox/n-sensor/
91. *Yara Water Solution* [online], 2017. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.yara.com/contentassets/c4d8f1c76f894309872f3e2ff250417e/2017-03-01-yara-water-solution-user-manual-en.pdf/
92. ŽÍŽALA, Daniel, Josef KRÁSA a, 2016. *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země*. Praha: Powerpoint. ISBN 978-80-87361-63-4.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Využití v praxi- N-Senzor (agropodnikhk.cz) 11

Obrázek 2 Mapa výnosového potenciálu (mechanizaceweb.cz).....12

Obrázek 3 Mapa stejného pozemku vytvořená metodami IDW a Kriging. (Lukas, 2015).....16

Obrázek 4 Přístroj pro měření elektrické vodivosti půdy Veris 3150 (veristech.com) 18

Obrázek 5 Přístroj CMD Explorer pro měření elektrické vodivosti půdy (gfinstruments.cz) 20

Obrázek 6 Penetrometr s GPS (rimik.com) 21

Obrázek 7 Jednoduchý penetrometr (leadingfarmers.cz) 21

Obrázek 8 Mapa obsahu jílu v půdě (collgs.cz).....24

Obrázek 9 Družice Sentinel 2 (Esa, 2017).....27

Obrázek 10 Letecké snímkování (Natural Resources Canada, 2015) 28

Obrázek 11 Družicové snímkování (Natural Resources Canada, 2015) 28

Obrázek 12 Trimble ZX5 (trimble.com) 29

Obrázek 13 eBee Classic (sensefly.com).....30

Obrázek 14 Crop Meter (Lukas, 2015).....33

Obrázek 15 Senzor obsahu vody v listu (Yara Water Solution, 2017) 34

Obrázek 16 Rozdíl v odrazivosti zdravého a stresovaného listu (Focus, 2013) 35

Obrázek 17 Yara N-Sensor (Leading Farmers, 2020).....36

Obrázek 18 Yara N-Sensor ALS (Leading Farmers, 2020).....36

Obrázek 19 Cropxplorer (Agrotec) 37

Obrázek 20 Tenzometrické váhy systému John Deere ActiveYield (ActiveYield, 2018) 41

Obrázek 21 Navigace eFarmer (Agri-Precision s.r.o., 2016) 48

Obrázek 22 Trimble EZ-Guide 250 (leadingfarmers.cz).....49

Obrázek 23 Trimble EZ-Steer (leadingfarmers.cz).....49

Obrázek 24 Přijímač Starfire 6000 (deere.com) 51

Obrázek 25 Displej John Deere 4240 (deere.com) 52

Obrázek 26 AutoTrac Universal 300 (deere.com) 53

Obrázek 27 Mapa relativního výnosového potenciálu pro použití v precizním zemědělství (agromanual.cz).....55

Obrázek 28 Mapa variabilní aplikace hnojiva (agromanual.cz) 55

Obrázek 29 Pomůcky pro odběr půdních vzorků (pedologicky-pruzkum.cz)56

Obrázek 30 Mapování elektrické vodivosti půdy (veristech.com) 56

Obrázek 31 Přístroj pro měření elektrické vodivosti, podílu organické hmoty a pH v jednom přejezdu (vantage-agrometius.nl) 57

Obrázek 32 Dálkový průzkum Země multispektrálními senzory (mechanizaceweb.cz) 57

Obrázek 33 Trasa letu mapovacího dronu nad pozemkem (sensefly.com) 58

Obrázek 34 Schéma funkce N- Senzoru (cropservice.co.uk) 58

Obrázek 35 Systém variabilního hnojení CropXplorer (Agrotec) 59

Obrázek 36 Rozmetadlo minerálních hnojiv s možností úpravy záběru (vlastní foto).....59

Obrázek 37 Ovládací terminál Topcon- zobrazení sekčního rozhozu a hrazení pro okrajové jízdy (vlastní foto) 60

Obrázek 38 Zástavba automatického navádění Topcon do traktoru bez tovární přípravy (vlastní foto) 60