



**Vyhodnocení heterogenity výnosu plodin a ověření
senzorového systému pro variabilní aplikaci hnojiv**
Diplomová práce

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

Vypracoval:
Bc. Jiří Mezera



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Jiří Mezera**
Studijní program: Fytotechnika
Obor: Fytotechnika
Název tématu: **Vyhodnocení heterogenity výnosu plodin a ověření sensorového systému pro variabilní aplikaci hnojiv**
Rozsah práce: 45 – 50 str.

Zásady pro vypracování:

1. Prostudovat odbornou literaturu k dané problematice a zpracovat literární rešerši
2. Seznámit se s postupy sběru dat, hodnocení heterogenity výnosu plodin a technologiemi variabilní aplikace hnojiv na základě sensorového měření porostu.
3. Zpracovat v GIS dostupné podklady ze zemědělského podniku v podobě agronomické evidence, výsledků mapování výnosů plodin, sensorového měření porostu, dat dálkového průzkumu a dalších záznamů.
4. Statisticky vyhodnotit efektivnost online sensorového systému pro variabilní přihnojování porostů ve vztahu k heterogenitě dosahovaného výnosu jednotlivých pozemků.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci „Vyhodnocení heterogenity výnosu plodin a ověření senzorového systému pro variabilní aplikaci hnojiv“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 25.4.2017

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Pro zpracování diplomové práce byly využity dílčí výsledky řešení výzkumného projektu NAZV QJ1610289 "Optimalizace využití produkčního potenciálu půdy lokálně cílenou agrotechnikou". Data z polních experimentů byla získána ve spolupráci se zemědělským podnikem SALIX MORAVA a.s. a společností Spearhead Czech s.r.o.

Dále děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchu Lukasovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování této diplomové práce.

ABSTRAKT

V teoretické části diplomové práce jsou shrnuty základní poznatky o precizním zemědělství, monitorování stavu půdy, dále o mapování výnosu a stavu porostů. Praktická část práce se zabývá vyhodnocením heterogenity výnosu, tvorbou výnosových map a ověřením online sensorového systému Isaria pro variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv. Metodika práce byla založena na sběru dat ze sensorového systému Isaria a výnosových dat sklízecími mlátičkami na pozemcích střediska Zdounky společnosti SALIX MORAVA a.s. v průběhu roku 2016. Dostupné podklady byly zpracovány pomocí nástrojů v geografických informačních systémech a následně vzájemně statisticky porovnány včetně podkladových map výnosového potenciálu a družicových dat dálkového průzkumu Země. Významnost závislostí výše uvedených faktorů byla hodnocena pomocí korelační analýzy a lineární regrese. Z výsledků je patrné, že mezi veličinami byly zjištěny různě silné závislosti.

Klíčová slova: precizní zemědělství, sensorové snímání, variabilní hnojení, výnos, zpracování výnosových dat, výnosové mapy

ABSTRACT

In the theoretical part of this thesis there is summarized basic knowledge about precision agriculture, soil condition monitoring, mapping yield and state of vegetation. The practical part deals with evaluation of yield heterogeneity, creating yield maps, and verification of Isaria online sensor system for variable application of nitrogen fertilizers. The methodology of the work was based on the collection of data from the Isaria sensor system and the yield data from combine harvesters on the land of Zdounky center of SALIX MORAVA a.s. during 2016. The available documents were processed using tools in geographic information systems and then statistically compared to each other, including the underlying maps of the yield potential and satellite data of remote sensing. The significance of dependencies of the above mentioned factors was evaluated by correlation analysis and linear regression. The results show that the varying degrees of dependence were found between variables.

Key words: precision agriculture, sensor sensing, variable fertilization, yield, yield data processing, yield maps

OBSAH

1 ÚVOD	8
2 LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
2.1 Precizní zemědělství	9
2.1.1 Variabilita pozemků	10
2.2 Monitorování stavu půdy	11
2.2.1 Dostupné mapové podklady	11
2.2.2 Půdní vzorkování	12
2.2.3 Mapování s využitím senzorové techniky	12
2.2.4 Dálkový průzkum	15
2.3 Mapování výnosů	15
2.3.1 Mapování výnosů zrnin	15
2.4 Mapování stavu porostů	21
2.4.1 Spektrální projevy rostlin	21
2.4.2 Vegetační indexy	23
2.4.3 Přímé metody mapování stavu porostů	24
2.4.4 Kontaktní metody mapování stavu porostů	25
2.4.5 Bezkontaktní metody mapování stavu porostů	26
2.5 Variabilní aplikace hnojiv	33
2.5.1 Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv na základě vegetačních indexů	34
3 CÍL PRÁCE	35
4 METODIKA VÝZKUMU	36
4.1 Klimatické a půdní podmínky zkoumané lokality	36
4.2 Aplikace dusíku	39
4.2.1 Vlastní aplikace	39
4.2.2 Zpracování dat a tvorba map	40
4.3 Dálkový průzkum Země	44
4.4 Výnosový potenciál	45
4.5 Sběr výnosových dat	46
4.5.1 Zpracování výnosových dat	47
5 VÝSLEDKY	53
5.1 Popisné statistiky a charakteristiky	53
5.1.1 Produkční hnojení	53

5.1.2	Kvalitativní hnojení.....	57
5.1.3	Výnos	61
5.2	Statistické zpracování dat	63
5.2.1	Korelační analýza.....	63
5.2.2	Lineární regrese	64
5.3	Vyhodnocení relativních rozdílů	66
6	DISKUSE	71
7	ZÁVĚR.....	74
8	LITERATURA	76
9	SEZNAM TABULEK	81
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
11	PŘÍLOHY	85

1 ÚVOD

Zemědělství je jedním z faktorů ovlivňujících životní prostředí, proto se hledá cesta jak přizpůsobit systémy hospodaření na půdě tak, aby splňovaly požadavky trvalé udržitelnosti. K tomu mohou posloužit ekologicky šetrnější zemědělské technologie s nižšími nároky na energii a neobnovitelné přírodní zdroje. Jednou z možností je aplikace precizního zemědělství, které je dlouhodobě považováno za základ budoucího vývoje hospodaření na půdě.

Precizní zemědělství je rychle se rozvíjející oblast současného zemědělství využívající mnohé prvky moderních informačních technologií. Snaží se využívat podrobné, prostorově orientované a lokálně specifické informace o půdě a rostlinách k optimalizaci vstupů, které podporují produktivitu plodin. Optimalizace zemědělských vstupů může zlepšit ekonomickou efektivnost a snižovat riziko introdukce nežádoucích látek do životního prostředí.

Mezi nejvýznamnější úrodotvorné prvky při pěstování obilnin patří dusík. Aplikace dusíkatých hnojiv je diskutovaným problémem jak z hlediska environmentálního, tak z hlediska ekonomického, jelikož ceny hnojiv za posledních dvacet let mnohonásobně vzrostly. Řešení otázky racionálního hospodaření s dusíkem je variabilní aplikace dusíkatých hnojiv na základě konkrétních půdních podmínek a stavu porostu. V současné praxi existují postupy doplňování dusíku, které se opírají o bezkontaktní snímání porostu na základě satelitních, leteckých nebo pozemních platform dálkového průzkumu Země (DPZ). Vzhledem k dostupnosti a investiční náročnosti jsou v praxi nejrozšířenější systémy pozemní platformy, tedy senzory instalované na aplikačních strojích. Tyto systémy využívají informace o odrazivosti vlnových délek světla, které korelují s významnými parametry porostu jako např. s indexem listové plochy, obsahem chlorofylu, plošným obsahem dusíku apod. Stanovení potřebné dávky a její nastavení v aplikačním zařízení bývalo provedeno pouze na základě aktuálních informací získaných z porostu. Efektivnost využití aplikovaných hnojiv v kontextu produkčního potenciálu půdy a rostliny však ovlivňují i další parametry jako výnosový potenciál, vlastnosti půdy a porostu, klimatické poměry a další. Technické řešení nabízející průběžné snímání stavu porostu v kombinaci s informacemi o výnosovém potenciálu půdy na příslušných částech pozemku představila firma Fritzmeier pod obchodním názvem Isaria.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství představuje způsob hospodaření, který zohledňuje variabilitu pozemků a přizpůsobuje jí pěstební zásahy (Neudert, Lukas et al., 2015).

Precizní zemědělství je mezinárodně uznávaný název pro způsoby hospodaření využívající nových technologií, které se rozvíjí již od konce osmdesátých a začátku devadesátých let dvacátého století. Rozvoj byl umožněn díky nástupu výpočetní techniky a vývoji moderních technologií jako jsou globální navigační satelitní systémy a senzorová technika, díky kterým byla umožněna identifikace a lokalizace rozdílů v rámci pozemku. Od doby, kdy došlo k povolení použití globálního polohového systému (dále jen GPS) pro civilní použití, získalo precizní zemědělství nové možnosti a rozvíjí se neustále rok co rok (Gnip, Charvát, 2003; Neudert, Lukas et al., 2015).

Pro tradiční hospodaření je základní jednotkou agrosystému pozemek (pole), který je považován za homogenní. Precizní zemědělství díky novým technologiím vyžívá heterogenitu půdních podmínek v rámci pozemků a hospodaření je poté uzpůsobeno pro malé plochy v rámci polí. Pro využití precizního zemědělství je právě nevyrovnanost pozemků s lokálními rozdíly základním předpokladem pro využití těchto technologií, jelikož relativně vyrovnané pozemky není nutné obhospodařovat diferencovaně, ale lze u nich použít tradiční celoplošně uniformní přístup (Neudert, Lukas et al., 2015).

K diferencovanému provádění pěstebních operací, jako např. variabilní aplikace hnojiv a pesticidů, je nutné znát základní vstupní informaci, a to je znalost variability určitého agronomicky významného znaku např. zásoba živin v půdě, utužení půdy, zaplevelení, rozdíly ve stavu porostů polních plodin v rámci pozemků (polí) a další. Rozdíly jsou zjišťovány senzory, mapováním půdy, porostů a výnosů. Právě často používaným ukazatelem heterogenity pozemků bývá rozdílná úroveň dosaženého výnosu plodiny, kterou získáme z výnosových map. Precizní zemědělství má za hlavní cíl přizpůsobení pěstebních operací aktuálním podmínkám stanoviště a následné provádění pěstebních zásahů na správném místě, ve správný čas a se správnou intenzitou (Lukas et al., 2011b).

V precizním zemědělství je identifikace variability prvním a hlavním krokem, neboť nelze při hospodaření zohlednit variabilitu, pokud ji neznáme (Pierce et al., 1999).

2.1.1 Variabilita pozemků

Variabilitu pozemků můžeme rozdělit jako variabilitu prostorovou a variabilitu časovou. Prostorová variabilita spočívá v rozdílných půdních vlastnostech v různých částech pozemku. Příkladem může být difference ve výnosech v rámci jedné plodiny na pozemku nebo utužení půdy. Příčinou může být heterogenita půdního prostředí, rozdílná intenzita obhospodařování nebo biotické škodlivé faktory. Časová variabilita se naproti tomu projevuje ročníkovými diferencemi v půdních vlastnostech a charakteristikách. Příčinou zpravidla bývá průběh povětrnostních podmínek, který tak může výrazně ovlivnit vývoj sledovaného jevu. Příkladem může být množství nadzemní biomasy nebo úroveň napadení škodlivými organismy (Lukas et al., 2011b; Lukas, 2010).

Oba druhy variability se vzájemně prolínají. Různé ukazatele vykazují rozdílnou úroveň prostorové a časové variability. Například obsah mineralizovatelného dusíku v půdě je vysoce dynamickou veličinou, naproti tomu zrnitost půdy je v krátké době veličinou relativně neměnnou. Významem druhu a vlivu variability se zabývali Pierce et al. (1999), kteří udávají, že čím vyšší je prostorová závislost obhospodařované půdní vlastnosti, tím vyšší je pak potenciál precizního způsobu hospodaření. Problematiku prostorové variability lze v současné době považovat za zvládnutou a v praxi použitelnou, zatímco zohlednění časové variability je zatím ve fázi výzkumu. Důsledky nehomogenity stanoviště mohou být patrné pouhým okem na porost, ale nejvýrazněji se projeví na výnose plodiny (Lukas et al., 2011b).

Variabilita příslušných prostorových parametrů se nejčastěji zjišťuje půdním vzorkováním v předem definované síti odběrových bodů nebo se potřebné informace zjišťují pomocí různých senzorů (některé z nich pracují v reálném čase a umožňují okamžitou reakci na zjištěné údaje). Další možností je snímkování porostů a půdy nebo celoplošné mapování (např. dálkový průzkum). Na základě těchto dat jsou vytvářeny mapující snímky příslušných parametrů a následně aplikační mapy opatření (Lukas, 2010).

Cílem precizního zemědělství je zlepšit produkční účinnost cíleným ošetřením plodiny podle podmínek existujících na specifických zónách polí. Informační technologie umožňují získat maximum informací o těchto zónách a následně přesně aplikovat vstupy podle individuálních charakteristik jednotlivých zón. Optimalizace vstupů (výsevky, dávky hnojiv, aplikace pesticidů) přitom může zlepšit ekonomický výsledek a redukovat riziko zvyšování nežádoucích látek v prostředí. Vyžaduje to

rozdělení jednotlivých polí na zóny pro relativně homogenní vlastnosti obhospodařování. Tyto zóny potom mohou být ošetřeny vzájemně odlišně (Vaněk et al., 2003).

2.2 Monitorování stavu půdy

Variabilitu půdních podmínek zapříčiňuje celá řada faktorů, jejichž vliv se mění s ohledem na prostorové měřítko sledování. V regionálním měřítku převažuje vliv klimatických faktorů, způsob využití půdy, vegetační pokryv a charakteristiky krajiny. Na úrovni pole je to půdní typ, reliéf terénu, předplodina a způsob předchozího hospodaření. Dalšími ovlivňujícími faktory mohou být technologie zpracování půdy, stupeň utužení půdy, směr řádků a způsob aplikace živin.

Mapování prostorové variability půdy se provádí u těch půdních vlastností, jejichž znalost je nutná pro agronomické rozhodování. Jedná se nejčastěji o půdní vlastnosti pro korekci hnojení (obsah živin v půdě), vápnění půd, příp. ovlivňující zpracování půdy (fyzikální vlastnosti půdy). Při pohledu na množství materiálních vstupů umožňuje právě oblast výživy a hnojení rostlin dosažení nejvyšších přínosů (Lukas et al., 2011b).

2.2.1 Dostupné mapové podklady

K základním zdrojům informací o prostorové variabilitě půdy a jejich vlastnostech patří půdní mapy. Využitelnost těchto map závisí na jejich aktuálnosti, dostupné digitální podobě pro implementaci do geografických informačních systémů (GIS) a měřítku.

Základní mapové podklady o půdních vlastnostech vycházejí z „Komplexního průzkumu půd ČSSR“ z let 1961-1971. Tyto materiály se později staly základem pro vytvoření map bonitace zemědělského půdního fondu na základě BPEJ jednotek.

Registr půdy (LPIS), spravovaný Ministerstvem zemědělství, eviduje údaje o užívání pozemku. Společně s katastrem nemovitostí (KN) jsou tyto mapové podklady dostupné pro pracovníky v zemědělství přes mapovou aplikaci registru půdy pro farmáře (iLPIS) v rámci Portálu farmáře nebo formou WMS služeb. Zde lze zobrazit i celou řadu dalších podkladů s vazbou na hospodaření na půdě – např. aktuální ortofotomapu ČR, zákres aplikačních pásem Nitrátové směrnice, informace o omezení v rámci DZES (Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy), erozně ohrožené oblasti a spoustu dalších (Lukas et al., 2011b).

2.2.2 Půdní vzorkování

Od počátku šedesátých let se u nás v pravidelných cyklech provádělo agrotechnické zkoušení půd AZP. Půdní vzorkování a následné laboratorní analýzy půdních vzorků patří mezi tradiční způsob získávání informací o půdních vlastnostech. Důležitým parametrem je hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů po pozemku. Vyšší počet vzorků umožňuje detailnější mapování, ale s vyššími náklady, naopak vzorkování o nižším počtu vzorků je méně nákladné, ale nemusí zachytit všechny lokální rozdíly. V precizním zemědělství se hustota vzorkování pohybuje v rozmezí 1 vzorek na 1 – 5 ha. Hustotu vzorkování lze stanovit z rozsahu variogramu získaného náhodným vzorkováním (Neudert, Lukas et al., 2015).

Dalším důležitým parametrem je rozmístění odběrových bodů, tzv. schémat. Rozlišujeme náhodné vzorkování, které se používá pro mapování vyrovnaných pozemků s cílem zjistit průměrnou hodnotu celého pozemku, dále vzorkování v pravidelné síti, kdy není žádná nebo jen malá znalost variability v rámci pozemku a cílené vzorkování. Cílené nebo také zónové vzorkování vychází ze znalosti prostorové variability pozemku. Cílem je optimalizovat návrh odběrového schématu podle předběžně získané prostorové variability pozemku nepřímými metodami. Předpokládá se, že pozemek lze rozdělit na homogenní oblasti, které nazýváme zónami. Půdním vzorkováním je stanovena průměrná hodnota půdních vlastností uvnitř zóny, což má za následek snížení celkového počtu odběrů – v homogenních oblastech je počet nižší než v oblastech variabilnějších. Zónové vzorkování snižuje počet vzorků oproti pravidelnému nebo náhodnému vzorkování a umožňuje variabilní aplikaci hnojiv (Lukas, 2010).

Podkladem pro cílené vzorkování mohou tvořit například letecké nebo družicové snímky dané lokality, výsledky měření elektrické vodivosti půdy, znalosti topografie pozemku nebo výnosové mapy. Tímto způsobem se vhodně kombinují oba způsoby mapování (půdní vzorkování a sensorové měření) (Neudert, Lukas et al., 2015).

2.2.3 Mapování s využitím sensorové techniky

Hlavním přínosem těchto senzorů je schopnost zachytit heterogenitu půdních vlastností a případně také směřovat následující sběr dat nebo rozhodování o způsobu hospodaření. Čidla identifikují změnu sledované půdní vlastnosti nebo veličiny, která je s ní úzce spojena a kterou lze převést do elektronického záznamu. Sensorová technika umožňuje opakované měření přímo v terénu, měřit ve velkém prostorovém i časovém

měřítka, ale přesnost stanovení sledovaného jevu je vždy nižší v porovnání s přesnými laboratorními rozbory. Nižší přesnost je ale vyvážena intenzivním prostorovým pokrytím. Senzory pracují na nejrůznějším principu, v současné době jsou v praxi nejvíce rozšířené senzory elektrické, elektromagnetické a mechanické. Přístroje umožňující zjišťování informací o půdních vlastnostech během jízdy se označují jako on – the – go systémy. Sensorová technika spolu s GPS přijímačem umožňuje mapování ve velmi husté síti, díky čemuž téměř odstraňuje problém s dopočítáváním hodnot v nevzorkované části pozemku. Výhodami těchto systémů je rychlost mapování, zvýšená hustota měření a relativně nízké náklady na pořízení dat (Lukas et al., 2011b; Neudert, Lukas et al., 2015; Kroulík, 2012).

2.2.3.1 Elektrická vodivost půdy – EC

Měření měrné elektrické vodivosti půdy je v precizním zemědělství nejrozšířenější senzorickou metodou pro zjišťování plošné variability půdních podmínek. Metoda využívá geofyzikálních vlastností půdy a umožňuje rychlé, nedestruktivní a relativně přesné ohraničení rozdílů půdního substrátu. Měření elektrické vodivosti lze z krátkodobého hlediska považovat za stabilní. V současnosti jsou nejpoužívanější invazivní senzory měrného elektrického odporu a neinvazivní senzory elektromagnetické indukce (Neudert, Lukas et al., 2015).

2.2.3.2 Elektrická rezistivita půdy – ER

Přístroje pro měření elektrické rezistivity jsou invazivní, tzn. narušující povrch půdy. Jedná se o jeden či více párů kovových disků – elektrod. Elektrody prořezávají svrchní vrstvu půdy, jeden disk elektrický proud vysílá a druhý měří jeho změnu při průchodu půdou. Hloubku měření určuje vzdálenost mezi elektrodami. Nejznámější přístroj je Veris 3100 (Veris Technologies, USA) (Lukas et al., 2011b).

2.2.3.3 Elektromagnetická indukce – EMI

Měření je bezkontaktní, půdou prochází pouze elektromagnetické pole, a může tak být provedeno na kamenitých půdách nebo během vegetace. Přístroj se skládá ze dvou cívek, které jsou od sebe v přesně definované vzdálenosti. Primární cívka indukuje primární elektromagnetické pole a vysílá jej směrem do půdy. V půdním prostředí dochází k vytvoření sekundárního elektromagnetického pole (na základě fyzikálně-chemických vlastností půdy), které je měřeno druhou cívkou umístěnou na opačném

konci přístroje a z rozdílu obou polí je stanovena výsledná elektrická vodivost půdy v jednotkách [$\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$].

U nás jsou používané přístroje EM38 (Geonics Limited, Kanada) a CMD (GF Instruments, ČR), oba umožňují měření v horizontálním nebo vertikálním módu v závislosti na poloze přístroje při měření. Je-li půdní profil homogenní, proniká signál vertikálního módu do hloubky 1,5 – 2 m. V případě horizontálního měření je signál zaznamenávám z hloubek 0,75 – 1 m. Nejčastěji se měření provádí tažením přístroje po pozemku, případně ručně nesením přístroje (Lukas et al., 2011b; Kroulík, 2012).

2.2.3.4 Mechanické senzory

Tyto senzory měří odpor předmětu, který proniká půdou nebo ji prořezává a zaznamenává se síla potřebná na tuto činnost. Často používané je penetrometrické měření utužení půdy, které umožňuje stanovit vertikální zhutnění půdy. Tlak, který je nutné vyvinout pro zatlačení hrotu přístroje do půdy, je v jednotlivých hloubkách zaznamenán a přepočten na penetrační odpor. Tato měření nelze provádět za jízdy, a proto již tyto přístroje nelze považovat za on – the – go. Za jízdy je naopak nutné provádět měření tahového odporu, jehož technické vybavení bývá doplňkovou výbavou traktorů. Pro sledování se použije tříbodový rám, který obsahuje tenzometrické můstky ve všech třech bodech závěsu a který je vložený mezi traktor a připojený stroj. Další možností je měření přímo na radličce kypriče. Zásadní vliv na výsledky mají zrnitost půdy, vlhkost půdy a fyzikální vlastnosti půdy (Lukas et al., 2011b; Kroulík, 2012).

2.2.3.5 Akustické a pneumatické senzory

Jsou alternativou k mechanickým sensorům. Akustické senzory zaznamenávají změny hladiny hluku při práci náradí v půdě za účelem určení půdní textury nebo objemové hmotnosti. Pneumatické senzory měří schopnost vzduchu pronikat do půdy ke zjištění např. půdní struktury nebo zhutnění (Neudert, Lukas et al., 2015).

2.2.3.6 Elektrochemické senzory

Elektrochemické senzory poskytují informace o pH a půdní dostupnosti živin. Elektrochemická čidla využívají prvků a částic, které vytváří elektrické napětí jako odezvu na působení vybraných iontů. Je možné takto sledovat například koncentrace vodíku, draslíku, dusíku a podobně (Neudert, Lukas et al., 2015).

2.2.4 Dálkový průzkum

Dalším možným způsobem mapování půdní variability je dálkový průzkum leteckým nebo družicovým snímkováním. Dálkový průzkum Země nyní nachází široké uplatnění v geografickém průzkumu zájmového území. Využívá se spektrálních vlastností půdy – její odrazivosti. Při vyšší vlhkosti půdy, vyšším podílu jílovitých částic či obsahu organické hmoty se odrazivost půdy snižuje, proto se vlhčí, těžší nebo humózní půda jeví tmavší. Barevné zbarvení půdy způsobuje výskyt oxidů železa v půdě (Lukas et al., 2011b).

Velkou výhodou dálkového průzkumu Země je jeho plošná výkonnost a celoplošné pokrytí, což následně eliminuje interpolaci dat. Nevýhodou dálkového snímkování je nutnost absence vegetačního krytu a hloubkový dosah měření, protože zjišťujeme odrazivost pouze několikamilimetrové svrchní vrstvy půdy. Odpovídá-li ovšem variabilita porostu variabilitě půdy, lze i snímky vegetace využít pro mapování půdní variability (Lukas et al., 2011b).

2.3 Mapování výnosů

Mapování výnosů je jednou ze základních metod zjišťování variability pozemku, od které se dále odvíjí další postupy v systému precizního zemědělství. Mapování výnosů popisuje rozložení výnosů dílčích ploch pozemku jako odraz půdní úrodnosti dané dílčí plochy. Vhodné je srovnání výnosů v jednotlivých letech (Hrůza, 2008).

2.3.1 Mapování výnosů zrnin

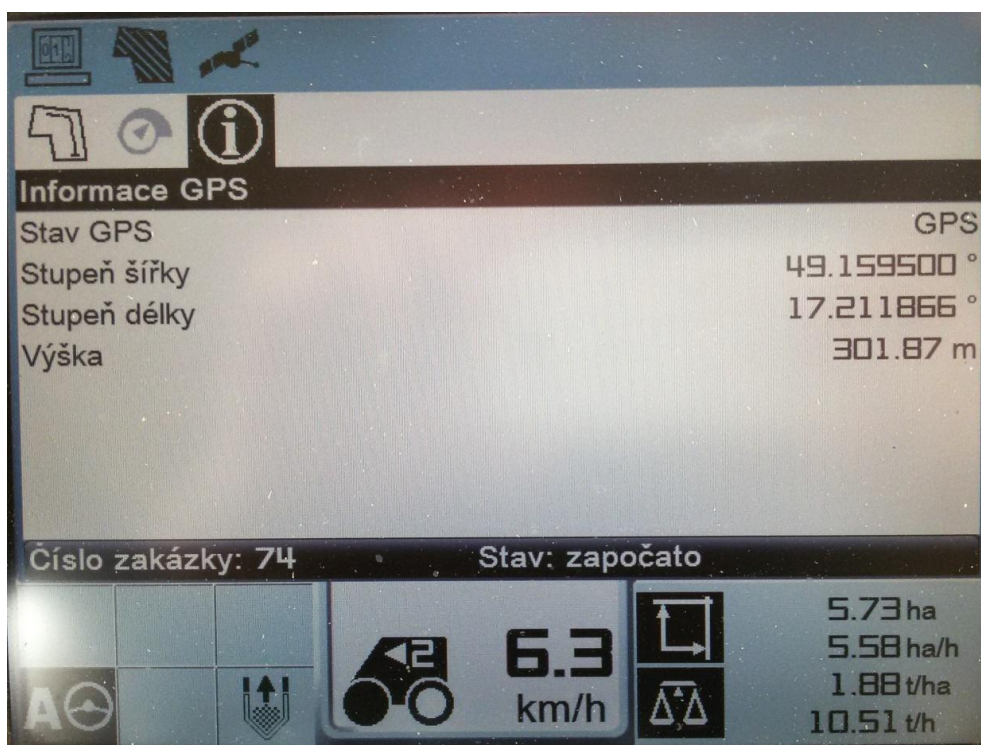
Nejprve se myšlenka mapování výnosů objevila v USA. První pokusy s mapováním výnosů se uskutečnily u sklízecích mlátiček. V praxi se používají senzory pro stanovení výnosu již od roku 1993 (Neudert, Lukas et al., 2015).

Měření výnosů je prováděno pomocí výnosových senzorů zrna, které jsou součástí moderních sklízecích mlátiček. Senzory pracují na řadě odlišných principů a jsou umístěny vždy v zrnovém dopravníku sklízecí mlátičky.

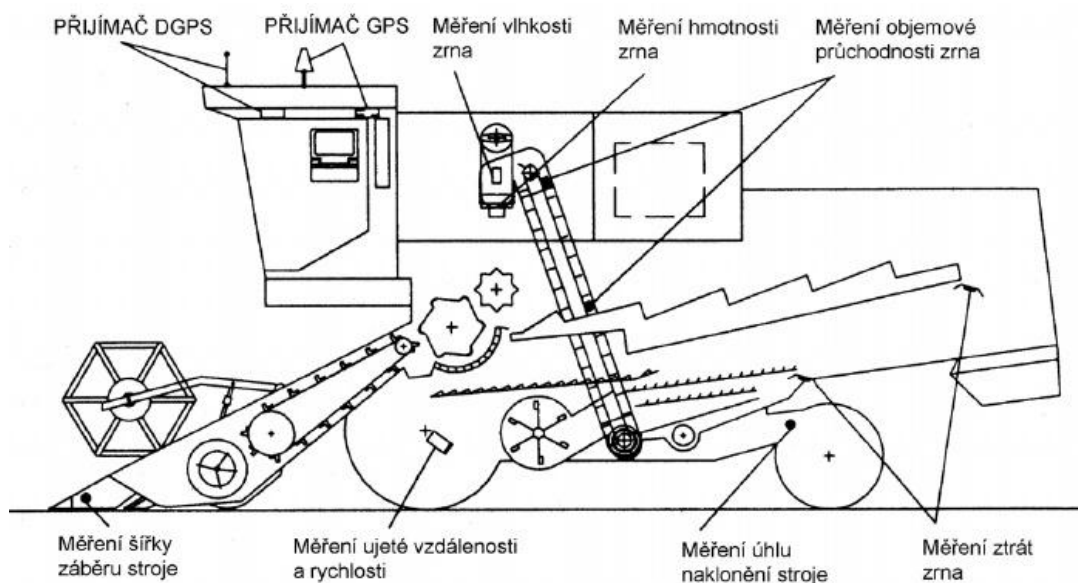
2.3.1.1 Výnosové mapy

Pro stanovení výnosu se zjišťuje šířka záběru žacího válu, vlhkost zrna, množství zrna, okamžitá poloha stroje a ujetá dráha po poli. Naměřená data jsou zpracována v palubním počítači, výnos je přepočítán na jednotku plochy ($t \cdot ha^{-1}$) a společně s údaji o poloze jsou uložena na záznamové médium (paměťová karta). Bodová data z těchto karet jsou přenesena do PC vybaveného mapovacím softwarem (GIS) k tvorbě

výnosových map. Následuje filtrace dat, odstranění chyb (chyby mohou být náhodné, systematické a chyby způsobené při zpracování výnosových map), a prostorové interpolace. Výsledkem tohoto procesu je výnosová mapa s vykreslenými zónami se stejným výnosem v určitém intervalu. Na základě výnosových map lze identifikovat místa s vysokým nebo nízkým výnosem, kterým může být následně přizpůsobena pracovní operace s lokálně cíleným hospodařením (Hrůza, 2008; Mezera, 2009).



Obrázek 2.1 – Software CEBIS palubního počítače sklízecí mlátičky CLAAS se zobrazenými informacemi o geografických souřadnicích aktuální polohy, rychlosti, průchodnosti, aktuálním výnosu a sklizené ploše (foto: J. Mezera)



Obrázek 2.2 – Sklízecí mlátička s čidly pro získávání výnosových dat (Pospíšil a Neudert, 2015)

Normalizací výnosu lze stanovit výnosovou úroveň pozemku, která vyjadřuje procentuální porovnání výnosu na daném místě s průměrným výnosem ve sledovaném roce za celý pozemek. Normalizace výnosu a zprůměrování dat za víc let tedy umožňuje porovnat výnosová data různých plodin nebo odrůd s odlišným výnosovým potenciálem a eliminovat vliv ročníku na výnos (Lukas et al., 2012).

Výnosové mapy odrážejí prostorové výnosové trendy na daných polích zahrnující všechny vlivy, které na sklizenou plodinu během vegetace působily. Zemědělci doufají, že jim tyto informace pomohou odhalit tajemství výnosové variability na svých polích a zvýšit efektivnost výroby a tím i čistý zisk operací.

Ačkoli se výnosové mapy stávají dnes již běžně dostupnými materiály, jejich interpretace se ukázala složitější, než se očekávalo. Působí zde velké množství faktorů ovlivňujících výnos plodiny v rámci daného pozemku a roku. Základem pro interpretaci výnosových map jsou pochopení a znalosti příčin variability a výnosu včetně příčin ovlivněných technologií pěstování. Výnosové mapy mají skutečnou cenu pouze tehdy, může-li zemědělec tyto informace využít při zefektivnění agronomického rozhodování jednotlivých operací (Neudert, Lukas et al., 2015).

Blackmore a Larscheid (1997) navrhli metodu pro používání normalizovaných výnosových dat z více let k tzv. podrozdělení polí na třídy (zóny) podle hospodaření. Metoda je založena na výši výnosu a jeho stabilitě. Stanovili tři třídy: a) s vysokým výnosem a stabilní, b) s nízkým výnosem a stabilní a c) nestabilní. Na plochách s vysokým stabilním výnosem by se mělo hospodařit tak, aby úroveň vstupů neomezovala výnosy (dávky živin, norma výsevu, ochrana proti škůdcům). Na plochách s nízkým stabilním výnosem je potřeba provést pečlivý rozbor faktorů omezujících výnos. Nemá-li význam některá forma nápravy, mohou být pěstitelé schopni snížit vstupy bez snížení výnosu. U ploch nestabilních je opět nutné provést přesné stanovení faktorů určujících výnos, ačkoli to může být velice obtížné (Blackmore, Larscheid, 1997; Neudert, Lukas et al., 2015).

Prostorové interpolace

Je-li sledovaný znak mapován diskrétně, je následně nutné z bodových dat vytvořit celoplošné (spojité) mapy. Prostorové interpolace umožňují různými metodami odhad hodnot sledovaného znaku z hodnot okolních bodů v místech, která nebyla mapována. Podoba výsledných spojitých map může být značně ovlivněna volbou interpolačního postupu dle požadované přesnosti, účelu použití, výpočetní náročnosti nebo dle

charakteru či objemu vstupních dat. Nejpoužívanějšími interpolačními metodami v zemědělství jsou kriging a inverzní vážení vzdálenosti IDW (Neudert, Lukas et al., 2015).

Kriging

Interpolace metodou kriging je založena na výpočtu lokálně vážených průměrů pohyblivého okna z měřených hodnot. Váhy pro predikci jsou určeny pomocí variogramu, který popisuje změnu prostorové závislosti se vzdáleností a směrem. Parametry variogramu tak popisují vlastnosti sledovaného faktoru v prostoru. Mezi výhody krigingu patří možnost stanovení rozptylu odhadované hodnoty a tím stanovení chyby predikce. Kriging je spolehlivá, ale výpočetně náročnější metoda vyznačující se vyhlazováním lokálních extrémů podhodnocením vysokých hodnot a nahodnocením nízkých (Kumhálová, 2010).

Existuje více typů krigingu: ordinary kriging (základní), simple kriging (jednoduchý), cokriging (vzájemný), universal kriging (univerzální), empirical bayesian kriging a další (Kumhálová, 2010).

Empirical bayesian kriging

Metoda Empirical bayesian kriging (EBK) je k dispozici v geoprocesingových nástrojích programu ArcGIS (ESRI, Redlands, USA). EBK se liší od ostatních metod kriging tím, že model interpolace je postaven automaticky a není nutné ručně zadávat velké množství parametrů, protože EBK si parametry vypočítá automaticky pomocí procesu podmnožin a simulací (Krause, 2012; ArcMap, 2016).

Inverzní vážení vzdálenosti

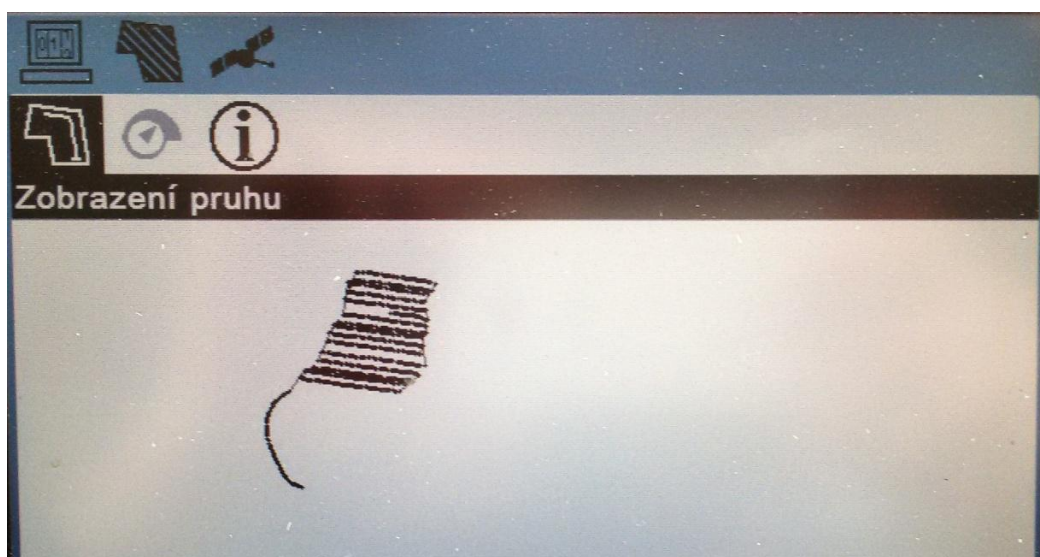
Interpolační metoda IDW (inverse distance weighting) je přesná, nevyžaduje výpočet variogramu, díky čemuž je rychlá a výpočetně méně náročná. Data jsou vážena podle vzdálenosti bodu od ostatních sousedících bodů a síla váhy klesá s rostoucí vzdáleností. Pro IDW je charakteristický výskyt tzv. očí, což jsou okrouhlé ohraničené struktury. K výpočtu je nutný parametr p (power) určující rychlost snižování hodnoty vah s rostoucí vzdáleností od bodu predikce. Hodnoty p se pohybují od 1 do 3 (Kumhálová, 2010; Neudert, Lukas et al., 2015).

K nevýhodám IDW patří, že nemůže odhadovat rozptyl predikovaných hodnot a tedy chybu predikce a možnost nastavení pouze konstantního parametru p pro celou sledovanou plochu bez uvážení distribuce dat (Lukas et al., 2011b).

2.3.1.2 Čidla pro mapování okamžitého výnosu obilovin

Čidla umožňující měření okamžitého výnosu pracují na dvou základních principech. První skupinou jsou čidla objemová založená na měření objemu a druhou skupinou čidla hmotnostní založená na měření hmotnosti.

Jelikož na množství sklizeného zrna během sklizně má velký vliv jeho vlhkost, jsou tyto systémy doplněny také čidly vlhkostními. Pro další zpřesnění jejich funkce ještě čidla náklonovými (Claas), čidly polohy šikmého dopravníku atd. Všechny údaje (od čidel, od přijímačů signálu GPS/DGPS) jsou následně zpracovány palubním počítačem stroje a nahrány na paměťové médium (Mezera, 2009).

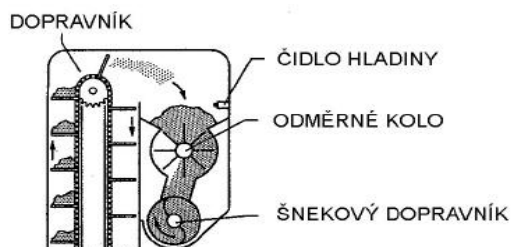


Obrázek 2.3 – Jízdní dráha GPS sklízecí mlátičky Claas softwaru CEBIS (foto: J. Mezera)

Objemová čidla

Mechanické čidlo

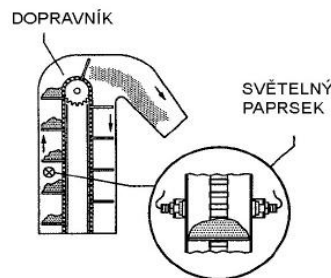
Základem je lopatkové kolo a dva senzory. Pracuje na principu měření počtu otáček lopatkového kola umístěného na výstupu zrnového dopravníku. Pro výpočet výnosu je nutné znát měrnou hmotnost zrna (Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.4 – Mechanické čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015)

Optické čidlo

Měří výšku zrna na lopatce zrnového dopravníku. Čidlo se skládá z vysílače a přijímače světelného paprsku. Výška zrna se zjistí z doby přerušení světelného paprsku detekovaného přijímačem. K výpočtu okamžitého výnosu se využijí údaje o době přerušení světelného paprsku a rychlosti řetězu zrnového dopravníku. Z důvodu sesypávání zrna na lopatce na svahu je sklízecí mlátička dovybavena snímačem podélného a příčného náklonu, dále je nutná kalibrace pro jednotlivé plodiny (Hrůza, 2008; CLAAS, 2016).



Obrázek 2.5 – Optické čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015)

Hmotnostní čidla

Nárazové čidlo

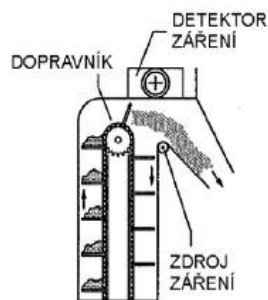
Zrno při výstupu ze zrnového dopravníku dopadá na pohyblivou nárazovou desku, případně na nárazové tyčinky. Pohyb desky daný hybností materiálu je snímán tenzometrickými nebo potenciometrickými snímači. Z hybnosti zrna se dá určit jeho hmotnost (Hrůza, 2008).



Obrázek 2.6 – Nárazové čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015)

Radiační čidlo

Měří zeslabení intenzity záření procházející vrstvou zrna na výstupu zrnového dopravníku. Skládá se ze zdroje a detektoru radioaktivního záření (radioizotop ²⁴¹Americium) s velmi slabou intenzitou záření. Ze změny intenzity detekovaného záření je možno usuzovat okamžitou hmotnost sklizeného zrna (Hrůza, 2008).



Obrázek 2.7 – Radiační čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015)

Kapacitní čidlo

Dielektrická konstanta se mění v závislosti na obsahu vzduchu a určitého materiálu mezi deskami kondenzátoru. Následně lze ze změny kapacity kondenzátoru určit množství materiálu mezi deskami (Neudert, Lukas et al., 2015).

Vlhkostní čidla

Jak již bylo uvedeno, velký význam při monitorování množství sklizeného zrna má jeho vlhkost. Ke zjišťování vlhkosti zrna se používají kapacitní čidla umístěná na zrnovém dopravníku. Povrch čidla má určitou kapacitu, která se mění při průchodu různě vlhkého zrna. Změna kapacity čidla je snímána, vyhodnocena a následně přepočítána na okamžitou vlhkost zrna. Záznam o aktuální hmotnosti sklizeného materiálu je korigován podle takto zjištěné vlhkosti zrna (Mezera, 2009).

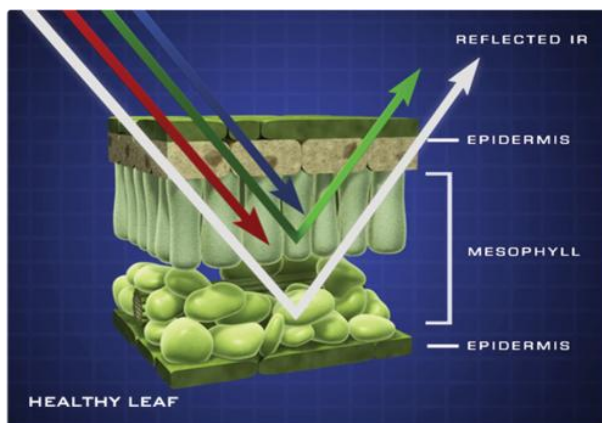
2.4 Mapování stavu porostů

Variabilita porostů je ovlivňována zejména variabilitou půdních podmínek, výskytem škodlivých činitelů a rozdílnou intenzitou obhospodařování (např. nevyrovnané zakládání porostů, hnojení, aplikace pesticidů apod.). Parametry porostů jsou mnohem dynamičtější než půdní vlastnosti, a proto je nutné je sledovat několikrát během vegetačního období v závislosti na četnosti provádění pěstebních operací (Lukas et al., 2011a).

2.4.1 Spektrální projevy rostlin

Spektrální chování vegetace je dáno odrazivostí elektromagnetického záření na dané vlnové délce. V oblasti viditelného záření (400 – 700 nm) rostlina chlorofylem pohlcuje nejvíce záření v modré a červené části spektra, naopak nejvíce odráží a nejméně pohlcuje v zelené části spektra, proto se rostliny jeví jako zelené. Významná část záření je odrážena v blízké infračerveném (NIR) spektru (700 – 1300 nm), kdy při přechodu z viditelné do blízké infračervené části spektra (750 – 780 nm) dochází u

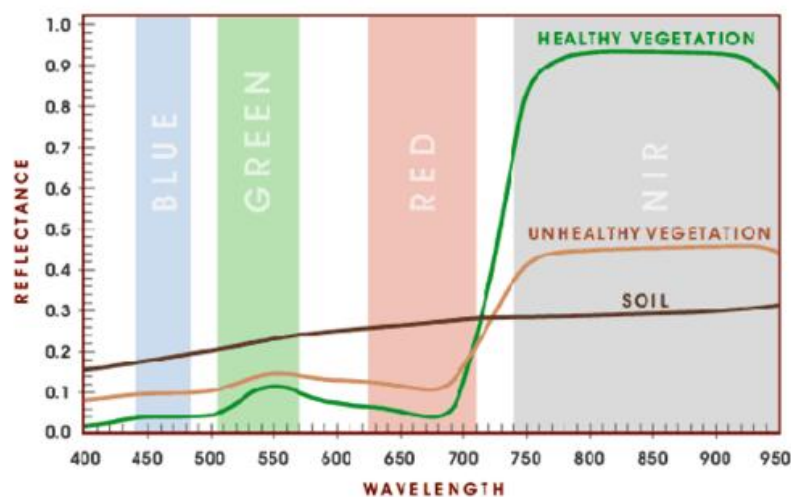
zdravé rostliny k prudkému nárůstu odrazivosti přibližně na 50 %. Tento jev se nazývá „red-edge“ a je typický pro zelené části rostlin. Spektrální chování rostlin je ovlivňováno především množstvím biomasy, obsahem chlorofylu a vody (Neudert, Lukas et al., 2015; Širůček, 2014; Heege, Thiessen, 2013; Coufalová et al., 2006).



Obrázek 2.8 – Průchod záření listem

(<https://publiclab.org/system/images/photos/000/008/832/original/image14.png>)

V průběhu vegetačního období dochází ke změnám ve spektrálním chování. Zdravá vegetace se vyznačuje nízkou odrazivostí v červené části spektra a vysokou odrazivostí v blízké infračervené části spektra. Naopak vegetace stárnoucí nebo vegetace, která není v dobrém zdravotním stavu, se vyznačuje vyšší odrazivostí v červené části spektra a nižší odrazivostí v blízké infračervené části spektra (Obrázek 2.9) (Klem et al., 2014; Lukas et al., 2012).



Obrázek 2.9 – Spektrální chování zdravé a nezdravé vegetace ve viditelné a NIR oblasti
(<https://publiclab.org/system/images/photos/000/008/833/original/image01.png>)

Deficience živin se často projevuje na obsahu chlorofylu a s tím spojenými změnami ve spektrálním projevu rostlin. Např. nedostatek dusíku vede ke změnám v celém spektru. Nedostatečná výživa N způsobuje zvýšení odrazivosti ve viditelném

spektru a snížení v NIR, neboť je vytvářeno méně listové plochy (Neudert, Lukas et al., 2015).

2.4.1.1 Spektrální projevy porostů

Reflexní spektrum porostu se skládá z odrazivosti vegetace a půdy. Z počátku vegetační fáze převládá podíl půdy, později s růstem vegetace se poměr mění a vrací se zpět až při zrání rostlin. Viditelné spektrum je absorbováno převážně vrchní listovou vrstvou porostu a jeho odrazivost je nízká (kromě zelené části spektra). V NIR má porost rostlin mnohem vyšší odrazivost než jednotlivé listy, část záření je horním patrem propuštěna a následně odražena patry spodními. Vícenásobné vrstvy listových pater mají tedy na odrazivost kumulativní efekt. Se zvyšováním množství biomasy dochází ke zvětšování asimilačního aparátu, což se projeví snížením odrazivosti v červené části spektra a zvyšováním odrazivosti v NIR.

Tohoto rozdílného spektrálního chování můžeme využít při hodnocení stavu porostů. Můžeme říci, že odrazivost ve viditelné části spektra dává informaci o stavu fotosyntetického aparátu, zatímco oblast NIR o množství biomasy (Klem et al., 2014; Neudert, Lukas et al., 2015).

Data pořízená z několika vlnových délek se nazývají multispektrální, z několika desítek nebo stovek pak hyperspektrální. Na multispektrálním snímku se zdravá vegetace jeví v modré a červené části jako velmi tmavá až černá, v zelené jako šedá a v NIR světlá až bílá. U rostlin trpících stresem nebo stárnoucích přibývá odrazivost v červené části spektra a snižuje se odrazivost v NIR (Coufalová et al., 2006; Lukas et al., 2012).

2.4.2 Vegetační indexy

Aplikace dusíku zvyšuje obsah chlorofylu v listech a má vliv na růst rostliny (množství biomasy), což se projeví v odrazivosti porostu. Oba tyto parametry je nutné zachytit při využití optických metod pro řízení výživy dusíkem např. pomocí tzv. vegetačních indexů. Vegetační indexy jsou výsledkem aritmetických operací s odrazivostí ve dvou a více pásmech elektromagnetického spektra. Nejčastěji se využívá rozdíl odrazivosti v červené a NIR oblasti spektra k detekci fyziologických stresů rostlin a kvantifikaci vybraných parametrů porostu. Vegetačních indexů existuje celá řada, nejčastěji využívané jsou v zemědělské praxi NDVI a red edge index (REIP) (Lukas et al., 2012).

2.4.2.1 NDVI

Normalizovaný diferenční vegetační index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) je normalizovaný poměrový vegetační index pracující s červeným a blízce infračerveným spektrem. Rovnice výpočtu NDVI:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}},$$

kde

R_{NIR} , R_{RED} – odrazivost v blízce infračerveném a červeném pásmu.

NDVI je bezrozměrná veličina nabývající hodnot od -1 do 1, jeho výše je závislá na obsahu zelené hmoty v ploše pixelu a umožňuje její kvantifikaci. Vyšší kladné hodnoty značí vyšší množství biomasy, hodnoty kolem nuly představují holou půdu a záporné hodnoty zastavěná území a vodní plochy (Neudert, Lukas et al., 2015).

Řada odborných prací poukazuje na vysokou korelaci mezi NDVI a LAI (listovou pokrývností), množstvím biomasy, obsahem vody a chlorofylu. Vyšší hodnoty NDVI podle Křena et al. (2009) ukazují větší hmotnost rostlin, množství biomasy, lepší výživný stav, vyšší počet rostlin na m^2 a počet odnoží na rostlinu.

Nevýhodou NDVI je tzv. saturační efekt, který se projeví při dosažení určitého stupně LAI, NDVI se již nemění a dochází tzv. nasycení, kdy při rostoucí hustotě porostu a obsahu chlorofylu na jednotce plochy je NDVI stále konstantní (Lukas et al., 2012).

2.4.2.2 REIP

Red edge index REIP (red edge inflection point) udává vlnovou délku inflexního bodu spektrální křivky v tzv. red edge oblasti. Pozice bodu se pohybuje zpravidla mezi 680 – 750 nm v závislosti na parametrech porostu. Posun k vyšším vlnovým délkám způsobuje zvýšení koncentrace chlorofylu v rostlinách nebo zvýšení biomasy. Výhodou REIP je nižší vliv k rušivým faktorům, vysoká citlivost k porostním charakteristikám a na rozdíl od NDVI nedochází k saturačnímu efektu při vysoké hustotě porostu (Lukas et al., 2012).

2.4.3 Přímé metody mapování stavu porostů

Mezi přímé metody patří laboratorní anorganický rozbor rostlin (ARR), který umožňuje zjistit pomocí chemických analýz nadzemních částí rostlin aktuální koncentrace jednotlivých živin s následným cílem optimalizace dávek hnojiv, nejčastěji dusíkatých. V jednotlivých fázích vegetace se obsah živin v rostlinách mění, a proto je

tedy nutné odběr rostlinné hmoty k analýzám provádět v kritických fázích vegetace, které rozhodují o tvorbě základních výnosotvorných prvků. Rozhodujícím faktorem je hustota a rozmístění bodů měření po pozemku. U vyrovnaného porostu se obvykle odebírá pět dílčích vzorků z 30 ha, u nevyrovnaného porostu z 10 ha (Lukas et al., 2012).

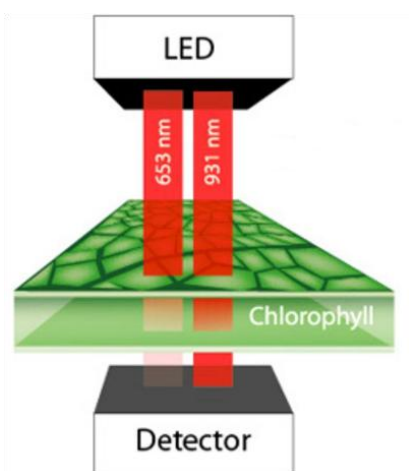
Metoda agrobiologické kontroly hodnotí porost a kontrolu výnosotvorných prvků. Podstatou je sledování a kontrola růstu a vývoje rostlin v porostu na podkladě fenologických pozorování (Lukas et al., 2011a).

Mezi další metody patří hodnocení poškození rostlin chorobami a škůdci, mapování zaplevelení pomocí terénního průzkumu a další. Všechny tyto metody mohou v kombinaci s prostorovou lokalizací a následné prostorové interpolaci z bodových dat sloužit jako podklad pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů (Lukas et al., 2011a).

2.4.4 Kontaktní metody mapování stavu porostů

Kontaktní měření částí rostlin sleduje spektrální parametry odrážející obsah chlorofylu či celkového dusíku v listech. Při spektrálním měření senzory snímají množství záření procházejícího listem (transmitanci) nebo odraženého (reflektanci).

Mezi nejznámější ruční přístroje patří Chlorofyll Meter Minolta SPAD-502, Opti-Sciences CCM-200 a Yara N-Tester. Principem měření je rozdílná propustnost (transmitance) paprsků záření dvou vlnových délek (červené záření s 650 nm a infračervené záření s 940 nm) měřeným listem. Chlorofyl absorbuje červené světlo, ale ne infračervené záření a na základě těchto dvou odlišných transmitancí přístroj vypočítá hodnotu, která je v úzké korelaci se skutečným obsahem chlorofylu a celkovým obsahem dusíku (Lukas et al., 2012; Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.10 – Princip měření chlorofylmetru (www.yara.com) a přístroj Yara N-Tester (www.yara.us)

Pro vyhodnocení měření N-Testeru a stanovení dávky dusíkatého hnojení se používají každoročně aktualizované tabulky pro produkční a kvalitativní hnojení, případně si přístroj data aktualizuje pomocí softwaru a internetu.

Při mapování porostu v dostatečně husté síti je možné pomocí interpolačních metod vytvořit mapu výživného stavu porostu, která může sloužit jako podklad k vytvoření aplikační mapy pro diferencované přihnojení dusíkem.

Mezi další přístroje využívající reflektanci záření listů patří PlantPen a N-Pen od společnosti PSI. Část měřeného listu je uzavřena v klapce, kde je osvětlována zářením LED diod se specifickým rozsahem vlnových délek a se současným měřením odrazu záření senzorem. Dále např. FluorPen pracující na principu měření zbytkového záření vyzařovaného rostlinami (fluorescence) (Lukas et al., 2012).

2.4.5 Bezkontaktní metody mapování stavu porostů

Bezkontaktní metody mapování představují proces získávání informací o objektu z určité vzdálenosti bez kontaktu s ním a můžeme je rozdělit podle způsobu vyhodnocování údajů zachycujících stav porostu a provádění aplikace hnojiva na online a offline systémy (Coufalová et al., 2006; Lukas et al., 2012; Stone, Raun, 2016).

2.4.5.1 Online systémy

Jsou systémy, často také nazývané jako *on-the-go*, kdy jednotlivé procesy – měření parametrů porostu, zpracování dat, jejich interpretace a vlastní aplikace jsou prováděny během jedné pracovní operace při přejezdu pozemku. Zdrojem informací jsou aktuálně naměřená data ze senzorů (Lukas et al., 2012).

Fritzmeier Isaria

Je přístroj se dvěma měřicími hlavicemi pro senzorové mapování výživného stavu porostů. Výživný stav je hodnocen na základě měření odrazivosti porostů pšenice, ječmene a řepky ve výšce 80 cm od plodiny ve čtyřech vlnových délkách v oblasti 660 – 780 nm díky čtyřem aktivním LED diodám, a proto může Isaria pracovat nejen ve dne, ale i v noci nebo během zhoršených pracovních podmínek. Rozsah vlnových délek umožňuje Isarii pracovat s vegetačním indexem IRMI (Isaria reflectance measurement index) k získání informací o obsahu chlorofylu v porostu a indexem biomasy IBI (Isaria biomass index) poskytujícím informace o hustotě porostu. Přístroj snímá s frekvencí až 2000 hodnot za sekundu a pomocí technologie Bluetooth jsou naměřená data bezdrátově přenášena do palubního počítače traktoru a odpadá tedy instalace kabeláže. Software

obsahuje optimální algoritmus, který přepočítá výsledek měření na dávku hnojiva měnící se okamžitě v průběhu aplikace. Při každé práci se data ukládají (např. na SD kartu) a vytváří se nová mapa pozemku (Agrotec, 2016; Fritzmeier, 2016; Kubík, 2014; Lechner, 2015; Glitz, 2013; Paulová, 2014; Fritzmeier, 2012; Fritzmeier, 2014a).



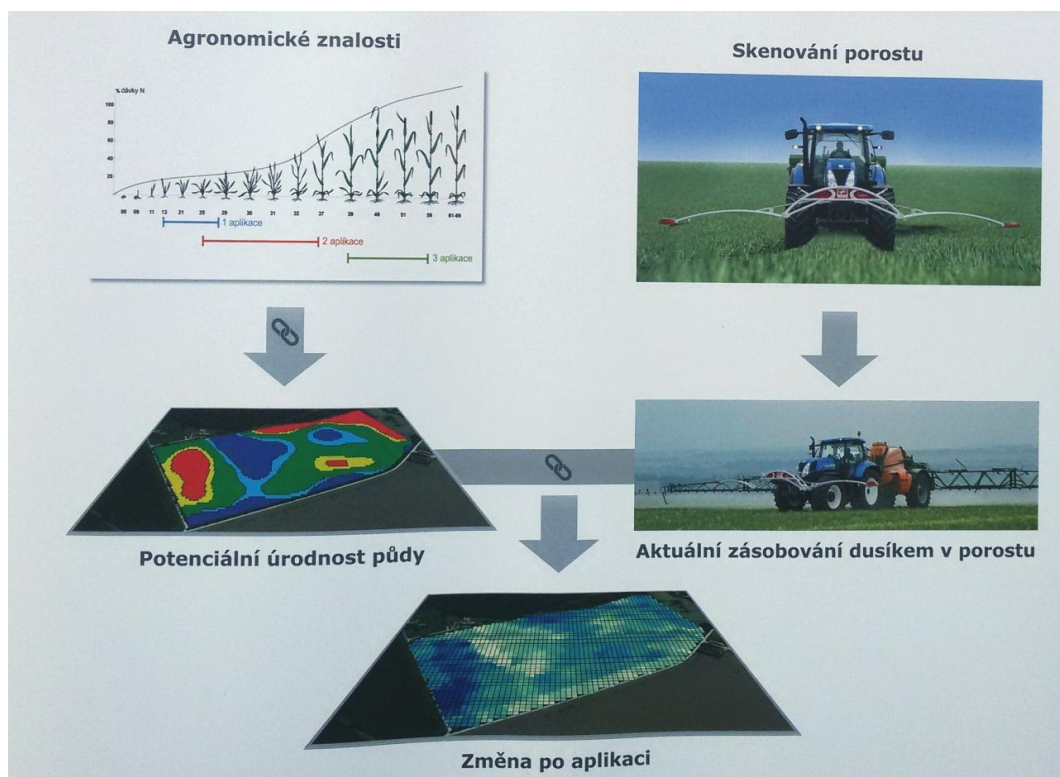
Obrázek 2.11 – Online systém Fritzmeier Isaria (<http://fritzmeier-umwelttechnik.com>)



Obrázek 2.12 – Hlavice senzoru Isaria se 4 aktivními LED diodami (<http://fritzmeier-umwelttechnik.com>) a senzory Isaria v přepravní poloze (foto: J. Mezera)

Systém Isaria může pracovat v několika různých režimech. Možné jsou režimy: mapovací, jednobodový, dvoubodový, absolutní, který je schopný pracovat bez kalibrace (tu již obsahuje řídicí jednotka), a v režimu s podkladovou mapou, kdy jsou všechna dostupná data využívána současně a aplikace probíhá jak podle naměřených

hodnot aktuálního stavu rostlin, tak zároveň podle podkladové mapy výnosového potenciálu (Agrotec, 2016; Fritzmeier, 2016; Kubík, 2014; Lechner, 2015; Glitz, 2013; Fritzmeier, 2012; Fritzmeier, 2014b).



Obrázek 2.13 – Systém Fritzmeier Isaria v režimu s podkladovou mapou (Fritzmeier, 2014b)

Yara N-Sensor

Yara N-Sensor je přístroj vyvinutý v roce 2000 umožňující prostorovou variabilní aplikaci dusíku v reálném čase. Jedná se o multispektrální skener, umístěný na kabině traktoru/samochodného stroje, měřící odrazivost porostu ve viditelném spektru (pro zjištění obsahu chlorofylu) a blízké infračerveném spektru (pro zjištění množství biomasy). Součástí soustavy senzorů je čidlo pro měření intenzity slunečního záření pro zohlednění světelných podmínek. Kalibrace se provádí chlorofylmetrem Yara N-Tester (Leading Farmers, 2017b; Neudert, Lukas et al., 2015).

Podle naměřených údajů je palubním počítačem stanovena optimální aplikační dávka dusíku pro příslušnou část pozemku (porostu). Tato dávka je přenesena do řídicího počítače aplikátoru, kde je tak umožněna variabilní aplikace hnojiva. Yara N-Sensor je možné využít pouze na zapojený porost. Přístroj je využitelný pro přihnojování dusíkatými hnojivy u obilnin, ozimé řepky, kukuřice a brambor, dále i pro variabilní aplikaci růstových regulátorů a pesticidů (Leading Farmers, 2017b; Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.14 – N-Sensor na kabině traktoru při aplikaci hnojiva (<http://aggl-otzberg.de/kategorie/allgemein/beitraege/page/4/>)

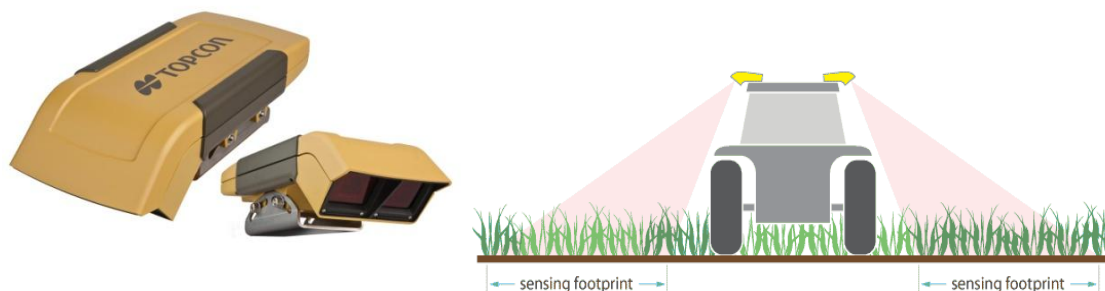
První generaci N-Sensoru tvoří soustava čtyř pasivních senzorů zachycující odraz světla od plodiny. Práce tohoto senzoru je významně závislá na světelných podmínkách. N-Sensor verze WIN (Windows) obsahuje sériově vyráběný typ spektrometru a umožňuje komunikaci přes rozhraní s operačním systémem Windows. Druhou generaci N-Sensoru představuje N-Sensor ALS (Active Light Source), který pracuje na podobném principu jako klasický N-Sensor, ale obsahuje vlastní zdroj světla v podobě xenonové bleskové lampy (730 nm a 760 nm) umožňující měření za snížených světelných podmínek, tj. 24 hodin denně a je u něj redukován počet senzorů na dva (Leading Farmers, 2017a; Leading Farmers, 2017b; Yara, 2017; Whelan, Taylor, 2013).



Obrázek 2.15 – N-Sensor ALS (<http://www.etaprovost.com/agriculture-de-precision/epandage-n-sensor/>)

Topcon CropSpec

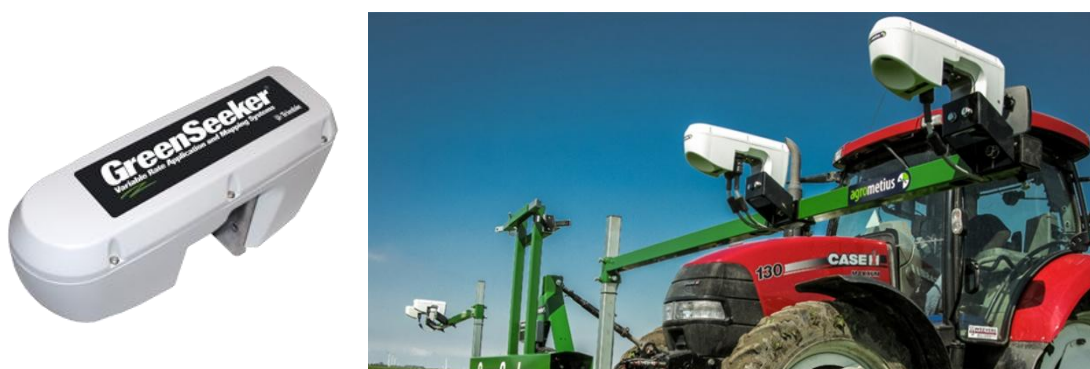
Topcon CropSpec pracuje na podobném principu měření jako přístroj Isaria. Skládá se ze dvou měřících jednotek umístěných na levé a pravé straně kabiny traktoru (aplikátoru). K determinaci obsahu chlorofylu a výživného stavu porostu senzory měří odrazivost aktivního záření pulsujících laserových diod v červené (730 – 740 nm) a NIR (800 – 810 nm) oblasti spektra (Topcon, 2015; Lukas et al., 2012; Stone, Raun, 2016).



Obrázek 2.16 – Přístroj CropSpec (<http://www.agrotech.se/>) a schéma záběru snímání přístroje (<http://www.lh-agro.co.uk/>)

Trimble GreenSeeker

Přístroj GreenSeeker zajišťující řízení variabilního dávkování a mapování hustoty porostu využívá aktivního záření LED diod pro měření odraženého záření od porostu v červené a blíže infračervené oblasti spektra. Senzor měří odrazivost 100x za sekundu a následně vypočítá vegetační index NDVI. Přístroj je orientován kolmo k porostu a k pokrytí záběru aplikátoru je nutné instalovat více senzorů (Trimble, 2015; Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.17 – Přístroj GreenSeeker (<http://www.trimble.com/>) a sada senzorů při aplikaci (<http://www.agrotechnology.pl/>)

Ag Leader OptRx

Senzor OptRx pracuje na podobném principu jako GreenSeeker. Pomocí aktivního záření měří odražené záření v červené a blíže infračervené části spektra. Následně je vypočítán vegetační index, na jehož základě je stanovena dávka přihnojení porostů (Ag Leader, 2016; Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.18 – Přístroj OptRx a princip měření (<http://www.agleader.com/>)

Holland Scientific Crop Circle

Aktivní senzor Crop Circle ACS-430 měří na základě odrazivosti vegetační index NDVI. Senzor měří odražené záření na vlnových délkách 630 nm, 730 nm a 780 nm (Whelan, Taylor, 2013; Holland Scientific, 2011).



Obrázek 2.19 – Přístroj Crop Circle (<http://hollandscientific.com/product/crop-circle-acs-430-active-crop-canopy-sensor/>)

Fritzmeier MiniVeg

Přístroj MiniVeg N pracuje na principu laserově indukované fluorescence chlorofylu, je namontován na předním závěsu traktoru a skládá se ze čtyř samostatných jednotek s aktivním laserovým měřicím zařízením. Laserový paprsek vybudí činnost chlorofylu v listech, která způsobí umělou fluorescenci. Sluneční záření vyvolává přirozenou fluorescenci a poměr uměle vyvolané a přirozené fluorescence podává v podobě indexu informace o stavu chlorofylu v rostlinách (Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.20 – Přístroj MiniVeg (www.landwirt.com)

Agrocom CROP-Meter

CROP-Meter je přístroj na měření hustoty porostu s následnou vazbou na aplikaci dusíkatých hnojiv, fungicidů a růstových regulátorů. Je umístěn na přední části traktoru a pracuje na mechanickém principu výkyvného kyvadla pronikajícího porostem. Hustota porostu je stanovena podle vychýlení kyvadla způsobeného odporem ohýbajících se rostlin. Čím větší je vychýlení kyvadla, tím více je porost vyvinut (Ehlert et al., 2008; Neudert, Lukas et al., 2015).



Obrázek 2.21 – Přístroj CROP-Meter (<http://www.bauernzeitung.at/>)

2.4.5.2 Offline systémy

Jednotlivé procesy nejsou prováděny v rámci jedné operace, ale jsou časově odděleny. Offline systémy jsou založeny na celoplošném mapování porostů jednotlivých pozemků, např. letecké snímkování pro variabilní aplikaci hnojiv. Letoun při přeletu na snímky zachytí prostorovou variabilitu pozemku, která je poté zpracována

a vyhodnocena na počítači. Aplikáční mapa je následně nahrána do palubního počítače traktoru s aplikátorem, který aplikuje hnojivo (Neudert, Lukas et al., 2015).

K mapování porostů je možné využít dálkového průzkumu Země v podobě leteckého či satelitního snímkování. Rozdíly mezi leteckým a satelitním snímkování jsou výrazné, např. ve velikosti snímané scény, kdy satelitní snímkování je schopno pokrýt relativně velké území na rozdíl od snímkování leteckého, dále naopak letecké snímkování je schopno pořizovat data ve velmi vysokém rozlišení oproti satelitnímu. Pro satelitní snímkování platí, že data jsou pořizována pouze v určité době dané obíháním satelitu okolo Země. Při výskytu silné oblačnosti jsou satelitní data prakticky nepoužitelná, zatímco při leteckém snímkování lze dobu a výšku přeletu naplánovat a vyhnout se tak případné oblačnosti. Potenciál dálkového průzkumu je v precizním zemědělství nejvíce využíván v oblasti variabilní aplikace hnojiv, méně pro fungicidní ochranu rostlin a pro aplikaci regulátorů růstu (Lukas et al., 2012; Širůček, 2014).

2.5 Variabilní aplikace hnojiv

Variabilní hnojení je jedním z nejčastěji využívaných postupů v precizním zemědělství. Hnojením se snažíme pěstovaným plodinám zajistit adekvátní přísun živin pro vytvoření požadovaného výnosu a kvality produkce. V případě stanovení potřeby hnojení dusíkem je nutné zohlednit dusík přijímaný z půdy, dodaný organickými hnojivy a poskytnutý předplodinou z čeledi bobovité. Technologie variabilního hnojení je umožněna strojům, které mohou automaticky měnit dávku (úroveň zásahu) v závislosti na své poloze na poli. Úroveň pěstitelského zásahu je dána agronomickou interpretací sledované veličiny a mírou prostorové variability. Některé vycházejí z dlouhodobé praxe ověřených rozhodovacích postupů, zatímco jiné jsou výsledky sensorových měření (např. N-senzoru). Tam, kde jsou pozemky a porosty relativně homogenní, není třeba provádět pěstební zásahy diferencovaně, dostačuje uniformní přístup. Možnosti variabilní aplikace jsou dostupné pro aplikaci různých látek (granulovaná a tekutá hnojiva, pesticidy, osiva). Nejrozšířenější jsou postřikovače pro přípravky na ochranu rostlin, rozmetadla hnojiv, hnoje a aplikátory vápenných hmot (Neudert, Lukas et al., 2015; Mezera, 2009; Vrba, 2015).

Efektivní zásah je prováděn na základě aplikačních map nebo pomocí online sensorového měření. Diferencované hnojení pomocí aplikační mapy vyžaduje GPS navigaci pro určení přesné polohy stroje a již zmíněnou aplikační mapu s rozložením dávek aplikace po celé ploše pozemku a s rozložením jednotlivých zón. Daná zóna

představuje část pozemku, kde se vyskytuje oblast pro homogenní obhospodařování a kde je možná jednotná aplikace intenzity vstupu. Na rozdíl od toho v případě online měření je využito aktuálního sensorového měření při pojezdu soupravy a není tedy nutné znát její polohu (Vrba, 2015).

2.5.1 Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv na základě vegetačních indexů

Dusíkatá výživa působí na odrazivost porostu dvěma způsoby: jednak zvyšuje obsah chlorofylu v listech a jednak má vliv na růst rostliny (množství biomasy) a tedy LAI. K úspěšnému využití optických metod je nutné zachytit oba tyto parametry, nejčastěji pomocí již výše popisovaných vegetačních indexů. Oba parametry zachycují množství chlorofylu na jednotce plochy, podle jehož obsahu v rostlinách se provádí optimalizace dávky dusíku (Neudert, Lukas et al., 2015).

Pro obilniny jsou zásadní fáze vývoje porostu, protože jsou zde uplatňovány rozdílné přístupy ve výživě dusíkem na základě sensorového měření. Pro produkční hnojení (DC 30 – 50) je se zvyšující se hodnotou REIP dávka N snižována a naopak. U kvalitativního hnojení je situace opačná. Se zvyšující se hodnotou REIP se dávka N zvyšuje, protože pro příjem N v této fázi je nutný dostatečný výskyt zelených částí rostlin, kterými může být N přijímán. Čím více je porost zelenější a tmavší, tím vyšší může aplikační dávka být (Neudert, Lukas et al., 2015).

Z německých výzkumů vyplývá, že využití REIP při optimalizaci dávky N vykazuje v evropských kontinentálních podmínkách vyšší spolehlivost než NDVI z důvodu saturačního efektu ve vyšších vývojových stádiích. NDVI ale může mít dostačující efekt v aridních oblastech, kde se používá pouze jedna aplikace hnojiva v ranější fázi vývoje (Neudert, Lukas et al., 2015).

3 CÍL PRÁCE

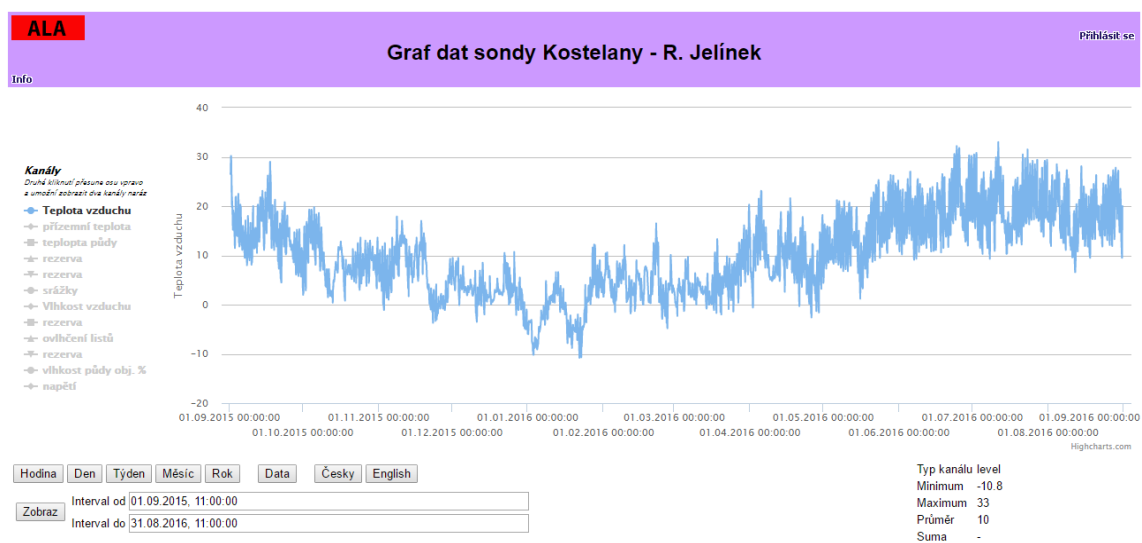
Cílem této diplomové práce je seznámení se s postupy sběru dat, s hodnocením heterogenity výnosu plodin, technologiemi variabilní aplikace hnojiv a dále zpracování dostupných podkladů ze zemědělského podniku v GIS a statistické vyhodnocení online senzorového systému pro variabilní přihnojování porostů ve vztahu k heterogenitě dosahovaného výnosu.

4 METODIKA VÝZKUMU

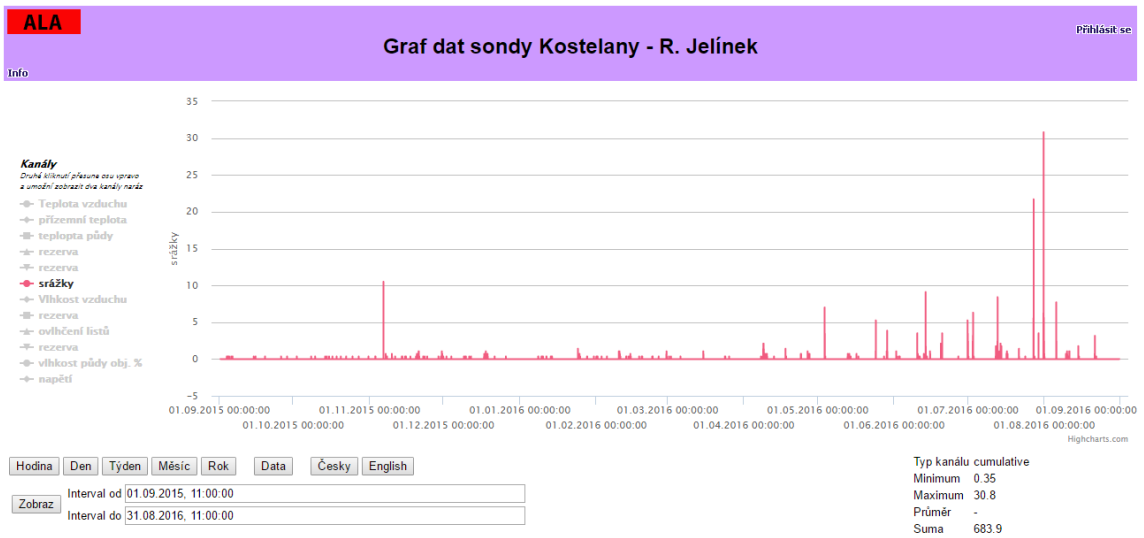
Data pro tvorbu následných map byla získána mapováním pozemků střediska Zdounky společnosti SALIX MORAVA a.s. Společnost SALIX MORAVA a.s. tvoří spolu s dalšími třemi regionálními společnostmi skupinu Spearhead Czech s.r.o., dceřinou společností evropské farmářské skupiny Spearhead International Ltd. Skupina Spearhead International Ltd. má sídlo ve Velké Británii, působí dále v Polsku, Rumunsku, České republice a Slovensku a v současné době hospodaří na více než 80 tisících hektarech zemědělské půdy. Společnost SALIX MORAVA a.s. je zaměřena na rostlinnou a živočišnou výrobu a hospodaří na úrodných půdách Hané na střední Moravě. Střediska rostlinné výroby se nacházejí v Olomouckém a Zlínském kraji – v Horní Moštěnici, Hulíně, Střílkách, Zdoukách a Vítonicích a středisko živočišné výroby v okolí Vlkoše. Hlavními pěstovanými plodinami jsou obilniny a olejniny – zejména pšenice, řepka, ječmen a kukuřice, živočišná výroba se specializuje na chov mléčného skotu (Spearhead Czech, 2017).

4.1 Klimatické a půdní podmínky zkoumané lokality

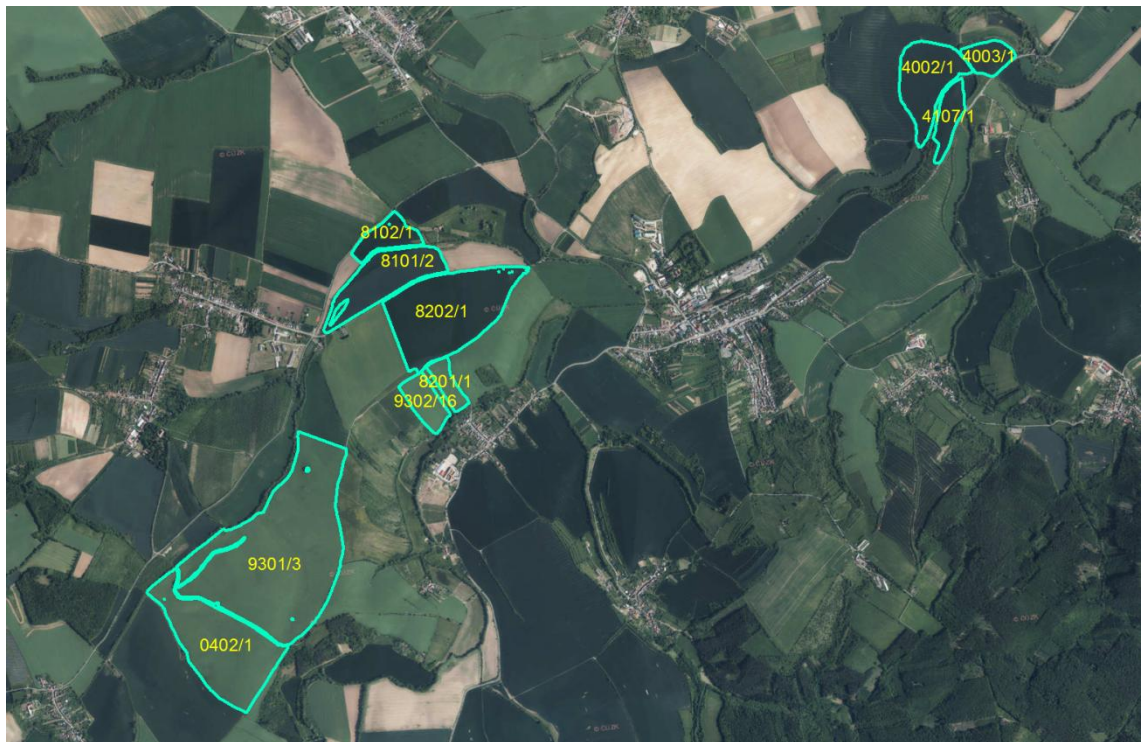
Oblast Zdounky se nachází v řepařské výrobní oblasti (Ř1-Ř2) okresu Kroměříž, v severozápadní části Zlínského kraje, 10 km jihozápadně od Kroměříže. Klimatický region pozemků je mírně teplý až teplý a mírně vlhký (T3, MT2). Dlouhodobá průměrná roční teplota je 8,1 °C a průměrný úhrn srážek 550-700 mm. Pozemky se nacházejí v nadmořské výšce 205-320 m n.m (viz Obrázek 4.4).



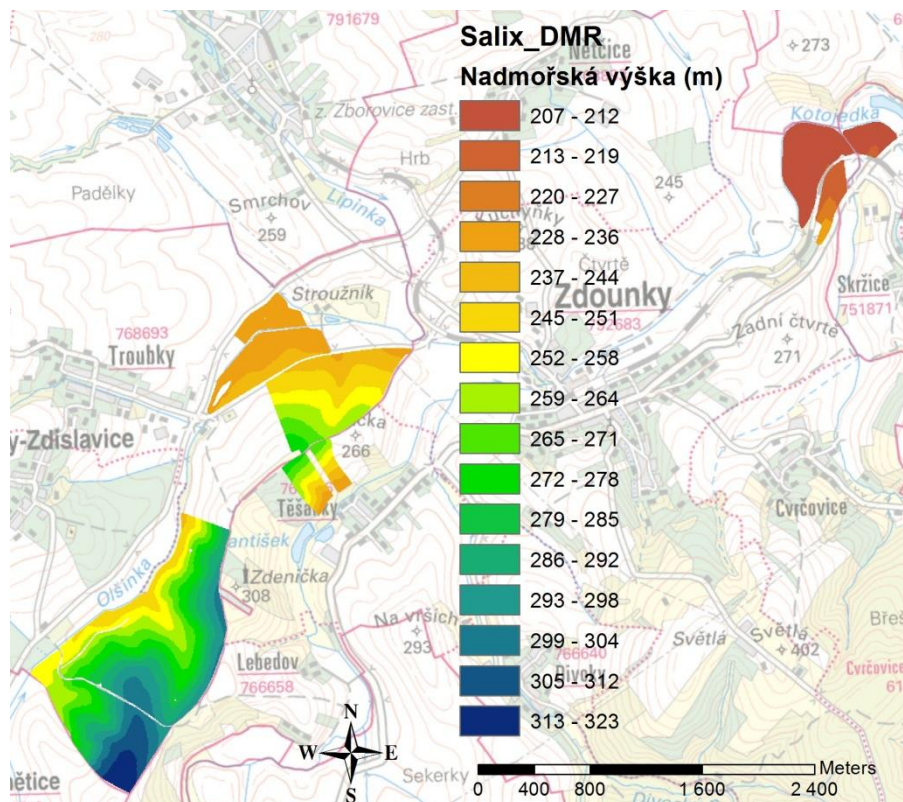
Obrázek 4.1 – Graf teploty vzduchu na meteostanici v Kostelanech od 1.9.2015 do 31.8.2016 (vzdáleno 5,5 km od Zdounek) (www.amet.cz)



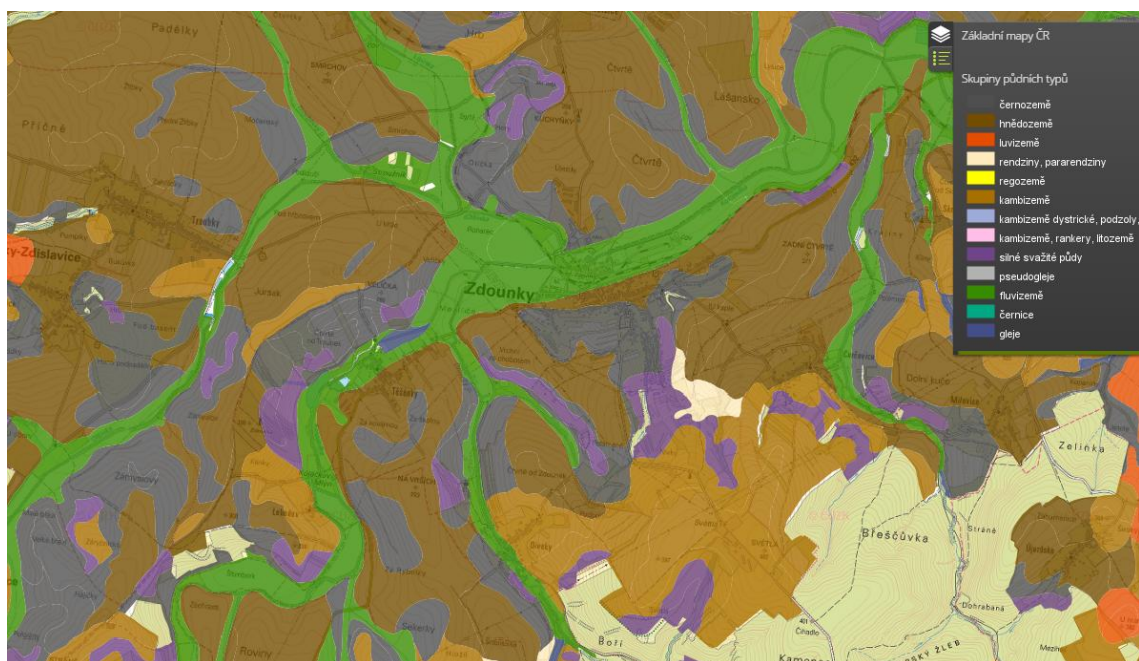
Obrázek 4.2 – Graf výskytu dešťových srážek na meteostanici v Kostelanech od 1.9.2015 do 31.8.2016 (vzdáleno 5,5 km od Zdounek) (www.amet.cz)



Obrázek 4.3 – Letecký snímek sledovaných pozemků (mapy ČÚZK)



Obrázek 4.4 – Rozložení nadmořské výšky sledovaných pozemků



Obrázek 4.5 – Půdní typy zkoumané lokality (mapy.vumop.cz)

Půdním typem jsou černozemě, hnědozemě, kambizemě a fluvizemě (Obrázek 4.5). Půda je středně těžká, hloubka je středně hluboká až hluboká, bez skeletu až slabě skeletovitá. Obsah humusu je středně vysoký, 2-3 %, pH 6,6-7,2. Pozemky jsou rovinaté, mírně až středně svažité. Na částech pozemků se místy vyskytují oblasti mírně erozně ohrožené. Na pozemcích byla v roce 2015/2016 aplikována hnojiva: DAM 390,

hořká sůl, draselná sůl, LAD (27 % N), močovina, močovina UREAstabil, superfosfát 40 %, cukrovarská šáma a StabilureN. Podrobný rozpis na jednotlivých pozemcích s dávkami jednotlivých hnojiv a s termíny aplikace je uveden v příloze.

4.2 Aplikace dusíku

Výživa dusíkem je nejvýznamnější operací, která ovlivňuje tvorbu výnosotvorných prvků, vlastní výnos a kvalitu zrna. Snahou je zajistit rostlinám dostatečnou výživu dusíkem v době jeho potřeby. Na výnos obilovin mají vliv tři základní složky, a to: počet klasů (příp. palic) na jednotce plochy, počet zrn v klasu a hmotnost 1000 semen (HTS). Vzhledem k vysoké pohyblivosti dusíku se v našich podmínkách celková aplikace dusíku většinou rozděluje do více aplikací.

Základní hnojení – provádí se nejpozději do období setí. Vzhledem k nízké potřebě rostlin v podzimním a zimním období a na možné ztráty dusíku není potřebné v tomto období na většině stanovišť dusíkem hnojit, pouze na méně úrodných pozemcích či po špatné předplodině se aplikuje část dusíku.

Přihnojování během vegetace – v tomto období je aplikována převážná část dusíku. Období a dávka je volena podle vlivu na utváření výnosotvorných prvků, dále podle obsahu dusíku v půdě, stavu porostu, povětrnostních podmínek, případně rozboru rostlin.

- Regenerační – pro obnovu biomasy u zimou zesláblých porostů.
- Produkční – provádí se při odnožení do počátku sloupkování, ovlivňuje diferenciaci stébel, klasového vřetene a tím hustotu porostu a produktivitu klasu.

Kvalitativní hnojení – provádí se v období před metáním do začátku kvetení. Ovlivňuje hmotnost obilek a obsah dusíkatých látek v obilkách. Účinnost je závislá na dobrém zdravotním stavu a na příznivých vláhových podmínkách (Vaněk et al., 2003).

4.2.1 Vlastní aplikace

Aplikace dusíku ve středisku Zdounky společnosti SALIX MORAVA a.s. byla provedena variabilně pomocí soupravy John Deere 6195R s neseným rozmetadlem Amazone ZA-TS 4200 a systémem Isaria (Obrázek 4.6). Rozmetadlo bylo řízeno CCI terminálem, s automatickým hlídáním záběru, připojeným k terminálu Isaria. Na pozemcích, kde byla k dispozici podkladová mapa výnosového potenciálu Fritzmeier, bylo hnojeno v absolutním režimu s podkladovou mapou, kde k dispozici nebyla, tak

v režimu absolutním bez podkladové mapy. Na pozemcích s pšenicí ozimou bylo provedeno produkční hnojení ve vegetační fázi DC 29-30 v období od 30. března 2016 do 6. dubna 2016 a následně kvalitativní hnojení ve vegetační fázi DC 44 v období od 11. května 2016 do 17. května 2016.

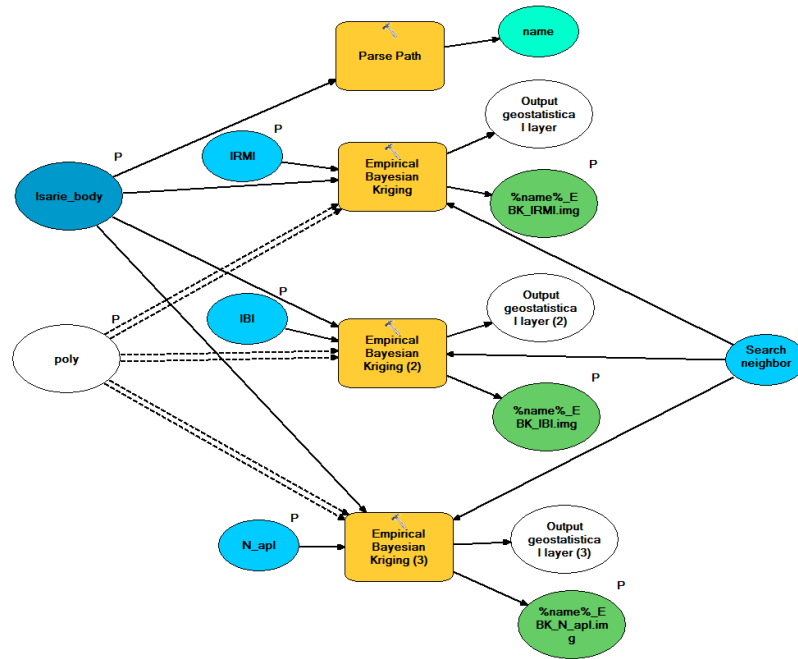


Obrázek 4.6 – Souprava při aplikaci produkčního hnojení a pracoviště traktoristy s palubním terminálem traktoru, rozmetadla a systému Isaria (foto: V. Lukas)

4.2.2 Zpracování dat a tvorba map

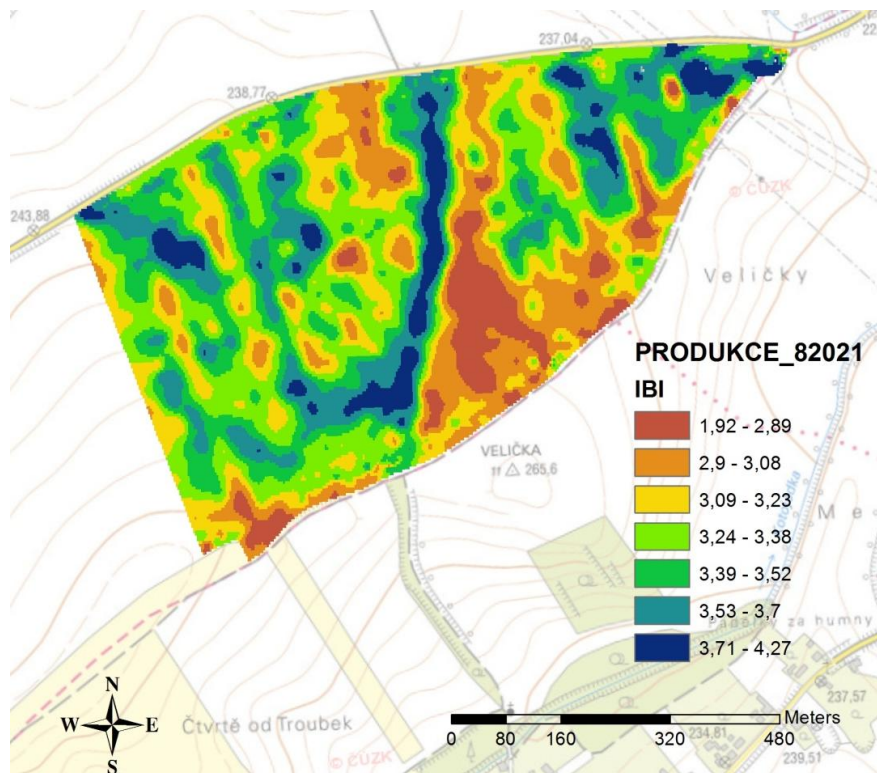
Systém Isaria při snímání porostu zaznamenává na paměťovou kartu hodnoty indexů IRMI, IBI, datum, čas záznamu a případně i množství aplikovaného dusíku. Data mohou být následně stažena z paměťové karty do počítače.

Data byla nahrána do programu ArcMap 10.3.1 (ESRI, Redlands, USA), kde byla dále zpracována. Soubory byly nejprve sloučeny podle jednotlivých pozemků a poté převedeny do souřadného systému WGS 1984. Jedná se o bodová data, proto musela být následně provedena interpolace pomocí nástrojů v GIS pro získání celoplošných rastrových map. Pro interpolaci byla zvolena metoda EBK (Empirical bayesian kriging) (Obrázek 4.7) z důvodu poskytnutí nejoptimálnějších výsledků v porovnání s ostatními metodami (např. Ordinary kriging). Tato metoda byla aplikována se stejnými výchozími parametry výpočtu tak, aby výsledné mapy mohly být spolu vzájemně porovnatelné a byla tak eliminována chyba, která by mohla vzniknout při použití různých parametrů nastavení či interpolačních technik na různých pozemcích. Interpolace bodových dat byla provedena pomocí skriptu pro atributy IRMI, IBI a množství aplikovaného dusíku na všechny zkoumané pozemky, na kterých byla k dispozici i výnosová data. Skript zároveň obsahoval nástroj pro ořezání výsledné vrstvy podle tvaru konkrétního pozemku.

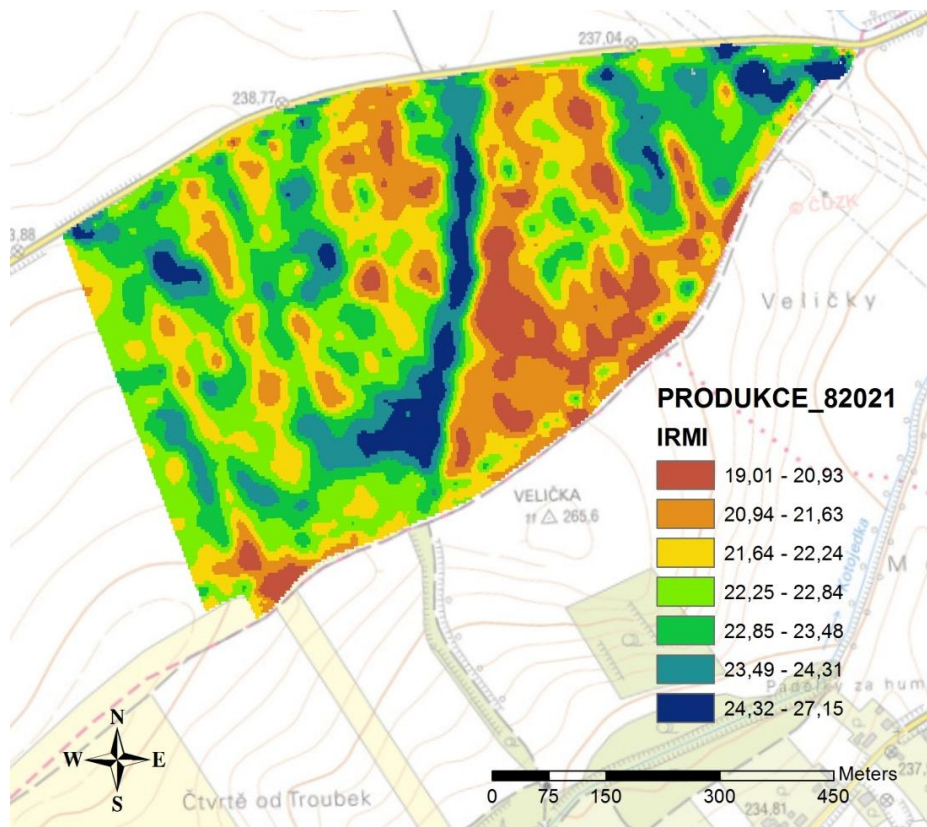


Obrázek 4.7 – Skript výpočtu rastrové mapy pro jednotlivé atributy systému Isaria metodou EBK

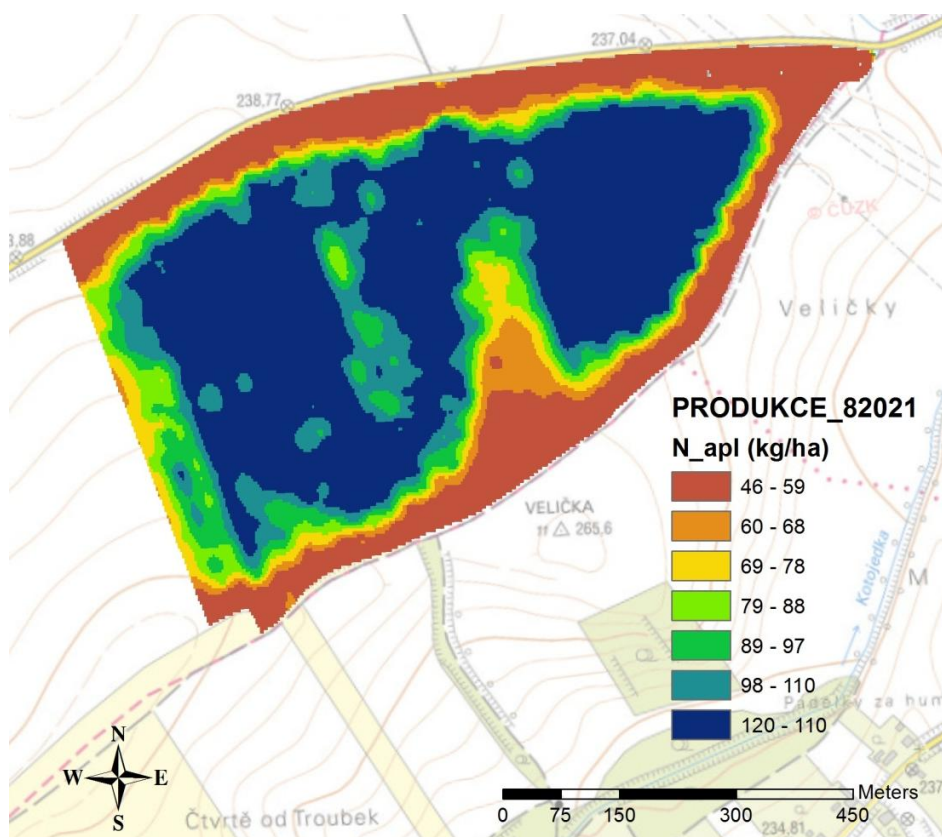
Pro přehledné zobrazení byla provedena klasifikace do 7 tříd metodou Natural Breaks (Jenks) s barevnou škálou od červené po modrou. Pro ukázkou jsem si vybral pozemek s pšenicí ozimou (odrůda Rebel) s označením 8202/1 (U kříže, 44 ha) (Obrázek 4.8 – Obrázek 4.13).



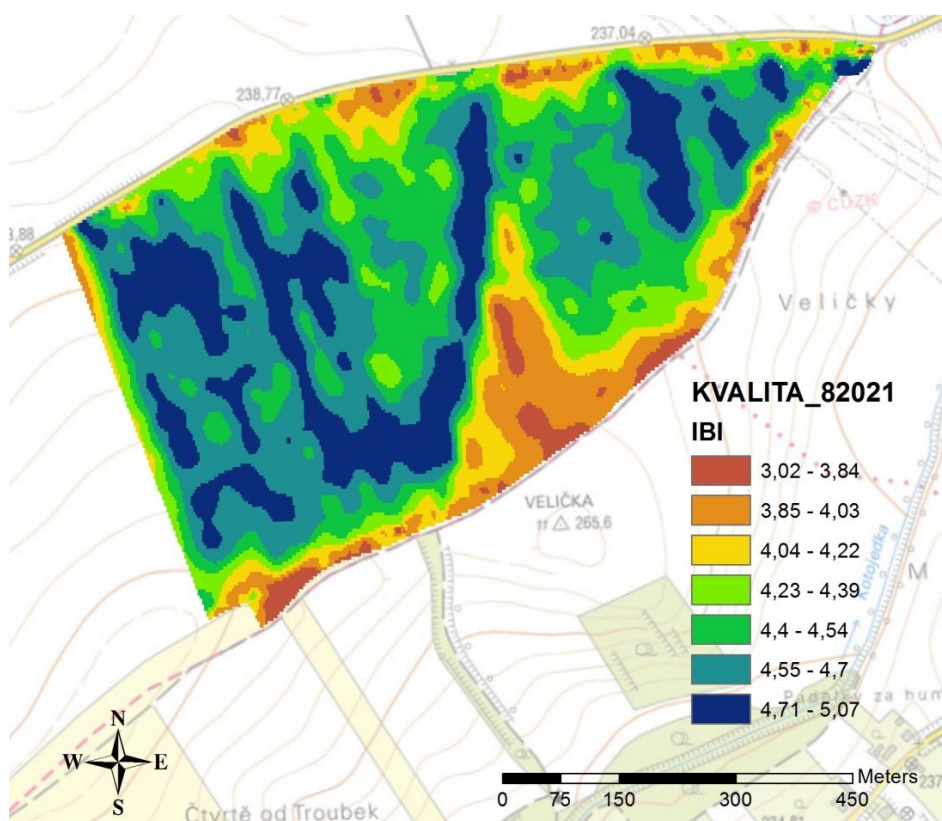
Obrázek 4.8 – Mapa indexu IBI zaznamenaného při produkčním hnojení na pozemku U kříže



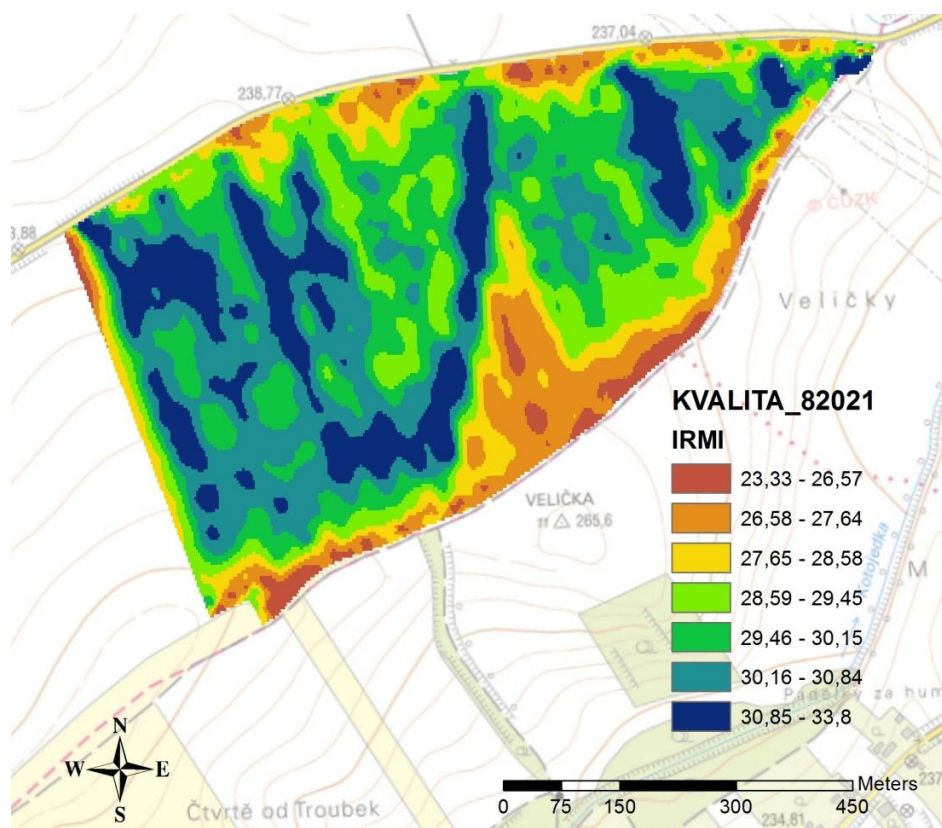
Obrázek 4.9 – Mapa indexu IRMI zaznamenaného při produkčním hnojení na pozemku U kříže



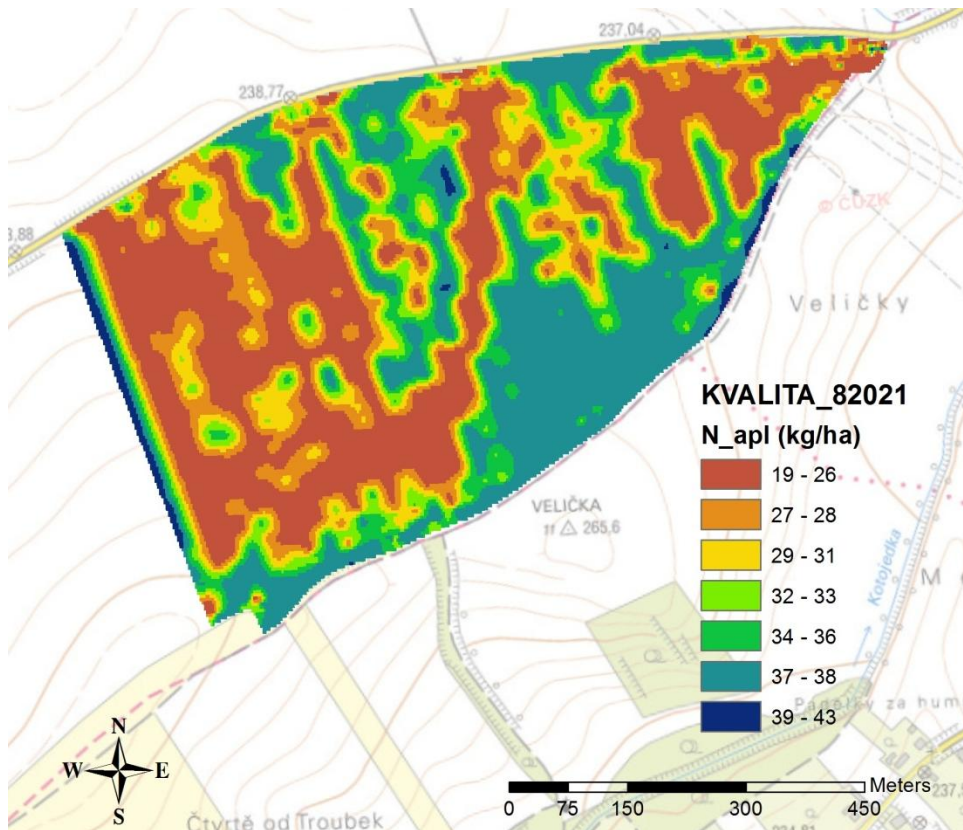
Obrázek 4.10 – Mapa aplikované dávky N při produkčním hnojení na pozemku U kříže



Obrázek 4.11 – Mapa indexu IBI zaznamenaného při kvalitativním hnojení na pozemku U kříže



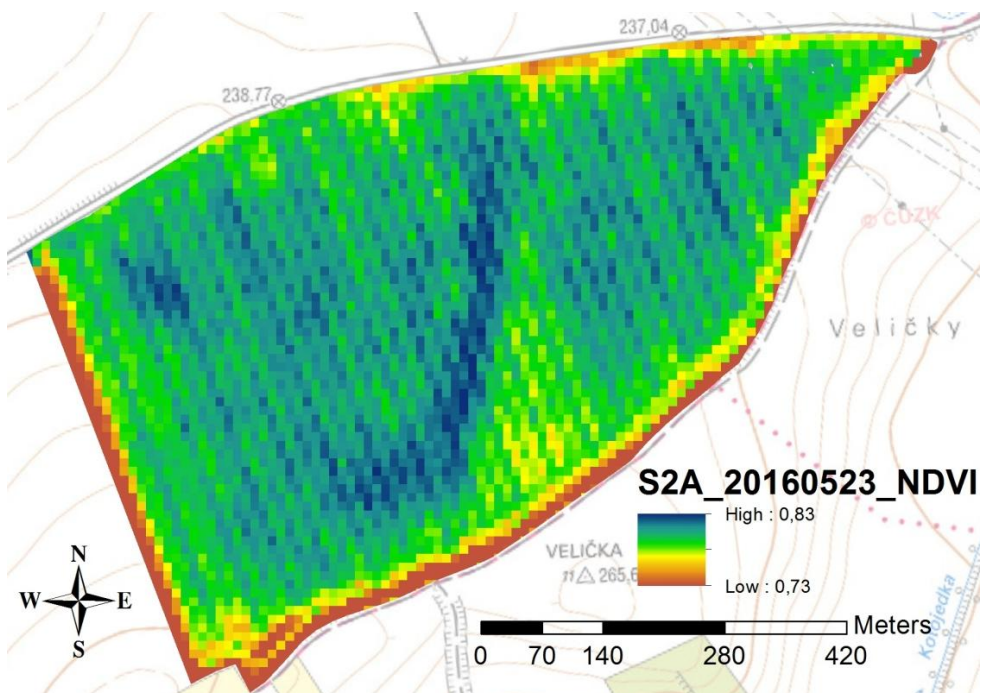
Obrázek 4.12 – Mapa indexu IRMI zaznamenaného při kvalitativním hnojení na pozemku U kříže



Obrázek 4.13 – Mapa aplikované dávky N při kvalitativním hnojení na pozemku U kříže

4.3 Dálkový průzkum Země

Satelitní snímky z družice Sentinel z 23. 5. 2016 byly poskytnuty vedoucím práce.



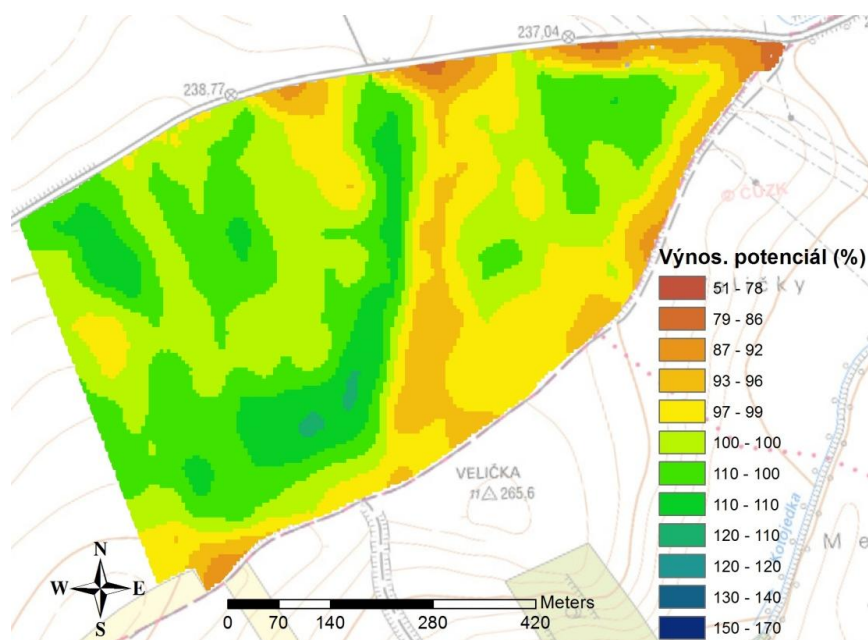
Obrázek 4.14 – Satelitní snímek z družice Sentinel pozemku U kříže

4.4 Výnosový potenciál

Mapy výnosového potenciálu znázorňují vymezení produkčních zón v rámci jednotlivých půdních bloků vypočtených z víceleté časové řady družicových dat. Jedná se o identifikaci výnosově nadprůměrných a podprůměrných míst na pozemcích a jejich procentuální vyjádření vzhledem k průměrné hodnotě vegetačního indexu citlivého na změny biomasy porostu odpovídající 100 % (Řezník et al., 2016).

4.4.1.1 Výnosový potenciál Mendelu

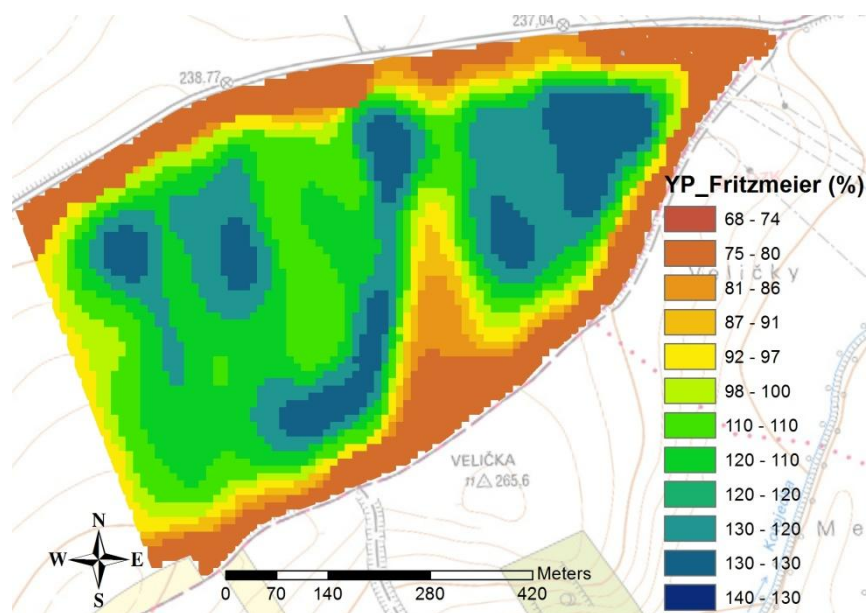
Podkladová mapa výnosového potenciálu (Obrázek 4.15) byla poskytnuta vedoucím práce a byla počítána na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně. Zdrojovými daty byla 8-letá řada snímků z družice Landsat 5 a Landsat 8 vybraných v průběhu vegetačního období. Snímky byly atmosféricky korigované a byla použita maska výskytu oblačnosti ve scéně. Ačkoli původní data byla v prostorovém rozlišení 30 m, konečná mapa výnosového potenciálu je vyhlazena na pixel o hraně 5 m. Prostorové vymezení ploch je dáno DPB z LPIS nebo zákresy plodin či zemědělskými parcelami. Bylo-li ve sledovaném období dosaženo vyšší hodnoty vegetačního indexu, je daná oblast považována za potenciálně výnosnější a naopak (Řezník et al., 2016).



Obrázek 4.15 – Výnosový potenciál Mendelu

4.4.1.2 Výnosový potenciál Fritzmeier

Podkladová vrstva výnosového potenciálu (Obrázek 4.16) byla získána od Fritzmeier (původ Agrosat, SRN).



Obrázek 4.16 – Výnosový potenciál Fritzmeier

4.5 Sběr výnosových dat

Výnosová data byla získána v letním období roku 2016 a byla pořízena pomocí sklízecích mlátiček Claas Lexion 670 (Obrázek 4.17), přičemž na jednom pozemku spolu sklízely ve skupině zpravidla dvě sklízecí mlátičky. Jedná se o sklízecí mlátičky s radiálním systémem výmlatu s urychlovacím bubnem (systém APS) s vytrásadlovou separací. Mlátičky byly vybaveny adaptéry Vario V 750 se záběrem 7,5 m, dále byly vybaveny přijímačem signálu GPS a systémem pro mapování výnosu včetně vlhkoměru k měření vlhkosti zrna. Výstupem monitorování výnosu je soubor bodových dat, který pro každý bod záznamu obsahuje údaje o zeměpisných souřadnicích, nadmořské výšce, aktuálním výnosu, vlhkosti, rychlosti, nastavené šířce záběru adaptéru, směru jízdy a další. Claas Lexion využívá počítačový software CEBIS (viz Obrázek 2.1), který umožňuje zápis dat na paměťovou kartu v palubním počítači, odkud mohou být data stažena do počítače k následnému zpracování.

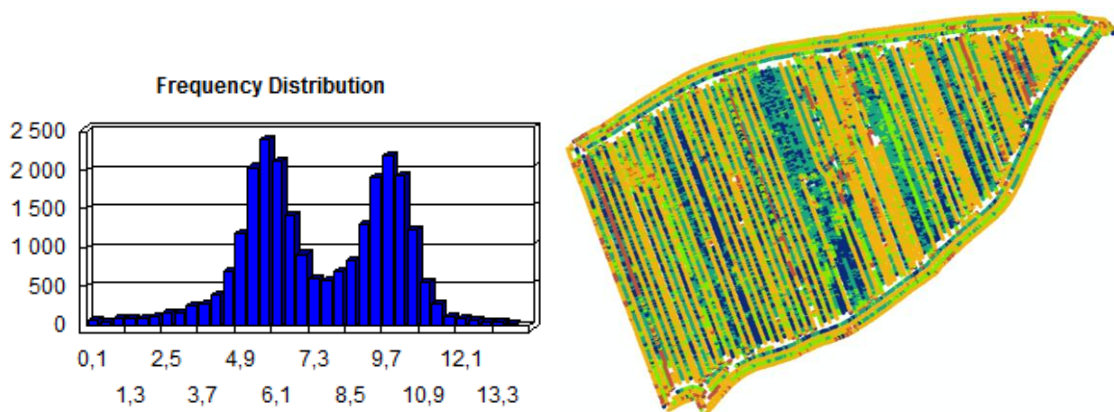


Obrázek 4.17 – Claas Lexion 670 při sklizni pšenice ozimé (foto: J. Mezera)

4.5.1 Zpracování výnosových dat

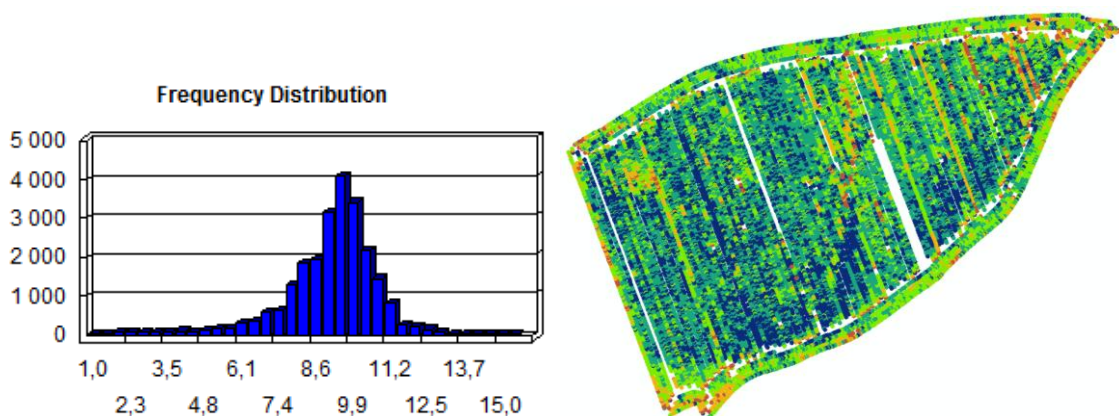
Po nahrání dat do počítače byla data nejprve převedena z formátu .aft do formátu .shp (shapefile) a do souřadného systému WGS 1984. Po zobrazení dat v programu ArcMap bylo zjištěno, že průměrné hodnoty výnosových dat z některých sklízecích mlátiček na některých pozemcích neodpovídají skutečným hodnotám průměrných výnosů za pozemek a zároveň, že se vzájemně nepřekrývají histogramy hodnot jednotlivých mlátiček na pozemku a jsou vůči sobě posunuty (viz Obrázek 4.18). Tato systematická chyba byla zapříčiněna zřejmě nedostatečnou kalibrací výnosového čidla mlátičky při sklizni. Odstranění spočívá v dodatečné kalibraci veškerých dat stejným koeficientem.

Například pro pozemek U kříže byl průměrný výnos sklízecí mlátičky číslo 1) 5,86 t/ha, mlátičky číslo 2) 9,37 t/ha a skutečný průměrný výnos za celý pozemek byl 9,16 t/ha. Posunutí histogramů sklízecích mlátiček následně způsobovalo ve výsledných mapách znatelné pruhy s nižšími a vyššími výnosy, což nebylo reálné a ani interpretovatelné (viz Obrázek 4.18).



Obrázek 4.18 – Vzájemně posunuté histogramy a znatelné pruhy ve výnosových bodových datech dvou sklízecích mlátiček na pozemku U kříže

Z tohoto důvodu byla provedena korekce (dodatečná kalibrace) výnosových dat, kdy všechna výnosová data ze sklízecí mlátičky byla pro daný pozemek vynásobena takovým kalibračním faktorem, aby se průměrná hodnota výnosu blížila průměrné hodnotě skutečného výnosu na daném pozemku (viz Tabulka 4.1). Pro pozemek U kříže byla data ze sklízecí mlátičky a) vynásobena konstantou 1,56 a u mlátičky b) nebyla korekce nutná a data byla ponechána v původních hodnotách. Tato korekce následně způsobila již překrývání histogramů sklízecích mlátiček a absenci pruhů v datech a dále i ve výnosových mapách (viz Obrázek 4.19). Následně mohly být soubory dat jednotlivých mlátiček sloučeny do jednoho podle pozemku.



Obrázek 4.19 – Histogram hodnot výnosu a výnosová bodová data dvou sklízecích mlátiček po dodatečné kalibraci na pozemku U kříže

Tabulka 4.1 – Kalibrační faktory při dodatečné kalibraci při zpracování

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Kalibrační faktor	
			mlátička a	mlátička b
0402/1	Zárybnická	41,23	0,95	1,41
4002/1	Rybník	20,01	1,12	0,70
4003/1	Okolnice	6,47	0,75	0,94
4107/1	Paličkovo 1	7,12	0,75	1,00
8101/2	Pod hřbitovem	21,61	1,00	1,50
8102/1	Podloučí	8,07	0,96	1,62
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	4,8	0,96	1,40
8202/1	U kříže	44,02	1,00	1,56
9301/3a	Zámyslov	57,44	1,50	0,96
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	0,96	1,53

4.5.1.1 Filtrace dat

Filtraci výnosových dat je nutné provést před interpolací a tvorbou výsledné celoplošné výnosové mapy. Výnosová data ze sklízecí mlátičky obsahují velké množství chyb, které vznikají během sklizně. Takovými chybami mohou být například údaje o extrémně vysokém či nízkém výnosu, které vzniknou v případě rychlé změny pojezdové rychlosti, nebo pokud obsluha neupraví správně pracovní záběr, není-li žací lišta plně využita.

Filtrace dat byla provedena manuálně pro každý pozemek zvlášť. Nejprve byly ze souboru odstraněny odlehle hodnoty výnosu podle histogramu a hodnoty, které se nacházely pod hranicí minimálního a nad hranicí maximálního výnosu. Hranice minimálního výnosu by měla být nastavena jako velmi malé číslo a hranice maximálního výnosu by měla odrážet maximální možný biologický výnos, který může daná plodina v daných podmínkách dosáhnout. V našem případě byla pro pšenici ozimou na pozemku U kříže nastavena minimální hranice výnosu 3 t/ha a maximální hranice 14 t/ha.

Dalším krokem filtrace bylo procházení hodnot se šířkou záběru menší než plný záběr žací lišty (menší než 7,5 m). Záznamy s menší šířkou záběru vznikají při dosékání jednotlivých záhonů, klínů či při nesprávném nastavení šířky záběru obsluhou sklízecí mlátičky. Body, které byly odlišné vzhledem k okolním bodům, byly odstraněny.

Dále byly odstraňovány body na začátku každé linie, kdy mlátička najížděla do porostu. V tomto případě dochází k tomu, že výnosová data se zaznamenávají již od spuštění adaptéru do pracovní polohy, přičemž se jedná o chybné hodnoty, které neodpovídají skutečnému výnosu na daném místě, neboť mlátička ještě není plně zahlcena, tzv. fill time. Z tohoto důvodu bylo odstraněno na začátku každé linie zpravidla 7 počátečních bodů, dokud nedošlo k plnému zahlcení mlátičky. Podobně

tomu bylo i na konci každé linie, kdy mlátička vyjížděla z porostů. V tomto případě byly odstraněny poslední 2-3 body.

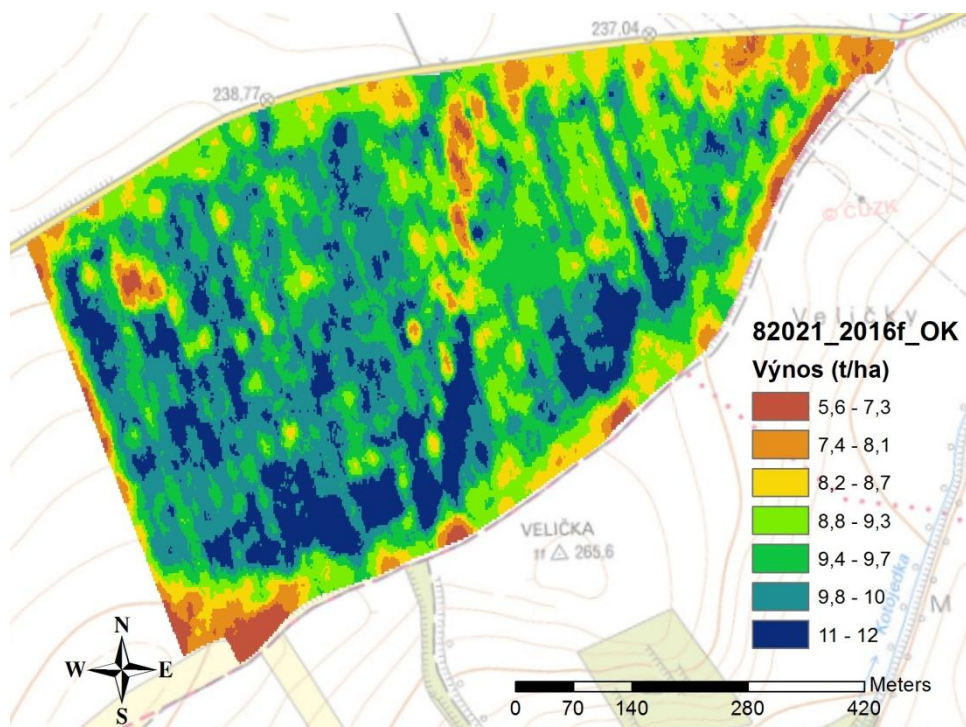
Na závěr procesu filtrování byl procházen celý pozemek jako celek a v případě potřeby byly odstraněny krátké segmenty a jiné body či linie, které byly považovány za nespolehlivé vůči okolním bodům a liniím. Tyto chybné body nebo linie mohly vzniknout například dosékáním klínů, náhlou změnou pojezdové rychlosti či při přejezdech.

Výsledkem filtrace byla bodová mapa výnosových dat připravená k dalšímu zpracování.

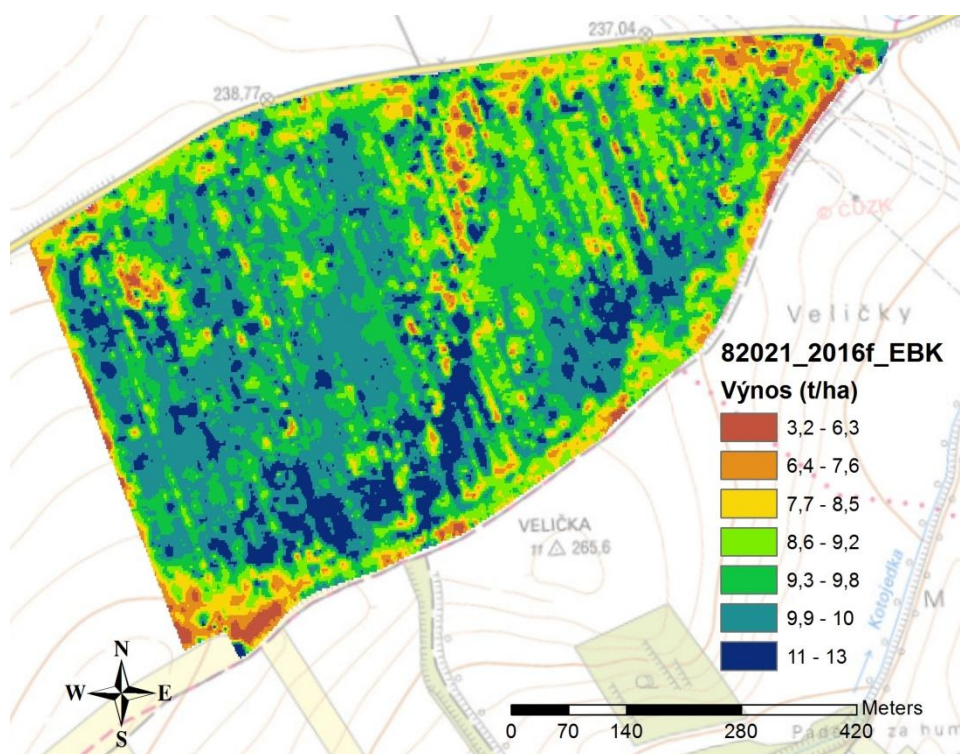
4.5.1.2 Interpolace a tvorba výnosových map

Po vyfiltrování výnosových dat byla provedena interpolace bodových dat pomocí nástrojů v GIS pro získání souvislých rastrových map. Interpolace byla provedena metodami OK (Ordinary kriging) (Obrázek 4.20) a EBK (Empirical bayesian kriging) (Obrázek 4.21). K výsledné interpolaci byla použita metoda OK z důvodu poskytnutí optimálnějších výsledků než metoda EBK, při které se zachovávalo příliš mnoho detailů a nedosahovalo se potřebného vyhlazení. Výchozí parametry výpočtů byly nastaveny stejně pro všechny interpolace výnosů, aby mohly být výnosové mapy pro jednotlivé pozemky spolu porovnatelné. Interpolace bodových dat byla provedena pro všechny pozemky, kde byla k dispozici zároveň i data ze senzoru Isaria, pomocí skriptu, který obsahoval i nástroj pro ořezání výsledné vrstvy podle tvaru konkrétního pozemku.

K přehlednému zobrazení byla provedena klasifikace do 7 tříd metodou Natural Breaks (Jenks) s barevnou škálou od červené po modrou stejně jako v případě rastrových map ze systému Isaria.



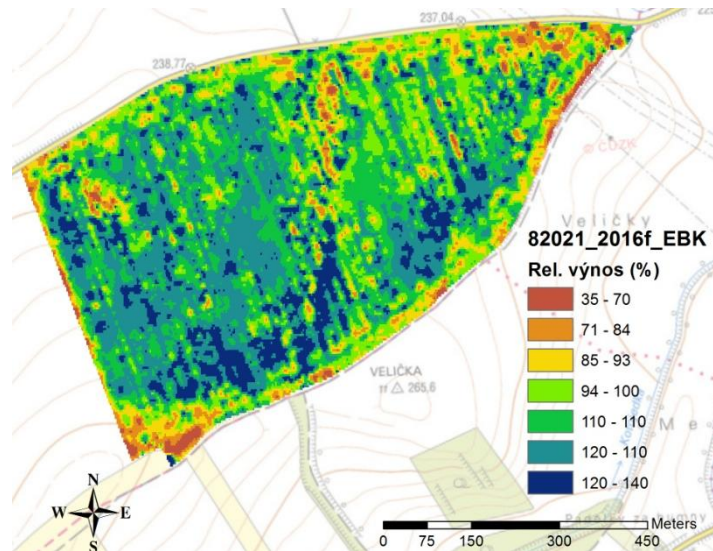
Obrázek 4.20 – Výnosová mapa po interpolaci metodou OK pozemku U křiže



Obrázek 4.21 – Výnosová mapa po interpolaci metodou EBK pozemku U křiže

4.5.1.3 Normalizace výnosových map

Normalizací výnosových map lze stanovit výnosovou úroveň pozemku vyjadřující procentuální porovnání výnosu na daném místě s průměrným výnosem celého pozemku ve sledovaném roce. Normalizace nám umožňuje porovnání výnosových map různých ročníků, plodin či odrůd s odlišným výnosovým potenciálem.



Obrázek 4.22 – Normalizovaná mapa výnosu na pozemku U kříže

5 VÝSLEDKY

5.1 Popisné statistiky a charakteristiky

Základní popisné statistiky a charakteristiky zpracovaných rastrových map zkoumaných pozemků jsou uvedeny v následujících tabulkách. Výsledné rastrové mapy byly zpracovány v programu ArcMap 10.3.1 (ESRI, Redlands, USA), data byla zpracována v programech Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) a STATISTICA 12 (StatSoft ČR s.r.o, Praha, Česká republika). Celková rozloha zkoumaných pozemků je 248,75 ha. Pro ilustraci jsou zde zařazeny pouze rastrové mapy sloučených sledovaných pozemků, rastrové mapy jednotlivých pozemků jsou obsaženy v příloze. Rastrové mapy ze senzoru Isaria byly vytvořeny interpolační metodou Empirical bayesian kriging (EBK) a rastrové mapy výnosu byly vytvořeny interpolační metodou Ordinary kriging (OK).

Tabulka 5.1 – Základní popisné charakteristiky zkoumaných pozemků

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Plodina			Odrůda
			2014	2015	2016	2016
0402/1	Zárybnická	41,23	řepka oz.	pšenice oz.	pšenice oz.	Viriato
4002/1	Rybník	20,01	pšenice oz.	soja	pšenice oz.	Tobak VO
4003/1	Okolnice	6,47	pšenice oz.	soja	pšenice oz.	Tobak VO
4107/1	Paličkovo 1	7,12	pšenice oz.	soja	pšenice oz.	Tobak VO
8101/2	Pod hřbitovem	21,61	pšenice oz.	řepka oz.	pšenice oz.	Matchball E
8102/1	Podloučí	8,07	pšenice oz.	řepka oz.	pšenice oz.	Matchball VO
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	4,8	řepka oz.	pšenice oz.	pšenice oz.	Rebel
8202/1	U kříže	44,02	pšenice oz.	řepka oz.	pšenice oz.	Rebel
9301/3	Zámyslov	95,76	řepka oz.	pšenice oz.	pšenice oz.	Matchball
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	řepka oz.	pšenice oz.	pšenice oz.	Rebel

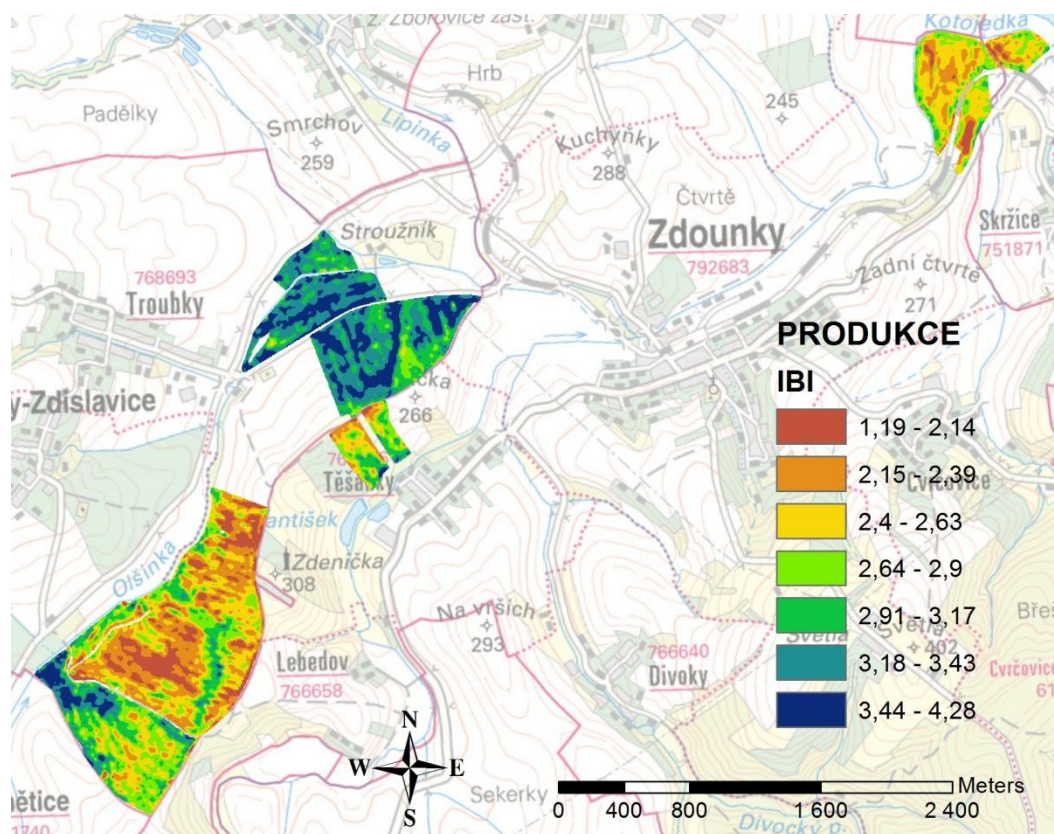
Pozn. oz. = ozimá

5.1.1 Produkční hnojení

5.1.1.1 Index IBI

Tabulka 5.2 – Popisné statistiky indexu IBI senzoru Isaria při produkčním hnojení

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Isaria produkce IBI					Směr. odch.	Var. koef. [%]
			Min	Max	Rozpětí	Průměr			
0402/1	Zárybnická	41,23	1,60	3,98	2,38	2,91	0,36	12,36	
4002/1	Rybník	20,01	1,70	3,22	1,52	2,51	0,21	8,36	
4003/1	Okolnice	6,47	1,25	3,42	2,17	2,51	0,25	10,12	
4107/1	Paličkovo 1	7,12	1,63	3,43	1,80	2,50	0,31	12,54	
8101/2	Pod hřbitovem	21,61	2,18	4,00	1,82	3,37	0,19	5,76	
8102/1	Podloučí	8,07	2,26	3,82	1,57	3,20	0,19	6,05	
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	4,8	1,68	3,50	1,82	2,76	0,33	11,95	
8202/1	U kříže	44,02	1,92	4,28	2,36	3,30	0,26	7,84	
9301/3	Zámyslov	95,76	1,33	3,60	2,27	2,42	0,32	13,31	
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	1,62	3,96	2,34	2,66	0,32	12,13	



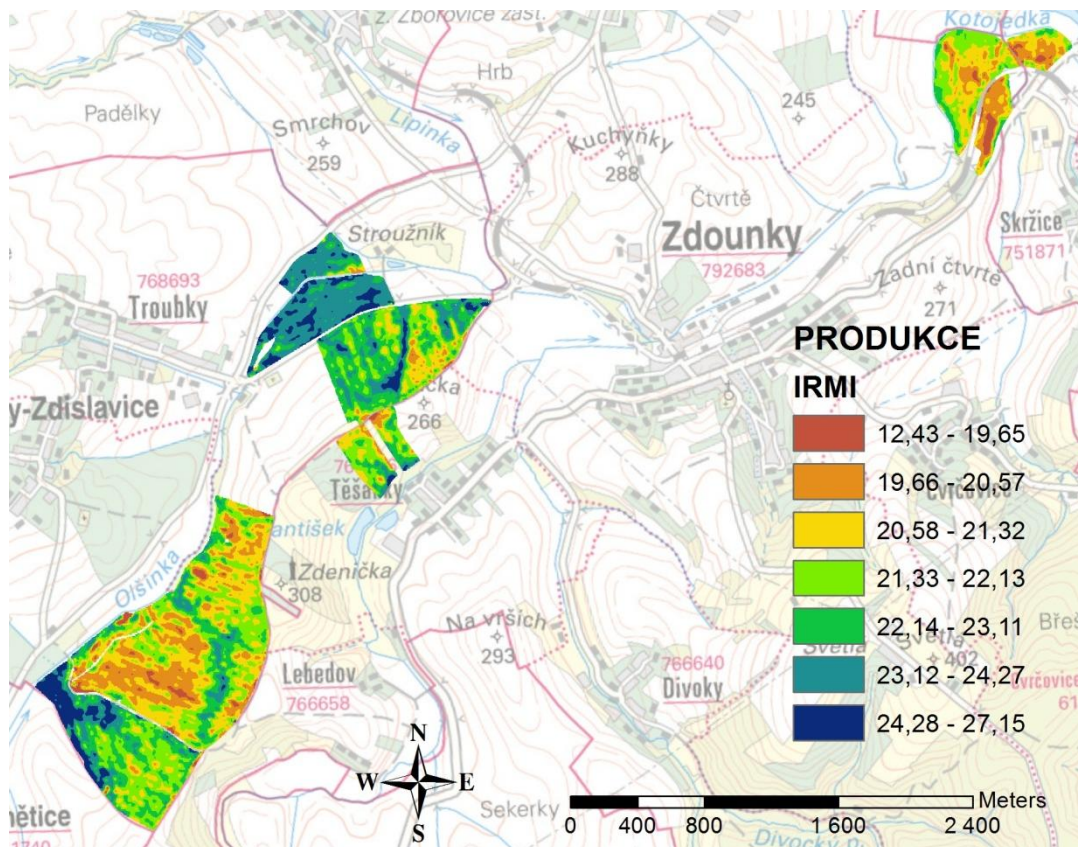
Obrázek 5.1 – Rastrová mapa indexu IBI při produkčním hnojení

Nejvyššího průměrného indexu IBI 3,37 měřeného senzorem Isaria při produkčním hnojení bylo dosaženo na pozemku Pod hřbitovem (8101/2), nejnižšího na pozemku Zámyslov (9301/3a), kde byla průměrná hodnota 2,42.

5.1.1.2 Index IRMI

Tabulka 5.3 – Popisné statistiky indexu IRMI senzoru Isaria při produkčním hnojení

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Isaria produkce IRMI					
			Min	Max	Rozpětí	Průměr	Směr. odch.	Var. koef. [%]
0402/1	Zárybnická	41,23	17,23	26,71	9,48	22,76	1,37	6,00
4002/1	Rybník	20,01	18,93	23,12	4,19	21,25	0,67	3,13
4003/1	Okolnice	6,47	17,54	23,00	5,46	20,71	0,76	3,68
4107/1	Paličkovo 1	7,12	18,22	23,44	5,22	20,38	0,91	4,47
8101/2	Pod hřbitovem	21,61	19,84	26,45	6,61	23,84	0,61	2,56
8102/1	Podloučí	8,07	19,76	25,87	6,11	23,34	0,91	3,89
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	4,8	18,31	24,51	6,20	21,87	1,11	5,09
8202/1	U kříže	44,02	19,07	27,15	8,09	22,40	1,05	4,68
9301/3	Zámyslov	95,76	12,43	24,88	12,46	21,08	1,01	4,81
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	18,87	26,22	7,36	21,79	0,98	4,50



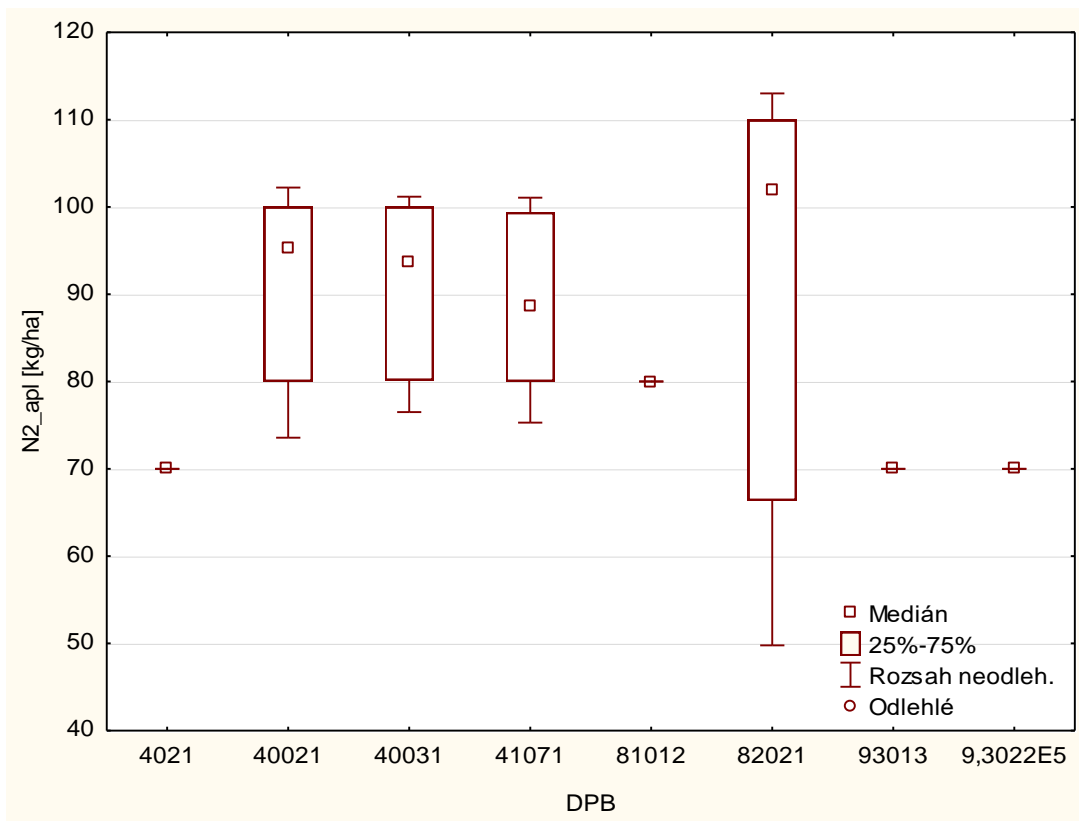
Obrázek 5.2 – Rastrová mapa indexu IRMI při produkčním hnojení

Nejvyššího průměrného indexu IRMI 23,84 měřeného senzorem Isaria při produkčním hnojení bylo dosaženo opět na pozemku Pod hřbitovem (8101/2) a nejnižšího na pozemku Paličkovo 1 (4107/1), kde byla průměrná hodnota 20,38.

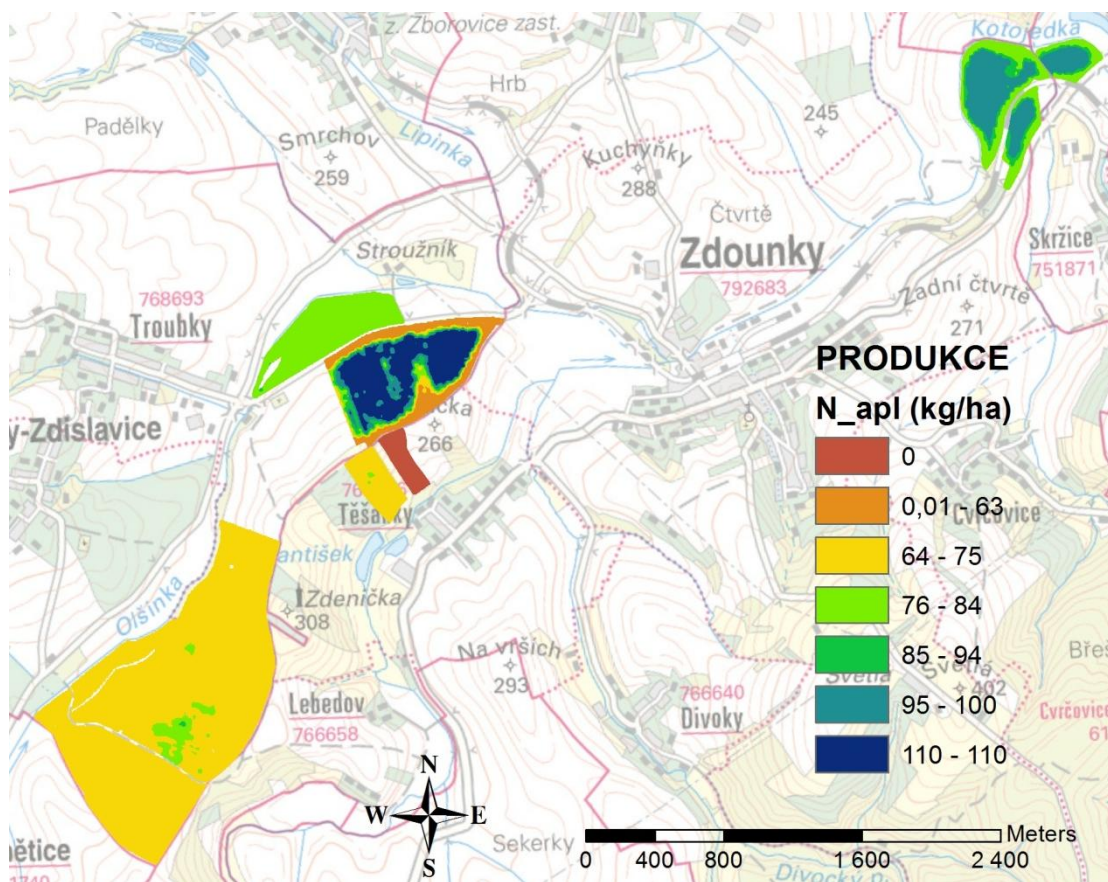
5.1.1.3 Aplikace dusíku

Tabulka 5.4 – Popisné statistiky aplikace dusíku při produkčním hnojení

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Aplikace dusíku produkce N2 [kg/ha]						
			Min	Max	Rozpětí	Průměr	Směr. odch.	Suma [kg]	Var. k. [%]
0402/1	Zárybnická	41,23	69,76	74,11	4,36	70,01	0,12	2886,41	0,17
4002/1	Rybník	20,01	72,86	102,24	29,38	91,45	8,99	1830,60	9,83
4003/1	Okolnice	6,47	75,66	101,18	25,52	91,06	8,96	589,24	9,84
4107/1	Paličkovo 1	7,12	74,37	101,17	26,80	89,45	8,80	636,68	9,84
8101/2	Pod hřbitovem	21,61	75,03	91,45	16,42	80,03	0,42	1729,51	0,52
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8202/1	U kříže	44,02	47,13	113,87	66,74	90,29	22,18	3974,41	24,57
9301/3	Zámyslov	95,76	69,41	86,06	16,65	70,83	2,39	6753,81	3,37
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	69,51	78,49	8,98	70,23	0,97	542,90	1,39



Obrázek 5.3 – Krabicový graf aplikovaného dusíku při produkčním hnojení seskupený dle DPB



Obrázek 5.4 – Rastrová mapa aplikovaného dusíku při produkčním hnojení

Z grafu i z mapy je patrné, že nastavení systému Isaria pro variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv při produkčním hnojení nebylo nastaveno optimálně pro všechny pozemky. V případě pozemků Rybník (4002/1), Paličkovo 1 (4107/1) a Okolnice (4003/1) bylo nastaveno přiměřené rozpětí dávek dusíkatých hnojiv a při aplikaci byl podporován slabší porost pro vyrovnání porostu. Pro pozemek U kříže (8202/1) bylo nastaveno široké rozpětí dávek, ale je zde velice patrný vliv podkladové mapy hlavně na souvraticích. V případě pozemků Pod hřbitovem (8101/2), Čtvrť od Troubek 1 (9302/16), Zámyslov (9301/3) a Zárybnická (0402/1) bylo zřejmě nevhodně nastaveno rozpětí dávek, respektive příliš vysoká hodnota minimální dávky, v důsledku čehož došlo k téměř uniformní dávce hnojiva. Pozemek Čtvrť od Troubek 2 (8201/1) byl pomocí senzoru Isaria pouze mapován, ale hnojivo nebylo aplikováno. Vyšší hodnoty u rozpětí a variačního koeficientu zde znamenají větší variabilitu v dávkách hnojení.

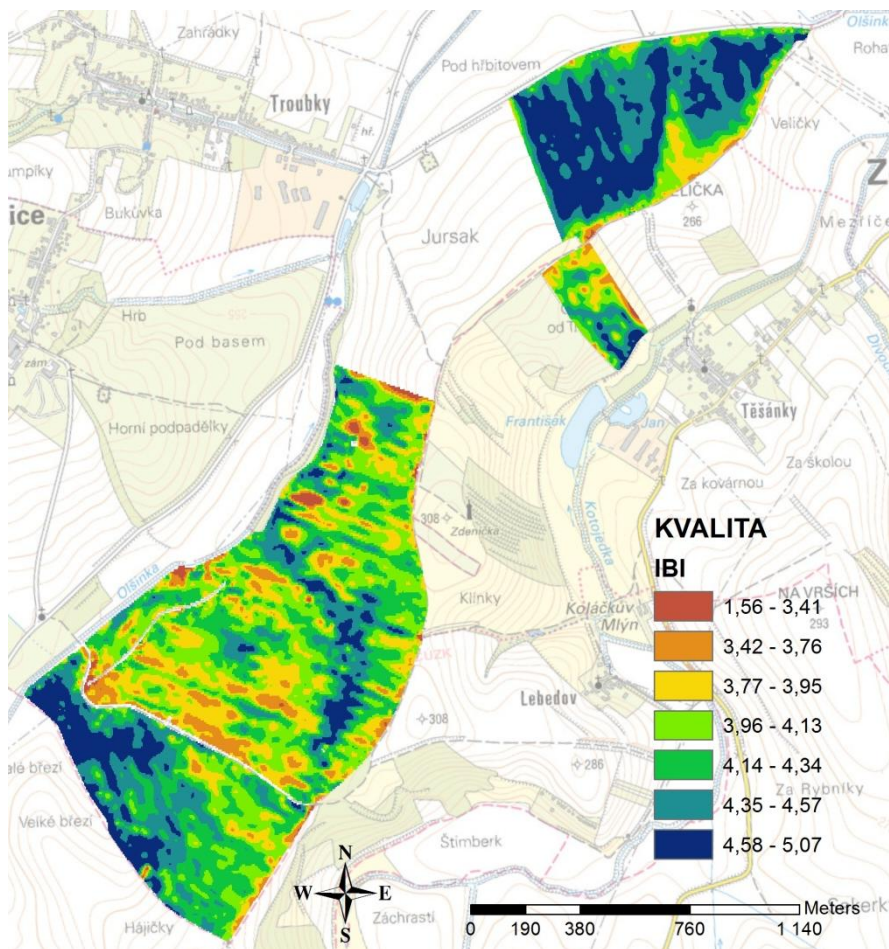
5.1.2 Kvalitativní hnojení

Při kvalitativním hnojení bylo snímání porostu a následná aplikace dusíkatých hnojiv pomocí senzoru Isaria provedeno pouze na čtyřech pozemcích s výměrou 188,74 ha.

5.1.2.1 Index IBI

Tabulka 5.5 – Popisné statistiky indexu IBI senzoru Isaria při kvalitativním hnojení

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Isaria kvalita IBI					
			Min	Max	Rozpětí	Průměr	Směr. odch.	Var. koef. [%]
0402/1	Zárybnická	41,23	1,56	4,97	3,42	4,32	0,27	6,14
8202/1	U kříže	44,02	3,02	5,02	2,00	4,46	0,28	6,18
9301/3	Zámyslov	95,76	2,57	4,92	2,35	4,06	0,26	6,32
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	3,03	4,94	1,91	4,14	0,29	6,99



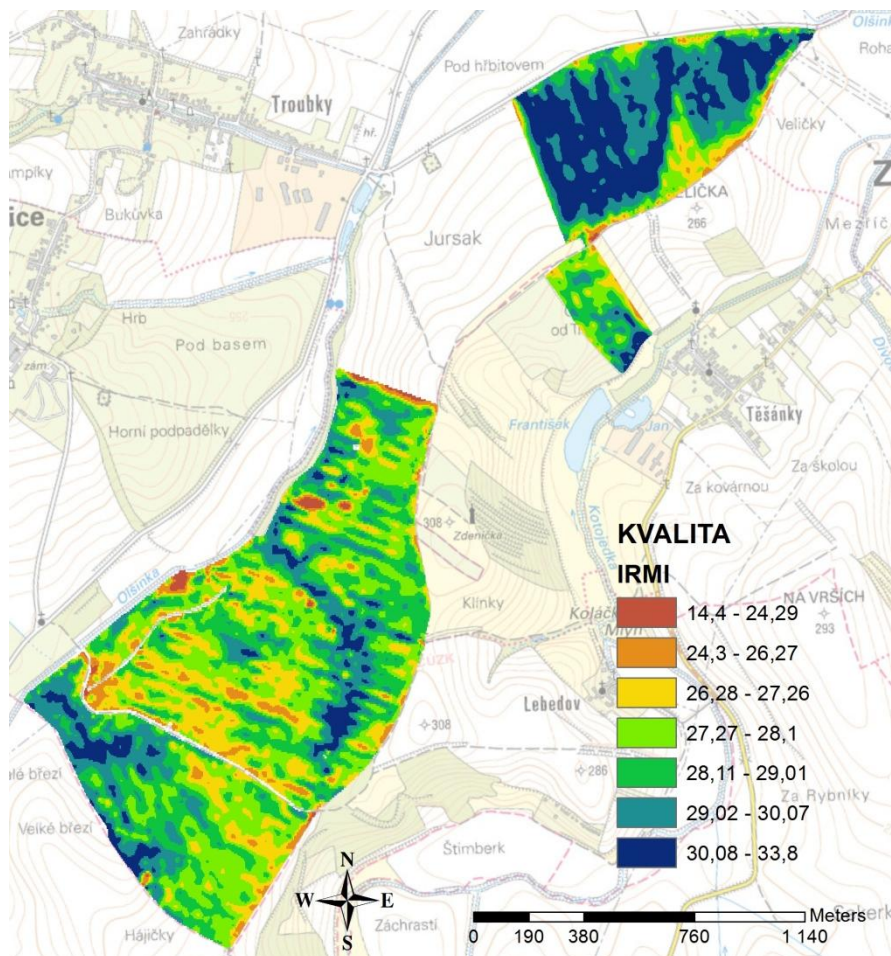
Obrázek 5.5 – Rastrová mapa indexu IBI při kvalitativním hnojení

Při kvalitativním hnojení byly průměrné hodnoty indexu IBI velice vyrovnané, nejnižší průměrné hodnoty 4,06 bylo dosaženo na pozemku Zámyslov (9301/3), nejvyšší 4,46 na pozemku U kříže (8202/1).

5.1.2.2 Index IRMI

Tabulka 5.6 – Popisné statistiky indexu IRMI senzoru *Isaria* při kvalitativním hnojení

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Isaria kvalita IRMI					
			Min	Max	Rozpětí	Průměr	Směr. odch.	Var. koef. [%]
0402/1	Zárybnická	41,23	14,40	31,39	16,99	28,39	1,12	3,95
8202/1	U kříže	44,02	23,33	33,28	9,95	29,56	1,36	4,60
9301/3	Zámyslov	95,76	18,37	31,51	13,14	27,81	1,19	4,27
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	25,03	32,33	7,30	28,39	1,05	3,69



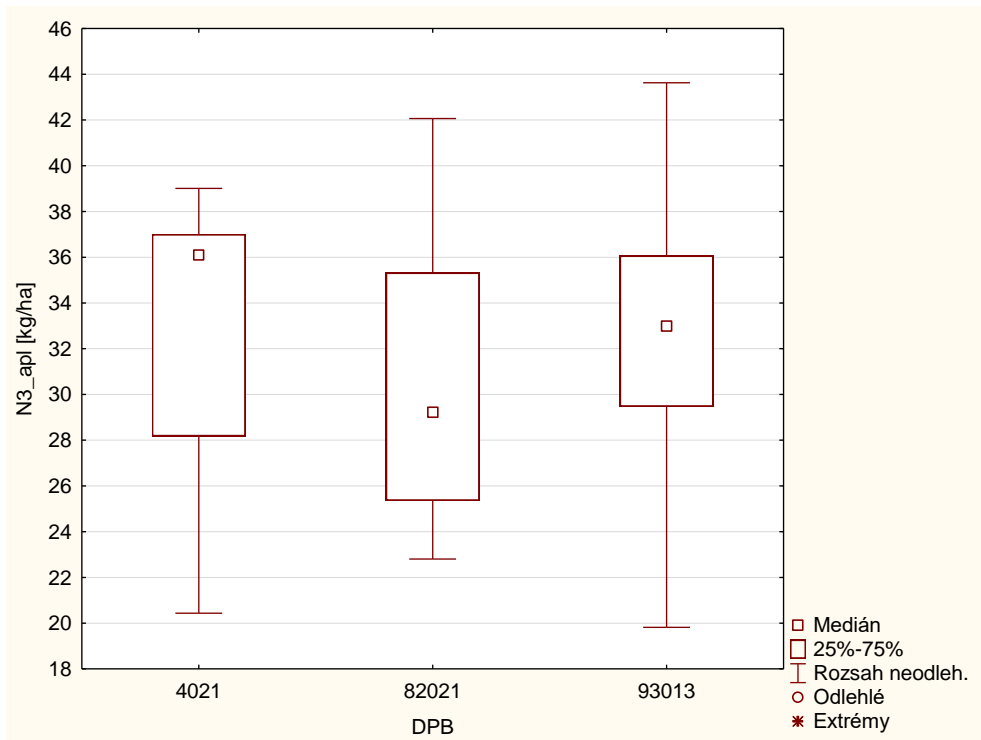
Obrázek 5.6 – Rastrová mapa indexu IRMI při kvalitativním hnojení

Pro hodnoty indexu IRMI bylo stejně jako v případě indexu IBI dosaženo nejnižší průměrné hodnoty 27,81 na pozemku Zámyslov (9301/3) a nejvyšší 29,56 na pozemku U kříže (8202/1).

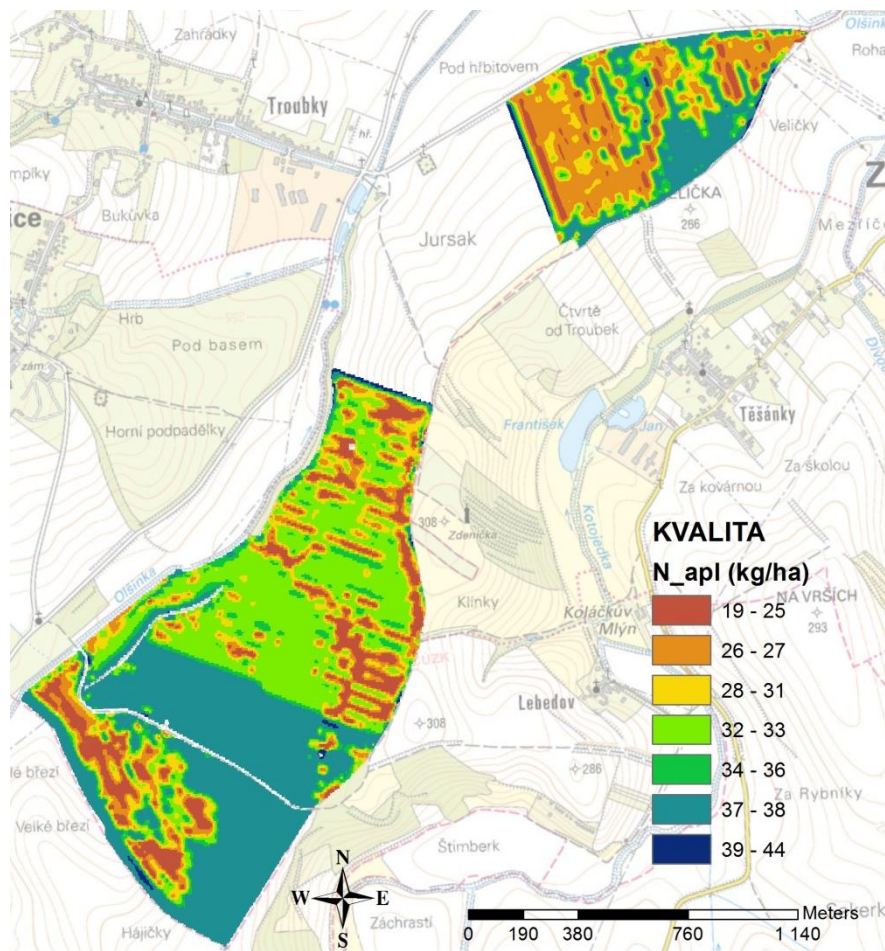
5.1.2.3 Aplikace dusíku

Tabulka 5.7 – Popisné statistiky aplikace dusíku při kvalitativním hnojení

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Aplikace dusíku kvalita N3 [kg/ha]						
			Min	Max	Rozpětí	Průměr	Směr. odch.	Suma [kg]	Var. k. [%]
0402/1	Zárybnická	41,23	20,35	39,15	18,80	32,74	5,19	1349,94	15,85
8202/1	U kříže	44,02	19,32	42,90	23,58	30,26	4,85	1331,78	16,02
9301/3	Zámyslov	95,76	19,82	41,43	21,62	33,37	4,04	3067,08	12,10
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	35,00	35,00	0,00	35,00	0,00	270,55	0,00



Obrázek 5.7 - Krabicový graf aplikovaného dusíku při kvalitativním hnojení dle DPB



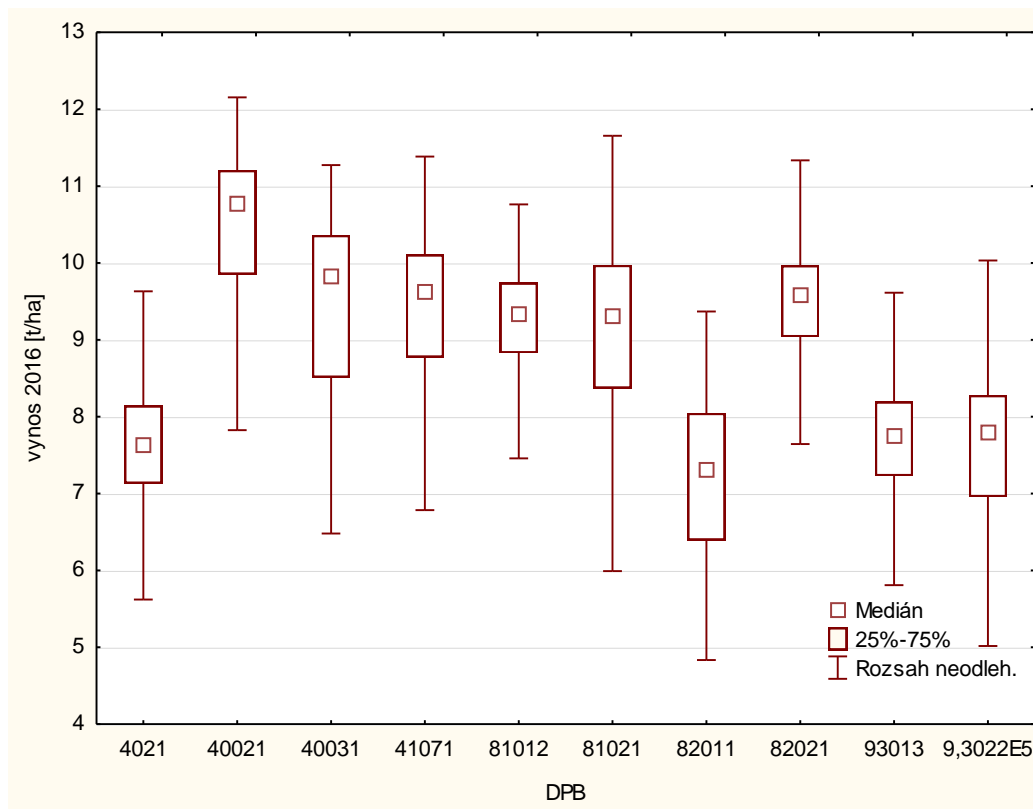
Obrázek 5.8 – Rastrová mapa aplikovaného dusíku při kvalitativním hnojení

Při kvalitativním hnojení byly zjištěny vyšší hodnoty vegetačních indexů IRMI a IBI v porovnání s produkčním hnojením, které odpovídají nárůstu nadzemní biomasy a zvýšení obsahu dusíku v rostlinách. Pro pozemky U kříže (8202/1), Zámyslov (9301/3) a Zárybnická (0402/1) bylo nastaveno dostatečné rozpětí dávek dusíkatých hnojiv. Průměrná dávka se pohybovala lehce nad 30 kg N/ha. Vyšší dávky byly aplikovány v místech s nižšími hodnotami indexu IBI a IRMI indikující slabší porost, naopak v místě vyšších hodnot indexu IBI a IRMI byly aplikovány nižší dávky dusíkatého hnojiva. Na pozemku Čtvrť od Troubek 1 (9302/16) byla aplikována uniformní dávka hnojiva 35 kg N/ha.

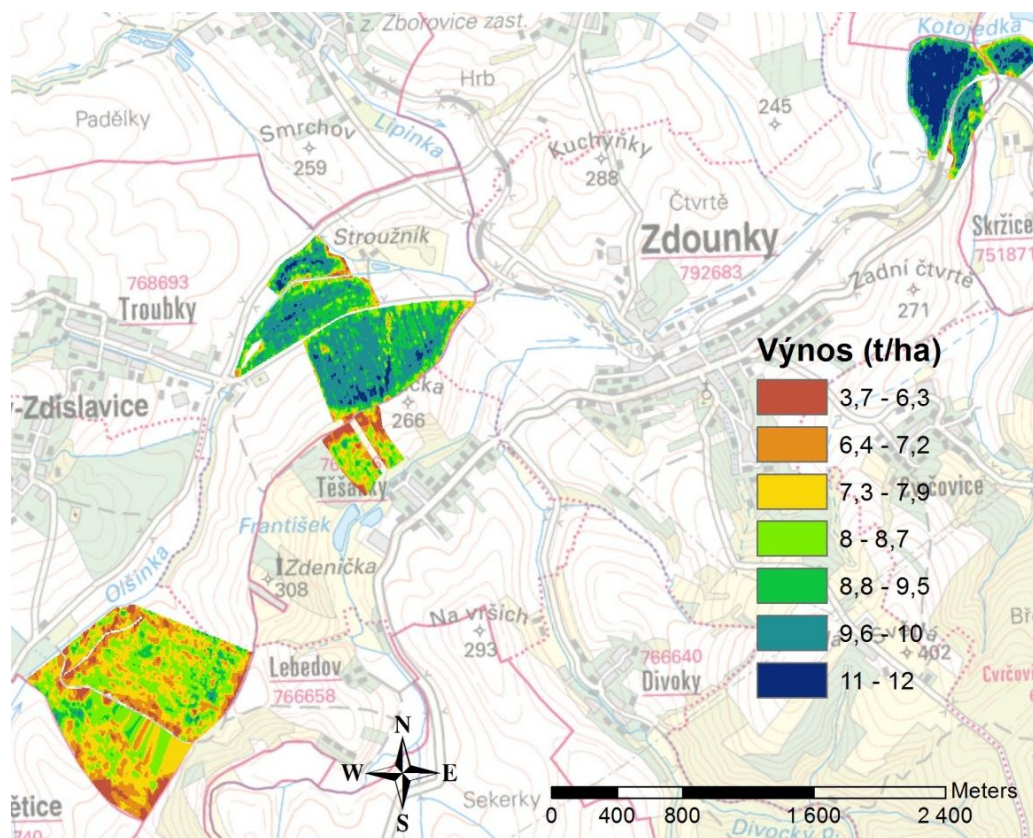
5.1.3 Výnos

Tabulka 5.8 – Popisné statistiky výnosu

ZKODFB	Název	Výměra [ha]	Výnos [t/ha]						
			Min	Max	Rozpětí	Průměr	Směr. odch.	Suma [t]	Var. k. [%]
0402/1	Zárybnická	41,23	3,94	10,50	6,56	7,58	0,82	312,59	10,80
4002/1	Rybník	20,01	6,65	12,20	5,55	10,47	0,96	209,47	9,15
4003/1	Okolnice	6,47	4,84	12,39	7,55	9,44	1,15	61,11	12,15
4107/1	Paličkovo 1	7,12	4,35	11,41	7,05	9,33	1,13	66,45	12,12
8101/2	Pod hřbitovem	21,61	5,86	10,92	5,06	9,21	0,78	199,13	8,49
8102/1	Podloučí	8,07	4,63	11,85	7,22	9,06	1,22	73,20	13,41
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	4,8	4,57	9,56	4,98	7,22	0,98	34,68	13,59
8202/1	U kříže	44,02	5,55	11,53	5,98	9,43	0,78	415,20	8,32
9301/3a	Zámyslov	57,44	3,65	10,68	7,03	7,67	0,80	58,30	10,43
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	7,73	3,81	10,14	6,32	7,54	1,05	440,60	13,98



Obrázek 5.9 – Krabicový graf výnosu seskupený dle DBP



Obrázek 5.10 – Rastrová mapa výnosu sledovaných pozemků

Jak je patrné z grafu i z mapy, nejvyššího průměrného výnosu bylo dosaženo na pozemku Rybník (4002/1) s průměrným výnosem 10,47 t/ha, naopak nejnižšího

průměrného výnosu na pozemku Čtvrť od Troubek 2 (8201/1) s průměrným výnosem 7,22 t/ha. Z pozemku Zámyslov (9301/3) a Zárybnická (0402/1) nebyla k dispozici výnosová data z celého pozemku, proto je výnosová mapa pouze z části pozemku nebo je dopočítaná pomocí interpolace.

5.2 Statistické zpracování dat

Ke statistickému zpracování byla použita jednotka pixel. Vztahy mezi jednotlivými veličinami byly vyjádřeny pomocí korelačního koeficientu a lineární regrese.

5.2.1 Korelační analýza

Míry závislosti mezi vybranými veličinami byly vyjádřeny pomocí korelačního koeficientu. Některé veličiny nevykazovaly normální rozdělení, proto byl k výpočtu použit Spearmanův korelační koeficient. Matice hodnot Spearmanova korelačního koeficientu je uvedena v následující tabulce (Tabulka 5.9).

Tabulka 5.9 – Matice hodnot Spearmanova korelačního koeficientu r

	Spearmanovy korelace. Označ. korelace jsou významné na hl. $p < 0,05$									
Proměnná	sentinel_0523	vynos_2016 [t/ha]	N2IRMI	N2IBI	N2_apl [kg/ha]	N3IRMI	N3IBI	N3_apl [kg/ha]	Zdounky_DEM	YP_Mendelu
sentinel_0523	1,000	0,212	0,488	0,435	0,123	0,627	0,620	-0,436	-0,013	0,285
vynos_2016 [t/ha]	0,212	1,000	0,136	0,292	0,638	0,528	0,485	-0,309	-0,624	0,059
N2IRMI	0,488	0,136	1,000	0,878	0,070	0,704	0,768	-0,383	-0,176	0,254
N2IBI	0,435	0,292	0,878	1,000	0,244	0,688	0,752	-0,291	-0,324	0,229
N2_apl [kg/ha]	0,123	0,638	0,070	0,244	1,000	0,368	0,334	-0,142	-0,541	0,168
N3IRMI	0,627	0,528	0,704	0,688	0,368	1,000	0,952	-0,619	-0,409	0,226
N3IBI	0,620	0,485	0,768	0,752	0,334	0,952	1,000	-0,544	-0,350	0,227
N3_apl [kg/ha]	-0,436	-0,309	-0,383	-0,291	-0,142	-0,619	-0,544	1,000	0,329	0,127
Zdounky_DEM	-0,013	-0,624	-0,176	-0,324	-0,541	-0,409	-0,350	0,329	1,000	0,027
YP_Mendelu	0,285	0,059	0,254	0,229	0,168	0,226	0,227	0,127	0,027	1,000

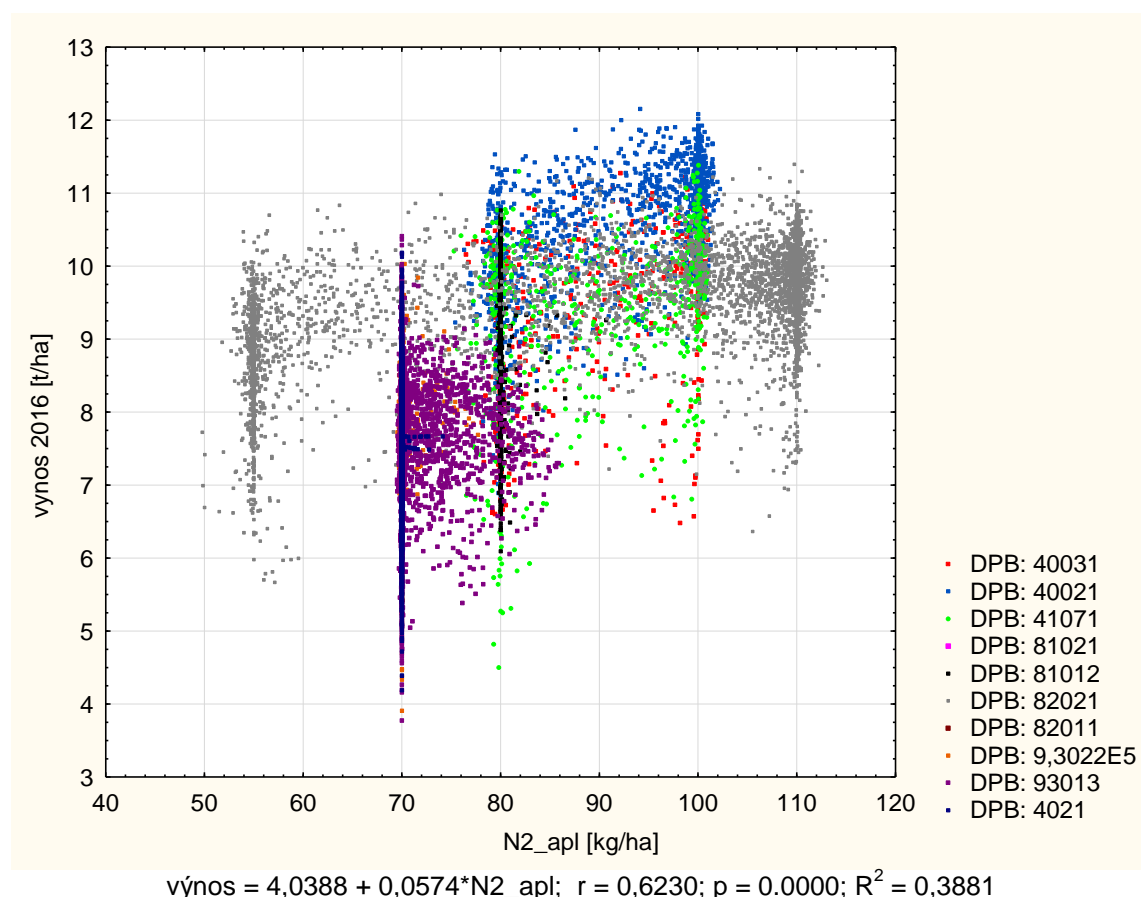
Všechny červeně označené hodnoty korelačního koeficientu jsou statisticky významné, což znamená, že na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byla zamítnuta nezávislost a prokázána závislost mezi hodnocenými proměnnými.

Je vhodné poukázat na některé závislosti mezi proměnnými. Za pozornost stojí například střední míra přímé závislosti r (0,488, 0,435, 0,627, 0,620) mezi satelitním snímkem z družice Sentinel ze dne 23. 5. 2016 a indexy IBI a IRMI při produkčním i kvalitativním hnojení. Dále střední míra nepřímé závislosti r (-0,436, -0,309, -0,619, -0,544) mezi snímkem z družice Sentinel, výnosem, indexy IRMI a IBI při kvalitativním hnojení a aplikací dusíku při kvalitativním hnojení, kde záporné znaménko ukazuje, že

dusíkem byly při kvalitativním hnojení více podporovány slabší porosty na rozdíl od silnějších porostů, na které bylo dusíku aplikováno méně. Silnější přímá závislost $r = 0,638$ je v případě výnosu a aplikací dusíku při produkčním hnojení, což znamená, že více dusíku bylo aplikováno na silnější porosty a naopak méně dusíku na slabší porosty. Poměrně slabá závislost $r (0,070, 0,244)$ mezi indexem IRMI a IBI při produkčním hnojení a aplikací dusíku při produkčním hnojení zřejmě poukazuje na velký vliv podkladové mapy při aplikaci či nevhodné nastavení systému Isaria. Zajímavá je i silnější míra přímé závislosti $r (0,528, 0,485)$ mezi indexem IRMI, IBI při kvalitativním hnojení a výnosem s porovnáním míry závislosti $r (0,136, 0,292)$ mezi indexem IRMI, IBI při produkčním hnojení a výnosem. Dále za zmínku stojí silná míra přímé závislosti mezi indexy při produkčním a při kvalitativním hnojení, která značí dobrou opakovatelnost snímání porostu senzorem. Silná míra nepřímé závislosti $r = -0,624$ mezi výnosem a digitálním modelem terénu nadmořské výšky potvrzuje tvrzení, že s vyšší nadmořskou výškou dochází ke snižování výnosu.

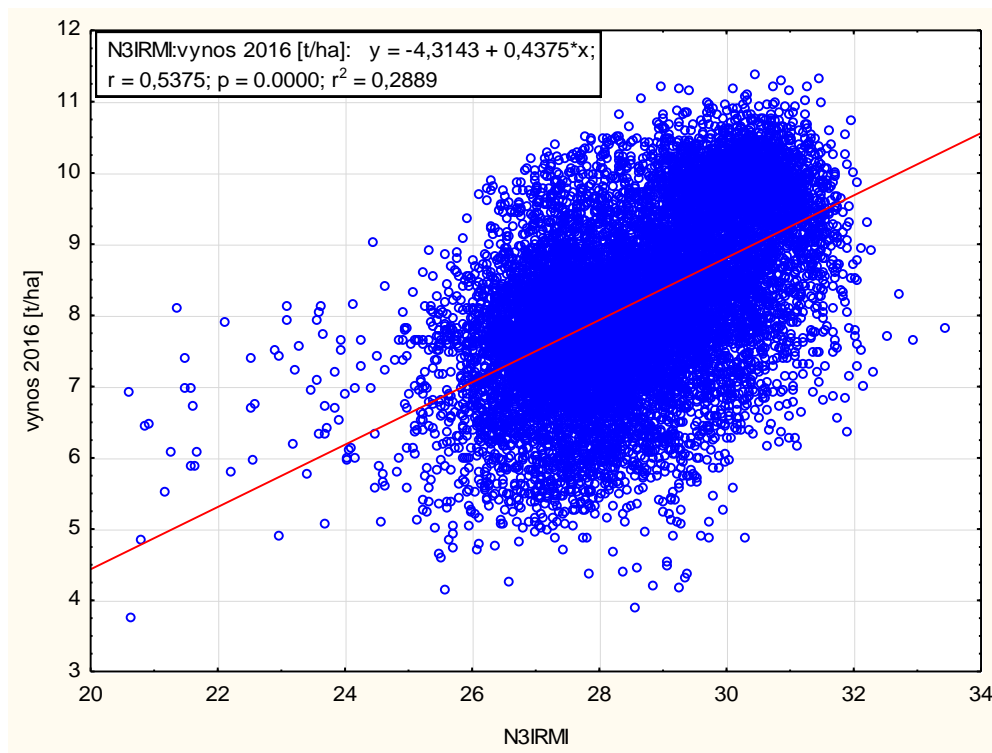
5.2.2 Lineární regrese

Pro vybrané silné a významné závislosti byla provedena regresní analýza.



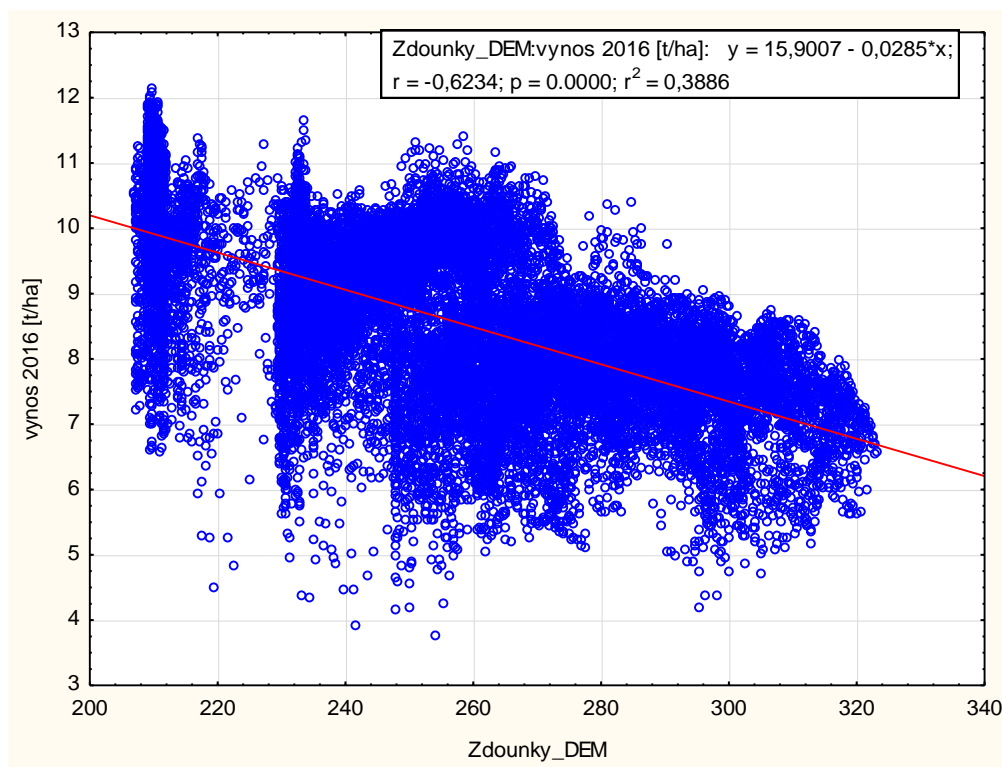
Obrázek 5.11 – Bodový graf výnosu a aplikovaného dusíku při produkčním hnojení

Bodový graf (Obrázek 5.11) ukazuje závislost mezi výnosem a aplikovaným množstvím dusíku při produkčním hnojení. Pod grafem vidíme celkové charakteristiky sledované závislosti. Na základě testu je korelační koeficient průkazný, jelikož hodnota $p < 0,05$. Hodnota korelačního koeficientu $r = 0,62$ ukazuje na poměrně vysokou míru přímé závislosti. Regresní rovnice říká, že zvýší-li se dávka dusíku o 10 kg/ha, zvýší se výnos o 0,574 t/ha. Podle indexu determinace R^2 model vysvětlil 38,8 % variability dat. V grafu vidíme zastoupení jednotlivých pozemků dle barev. U některých pozemků (např. 402/1, 8101/2, 9302/16) převažuje svislá čára bodů, která značí, že aplikovaná dávka byla téměř konstantní na celém pozemku a pozemek tak nebyl hnojen variabilně, ale uniformně. U ostatních pozemků (např. 8202/1, 4003/1, 4002/1) je již znatelná vyšší míra variability bodů, která značí vyšší variabilitu dávek při aplikaci. Vyšší hustota bodů v krajních hranicích, např. u šedé barvy pozemku 8202/1, ukazuje vyšší četnost aplikovaných dávek v těchto oblastech a značí, že rozmezí dávek by mohlo být nastaveno ještě širší.



Obrázek 5.12 – Bodový graf výnosu a indexu IRMI při kvalitativním hnojení

Bodový graf (Obrázek 5.12) ukazuje závislost výnosu a indexu odrazivosti IRMI při kvalitativním hnojení přes všechny pozemky. Dle hodnoty p je korelační koeficient r průkazný a hodnota 0,54 ukazuje na střední míru závislosti mezi veličinami. Z regresní rovnice vyplývá, že zvýší-li se vegetační index IRMI o 1, výnos se zvýší přibližně o 0,44 t/ha. Model vysvětlil podle indexu determinace R^2 28,9 % variability dat.

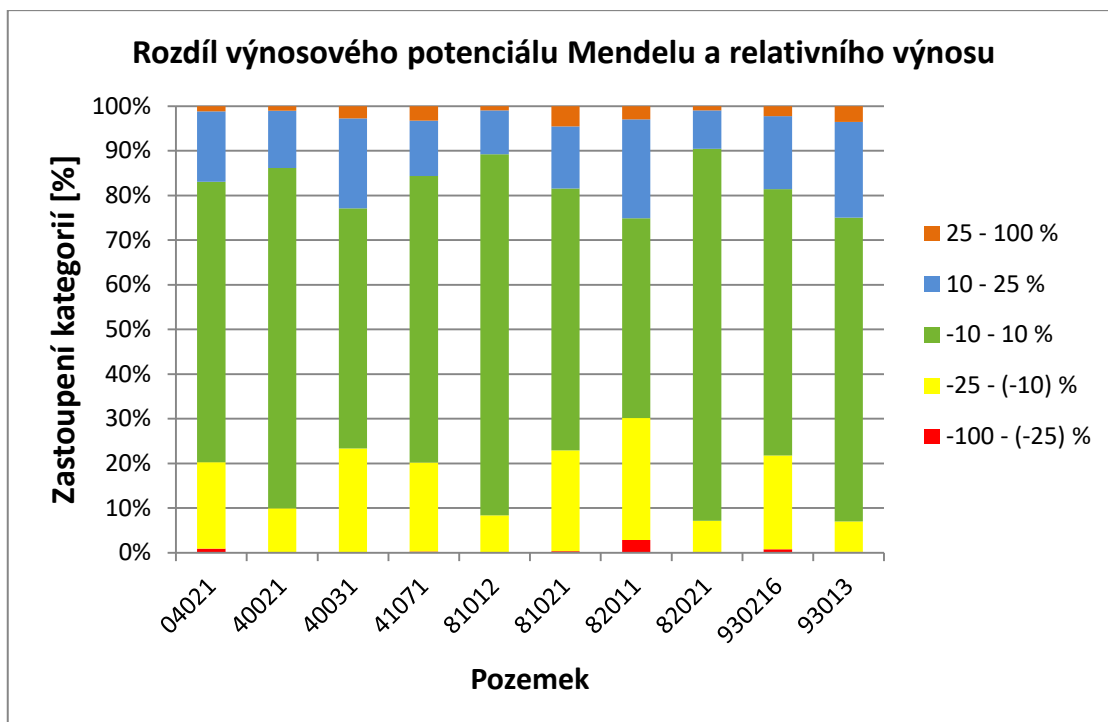


Obrázek 5.13 – Bodový graf výnosu a digitálního modelu terénu nadmořské výšky

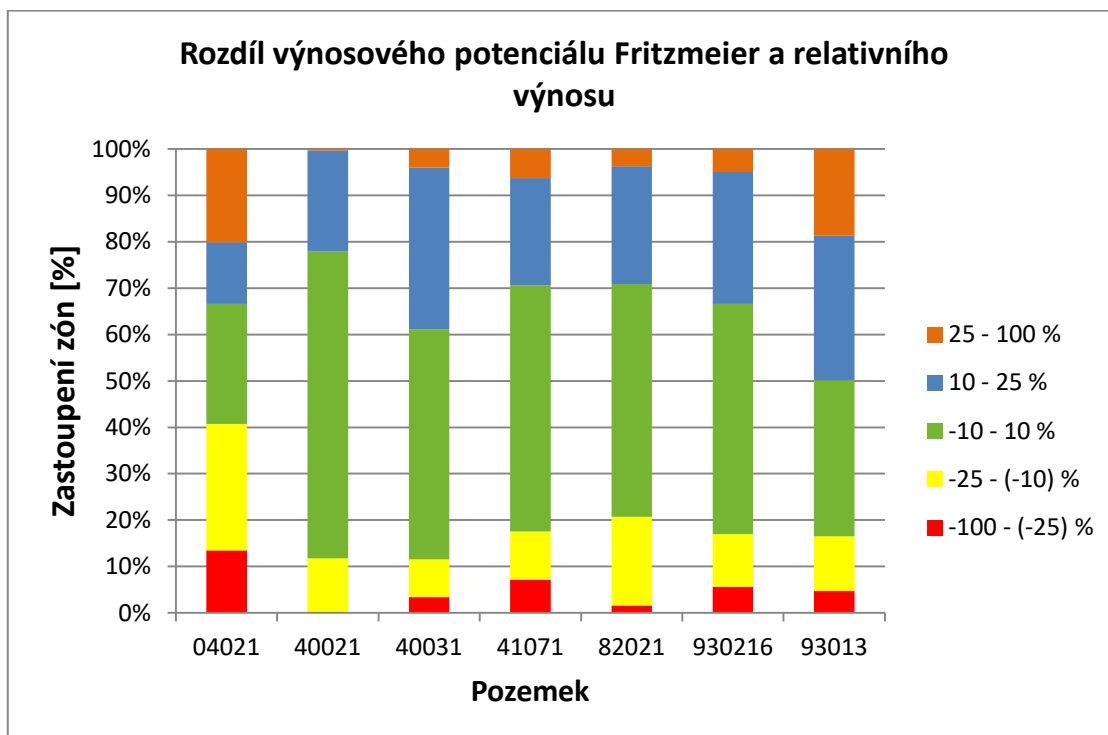
Korelační koeficient r závislosti výnosu a digitálního modelu terénu nadmořské výšky (Obrázek 5.13) je opět průkazný na základě testové statistiky, jelikož hodnota $p < 0,05$. Hodnota korelačního koeficientu $r = -0,62$ značí významnou nepřímou míru závislosti. Z regresní rovnice můžeme vyčíst, že zvýší-li se nadmořská výška o 10 m, pak se výnos sníží o 0,285 t/ha. Dle indexu determinace R^2 model vysvětlil 38,9 % variability dat. Znatelné svislé pruhy v bodech značí téměř rovinatý povrch některých pozemků.

5.3 Vyhodnocení relativních rozdílů

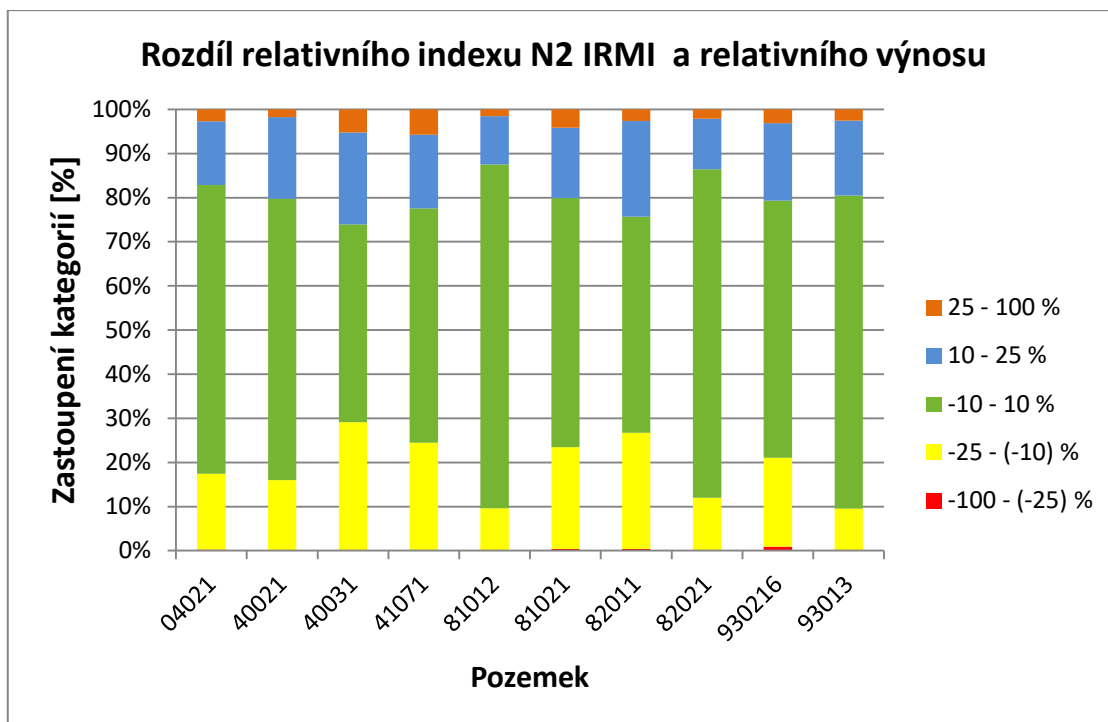
Vyhodnocení relativních rozdílů bylo provedeno tak, že od sebe byly odečteny vždy dvě mapy vyjádřené relativně a výsledné hodnoty byly následně rozděleny do pěti kategorií, z nichž každá zobrazuje procentuální zastoupení jednotlivých kategorií. První kategorie obsahuje hodnoty -min až -25 %, druhá -25 % až -10 %, třetí -10 % až 10 %, čtvrtá 10 % až 25 % a pátá 25 % až max.



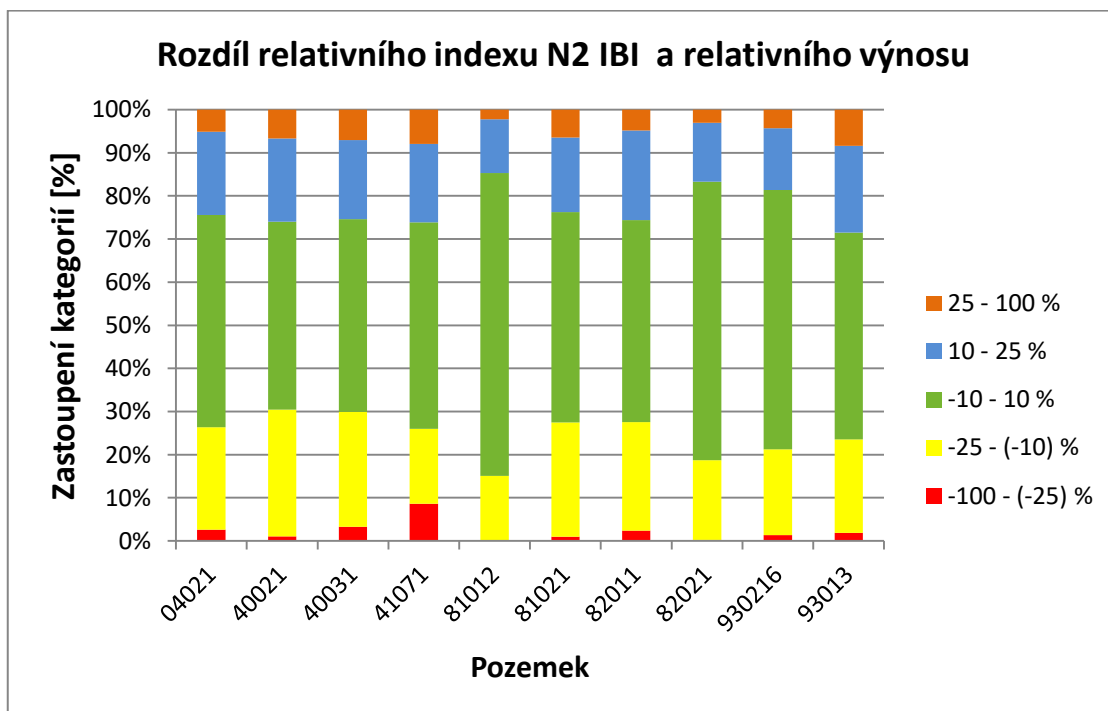
Obrázek 5.14 – Graf rozdílu výnosového potenciálu Mendelu a relativního výnosu



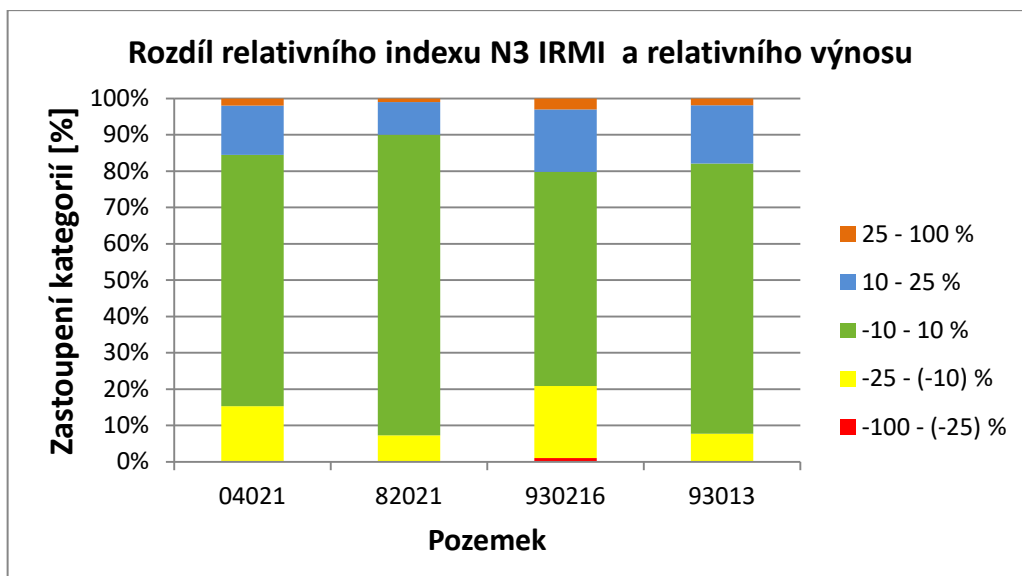
Obrázek 5.15 – Graf rozdílu výnosového potenciálu Fritzmeier a relativního výnosu



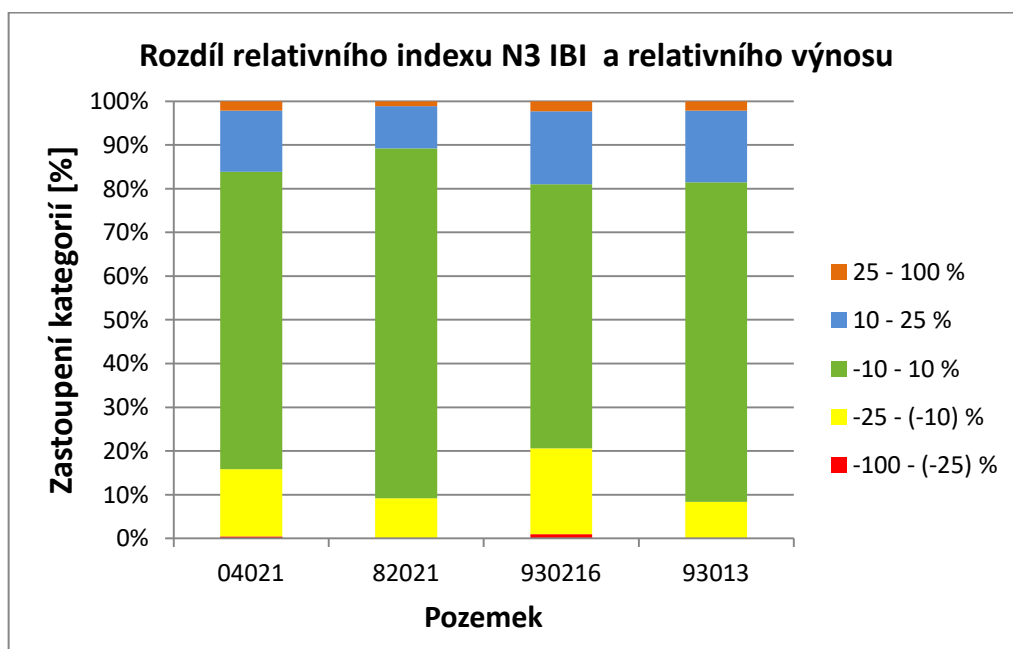
Obrázek 5.16 – Graf rozdílu relativního indexu N2 IRMI a relativního výnosu



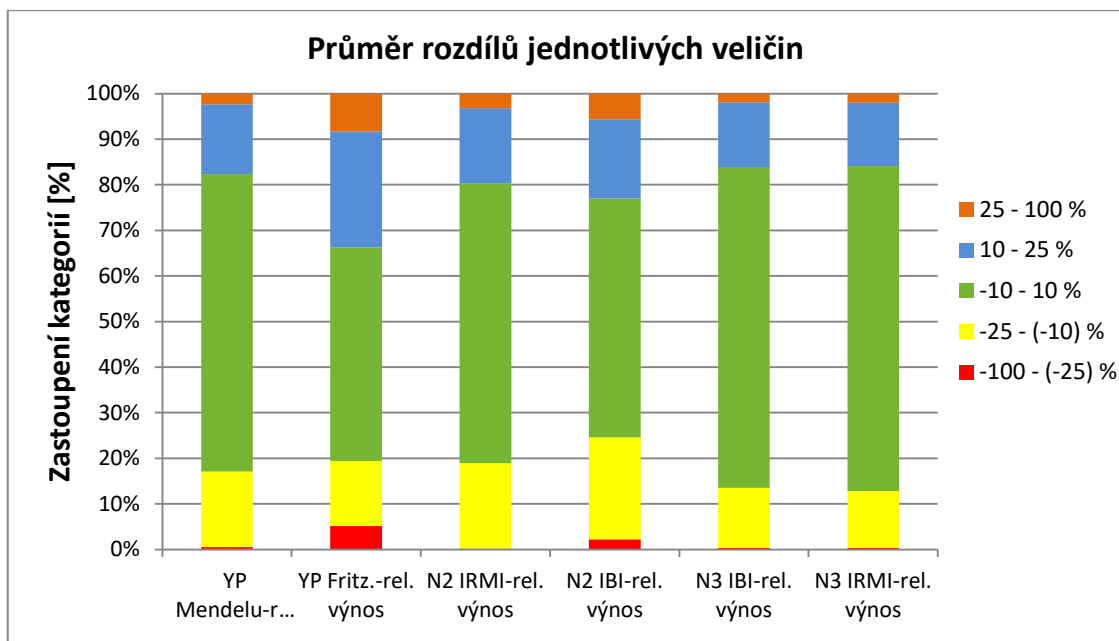
Obrázek 5.17 – Graf rozdílu relativního indexu N2 IBI a relativního výnosu



Obrázek 5.18 – Graf rozdílu relativního indexu N3 IRMI a relativního výnosu



Obrázek 5.19 – Graf rozdílu relativního indexu N3 IBI a relativního výnosu



Obrázek 5.20 – Graf celkových průměrů rozdílů jednotlivých relativních veličin

V grafech vidíme ve sloupcích procentuální zastoupení jednotlivých kategorií. Nejvyšší zastoupení má třetí kategorie (-10 % až 10 %) označená zelenou barvou, o které můžeme říci, že se zde prostorové rozložení zón map vyjádřených relativně téměř shoduje. Vysoké zastoupení třetí kategorie v rozdílu výnosů značí shodu dosaženého výnosu s předpokládaným výnosovým potenciálem Mendelu (Obrázek 5.14), nižší zelený sloupec u výnosového potenciálu Fritzmeier značí menší shodu s dosaženými výnosy (Obrázek 5.15). V rozdílu indexů ze sensorového systému Isaria a relativního výnosu je patrná shoda snímání jednotlivých zón sensorovým systémem se skutečně dosaženým výnosem.

Při zobrazení celkových průměrů rozdílů (Obrázek 5.20) vidíme, že zastoupení třetí kategorie (téměř shoda map) je nejnižší u rozdílu výnosového potenciálu Fritzmeier a relativního výnosu (47 %) a rozdílu indexu IBI při produkčním hnojení a rel. výnosu (52 %), nejvyšší potom u indexů IBI a IRMI při kvalitativním hnojení (71 %). Při zobrazení dle pozemků se zastoupení třetí kategorie až na výjimky u výnosového potenciálu Fritzmeier a indexu N2 IBI pohybuje v rozmezí 50 – 70 %, celkově nejvyšší shodu map má pozemek 8101/2 Pod hřbitovem a pozemek 8202/1 U kříže, kde se procentuální zastoupení pohybuje nejčastěji mezi 70 – 80 %. Nejnižší shody je naopak dosaženo na pozemcích 4003/1 Okolnice a 8201/1 Čtvrť od Troubek 2, což může být způsobeno jejich velmi malou výměrou. Mapy relativních rozdílů jsou obsaženy v příloze.

6 DISKUSE

Způsob hospodaření s celoplošným uniformním hnojením a variabilním hnojením může přinést různé výsledky. Vyšší výnos na ha v případě variabilního hnojení lze očekávat za předpokladu, že stanová dávka hnojiva bude zhruba stejná a ne nižší než při uniformním hnojení. Otázkou zůstává, zda by se měla variabilní aplikace dusíkatých hnojiv zaměřovat na vyšší výnosy z ha nebo na nižší náklady dusíkatých hnojiv. Touto otázkou se zabývali i Thriwakala et al. (1997), kde bylo shledáno, že na půdách středně a vysoce úrodných by variabilní aplikace měla být nastavena na vyšší výnosy a na půdách méně úrodných naopak na snížení výdajů na hnojiva. Úrodnost ale ovšem nezávisí pouze na vlastnostech půdy, ale i na počasí a dalších faktorech.

Variabilní hnojení by mělo mít za následek vyšší efektivnost využití dusíku, která je podle Klíra (2002) důležitá pro životní prostředí, protože neefektivní využití dusíku zvyšuje náklady na hnojiva a ve vlhčích oblastech může způsobit prosakování dusičnanů do podzemních vod a následně i do pitné vody. Proto je podle Heege (2013) potřebná větší přesnost v aplikaci a zvýšení efektivity využití dusíku, neboli aplikovat na správném místě, ve správný čas a se správnou intenzitou a docílit tak vyššího výnosu, nižších nákladů na dusík a lepší kvality vody. V práci Hrůzy (2008) byl pokusem prokázán ekonomický přínos v úspoře směsného hnojiva na méně produktivních plochách variabilně hnojených parcel a dále byla vyčíslena finanční ztráta přehnojováním vysoce podprůměrných míst průměrnou dávkou hnojiva na uniformně hnojených plochách. Z práce vyplývá, že variabilní aplikace pouze na základě výnosových map nepřináší maximalizaci výnosů, ale optimalizuje dávky hnojiva s cílem zajistit efektivnější využití nákladů na hnojení polních plodin. Lipavský (2000) uvádí, že variabilním hnojením lze přizpůsobovat vstupy k optimalizaci produktivity.

Ve výživě obilnin dusíkem jsou uplatňovány rozdílné přístupy. Neudert, Lukas et al., 2015, Lukas, 2012 a další uvádějí, že se zvyšujícími se hodnotami senzorového měření je v případě produkčního hnojení dávka dusíku snižována pro vyrovnání porostu a naopak až po určitou hranici (s ohledem na případnou korekci podle podkladové mapy výnosového potenciálu) a při kvalitativním hnojení zvyšována, protože v dané fázi je zapotřebí dostatečného výskytu zelených částí rostlin pro příjem dusíku. Z výsledků uvedených v této práci ovšem vyplývá, že tato strategie aplikace dusíku na všech pozemcích uskutečněna nebyla. V případě produkčního hnojení došlo na některých pozemcích k téměř uniformní aplikaci hnojiva zřejmě z důvodu nastavení

nedostatečného rozsahu dávek při nastavení senzorového systému Isaria. V případě kvalitativního hnojení byla dávka aplikovaného dusíku se zvyšujícími se naměřenými hodnotami snižována, díky čemuž nemusel být maximálně využit výnosový potenciál nejvýnosnějších zón.

Variabilní hnojení systémem Isaria může zvýšit výnos, jak ukazují výsledky práce Galambošové et al. (2015), kteří provedli na pokusném pozemku na Slovensku porovnání uniformního a variabilního hnojení pšenice systémem Isaria. Variabilní aplikace dusíku na základě využívání informací o odrazivosti porostu a výnosového potenciálu pozemku přinesla výrazný ekonomický benefit v podobě zvýšení výnosu o 1,25 t/ha. Zvýšení bylo způsobeno vyššími dávkami hnojiva v průměru o 49 kg N/ha, které však bylo porostem využito. Experiment prokázal, že variabilní aplikace hnojiv má potenciál zvýšit ekonomickou efektivnost pěstování obilnin (na pokusném pozemku o 150,68 €/ha).

Vyšší výnos byl zaznamenán i v podobném pokusu v lokalitě Křečhoř, který provedli Kroulík et al. (2016), kterým vyšel při variabilním hnojení systémem Isaria výnos přibližně o 0,2 t/ha vyšší oproti jednotné dávce hnojiva. Výsledky u lokality Zdounky, kde byl pokus proveden Lukas a Novák (2015) a Lukas a Novák (2016) v letech 2015 a 2016. V roce 2015 vyšly na pokusném pozemku výnosy téměř shodné ve všech variantách a v roce 2016 se výsledky mírně lišily mezi pozemky i mezi jednotlivými variantami, což zesiluje význam ověřování variabilní aplikace v různých půdních a klimatických podmínkách, s různými odrůdami či předplodinami v rámci osevních sledů.

Prostorové členění zón senzorového měření systému Isaria vizuálně odpovídá zónám ve výnosových mapách. Soulad prostorového rozložení vegetačních indexů s výnosy potvrzují i mapy relativních rozdílů, které se shodují (s odchylkou $\pm 10\%$) na 65 % zkoumaných pozemků. Závislost mezi výnosem a vegetačními indexy vyjadřují i hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu s hodnotami $r = 0,136$ pro N2 IRMI 0,292 pro N2 IBI, 0,528 pro N3 IRMI a 0,485 pro N3 IBI. K podobným hodnotám došli i Lukas a Novák (2015), kterým vyšly hodnoty korelačního koeficientu r mezi výnosem a N2 IRMI 0,550, N2 IBI 0,352, N3 IRMI 0,470 a N3 IBI 0,529.

Závislost výnosu a nadmořské výšky vyšla $r = -0,62$ a podobné výsledky byly shledány i v práci Kumhálové (2010), která se zabývala vztahy mezi výnosem a topografickými parametry. Topografické parametry podle ní ovlivňují půdní parametry (dostupnost vody, velikost půdních částic a obsah organické hmoty v půdě).

Vliv reliéfu terénu je patrný například i na pozemcích 9301/3 Zámyslov a 8202/1 U kříže (viz Obrázek 5.5), kde jsou názorně vidět údolnice linoucí se přes pozemky. Vysoké hodnoty indexu IBI a IRMI v těchto místech značí velké množství biomasy z důvodu větší dostupnosti vody a splaveným živinám do údolí. Korelační koeficienty r závislosti výnosu a nadmořské výšky byly v její práci statisticky významné a pohybovaly se v různých letech od 0,07 do -0,71 s tím, že vyšší míry závislosti bylo dosaženo v sušších letech než ve vlhčích. Závislostí výnosu a topografických parametrů se zabývali např. i Simons et al. (1989), Afyuni et al. (1993), Kravchenko a Bullock (2000) a další.

7 ZÁVĚR

V teoretické části práce jsou shrnuty základní poznatky o precizním zemědělství, o mapování variability půdy, porostů a monitorování výnosů. V praktické části bylo provedeno zpracování dat a tvorba map ze sensorového systému Isaria, který byl použit k mapování porostů a následné variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv na pozemcích střediska Zdounky společnosti SALIX MORAVA a.s. při produkčním a kvalitativním přihnojování. V případě produkčního hnojení došlo na některých pozemcích k téměř uniformní aplikaci hnojiva zřejmě z důvodu nastavení nedostatečného rozsahu dávek při nastavení sensorového systému Isaria. V případě kvalitativního hnojení byla dávka aplikovaného dusíku se zvyšujícími se naměřenými hodnotami snižována, díky čemuž nemusel být následně maximálně využit výnosový potenciál nejvýnosnějších zón.

Další část práce se zabývá zpracováním dat ze sklízecí mlátičky a tvorbou výnosových map na pozemcích, na kterých ve sklizňovém roce 2016 byla aplikace dusíkatých hnojiv provedena pomocí sensorového systému Isaria. Jelikož data ze sklízecích mlátiček byla na některých pozemcích vzájemně posunuta, byla provedena dodatečná kalibrace bodových dat. Data ze sklízecích mlátiček obsahovala velké množství chybových hodnot, které bylo nutno odstranit, jinak by nebylo možné data použít pro pozdější analýzy. Z variačního koeficientu pohybujícího se od 8 do 14 % můžeme usuzovat na relativně dobré vyfiltrování a malý výskyt extrémních chybových hodnot. Filtrace výnosových dat je náročný proces, který by v budoucnu mohly usnadnit moderní technologie sklizně, navigační systémy či celková automatizace sklizňových prací, konkrétně tedy vybavení sklízecích mlátiček autopiloty, vzájemná komunikace mezi sklízecími mlátičkami při sklizni z důvodu automatického odečítání záběru, který je v případě manuálního odečítání velkým zdrojem chyb.

Následně byly zpracované mapy podrobeny analýze vzájemných závislostí pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Středně silná přímá závislost byla prokázána mezi snímkem z družice Sentinel z 23. 5. 2016 a indexy IBI a IRMI při produkčním a kvalitativním hnojení, středně silná nepřímá závislost mezi snímkem z družice Sentinel, výnosem, indexy IRMI a IBI při kvalitativním hnojení a aplikací dusíku při kvalitativním hnojení, čili při kvalitativním hnojení byly dusíkem více podporovány slabší porosty na rozdíl od silnějších porostů. Dále byla prokázána přímá závislost mezi výnosem a aplikací dusíku při produkčním hnojení a nepřímá závislost mezi výnosem a digitálním modelem terénu nadmořské výšky potvrzující tvrzení, že s nadmořskou

výškou výnos klesá. Pro vybrané silné a významné závislosti byla provedena ještě regresní analýza.

Poslední část práce obsahuje vyhodnocení relativních rozdílů, kdy od sebe byly odečteny dvě mapy vyjádřené relativně a výsledné hodnoty byly rozděleny do pěti kategorií zobrazujících procentuální zastoupení jednotlivých kategorií. Nejvyšší shody bylo dosaženo mezi indexy IBI, IRMI při kvalitativním hnojení a dosaženým výnosem. Dobré shody bylo dále dosaženo mezi výnosovým potenciálem Mendelu, indexem IRMI při produkčním hnojení a dosaženým výnosem.

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že systém precizního zemědělství je schopen poskytnout dostatečné množství informací o variabilitě pozemků s potenciálem optimalizace řízení vstupů do rostlinné výroby. Ekonomický efekt je však dlouhodobý a závislý na schopnostech pracovníků v zemědělské praxi jednotlivých prvků precizního zemědělství využívat.

Dle mého názoru je využití senzorového systému Isaria do budoucnosti velice přínosné, ale bude ještě potřebné zapracovat na znalosti správné funkčnosti celého systému a nadále otestovat různé možnosti nastavení a zjistit, které bude nejvhodnější do daných podmínek pěstování. To pak může přinést maximální očekávaný přínos a správné využití výnosového potenciálu na daném místě. Při využívání výnosových map by bylo vhodné ještě zapracovat na dostatečné kalibraci výnosových monitorů sklízecích mlátiček při sklizni.

Důležitým předpokladem je použití vhodného systému v podniku, který má dobře zvládnutou celou technologii pěstování rostlin, jelikož precizní zemědělství je pouze nastavbou, která musí být aplikována na fungujících základech. Variabilní aplikace pak přináší očekávaný přínos, ekonomický efekt a je šetrná k životnímu prostředí, protože cílená aplikace umožňuje následné využití rostlinným potenciálem, nedochází k přehnojování slabších míst a nezůstávají tak nevyužité živiny v půdě podléhající intenzivnímu vyplavování do spodních vod.

8 LITERATURA

- BLACKMORE, B. S. and LARSCHEID, G., 1997. Strategies for Managing Variability. In: STAFFORD, J. (ed.), *First European Conference on Precision Agriculture*. UK, BIOS scientific publishers. s. 851-859.
- COUFALOVÁ, O., LUKAS, V., KŘEN, J. *Multispektrální snímkování porostu obilnin* [online]. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav agrosystémů a bioklimatologie. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/11403271-Multispektralni-snimkovani-porostu-obilnin.html>
- EHLERT, Detlef, Potsdam BORNIM, Peter JÜRSCHIK a Susanne OTTER-NACKE, 2008. CROP-Meter with Technical Improvements. *LANDTECHNIK* [online]. Bielefeld, 63(1): 26-27. [cit. 2017-01-19]. Dostupné z: <https://www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/download/2008-1-026-027/1207>
- GALAMBOŠOVÁ, Jana, Martin INGELI a Vladimír RATAJ, 2015. Overenie technologie variabilnej aplikácie dusíka s využitím informácie o poraste a produkčnej zóne pozemku v poloprevádzkových podmienkach. *Agrochémia*. 19(2): 18-22. ISSN 1335-2415.
- GNIP, P., CHARVÁT K., 2003. Management of zones in precision farming. *Agricultural economics* [online]. Prague, 49(9): 416-418. ISSN 0139-570X [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/59461.pdf>
- HEEGE, Hermann J. a Eiko THIESEN, 2013. Sensing of Crop Properties. In: HEEGE, Hermann J. (Editor), *Precision in Crop Farming*. Springer, Kiel, s. 103-141. DOI: 10.1007/978-94-007-6760-7_6. ISBN 10.1007/978-94-007-6760-7_6.
- HRŮZA, Milan, 2008. *Technicko-ekonomické hodnocení variabilního a uniformního hnojení v podmínkách precizního zemědělství*. Brno. Doktorská disertační práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, 152 s. Školitel Prof. Ing. František Bauer, CSc.
- KLEM, Karel, MÍŠA, Petr, MÍŠA, Marek a KŘEN, Jan, 2014. *Využití měření spektrální odrazivosti a odvozených specializovaných vegetačních indexů v pěstební technologii jarního ječmene: metodika pro zemědělskou praxi* [online]. Kroměříž, Brno, Havlíčkův Brod. ISBN 978-80-87555-12-5 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.vukrom.cz/vyzkum/patenty-vzory/senzory-metodika>

- KROULÍK, Milan, Václav BRANT, Jan CHYBA, Petr ZÁBRANSKÝ a Michaela ŠKERŔÍKOVÁ, 2016. Aplikace dusíkatých hnojiv z pohledu variability pozemku. *Mechanizace zemědělství*. Praha, 66(5): 58-61. ISSN 0373-6776.
- KŘEN, J., LUKAS, V., SVOBODOVÁ, I., DRYŠLOVÁ, T., MÍŠA, P. a NEUDERT, L., 2009: Possibilities of cereal canopy assessment by using the NDVI. In: *Precision agriculture '09*, Wageningen: Wageningen Academic Publishers, s. 151-158. ISBN 978-90-8686-113-2.
- KŘEN, J., LUKAS, V., SVOBODOVÁ, I., DRYŠLOVÁ, T., MÍŠA, P. a NEUDERT, L., 2009: Possibilities of cereal canopy assessment by using the NDVI. In: *Precision agriculture '09: papers presented at the 7th European conference on precision agriculture, Wageningen, the Netherlands, 6-8 July 2009* [online]. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, s. 151-158 [cit. 2017-01-16]. ISBN 9789086861132.
- KUMHÁLOVÁ, Jitka, 2010. *Využití GIS v precizním zemědělství*. Brno. Doktorská disertační práce. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, 120 s. Školitel Prof. RNDr. Milan Konečný, CSc.
- LIPA VSKÝ, J, 2000. Precizní zemědělství ve světě a v České republice. *Sborník referátu: Uplatňování precizního zemědělství v České republice*, MJM Group a.s., s. 8–14.
- LUKAS, Vojtěch, Pavel RYANT, Lubomír NEUDERT, Tamara DRYŠLOVÁ, Pavel GNIP a Vladimír SMUTNÝ, 2011a. *Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-561-4
- LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN, 2011b. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-562-1.
- LUKAS, Vojtěch, Pavel RYANT, Lubomír NEUDERT, Tamara DRYŠLOVÁ, Pavel GNIP a Vladimír SMUTNÝ, 2012. *Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-686-4.
- LUKAS, Vojtěch, NOVÁK Jaroslav, 2015. *Ověření senzorového systému ISARIA*. Výzkumná zpráva. Název objednatele: AGROTEC a.s. Brno. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 17 s.

- LUKAS, Vojtěch, NOVÁK Jaroslav, 2016. *Ověření senzorového systému ISARIA 2016*. Výzkumná zpráva. Název objednatele: AGROTEC a.s. Brno. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 54 s.
- MEZERA, Tomáš, 2009. *Využití dat z výnosového monitoru sklízecí mlátičky Claas Lexion pro diferencované hnojení základními prvky pomocí stroje Terra Gator 8103*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské techniky a služeb, 78 s. Vedoucí práce Ing. Milan Fríd, CSc.
- NEUDERT, Lubomír, Vojtěch LUKAS et al., 2015. *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-311-0.
- PAULOVÁ, Martina, 2014. Claasický N-senzor. *Mechanizace zemědělství*. Praha, 64(5): 57. ISSN 0373-6776.
- POSPÍŠIL, Jiří a Lubomír NEUDERT, 2015. Mapování výnosů, 94-105. In: NEUDERT, Lubomír, Vojtěch LUKAS et al., *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně.
- ŘEZNÍK, Tomáš, Vojtěch LUKAS, Karel CHARVÁT, Karel CHARVÁT Jr., Šárka HORÁKOVÁ, Zbyněk KŘIVÁNEK a Lukáš HERMAN, 2016. Monitoring of In-Field Variability for Site Specific Crop Management Through Open Geospatial Information. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Prague, Czech Republic: Copernicus GmbH, XLI-B8, s. 1023-1028, 6 s. ISSN 2194-9034. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-1023-2016.
- STONE Marvin L., William R., RAUN, 2016. Sensing Technology for Precision Crop Farming. In: ZHANG, Qin (ed.), *Precision Agriculture Technology for Crop Farming*. CRC Press, s. 21-54. DOI: 10.1201/b19336-3. ISBN 978-1-4822-5108-1.
- ŠIRŮČEK, Petr, 2014. *Zpracování a interpretace výnosových map jako podklad pro agronomické rozhodování*. Brno. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, 99 s. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.
- THRIWAKALA, Sunil, Alfons WEERSINK a Gary Kachanoski, 1997. Management unit size and efficiency gains from nitrogen fertilizer application. In: *Agricultural Systems*. Canada, Research. University of Guelph. 56(4): 513-531.
- VANĚK, V., BALÍK, J., PAVLÍKOVÁ, D., TLUSTOŠ, P., 2003: Racionální použití hnojiv zaměřené na setrvalý rozvoj a precizní zemědělství. In: *Sborník z 9.*

mezinárodní konference 27.11.2003 na ČZU v Praze. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 182 s. ISBN 8021310839.

VRBA, Tomáš, 2015. *Zpracování podkladů pro variabilní aplikaci hnojiv v precizním zemědělství*. Brno. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, 61 s. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

WHELAN Brett a James TAYLOR, 2013. *Precision agriculture for grain production systems*. Collingwood: CSIRO PUBLISHING, 208 s. ISBN 9780643107472.

Internetové zdroje

AGROTEC, 2016. N-senzory ISARIA. In: *AGROTEC: závěsná technika* [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.zavesnatechnika.cz/n-senzory-isaria>

ARCMAP, 2016. What is Empirical Bayesian kriging? In: *ArcGIS for Desktop* [online]. ESRI [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm>

FRITZMEIER, 2016. ISARIA: Your system for intelligent crop management. In: *Fritzmeier Umwelttechnik* [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://fritzmeier-umwelttechnik.com/isaria/?lang=en>

HOLLAND SCIENTIFIC, 2011. Crop Circle ACS-430 crop canopy sensor. In: *Holland Scientific, Inc* [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://hollandscientific.com/product/crop-circle-acs-430-active-crop-canopy-sensor/>

KLÍŘ, Jan, 2002. Příprava nitrátové směrnice EU v podmínkách České republiky. In: *Úroda* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://uroda.cz/priprava-nitratove-smernice-eu-v-podminkach-ceske-republiky/>

KRAUSE, Eric, 2012. New in Geostatistical Analyst 10.1 : Empirical Bayesian Kriging. In: *ARCGIS BLOG* [online]. ESRI [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2012/06/08/new-in-geostatistical-analyst-10-1-empirical-bayesian-kriging/>

KROULÍK, Milan, 2012. Senzory pro měření půdních vlastností. In: *Zemědělec* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

KUBÍK, Jiří, 2014. N - senzory ISARIA pro variabilní hnojení: Variabilní hnojení průmyslovými hnojivy. In: *AGROTECHNIC MORAVIA* [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.agrotechnicmoravia.cz/n-senzory-isaria-pro-variabilni-hnojeni>

LEADING FARMERS, 2017a. Yara N-Sensor ALS - variabilní aplikace N dle barvy porostu 24 hodin denně. In: *Leading Farmers* [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: http://www.leadingfarmers.cz/yara/presentations/leaflets/nsensor_als_cz.asp

LEADING FARMERS, 2017b. Yara N-Sensor verze WIN - šestý smysl pro zemědělství - nyní dostupný každému. In: *Leading Farmers* [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.leadingfarmers.cz/yara/presentations/leaflets/win.asp>

LUKAS, Vojtěch, 2010. Mapování variability pozemků. In: *Zemědělec* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/>

SPEARHEAD CZECH, 2017. Organizační schéma. In: *Spearhead International* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://spearheadinternational.cz/nase-spolecnosti/spearhead-czech/>

YARA, 2017. Yara N-Sensor™. In: *Yara US* [online]. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.yara.us/agriculture/tools-and-services/n-sensor/>

Prospekty

AG LEADER, 2016. *Produkty a služby pro rok 2016*. Ag Leader, Heumen Malden, The Netherlands.

CLAAS, 2016. *LEXION: 780 770 760 750 740* [online]. CLAAS KGaA mbH, Harsewinkel, Deutschland. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.claas.cz/blueprint/servlet/blob/906798/f7ad3770ce7afac8c812921d6802303a/277515-dataRaw.pdf>

FRITZMEIER, 2012. *Isaria: The flexible system for optimised fertiliser management*. Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Großhelfendorf, Germany.

FRITZMEIER, 2014a. *Isaria: Flexibilní systém pro inteligentní management hnojení*. Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG

FRITZMEIER, 2014b. *Isaria: Inteligentní systém managementu živin*. Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG

GLITZ, Thinus, 2013. *Crop sensor Isaria Düngetag Rheinstetten*. CLAAS Agrosystems KGaA mbH & Co KG.

LECHNER, Johann, 2015. *Informationsveranstaltung Precision Farming*. Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG.

TOPCON, 2015. *Agriculture solutions*. Topcon Corporation, Tokyo, Japan.

TRIMBLE, 2015. *Katalog navigačních systémů Trimble*. Trimble Agriculture, Sunnyvale, California, USA.

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1 – Kalibrační faktory při dodatečné kalibraci při zpracování	49
Tabulka 5.1 – Základní popisné charakteristiky zkoumaných pozemků.....	53
Tabulka 5.2 – Popisné statistiky indexu IBI senzoru Isaria při produkčním hnojení.....	53
Tabulka 5.3 – Popisné statistiky indexu IRMI senzoru Isaria při produkčním hnojení .	54
Tabulka 5.4 – Popisné statistiky aplikace dusíku při produkčním hnojení	55
Tabulka 5.5 – Popisné statistiky indexu IBI senzoru Isaria při kvalitativním hnojení ...	57
Tabulka 5.6 – Popisné statistiky indexu IRMI senzoru Isaria při kvalitativním hnojení	58
Tabulka 5.7 – Popisné statistiky aplikace dusíku při kvalitativním hnojení	59
Tabulka 5.8 – Popisné statistiky výnosu.....	61
Tabulka 5.9 – Matice hodnot Spearmanova korelačního koeficientu r	63

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 – Software CEBIS palubního počítače sklízecí mlátičky CLAAS se zobrazenými informacemi o geografických souřadnicích aktuální polohy, rychlosti, průchodnosti, aktuálním výnosu a sklizené ploše (foto: J. Mezera).....	16
Obrázek 2.2 – Sklízecí mlátička s čidly pro získávání výnosových dat (Pospíšil a Neudert, 2015)	16
Obrázek 2.3 – Jízdní dráha GPS sklízecí mlátičky Claas softwaru CEBIS (foto: J. Mezera)	19
Obrázek 2.4 – Mechanické čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015)	19
Obrázek 2.5 – Optické čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015)	20
Obrázek 2.6 – Nárazové čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015).....	20
Obrázek 2.7 – Radiační čidlo (Pospíšil a Neudert, 2015).....	21
Obrázek 2.8 – Průchod záření listem (https://publiclab.org/system/images/photos/000/008/832/original/image14.png)	22
Obrázek 2.9 – Spektrální chování zdravé a nezdravé vegetace ve viditelné a NIR oblasti (https://publiclab.org/system/images/photos/000/008/833/original/image01.png)	22
Obrázek 2.10 – Princip měření chlorofylmetru (www.yara.com) a přístroj Yara N-Tester (www.yara.us).....	25
Obrázek 2.11 – Online systém Fritzmeier Isaria (http://fritzmeier-umwelttechnik.com)	27
Obrázek 2.12 – Hlavice senzoru Isaria se 4 aktivními LED diodami (http://fritzmeier-umwelttechnik.com) a senzory Isaria v přepravní poloze (foto: J. Mezera).....	27
Obrázek 2.13 – Systém Fritzmeier Isaria v režimu s podkladovou mapou (Fritzmeier, 2014b)	28
Obrázek 2.14 – N-Sensor na kabině traktoru při aplikaci hnojiva (http://agglotzberg.de/kategorie/allgemein/beitraege/page/4/).....	29
Obrázek 2.15 – N-Sensor ALS (http://www.etaprovost.com/agriculture-de-precision/epandage-n-sensor/)	29
Obrázek 2.16 – Přístroj CropSpec (http://www.agrotech.se/) a schéma záběru snímání přístroje (http://www.lh-agro.co.uk/).....	30
Obrázek 2.17 – Přístroj GreenSeeker (http://www.trimble.com/) a sada senzorů při aplikaci (http://www.agrotechnology.pl/).....	30
Obrázek 2.18 – Přístroj OptRx a princip měření (http://www.agleader.com/).....	31

Obrázek 2.19 – Příklad Crop Circle (http://hollandscientific.com/product/crop-circle-acs-430-active-crop-canopy-sensor/).....	31
Obrázek 2.20 – Příklad MiniVeg (www.landwirt.com)	32
Obrázek 2.21 – Příklad CROP-Meter (http://www.bauernzeitung.at/)	32
Obrázek 4.1 – Graf teploty vzduchu na meteostanici v Kostelanech od 1.9.2015 do 31.8.2016 (vzdáleno 5,5 km od Zdounek) (www.amet.cz)	36
Obrázek 4.2 – Graf výskytu dešťových srážek na meteostanici v Kostelanech od 1.9.2015 do 31.8.2016 (vzdáleno 5,5 km od Zdounek) (www.amet.cz)	37
Obrázek 4.3 – Letecký snímek sledovaných pozemků (mapy ČÚZK)	37
Obrázek 4.4 – Rozložení nadmořské výšky sledovaných pozemků.....	38
Obrázek 4.5 – Půdní typy zkoumané lokality (mapy.vumop.cz).....	38
Obrázek 4.6 – Souprava při aplikaci produkčního hnojení a pracoviště traktoristy s palubním terminálem traktoru, rozmetadla a systému Isaria (foto: V. Lukas)	40
Obrázek 4.7 – Skript výpočtu rastrové mapy pro jednotlivé atributy systému Isaria metodou EBK	41
Obrázek 4.8 – Mapa indexu IBI zaznamenaného při produkčním hnojení na pozemku U kříže	41
Obrázek 4.9 – Mapa indexu IRMI zaznamenaného při produkčním hnojení na pozemku U kříže.....	42
Obrázek 4.10 – Mapa aplikované dávky N při produkčním hnojení na pozemku U kříže	42
Obrázek 4.11 – Mapa indexu IBI zaznamenaného při kvalitativním hnojení na pozemku U kříže.....	43
Obrázek 4.12 – Mapa indexu IRMI zaznamenaného při kvalitativním hnojení na pozemku U kříže.....	43
Obrázek 4.13 – Mapa aplikované dávky N při kvalitativním hnojení na pozemku U kříže	44
Obrázek 4.14 – Satelitní snímek z družice Sentinel pozemku U kříže.....	44
Obrázek 4.15 – Výnosový potenciál Mendelu.....	45
Obrázek 4.16 – Výnosový potenciál Fritzmeier	46
Obrázek 4.17 – Claas Lexion 670 při sklizni pšenice ozimé (foto: J. Mezera).....	47
Obrázek 4.18 – Vzájemně posunuté histogramy a znatelné pruhy ve výnosových bodových datech dvou sklízecích mlátiček na pozemku U kříže	48

Obrázek 4.19 – Histogram hodnot výnosu a výnosová bodová data dvou sklízecích mlátiček po dodatečné kalibraci na pozemku U kříže	48
Obrázek 4.20 – Výnosová mapa po interpolaci metodou OK pozemku U kříže.....	51
Obrázek 4.21 – Výnosová mapa po interpolaci metodou EBK pozemku U kříže	51
Obrázek 4.22 – Normalizovaná mapa výnosu na pozemku U kříže.....	52
Obrázek 5.1 – Rastrová mapa indexu IBI při produkčním hnojení	54
Obrázek 5.2 – Rastrová mapa indexu IRMI při produkčním hnojení	55
Obrázek 5.3 – Krabicový graf aplikovaného dusíku při produkčním hnojení seskupený dle DPB.....	56
Obrázek 5.4 – Rastrová mapa aplikovaného dusíku při produkčním hnojení	56
Obrázek 5.5 – Rastrová mapa indexu IBI při kvalitativním hnojení	58
Obrázek 5.6 – Rastrová mapa indexu IRMI při kvalitativním hnojení	59
Obrázek 5.7 - Krabicový graf aplikovaného dusíku při kvalitativním hnojení dle DPB	60
Obrázek 5.8 – Rastrová mapa aplikovaného dusíku při kvalitativním hnojení	60
Obrázek 5.9 – Krabicový graf výnosu seskupený dle DBP.....	62
Obrázek 5.10 – Rastrová mapa výnosu sledovaných pozemků.....	62
Obrázek 5.11 – Bodový graf výnosu a aplikovaného dusíku při produkčním hnojení ..	64
Obrázek 5.12 – Bodový graf výnosu a indexu IRMI při kvalitativním hnojení.....	65
Obrázek 5.13 – Bodový graf výnosu a digitálního modelu terénu nadmořské výšky	66
Obrázek 5.14 – Graf rozdílů výnosového potenciálu Mendelu a relativního výnosu	67
Obrázek 5.15 – Graf rozdílů výnosového potenciálu Fritzmeier a relativního výnosu ..	67
Obrázek 5.16 – Graf rozdílů relativního indexu N2 IRMI a relativního výnosu.....	68
Obrázek 5.17 – Graf rozdílů relativního indexu N2 IBI a relativního výnosu	68
Obrázek 5.18 – Graf rozdílů relativního indexu N3 IRMI a relativního výnosu.....	69
Obrázek 5.19 – Graf rozdílů relativního indexu N3 IBI a relativního výnosu	69
Obrázek 5.20 – Graf celkových průměrů rozdílů jednotlivých relativních veličin	70

11 PŘÍLOHY

Příloha 1 – rozpis aplikovaných hnojiv na jednotlivých pozemcích

Příloha 2 – soubor výsledných map k jednotlivým pozemkům

Příloha 3 – mapy výnosového potenciálu

Příloha 4 – mapy relativních rozdílů

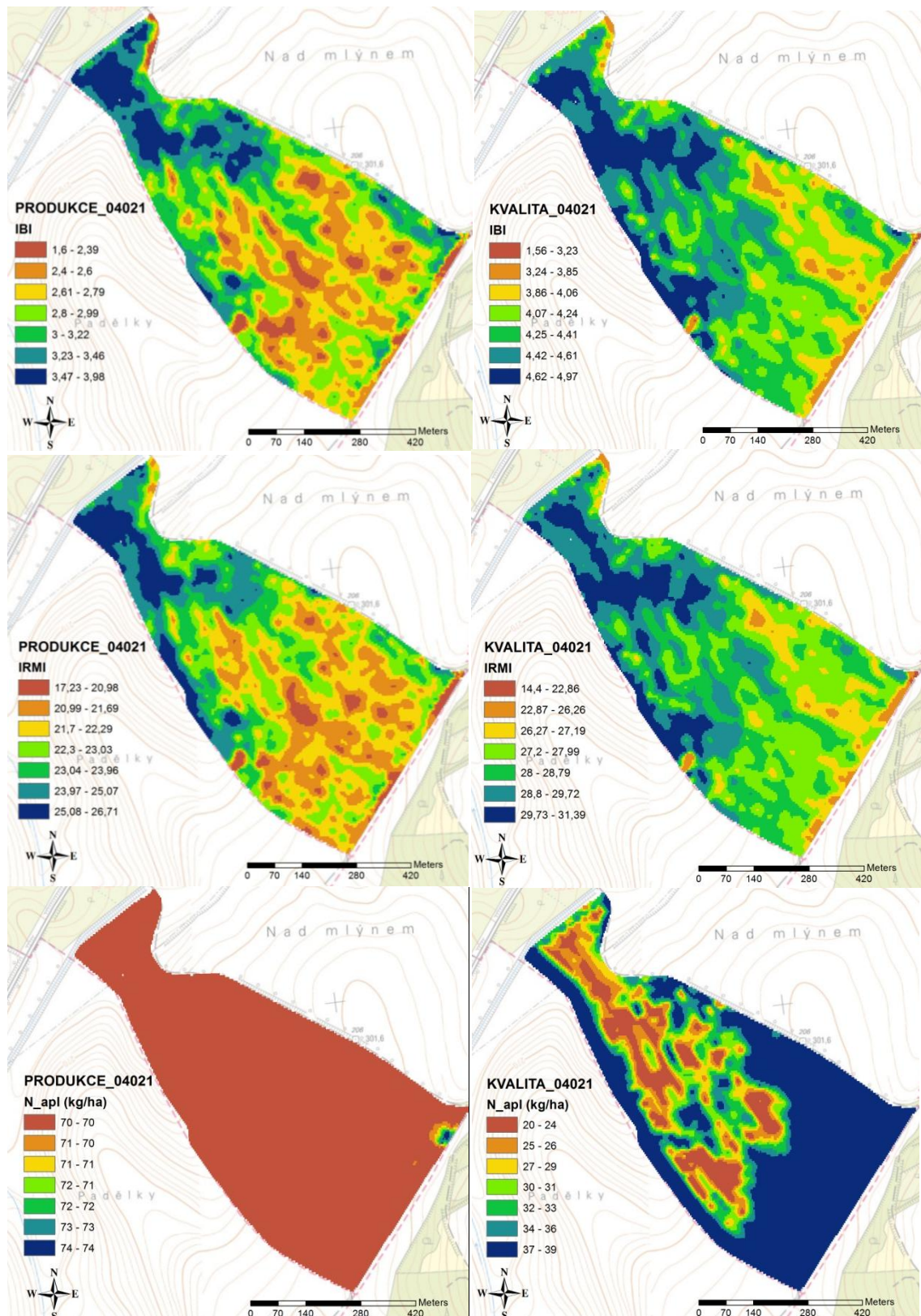
Příloha 1 – rozpis aplikovaných hnojiv na jednotlivých pozemcích

Příloha 1 – Tabulka rozpisu aplikovaných hnojiv na jednotlivých pozemcích

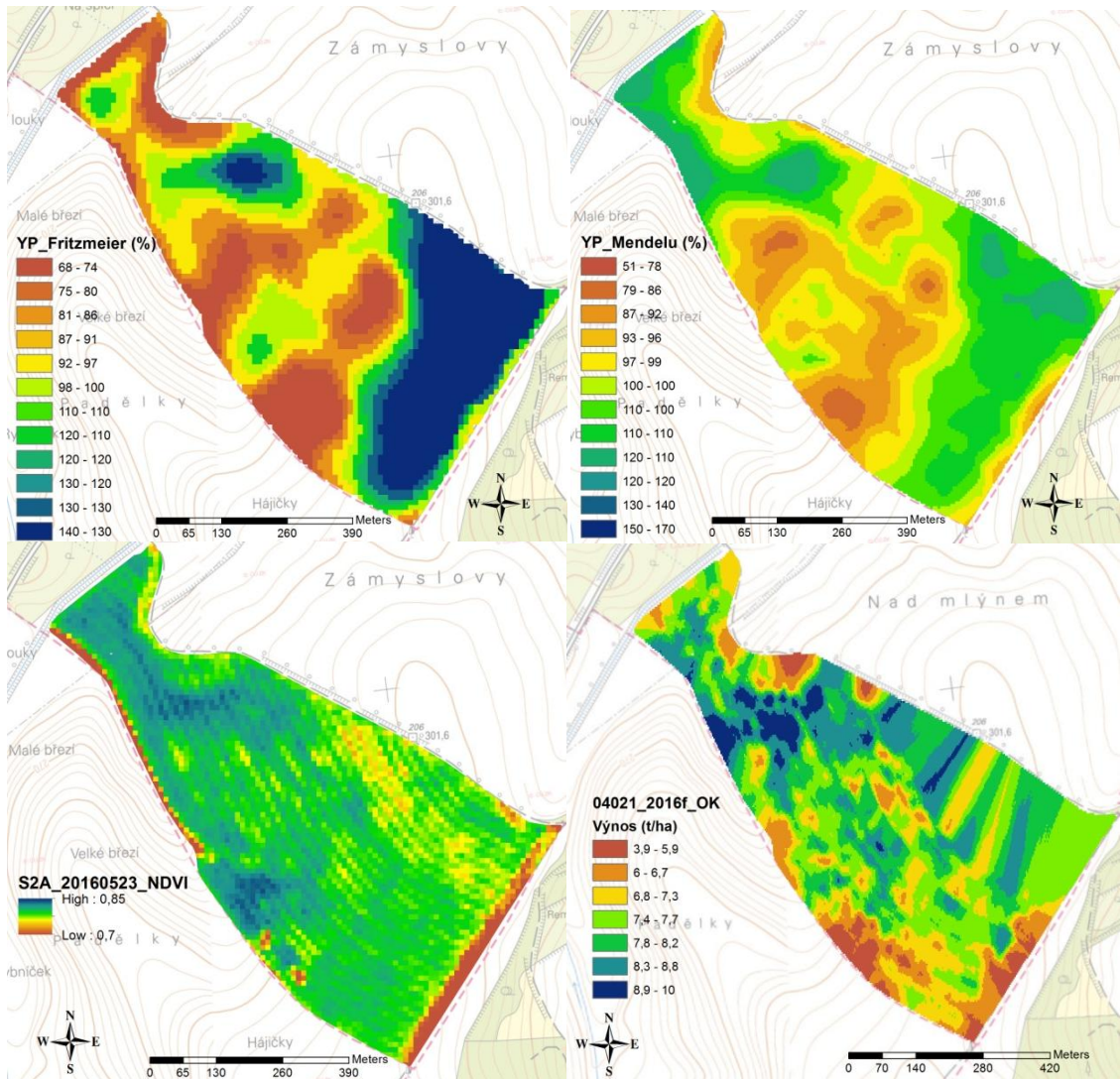
Půdní blok	Název	Hnojivo	Zpracovaná výměra (ha)	Datum aplikace	Množství (t)	Množství (t/ha)
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	DAM 390	7,73	22.8.15	0,77	0,10
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	LAD, 27 N	7,73	14.3.16	1,93	0,25
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	LAD, 27 N	7,73	11.5.16	0,93	0,12
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	Močovina UREAstabil	7,73	2.4.16	1,31	0,17
9302/16	Čtvrť od Troubek 1	SUPERFOSFÁT 40%	7,73	2.9.15	1,04	0,14
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	DAM 390	4,80	22.8.15	0,48	0,10
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	LAD, 27 N	4,80	14.3.16	1,20	0,25
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	LAD, 27 N	4,80	11.5.16	0,58	0,12
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	Močovina UREAstabil	4,80	2.4.16	0,82	0,17
8201/1	Čtvrť od Troubek 2	SUPERFOSFÁT 40%	4,80	2.9.15	0,65	0,14
4003/1	Okolnice	LAD, 27 N	6,28	17.3.16	1,14	0,18
4003/1	Okolnice	LAD, 27 N	6,28	18.5.16	0,75	0,12
4003/1	Okolnice	Močovina UREAstabil	6,28	30.3.16	1,20	0,19
4003/1	Okolnice	SUPERFOSFÁT 40%	6,32	10.10.15	0,53	0,08
4107/1	Paličkovo 1	LAD, 27 N	7,12	17.3.16	1,28	0,18
4107/1	Paličkovo 1	LAD, 27 N	7,07	18.5.16	0,85	0,12
4107/1	Paličkovo 1	Močovina UREAstabil	7,12	30.3.16	1,35	0,19
4107/1	Paličkovo 1	SUPERFOSFÁT 40%	7,12	10.10.15	0,60	0,08
4104/1	Paličkovo 2	LAD, 27 N	1,25	17.3.16	0,23	0,18
4104/1	Paličkovo 2	LAD, 27 N	1,25	18.5.16	0,15	0,12
4104/1	Paličkovo 2	Močovina UREAstabil	1,25	30.3.16	0,24	0,19
4104/1	Paličkovo 2	SUPERFOSFÁT 40%	1,25	10.10.15	0,11	0,08
8101/2	Pod hřbitovem	Draselná sůl	21,31	17.9.15	3,20	0,15
8101/2	Pod hřbitovem	LAD, 27 N	21,27	14.3.16	3,84	0,18
8101/2	Pod hřbitovem	Močovina UREAstabil	21,27	1.4.16	4,04	0,19
8101/2	Pod hřbitovem	SUPERFOSFÁT 40%	21,31	2.9.15	2,88	0,14
8101/2	Pod hřbitovem	Močovina UREAstabil	21,27	1.4.16	4,04	0,19
8101/2	Pod hřbitovem	SUPERFOSFÁT 40%	21,31	2.9.15	2,88	0,14
8102/1	Podloučí	Draselná sůl	8,07	17.9.15	1,21	0,15
8102/1	Podloučí	LAD, 27 N	7,92	17.3.16	1,45	0,18
8102/1	Podloučí	LAD, 27 N	7,92	11.5.16	0,95	0,12
8102/1	Podloučí	Močovina UREAstabil	7,92	1.4.16	1,43	0,18
8102/1	Podloučí	SUPERFOSFÁT 40%	8,07	2.9.15	1,09	0,14
4002/1	Rybník	Draselná sůl	19,69	5.10.15	1,71	0,09
4002/1	Rybník	LAD, 27 N	19,62	17.3.16	3,54	0,18
4002/1	Rybník	LAD, 27 N	19,62	18.5.16	2,35	0,12
4002/1	Rybník	Močovina UREAstabil	19,62	30.3.16	3,74	0,19
4002/1	Rybník	SUPERFOSFÁT 40%	19,69	10.10.15	1,65	0,08
8202/1	U kříže	Draselná sůl	44,02	17.9.15	6,60	0,15
8202/1	U kříže	LAD, 27 N	44,02	14.3.16	7,92	0,18
8202/1	U kříže	LAD, 27 N	44,02	12.5.16	5,28	0,12
8202/1	U kříže	Močovina UREAstabil	44,02	4.4.16	8,80	0,20
8202/1	U kříže	SUPERFOSFÁT 40%	44,02	2.9.15	5,94	0,14
9301/3	Zámyslov	DAM 390	95,37	7.9.15	14,31	0,15
9301/3	Zámyslov	Cukrovarská šáma, vápenaté hnojivo	95,37	25.8.15	476,87	5,00
9301/3	Zámyslov	LAD, 27 N	95,35	17.3.16	23,84	0,25
9301/3	Zámyslov	LAD, 27 N	95,35	11.5.16	11,44	0,12
9301/3	Zámyslov	Močovina UREAstabil	95,35	2.4.16	17,16	0,18
9301/3	Zámyslov	SUPERFOSFÁT 40%	95,37	3.9.15	12,88	0,14
402/1	Zárybnická	DAM 390	41,15	7.9.15	6,17	0,15
402/1	Zárybnická	Cukrovarská šáma, vápenaté hnojivo	41,15	25.8.15	205,77	5,00
402/1	Zárybnická	LAD, 27 N	41,15	17.3.16	10,29	0,25
402/1	Zárybnická	LAD, 27 N	41,15	11.5.16	4,94	0,12
402/1	Zárybnická	Močovina UREAstabil	41,15	2.4.16	7,41	0,18
402/1	Zárybnická	SUPERFOSFÁT 40%	41,15	2.9.15	5,56	0,14

Příloha 2 – soubor výsledných map k jednotlivým pozemkům

Pozemek 0402/1 Zárybnická (41,23 ha)

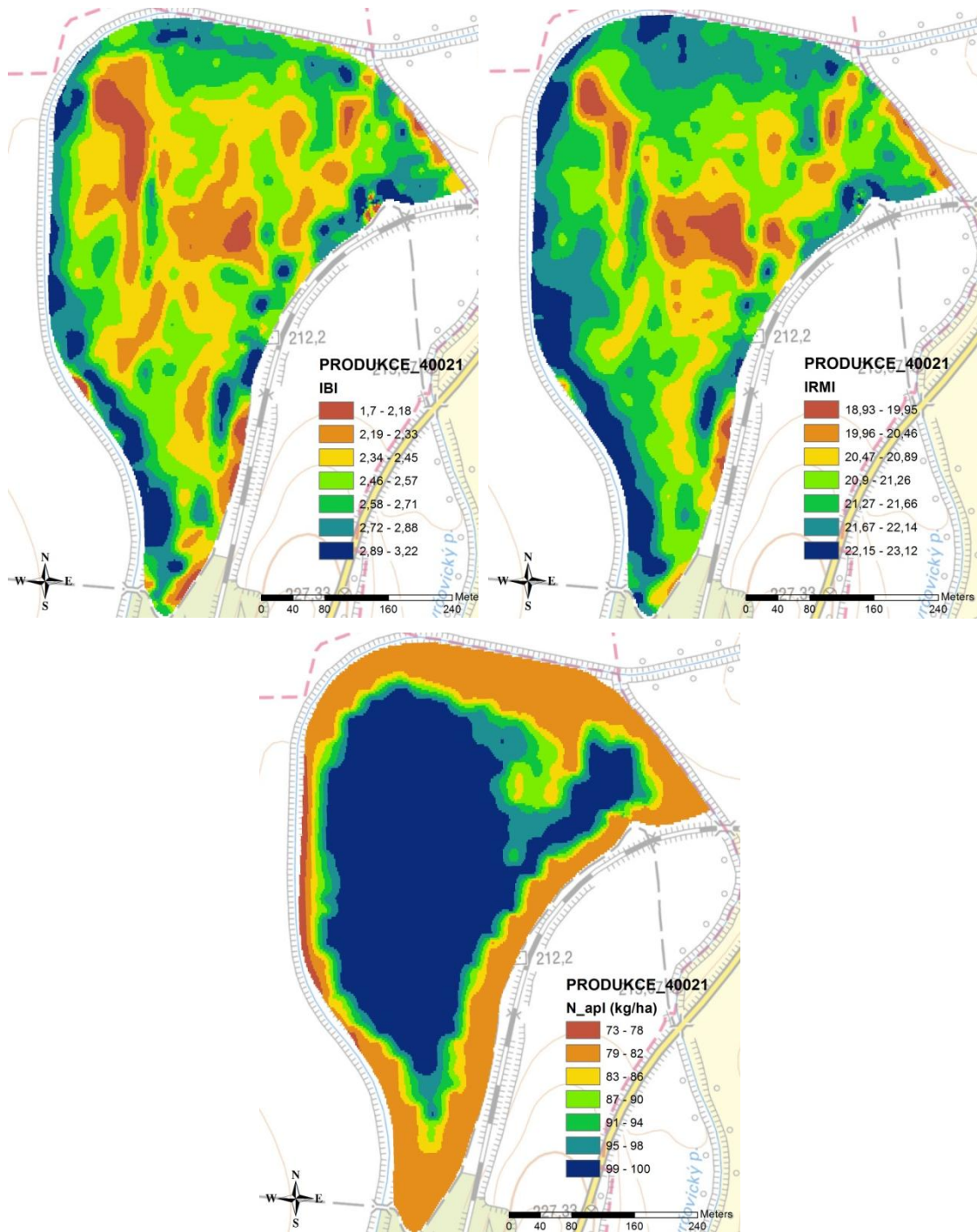


Příloha 2A - Soubor výsledných map systému Isaria k pozemku 0402/1 Zárybnická

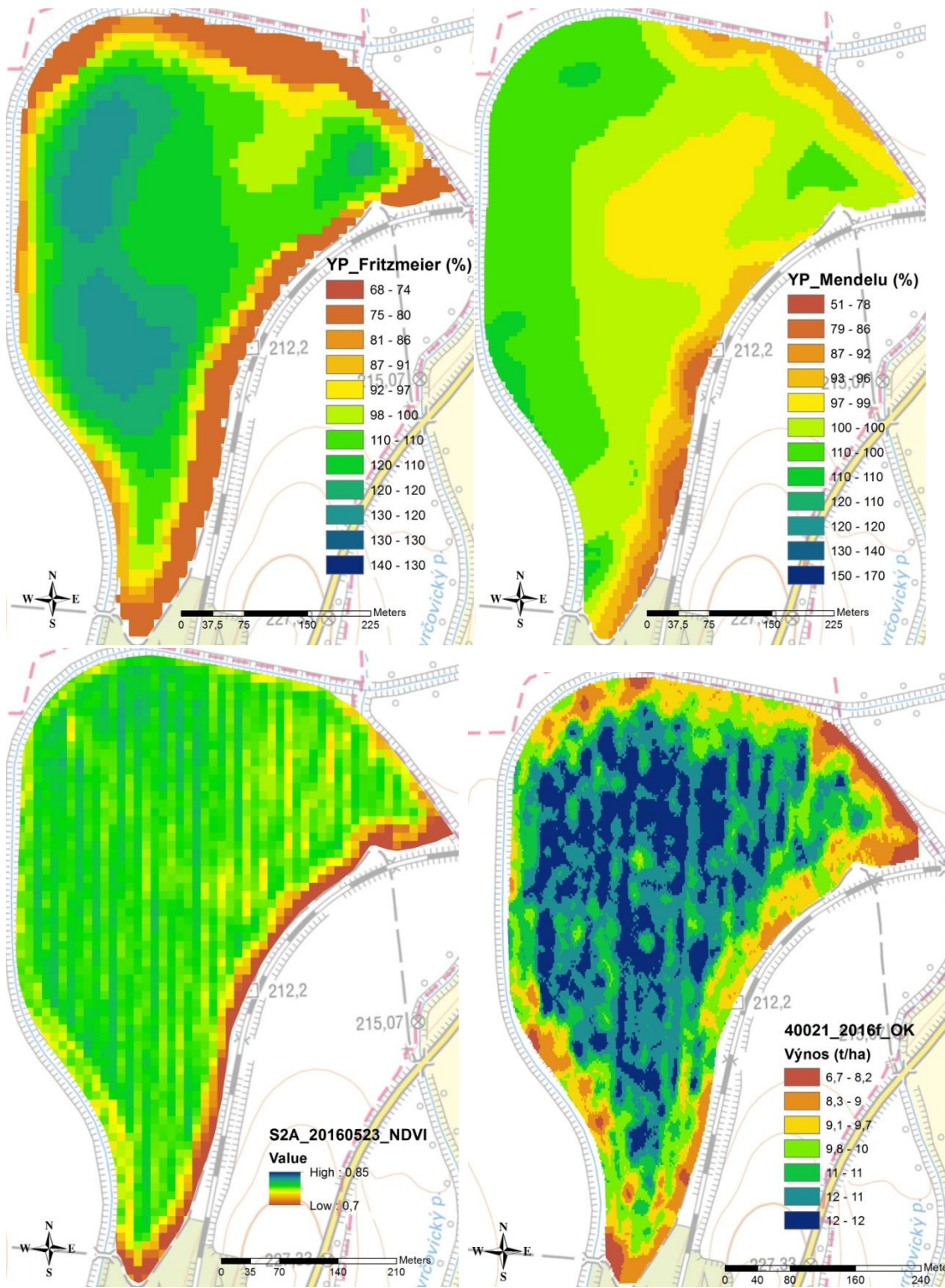


Příloha 2B – Soubor výsledných map k pozemku 0402/1 Zárubnická

Pozemek 4002/1 Rybník (20,01 ha)

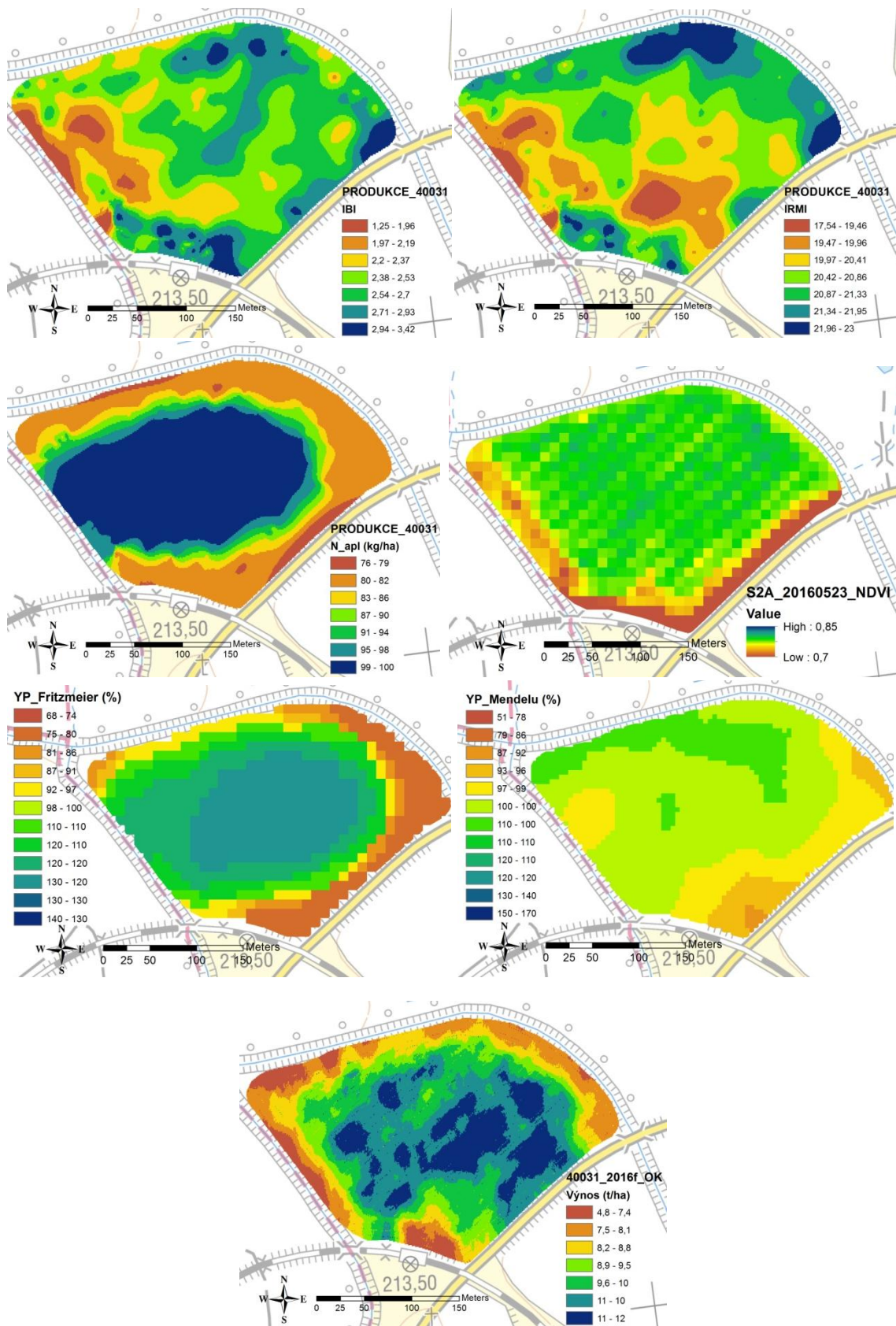


Příloha 3A – Soubor výsledných map systému Isaria k pozemku 4002/1 Rybník



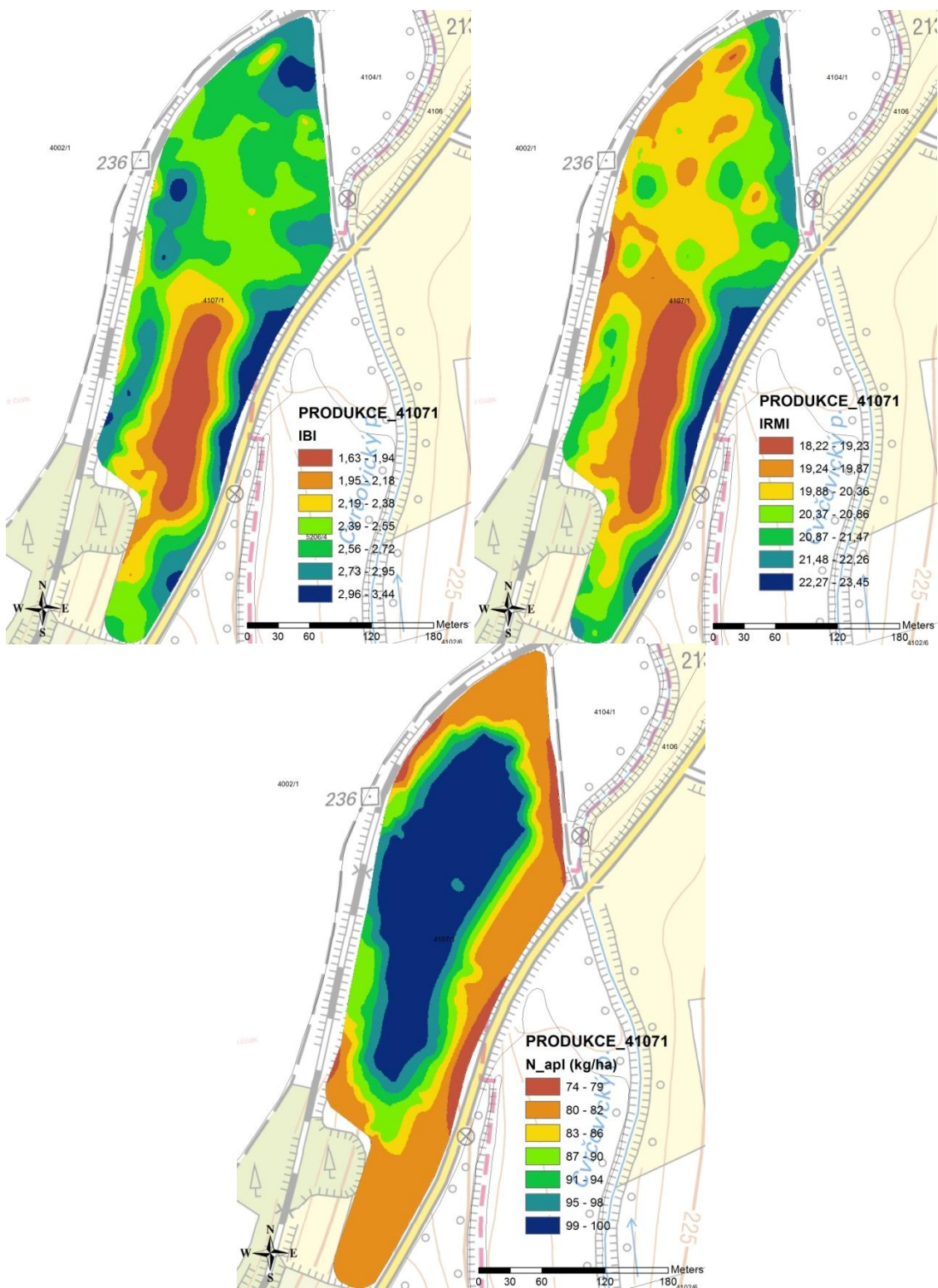
Příloha 3B – Soubor výsledných map k pozemku 4002/1 Rybník

Pozemek 4003/1 Okolnice (6,47 ha)

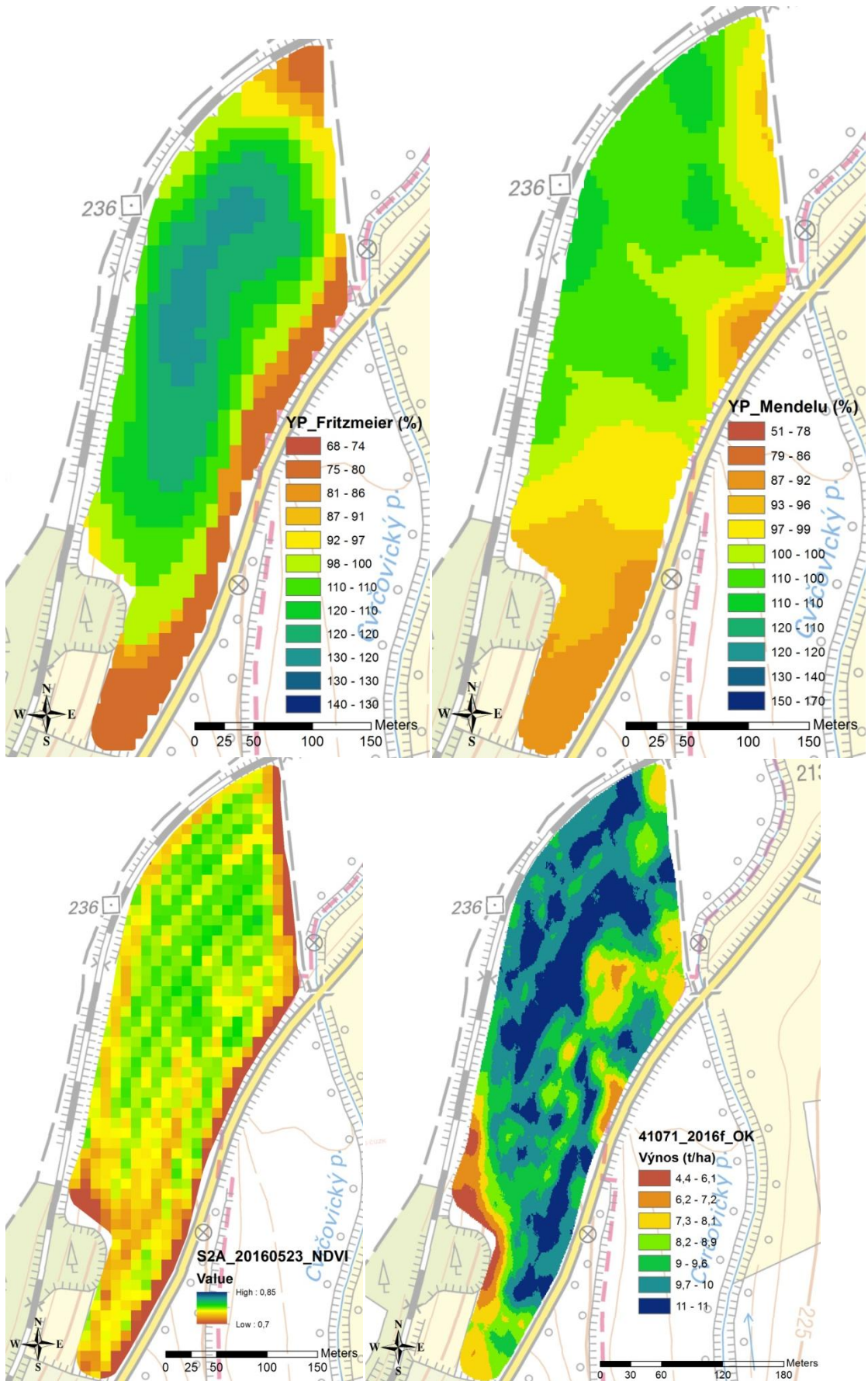


Příloha 4 – Soubor výsledných map k pozemku 4003/1 Okolnice

Pozemek 4107/1 Paličkovo 1 (7,12 ha)

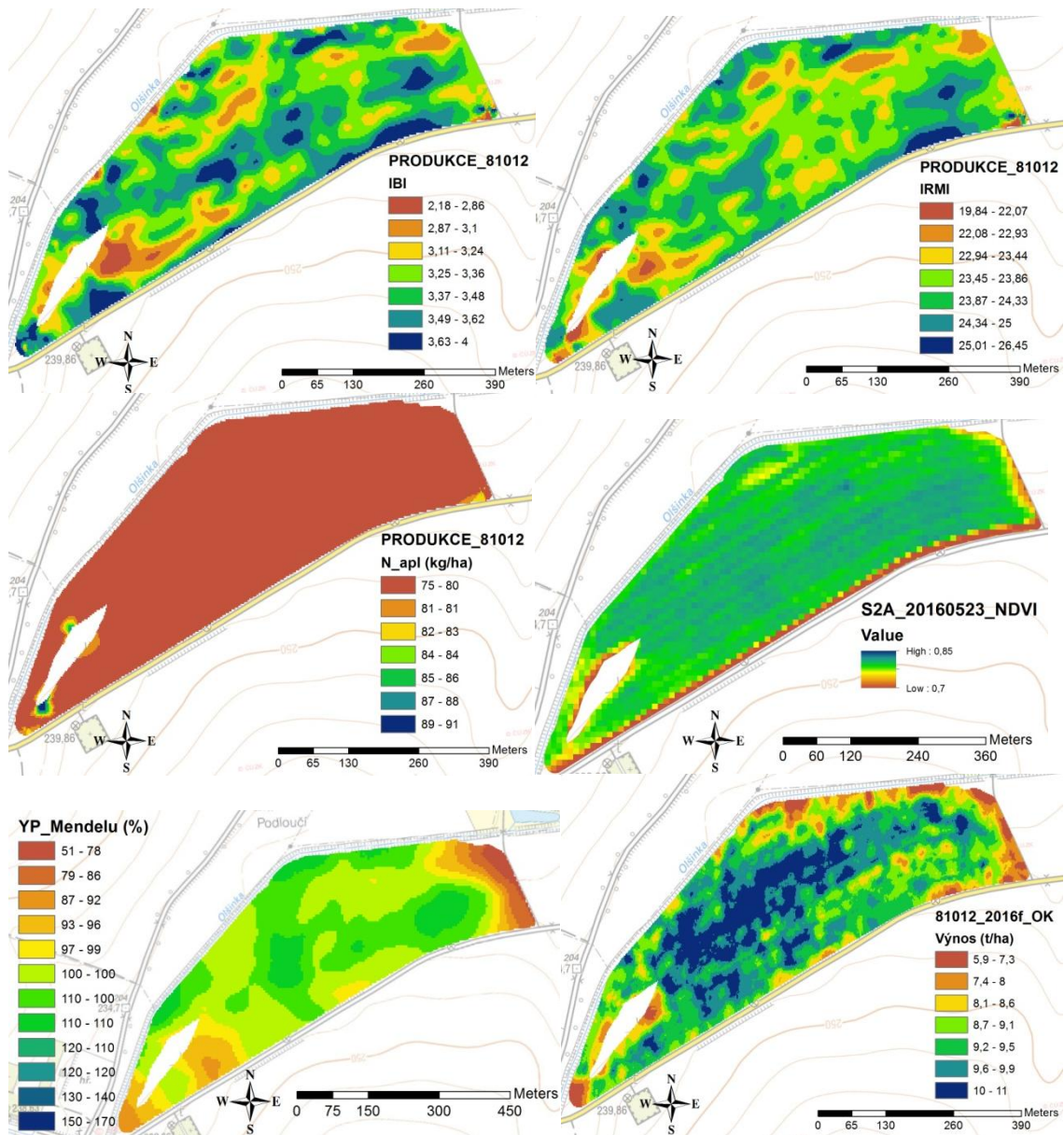


Příloha 5A – Soubor výsledných map systému Isaria k pozemku 4107/1 Paličkovo 1



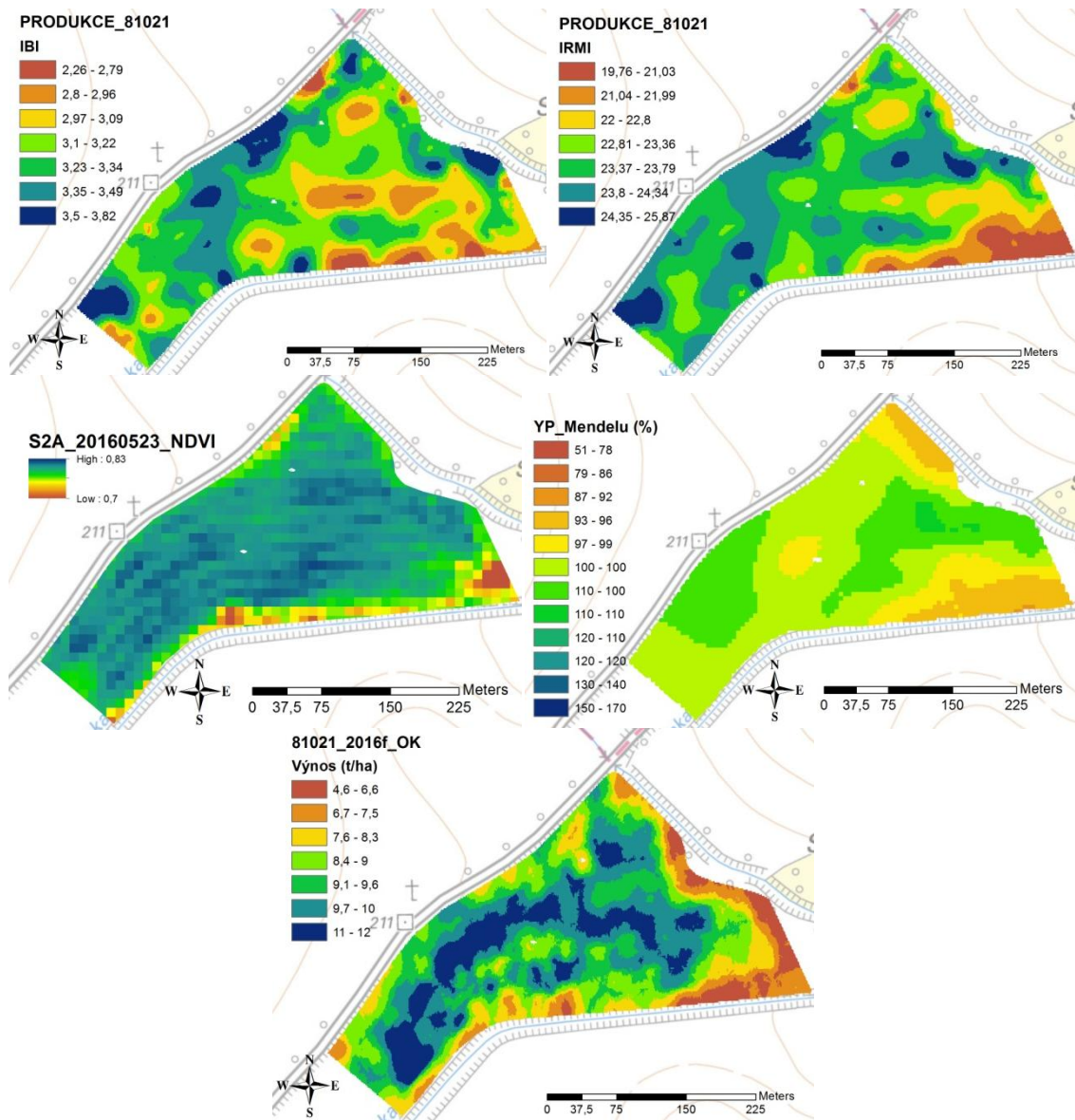
Příloha 5B – Soubor výsledných map systému Isaria k pozemku 4107/1 Paličkovo 1

Pozemek 8101/2 Pod hřbitovem (21,61 ha)



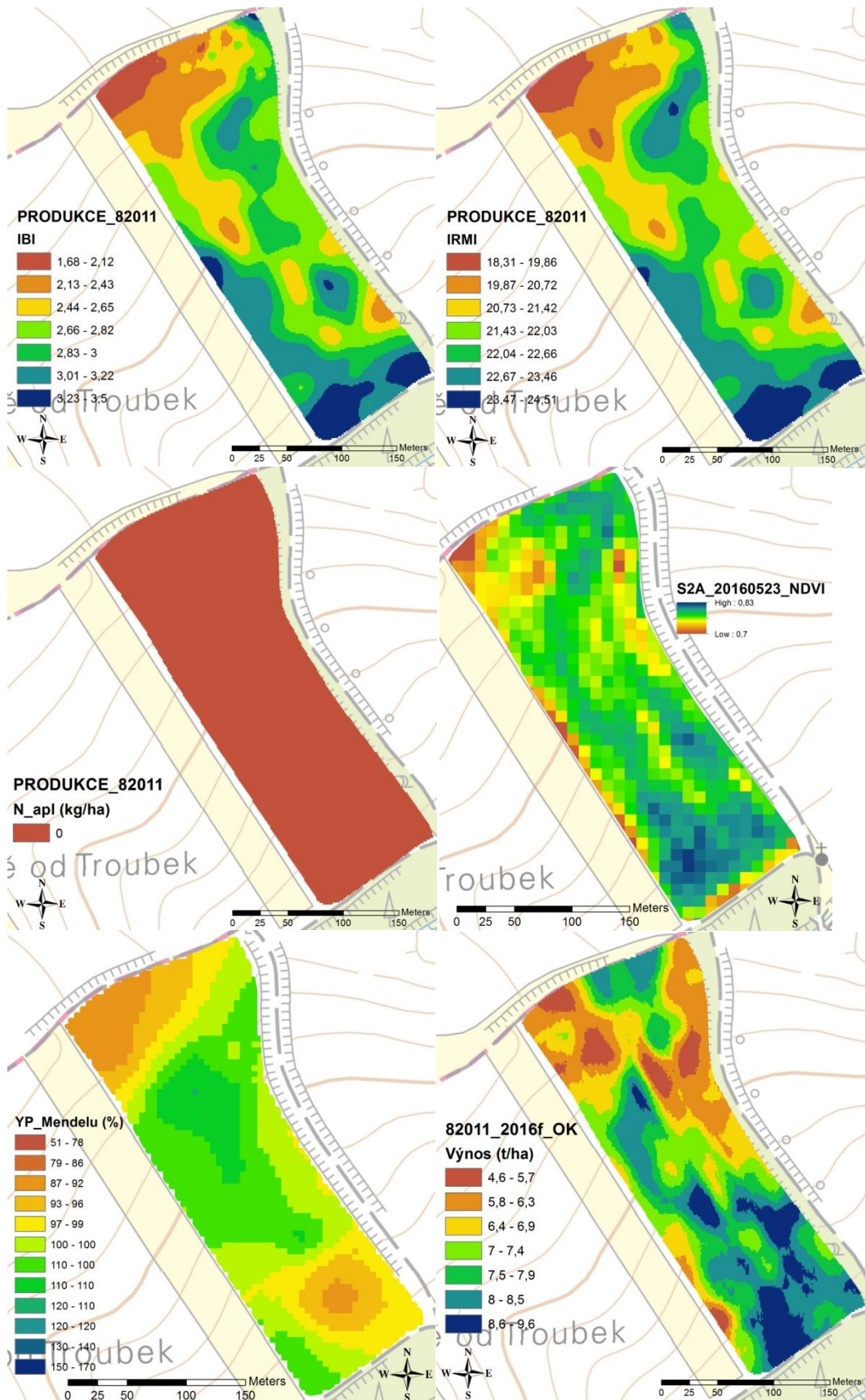
Příloha 6 – Soubor výsledných map k pozemku 8101/2 Pod hřbitovem

Pozemek 8102/1 Podloučí (8,07 ha)



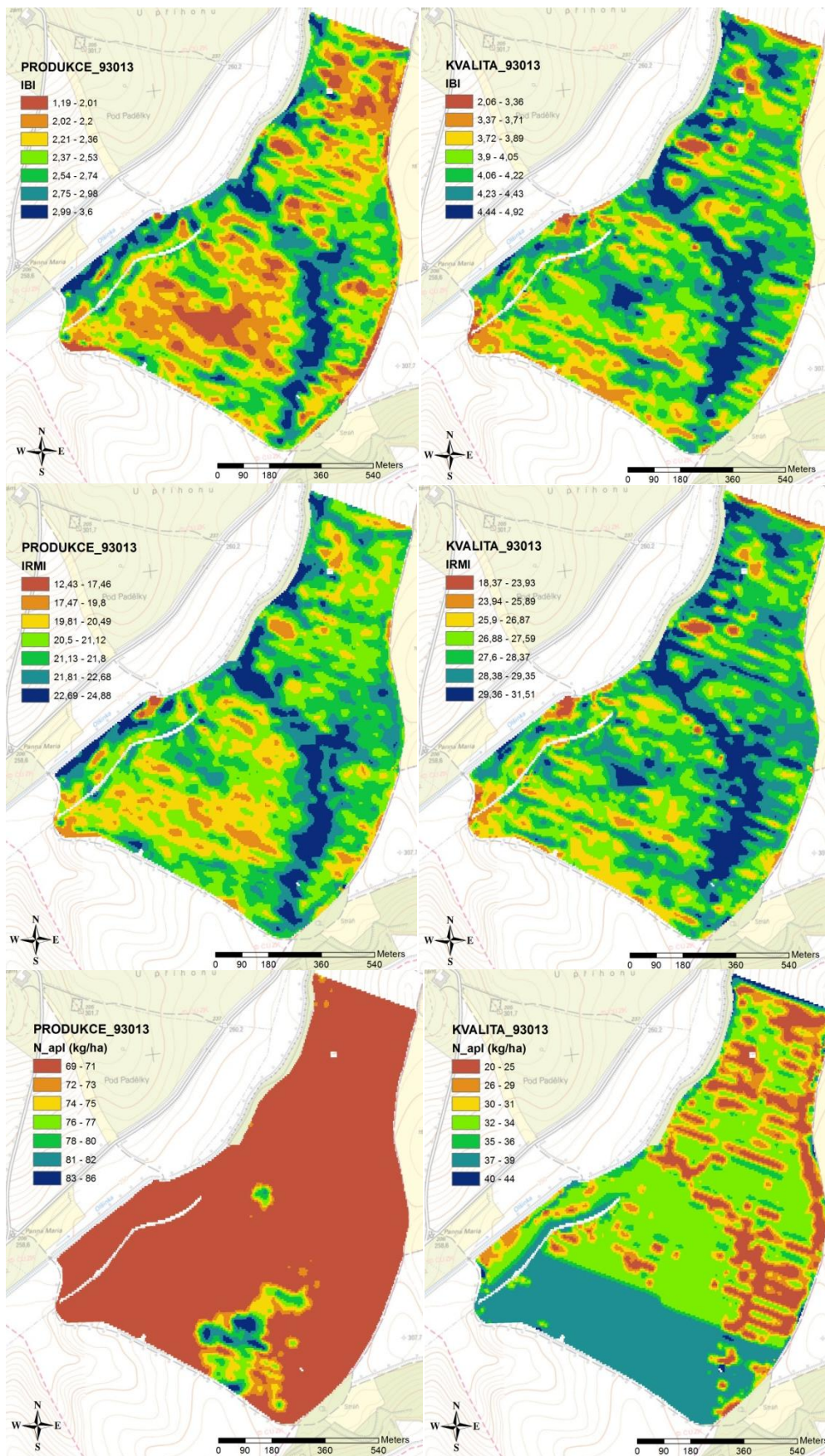
Příloha 7 – Soubor výsledných map k pozemku 8102/1 Podloučí

Pozemek Čtvrť od Troubek 2 (4,8 ha)

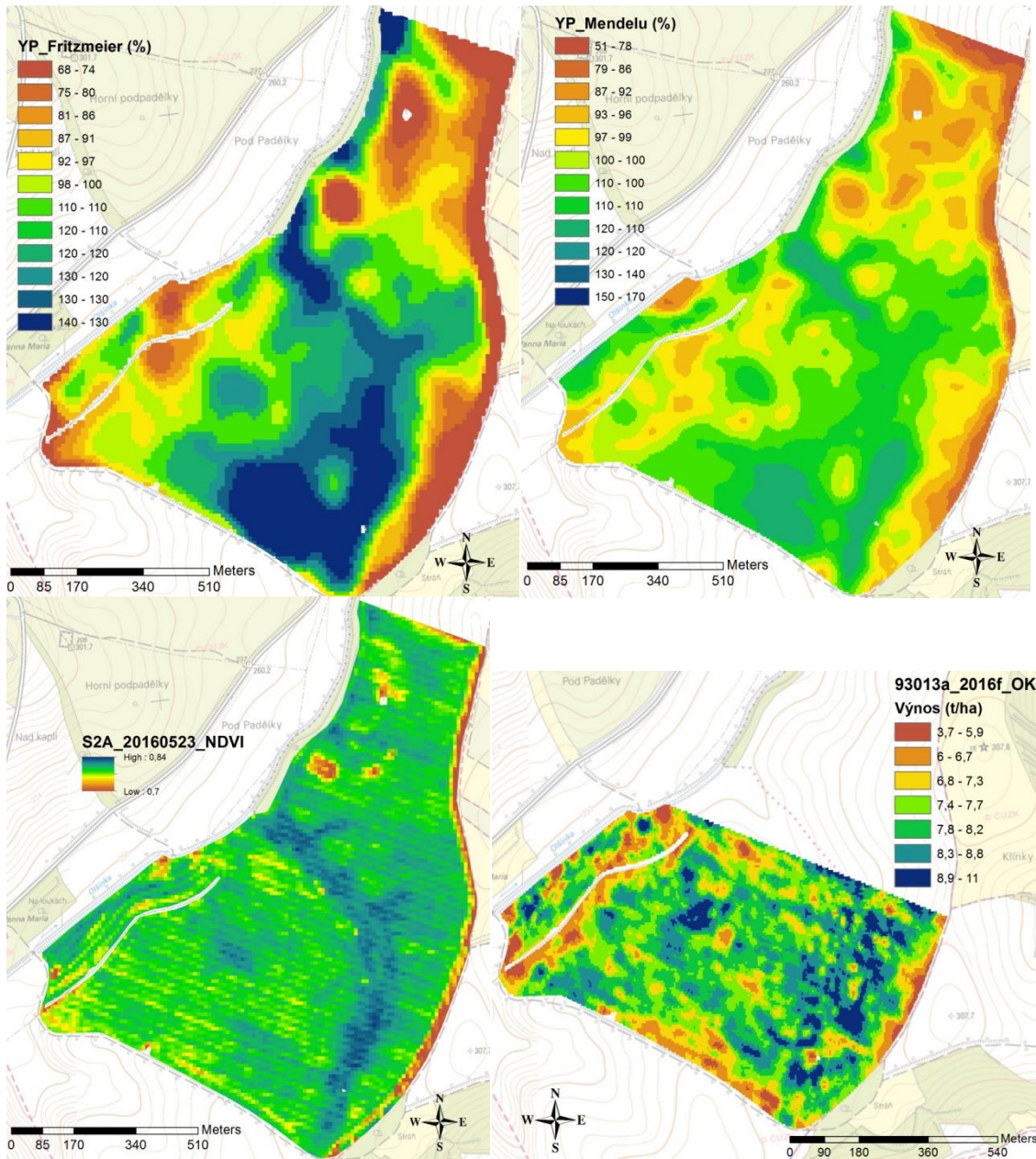


Příloha 8 – Soubor výsledných map k pozemku 8201/1 Čtvrť od Troubek 2

Pozemek Zámyslov (95,76 ha)

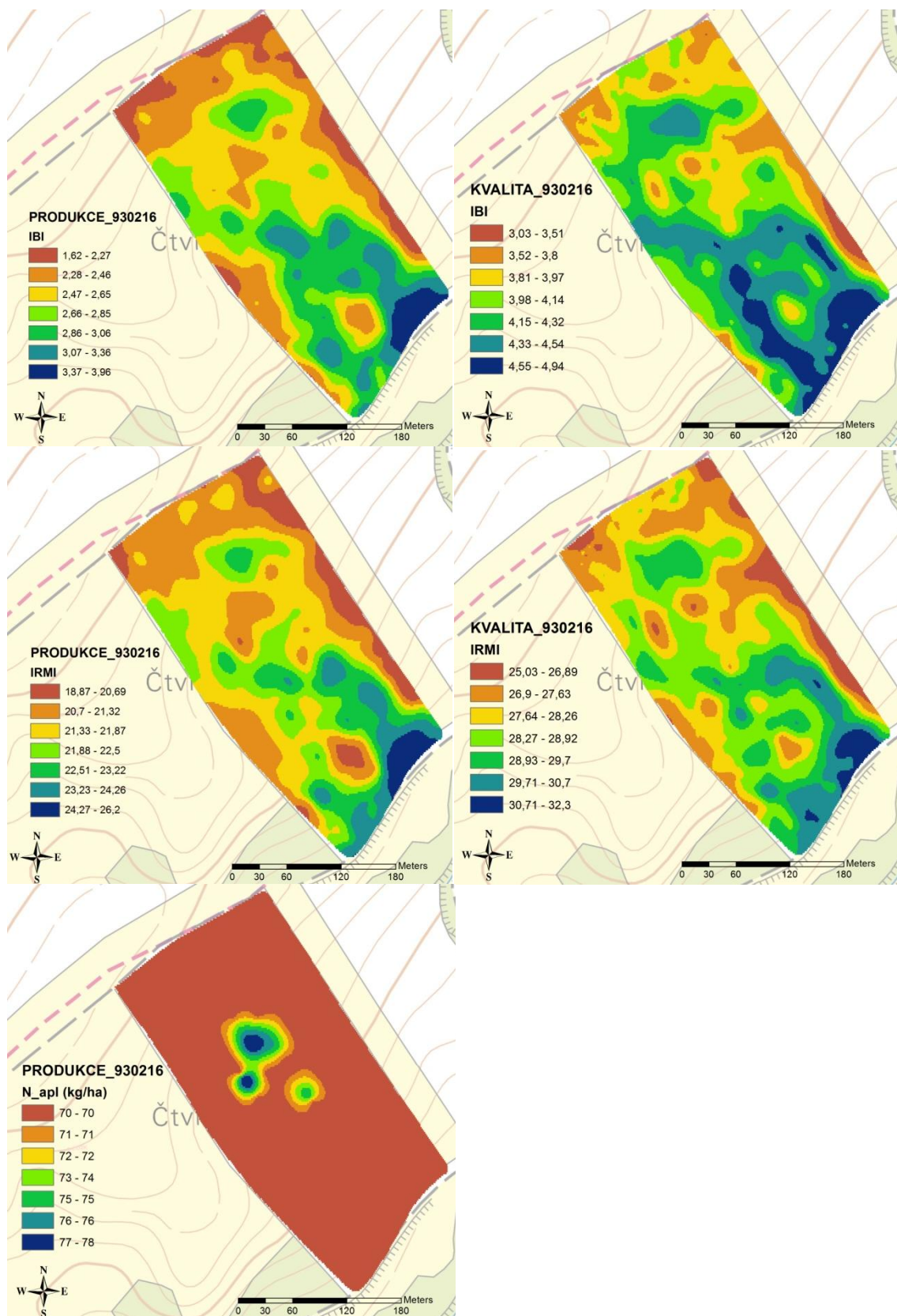


Příloha 9A – Soubor výsledných map systému Isaria k pozemku 9301/3 Zámyslov

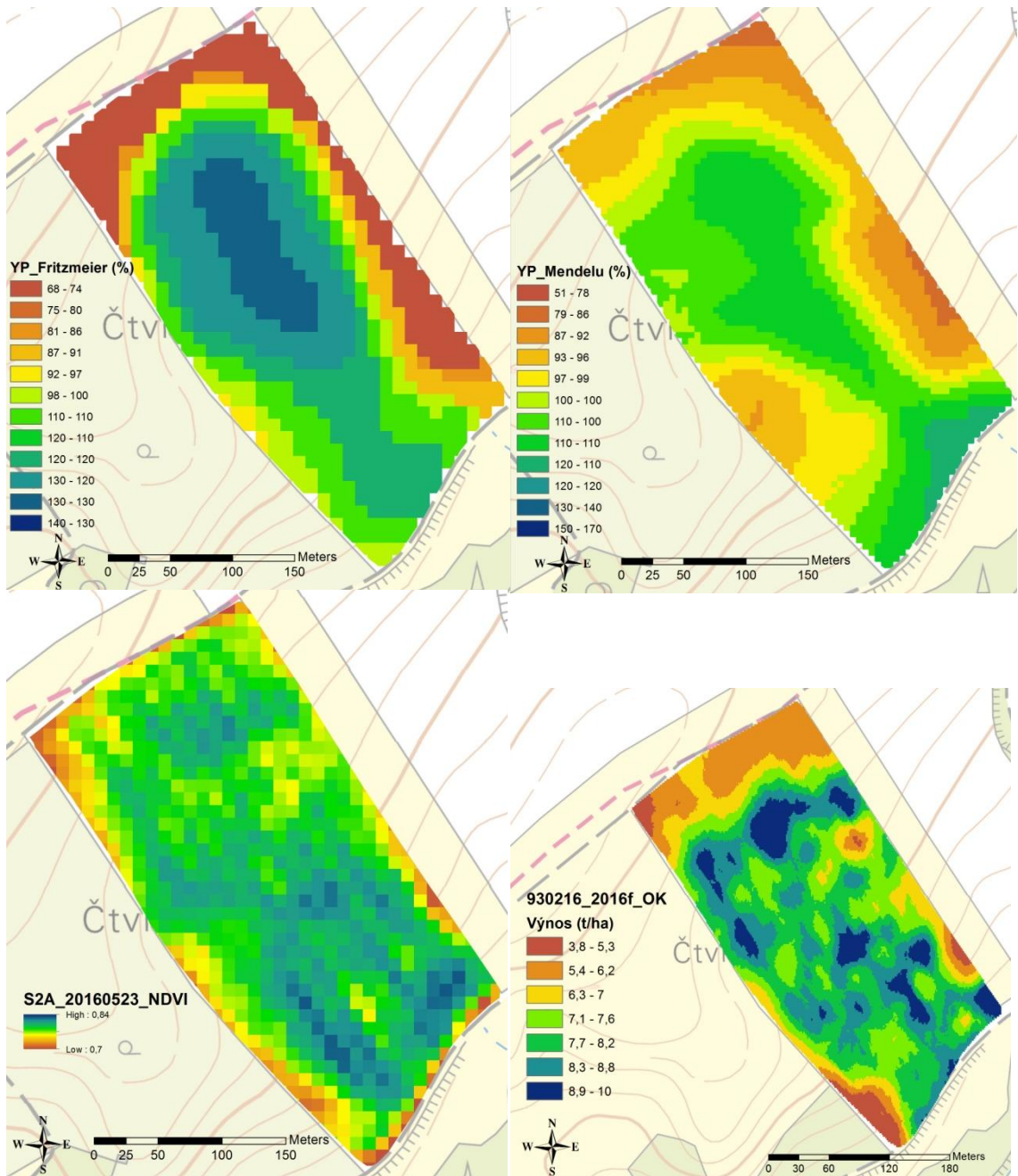


Příloha 9B – Soubor výsledných map k pozemku 9301/3 Zámyslov

Pozemek Čtvrť od Troubek 1 (7,73 ha)

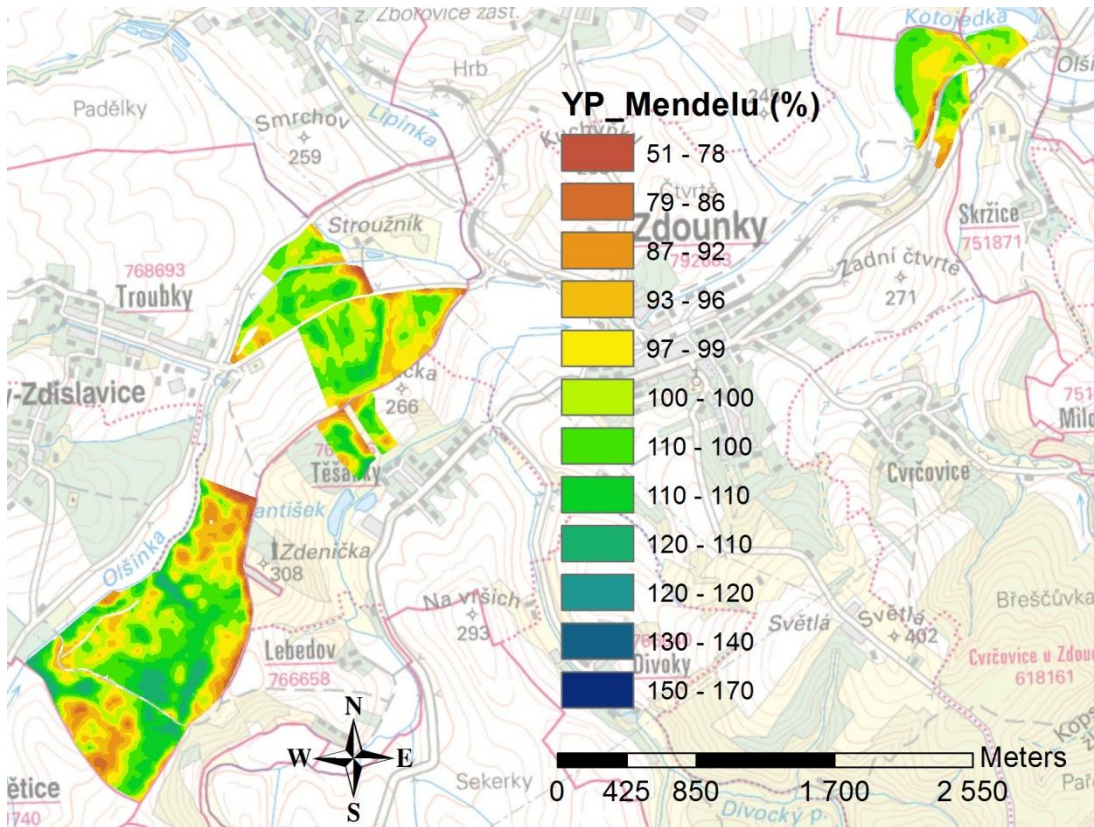


Příloha 10A – Soubor výsledných map systému Isaria k pozemku 9302/16 Čtvrť od Troubek 1

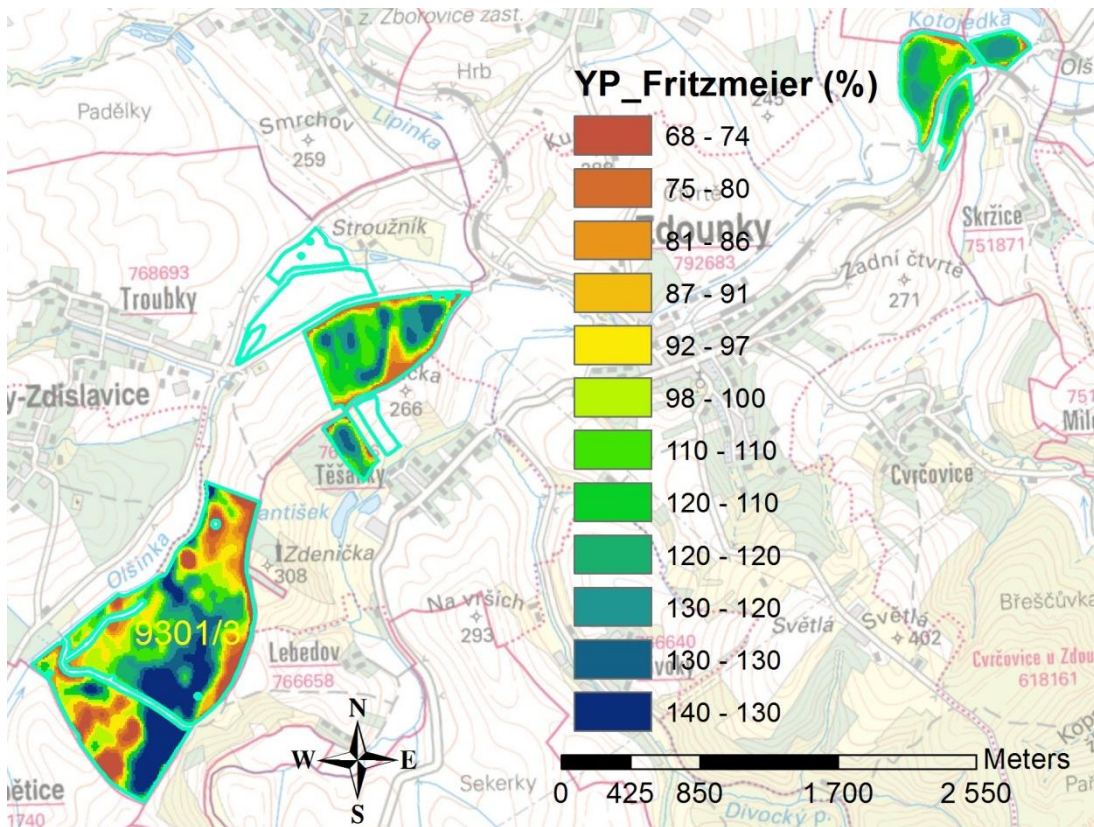


Príloha 10B – Soubor výsledných map k pozemku 9302/16 Čtvrť od Troubek 1

Příloha 3 – mapy výnosového potenciálu

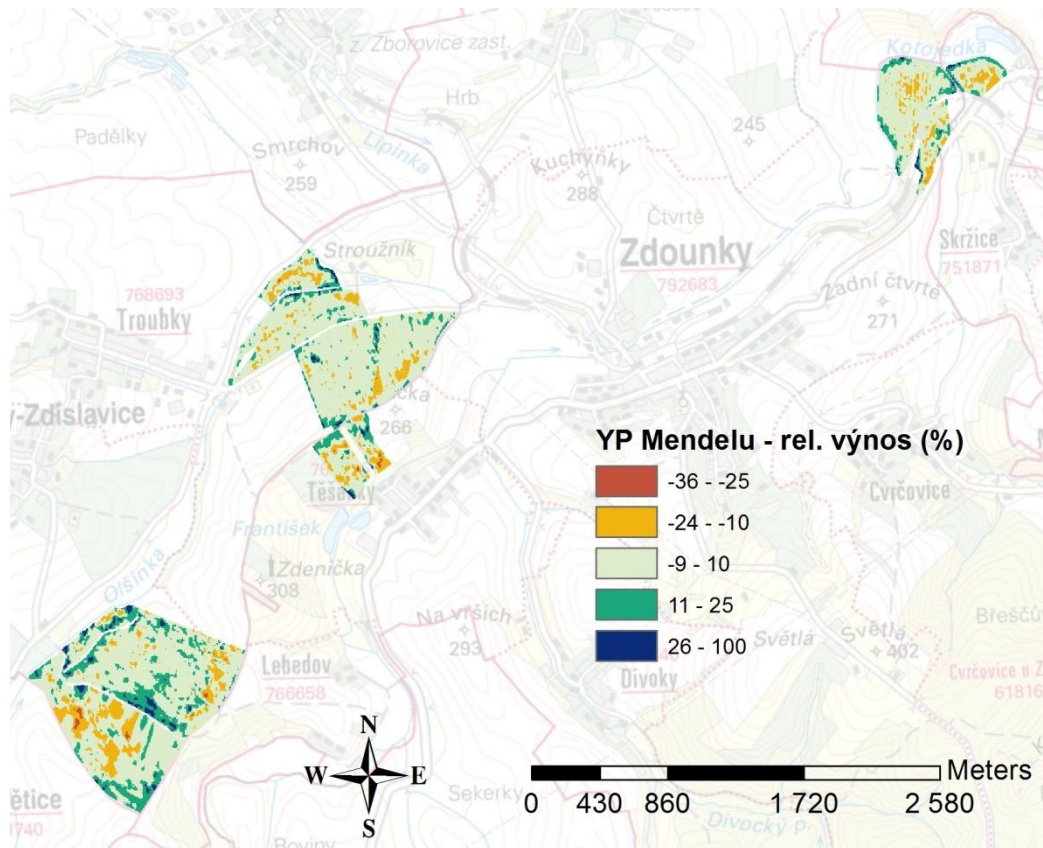


Příloha 11 – Podkladová mapa výnosového potenciálu Mendelu

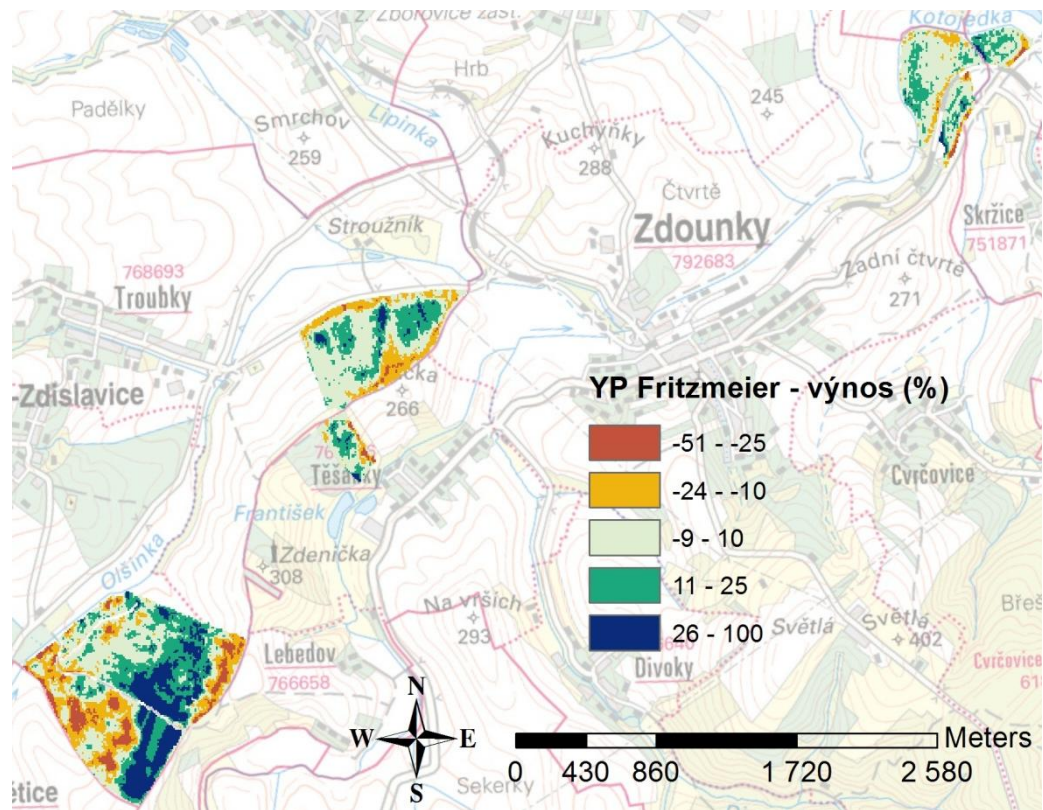


Příloha 12 – Podkladová mapa výnosového potenciálu Fritzmeier

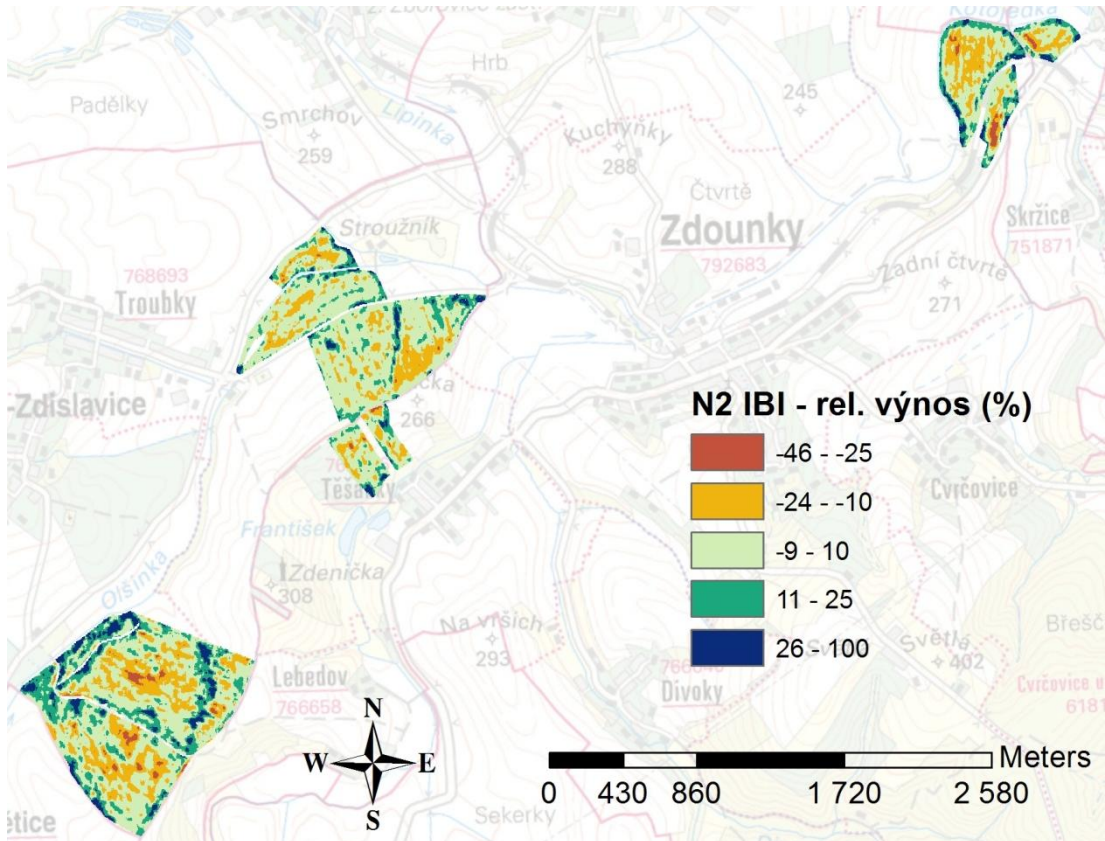
Příloha 4 – mapy relativních rozdílů



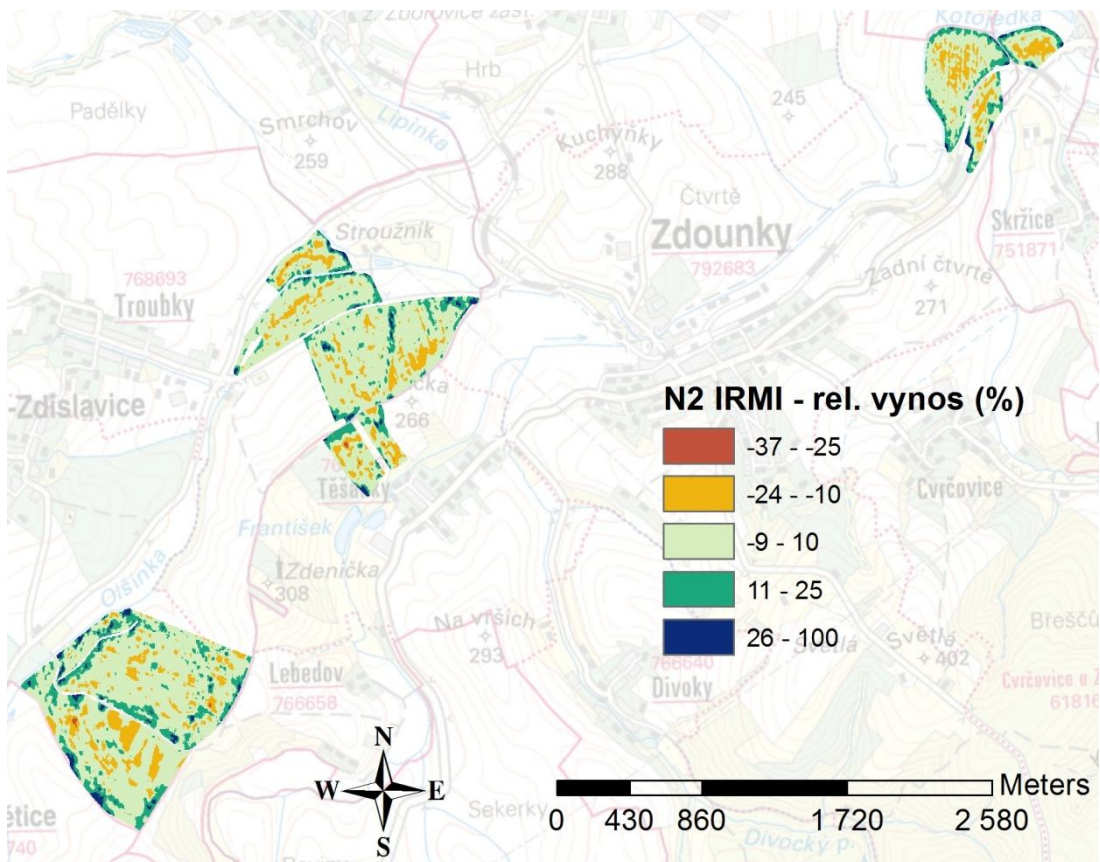
Příloha 13 – Mapa rozdílu relativního výnosového potenciálu Mendelu a výnosu



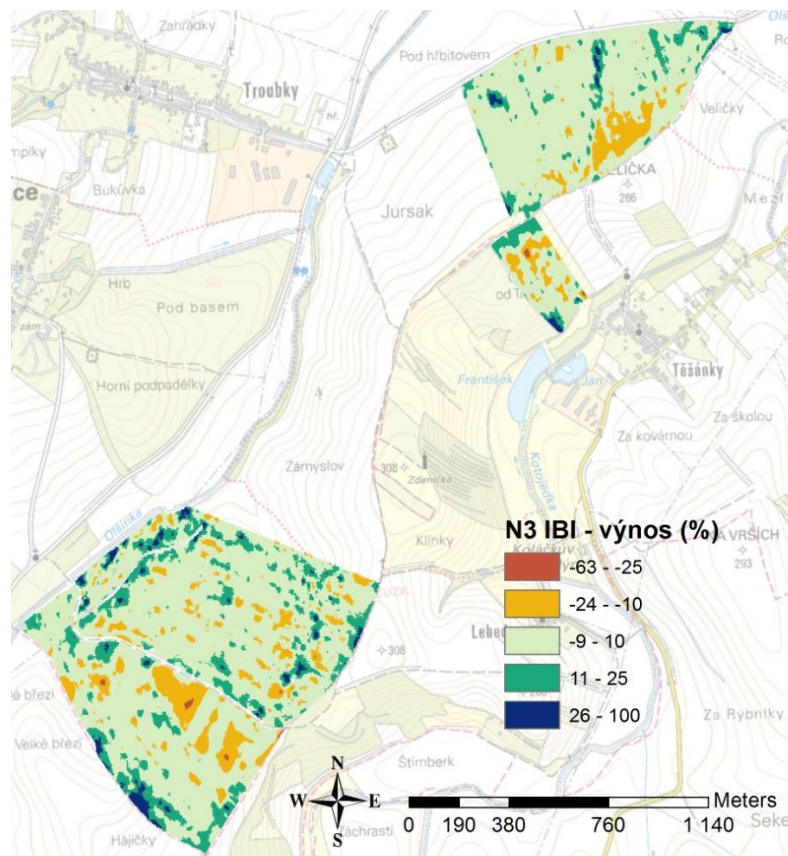
Příloha 14 – Mapa rozdílu relativního výnosového potenciálu Fritzmeier a výnosu



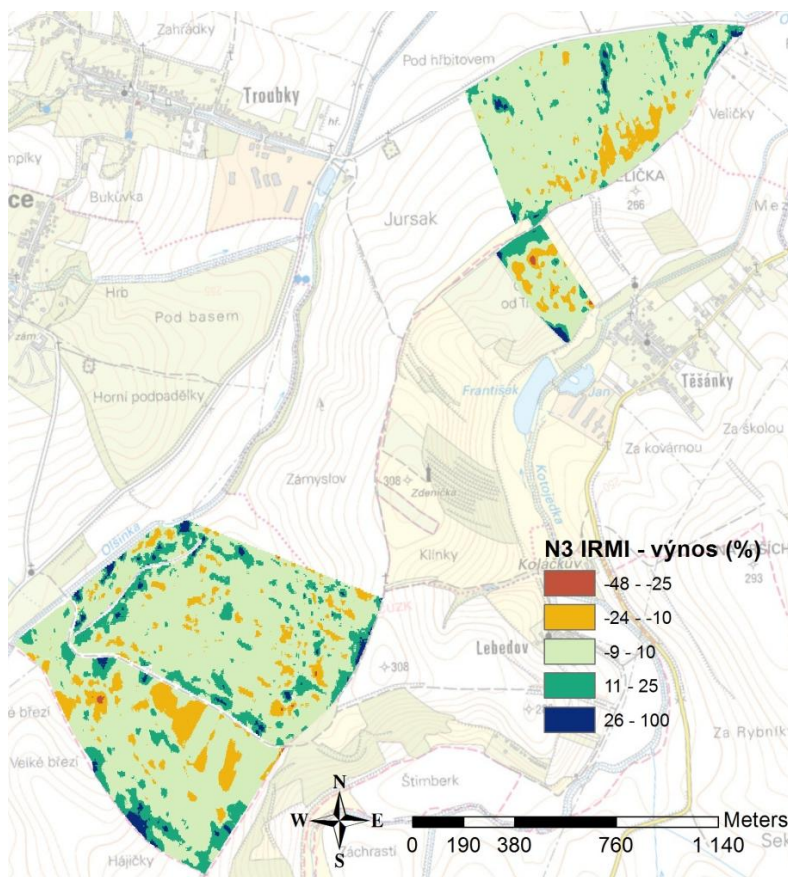
Příloha 15 – Mapa rozdílu relativního indexu N2 IBI a relativního výnosu



Příloha 16 – Mapa rozdílu relativního indexu N2 IRMI a relativního výnosu



Příloha 17 – Mapa rozdílu relativního indexu N3 IBI a relativního výnosu



Příloha 18 – Mapa rozdílu relativního indexu N3 IRMI a relativního výnosu