

Optické senzory v zemědělské výrobě



Milan Kroulík

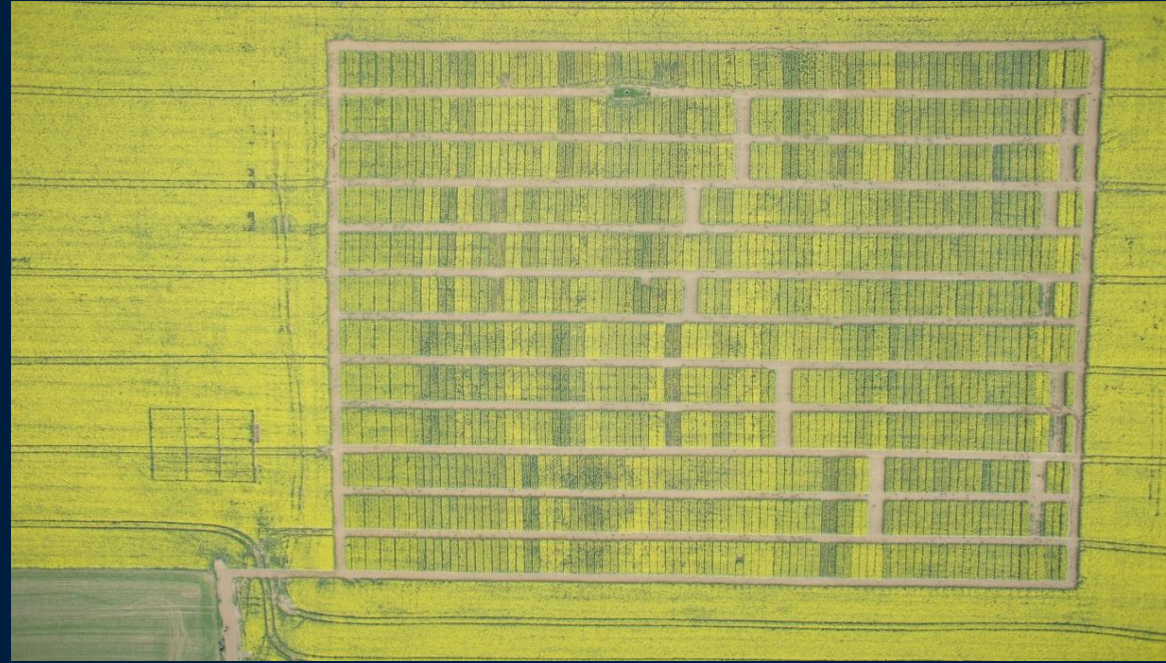
Využití čidel, která měří intenzitu odraženého spektra, sahá od družic přes leteckou techniku až k pozemnímu průzkumu.

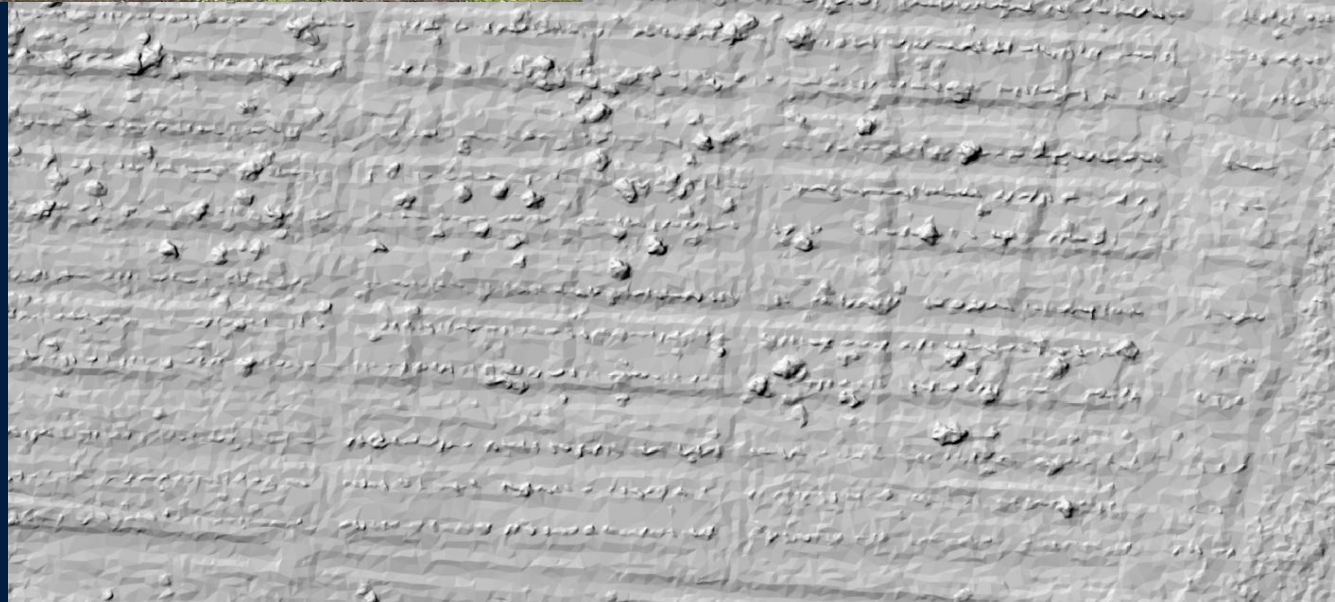
Zejména viditelná a blízká infračervená oblast vlnových délek (400-2500 nm) nachází značné uplatnění při sledování rostlin a půdního prostředí.

Využití snímků a pozemních radiometrických čidel k získání vegetačních indexů

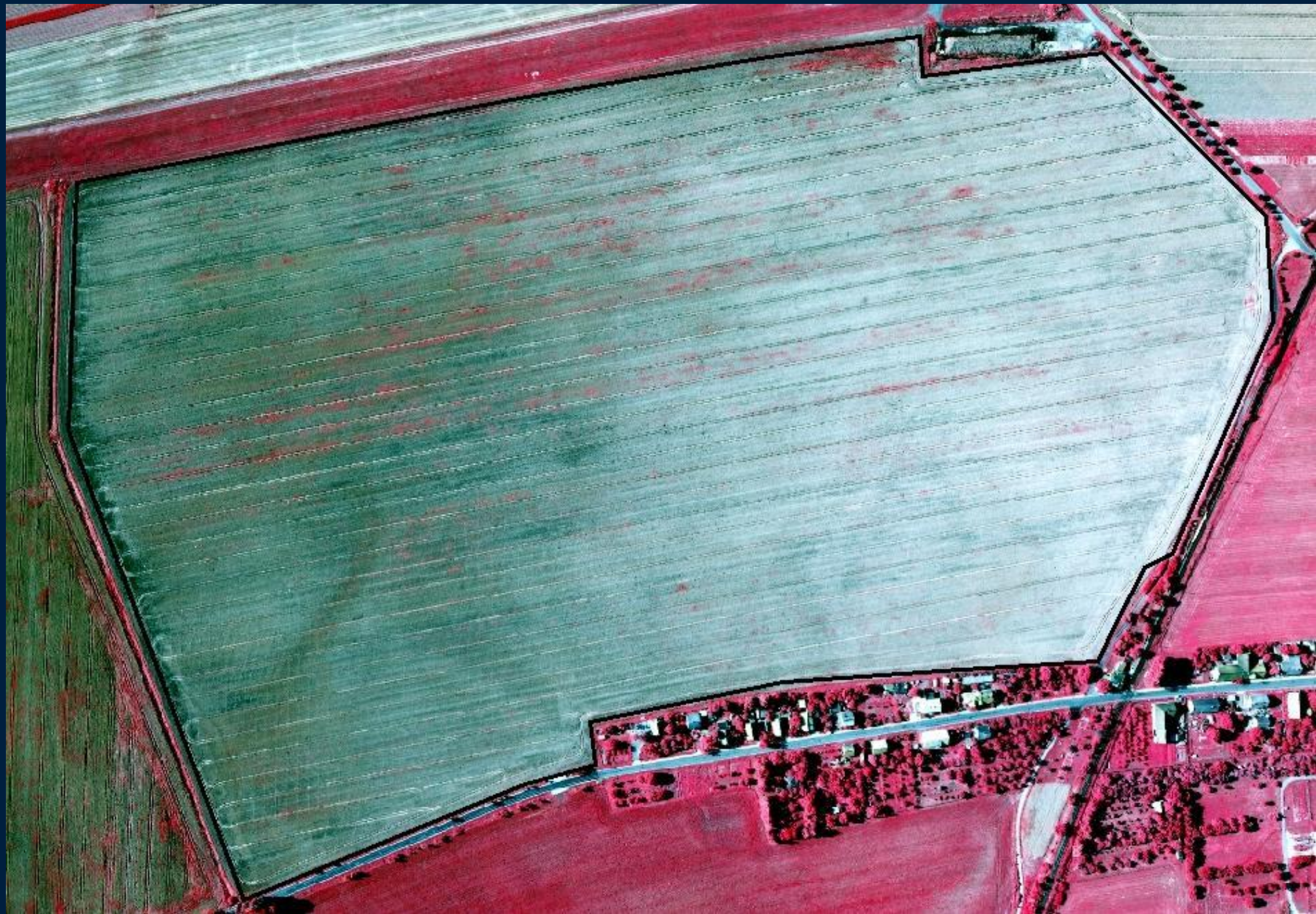
Energie zaznamenaná přístroji DPZ podléhá interakčním mechanismům, které je nutné pochopit pro správnou interpretaci záznamů.

- Určování výživného stavu rostlin
- Odhad výnosu
- Sledování vlhkosti půdy
- Sledování obsahu organické hmoty
- Monitorování zaplevelení
- Navržení odběrové sítě
- Mapování plodin (Land Use)
- Mapování ploch zemědělských parcel
- Mapování poškození porostů, detekce sucha
- Precizní zemědělství
- Monitoring biofyzikálních parametrů
- Tvorba DTM (stereo snímky) - geomorfologie
- Mapování půdní eroze
- Mapování povrchového odtoku
- Monitoring vlhkosti povrchu půd









Dálkový průzkum Země

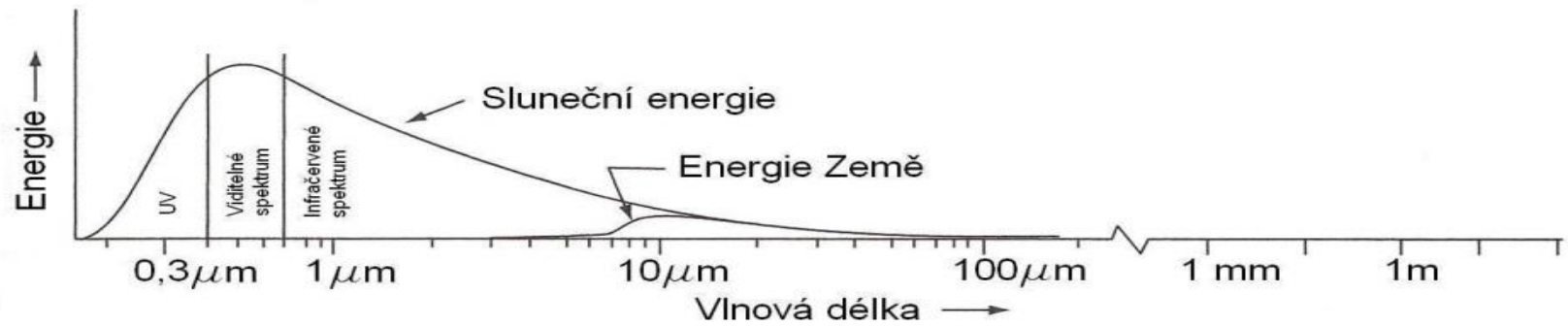
Družicové snímky

Letecké snímky

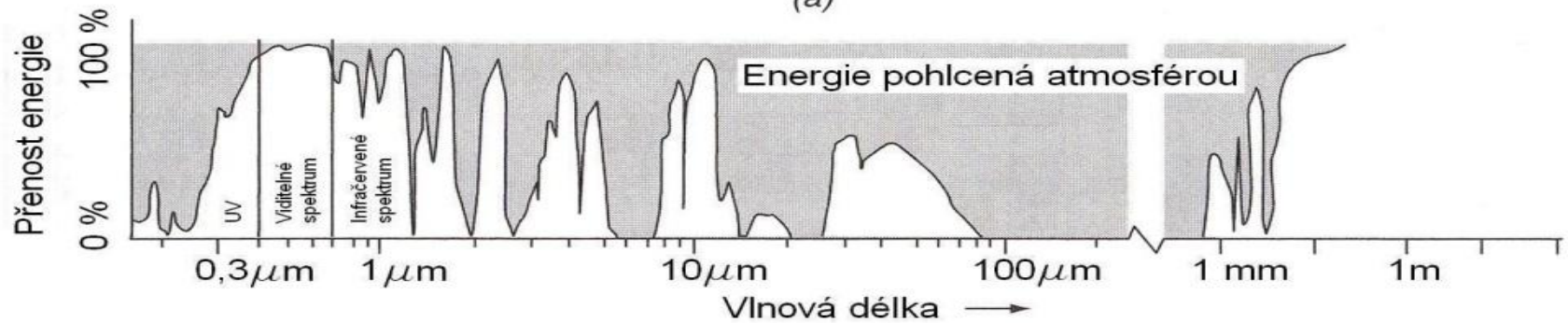


Využití čidel a bezpilotních letadel

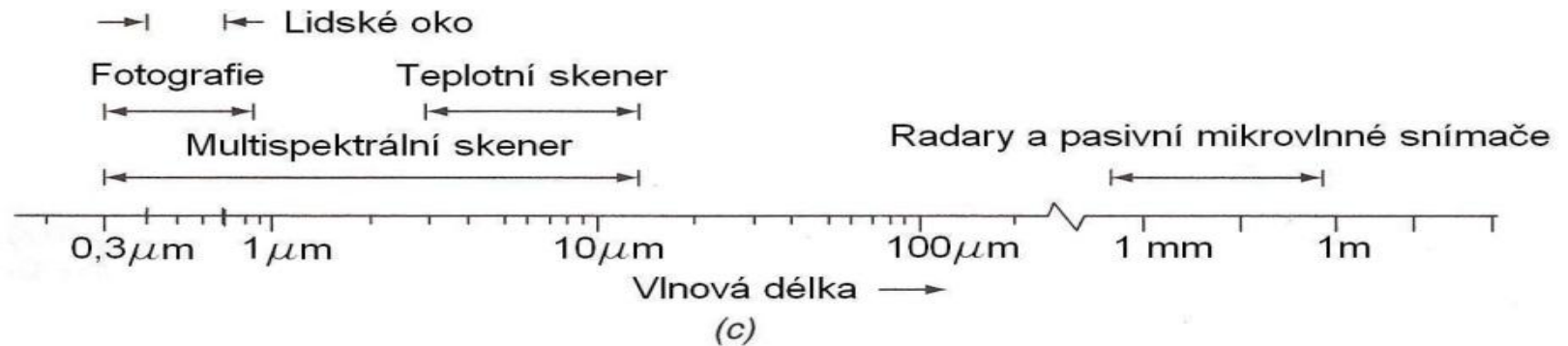




(a)

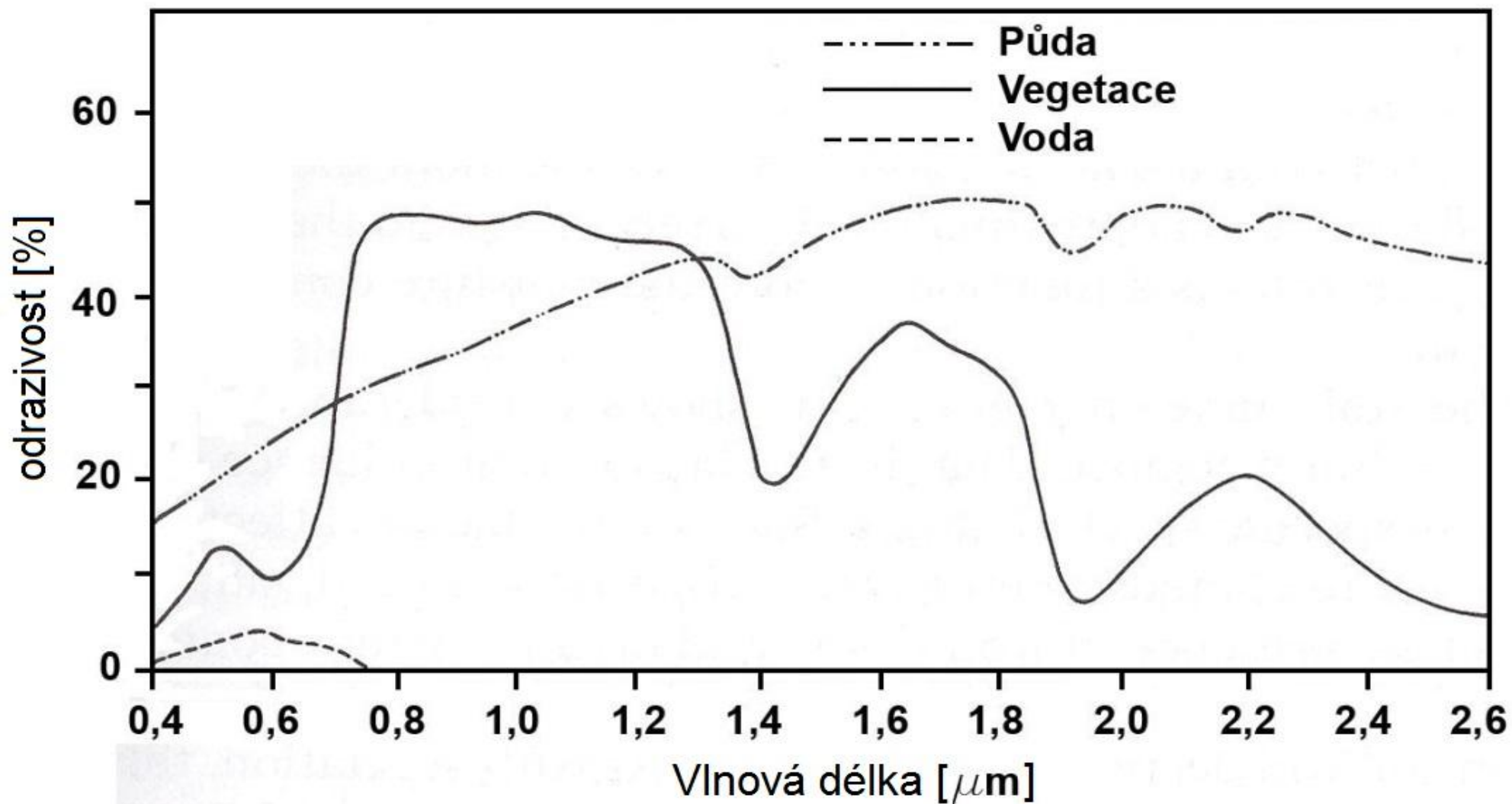


(b)



(c)

Vzájemná vazba mezi zdroji energie a absorpcí atmosférou (Lillesand a kol. 2004).
(energie odražená od povrchu (Země) nese informaci o objektu nebo procesech vztahujících se k objektu)

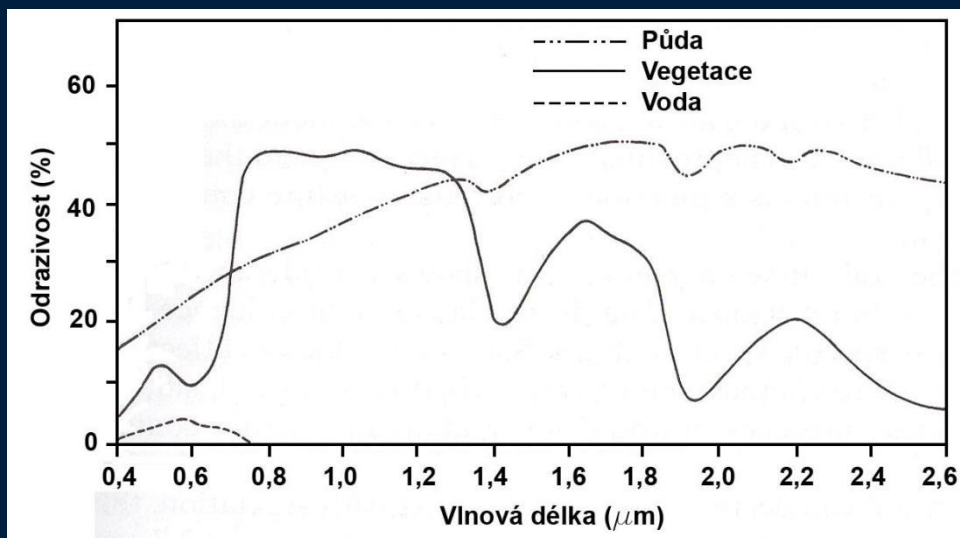


**Typické křivky odrazivosti spektra vegetace, půdy a vody (Lillesand a kol. 2004).
Dálkový průzkum využívá skutečnost, že půda a vegetační pokryv odráží s rozdílnou intenzitou (popř. i vyzařuje) elektromagnetické záření.**

Tvar této křivky je jedinečný pro sledovaný objekt, je však ovlivňován i jeho stavem nebo kondicí.

Chlorofyl silně absorbuje záření v oblasti spektra od 0.45 μm do 0.67 μm (modrá a červená barva), ale zelenou barvu silně odráží.

Pokud je vegetace stresována, obsah chlorofylu se snižuje. Tato skutečnost se projeví na poměru pohlcené a odražené energie. Především odrazivost červené složky se zvyšuje a výsledek je žloutnutí lisů (kombinace zelené a červené).



Oblasti blízkého infračerveného záření (near-IR, NIR)

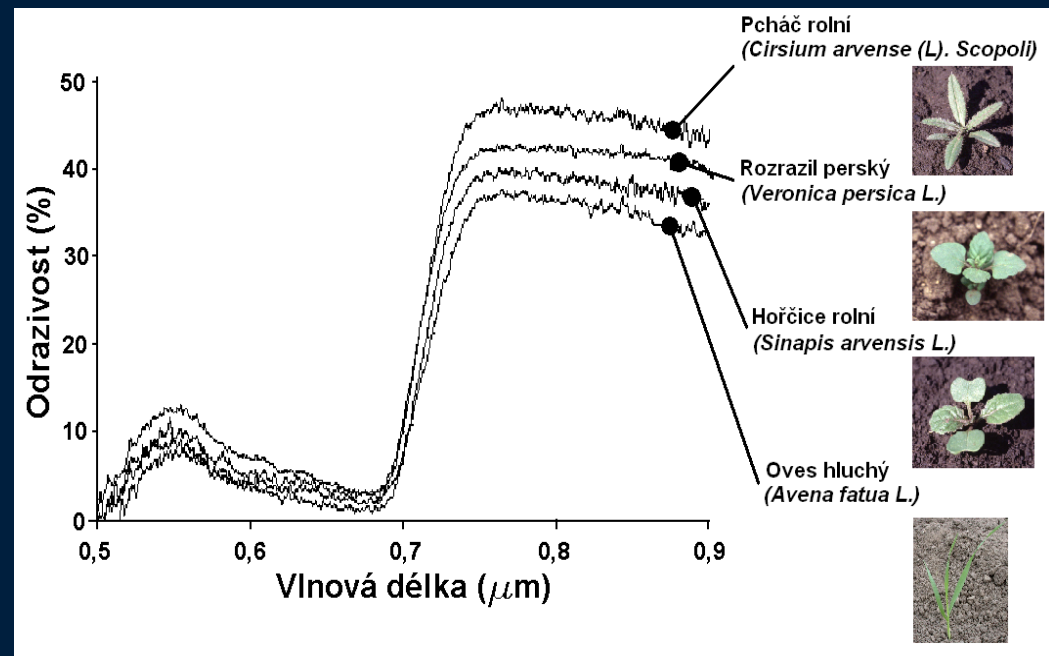
okolo vlnové délky 0.7 μm , začne u zdravé vegetace odrazivost výrazně narůstat.

V rozsahu vlnových délek od 0.7 μm do 1.3 μm listy rostlin odrazí 40 až 50 % dopadající energie.

Většina zbývající energie je propuštěna, protože v této oblasti je absorpce minimální (menší než 5 %).

Odrzivost v tomto pásmu je dána především rozdílnou vnitřní strukturou listů.

Protože struktura listů je mezi druhy rostlin velmi variabilní, měření odrazivosti v této oblasti nám často dovoluje rozlišit rostlinné druhy, i když ve viditelném spektru vypadají stejně. Rovněž se v blízkém infračerveném záření významně projeví stres rostlin.

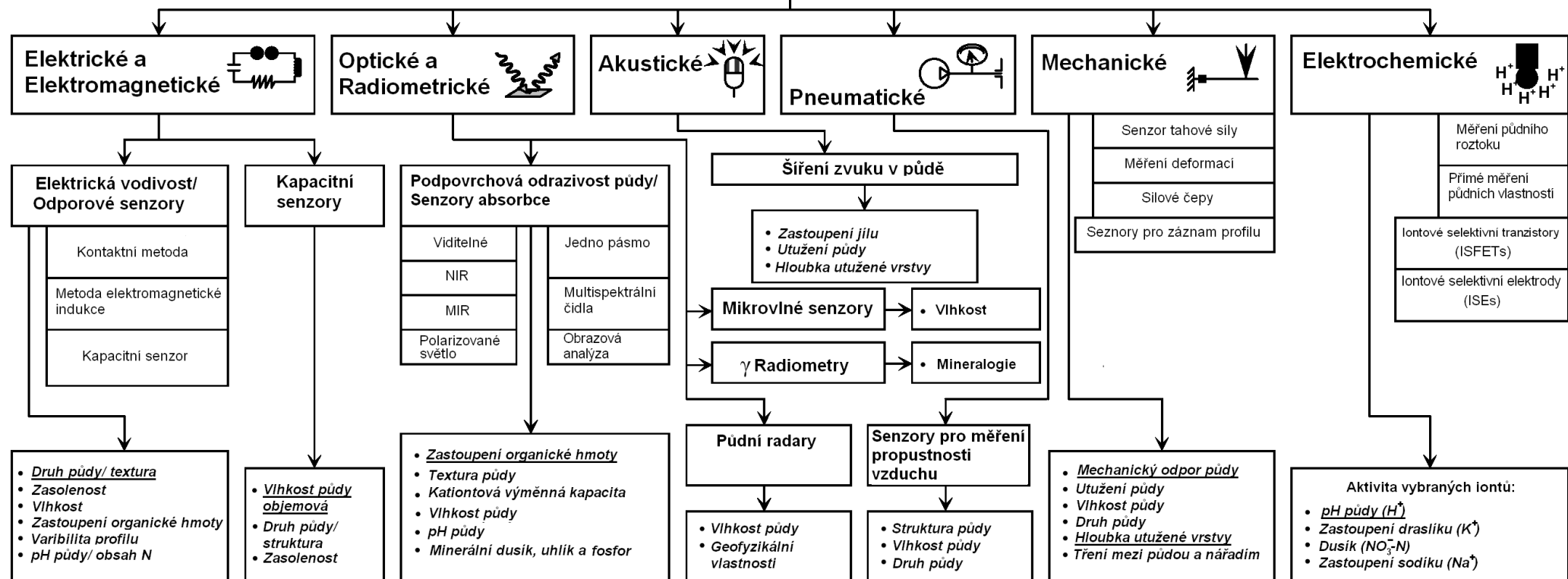


Přehled výhod a nevýhod jednotlivých systémů snímání

	družice	letadla	pozemní snímače
Plošné pokrytí snímačem	snímaná plocha narůstá s výškou snímání km ²	snímaná plocha narůstá s výškou snímání m ²	snímaná plocha narůstá s výškou snímání cm ²
Prostorové rozlišení	s vyšší výškou klesá rozlišení 1 – 30 m ²	s vyšší výškou klesá rozlišení 0.05 – 2 cm ²	s vyšší výškou klesá rozlišení mm ² až cm ²
Časová dostupnost	týdny	dny	hodiny
Omezení oblačností	omezení se zvyšuje s výškou snímání značné	omezení se zvyšuje s výškou snímání mírné	omezení se zvyšuje s výškou snímání bez omezení
Vliv světelných podmínek	bez omezení	mírné	značné
Dostupnost pro konečného uživatele	dlouhé zpoždění	částečné zpoždění	bez zpoždění
Ovlivnění konečným uživatelem	omezená kontrola	částečná kontrola	plná kontrola



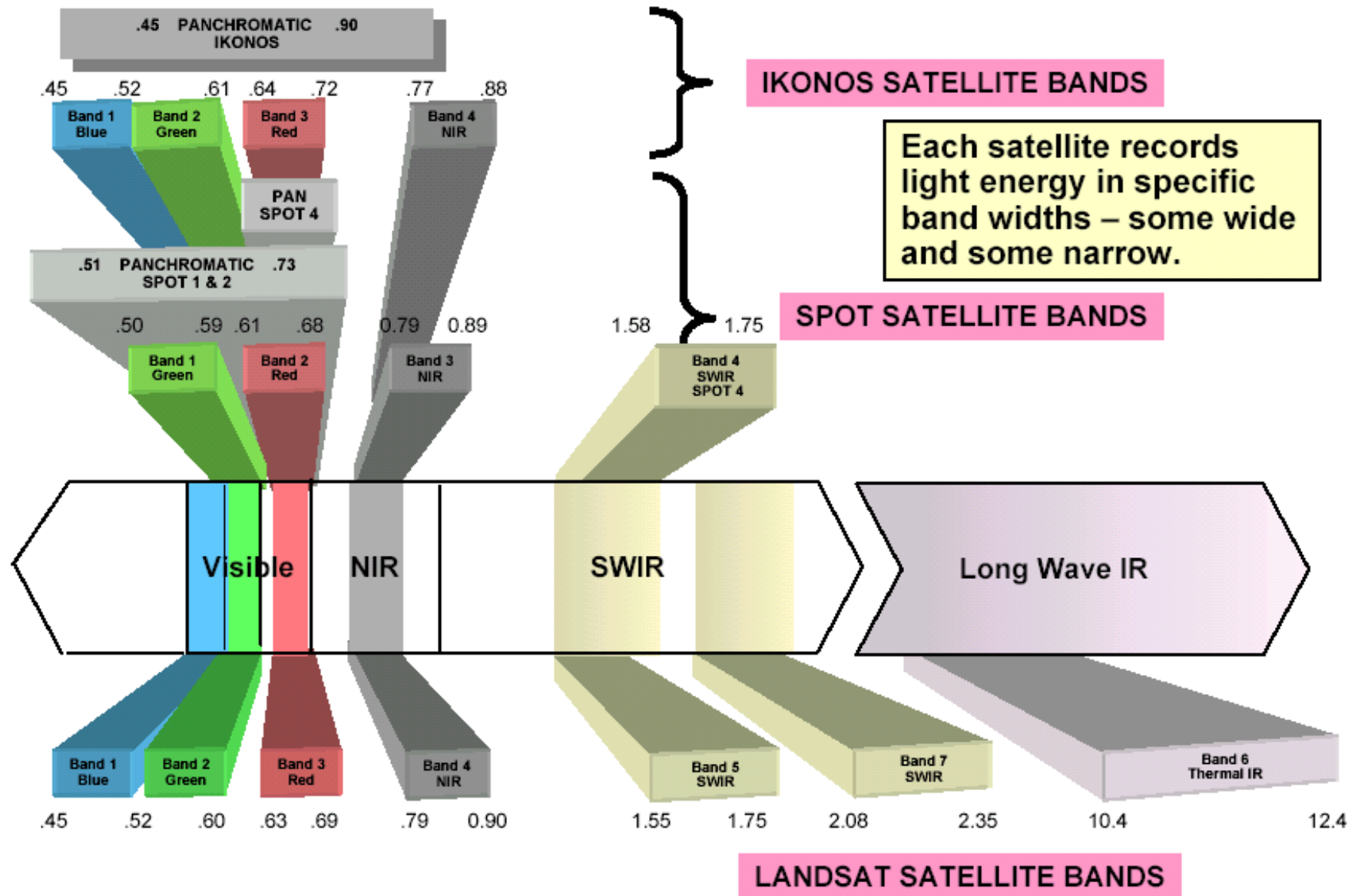
Komerčně užívané půdní On-the-Go senzory a prototypy



Využití spektrálních charakteristik objektů

- spektrální odrazivost závisí na chemických a morfologických vlastnostech povrchových orgánů rostlin
- liší se v závislosti na rostlinném druhu, obsahu vody v biomase, výživném stavu, zdravotním stavu a dalších faktorech.

Spectral Bands Collected



Parametry nejvýznamnějších satelitů

	Landsat 7	Sentinel-2	IKONOS	GeoEye-1
Letová výška (km)	705	786	680	681
Cyklus (dní)	16	5	1 - 3	< 3
Snímkovaná plocha (km)	185 x 185	290	11 x 11	šířka 15,2
Rozlišení panchrom. (m)	15	-	0,82	0,41
Rozlišení multispetkr. (m)	30	10 - 60	3,2	1,65
Spektrální pásmo panchromatické (nm)	520- 900	-	450 - 900	450-900
Spektrální pásma chromatická (nm)	450 - 515 525 - 605 630 - 690 630 - 690 1550 - 1750 2090 - 2350	443, 490, 560, 665, 705, 740, 783, 842, 865, 945, 1375, 1610, 2190	445-516 506-595 632-698 757-853	450-520 520-600 625-695 760-900

Vegetační indexy

Typy vegetačních indexů:

1.poměrové

2.založené na vzdálenosti od linie půdy

3.ortogonální indexy

4.red edge indexy

Vegetační indexy

Typy vegetačních indexů:

1.RGB

- nízká cena
- nízké SNR

1.Multispektrální

2.Hyperspektrální

Vegetační indexy pro stanovení biomasy nebo LAI

Simple ratio (SR)

$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}$$

- nemá normalizovaný rozsah (0 - ∞)
- data nemají normální rozdělení
- citlivý na variabilitu v osvětlení (úhel osvětlení, oblačnost)

Vegetační indexy pro stanovení biomasy nebo LAI

Normalised difference vegetation index

$$DVI = \rho_{NIR} - \rho_{RED}$$

- někdy označovaný jako EVI
- citlivý k barvě pozadí
- tmavá půda – nízké hodnoty DVI
- citlivý na variabilitu v osvětlení

Vegetační indexy pro stanovení biomasy

Normalised difference vegetation index

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

- normalizace snižuje citlivost k pozadí
- velmi robustní
- nasycení při určité hladině LAI

Vegetační indexy pro stanovení biomasy

Soil adjusted vegetation index

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} (1 + L)$$

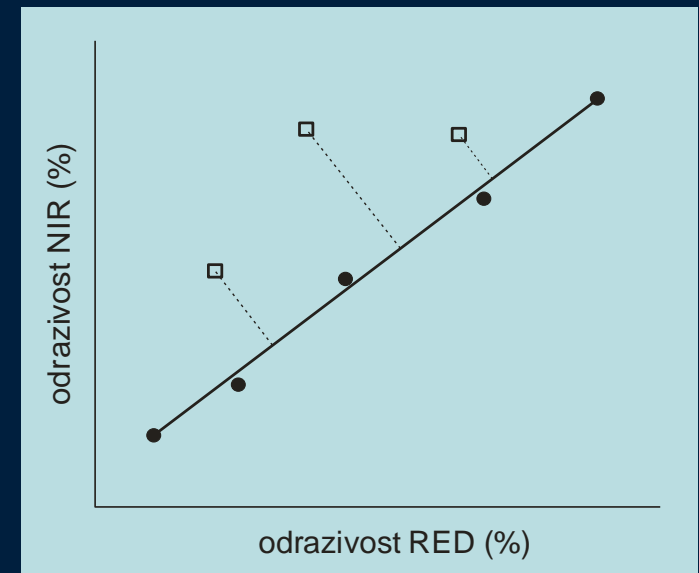
- pro $L = 0$ $SAVI = NDVI$
- pro $L \rightarrow \infty$ $SAVI \approx DVI$
- hodnoty L obvykle 0,2 - 0,5
- MSAVI, OSAVI,

Vegetační indexy pro stanovení biomasy

Perpendicular vegetation index

$$PVI = \sqrt{(\rho_{soil} - \rho_{veg})_R^2 - (\rho_{soil} - \rho_{veg})_{NIR}^2}$$

- stanovuje se vzdálenost od linie půdy
- dobře filtruje efekt pozadí
- citlivý ke kolísání spektrálních vlastností půdy



Vegetační indexy pro stanovení biomasy RGB

Visible atmospheric resistant index

$$\text{VARI} = \frac{\rho_{\text{GREEN}} - \rho_{\text{RED}}}{\rho_{\text{GREEN}} + \rho_{\text{RED}} - \rho_{\text{BLUE}}}$$

- nižší citlivost k nasycení než NDVI
- rostliny nemusí být vždy zelené

Vegetační indexy pro stanovení obsahu chlorofylu (dusíku)

Red edge inflection point

$$REIP = 700 + 40 \left(\frac{\left(\frac{670 + 680}{2} \right) - 700}{740 - 700} \right)$$

- inflexní bod – maximální strmost křivky
- bývá mezi 690 - 740 nm
- způsob výpočtu pro jednotlivé senzory se liší
- nízké hodnoty indikují nízký obsah chlorofylu

Vegetační indexy pro stanovení obsahu chlorofylu (dusíku)

Green chlorophyll index

$$Cl_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red-edge}} - 1$$

- lineární průběh vzhledem k LAI
- nízká citlivost na druh plodiny

Vegetační indexy pro stanovení obsahu chlorofylu (dusíku) - RGB

Triangular greenness index

$$TGI = \rho_{GREEN} - 0,39 * \rho_{GREEN} - 0,61 * \rho_{GREEN}$$

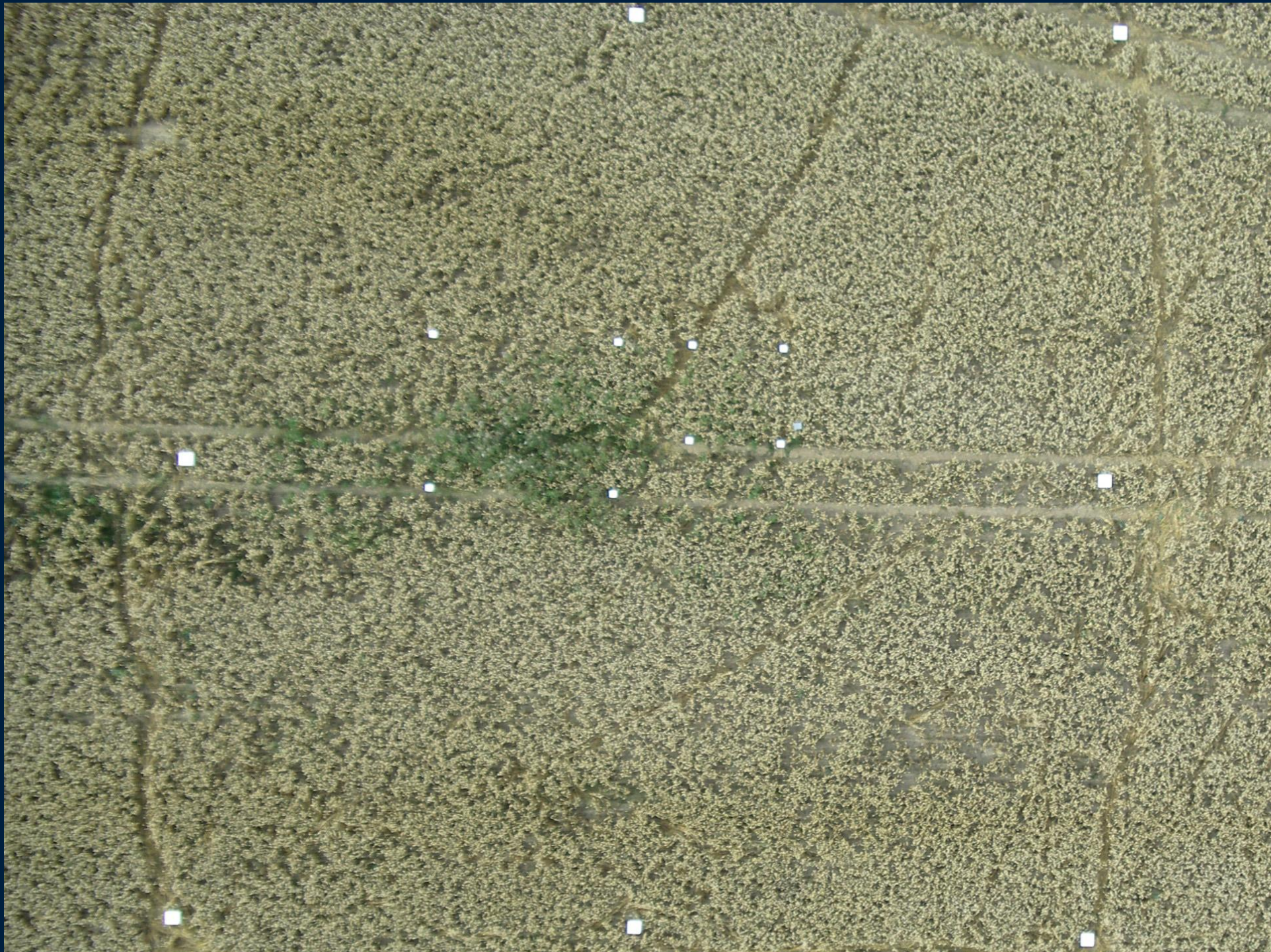
Vegetační indexy pro detekci zaplevelení

- Detekce na strništi nebo v dozrávající plodině - NDVI, SAVI
- Detekce specificky zbarvených plevelů
- Detekce plevelů na počátku vegetace
 - V širokořádkových plodinách NDVI, SAVI
 - V obilninách hyperspektrální indexy

Využití RGB spektra



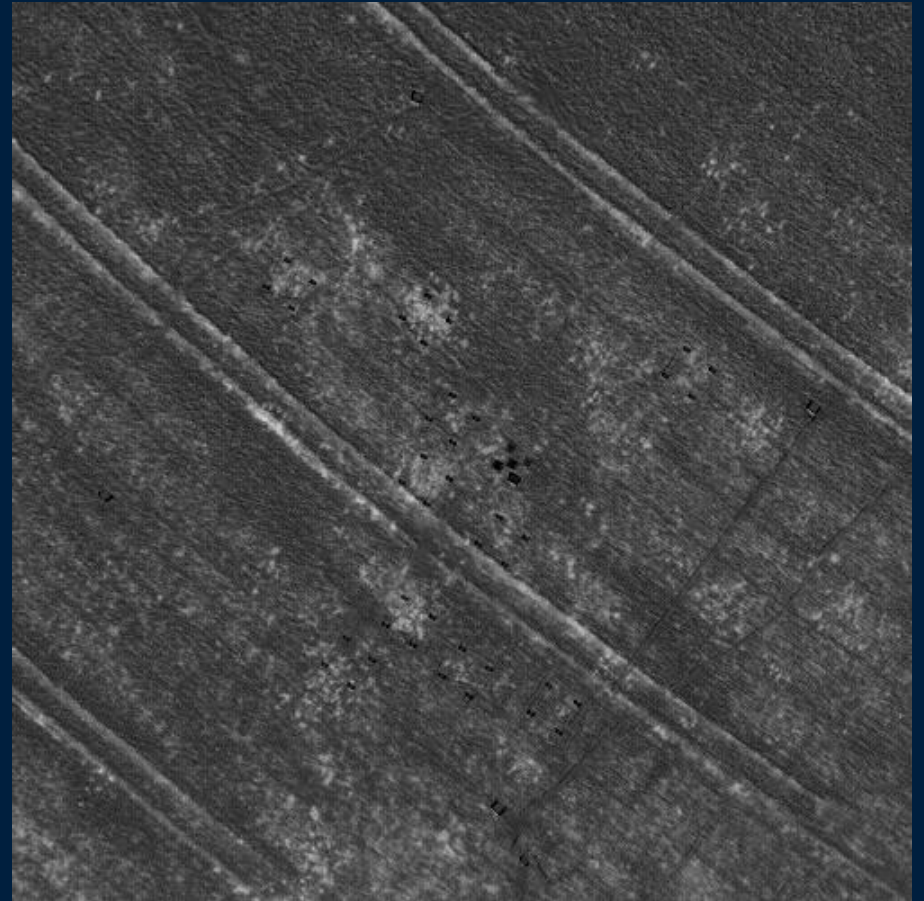




Pcháč oset v dozrávající pšenici

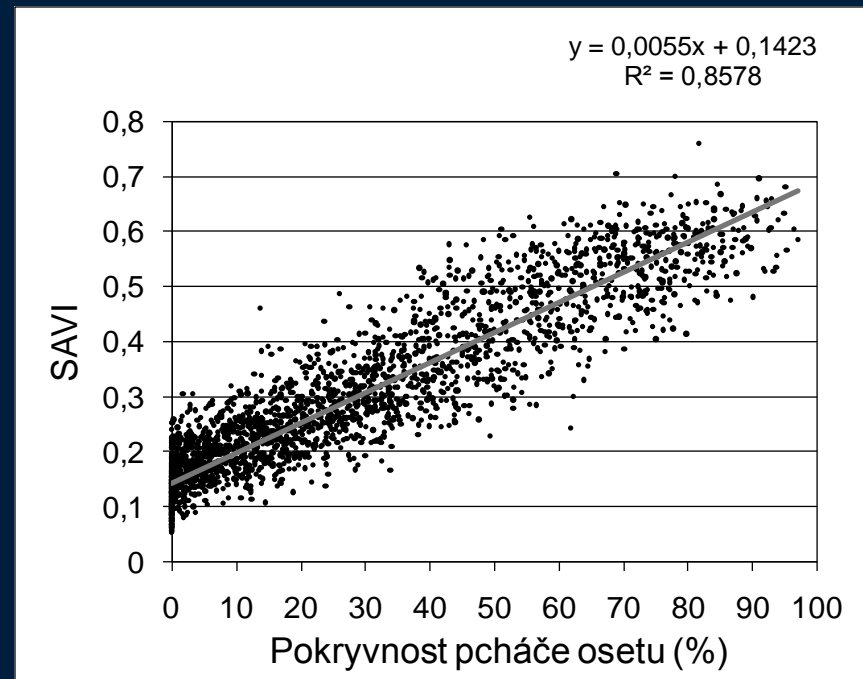
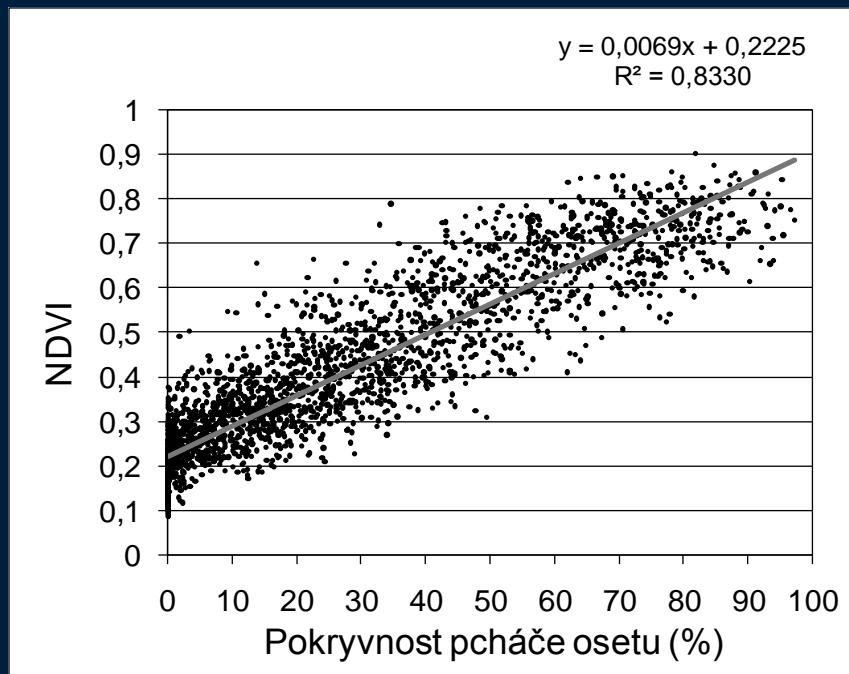


CIR

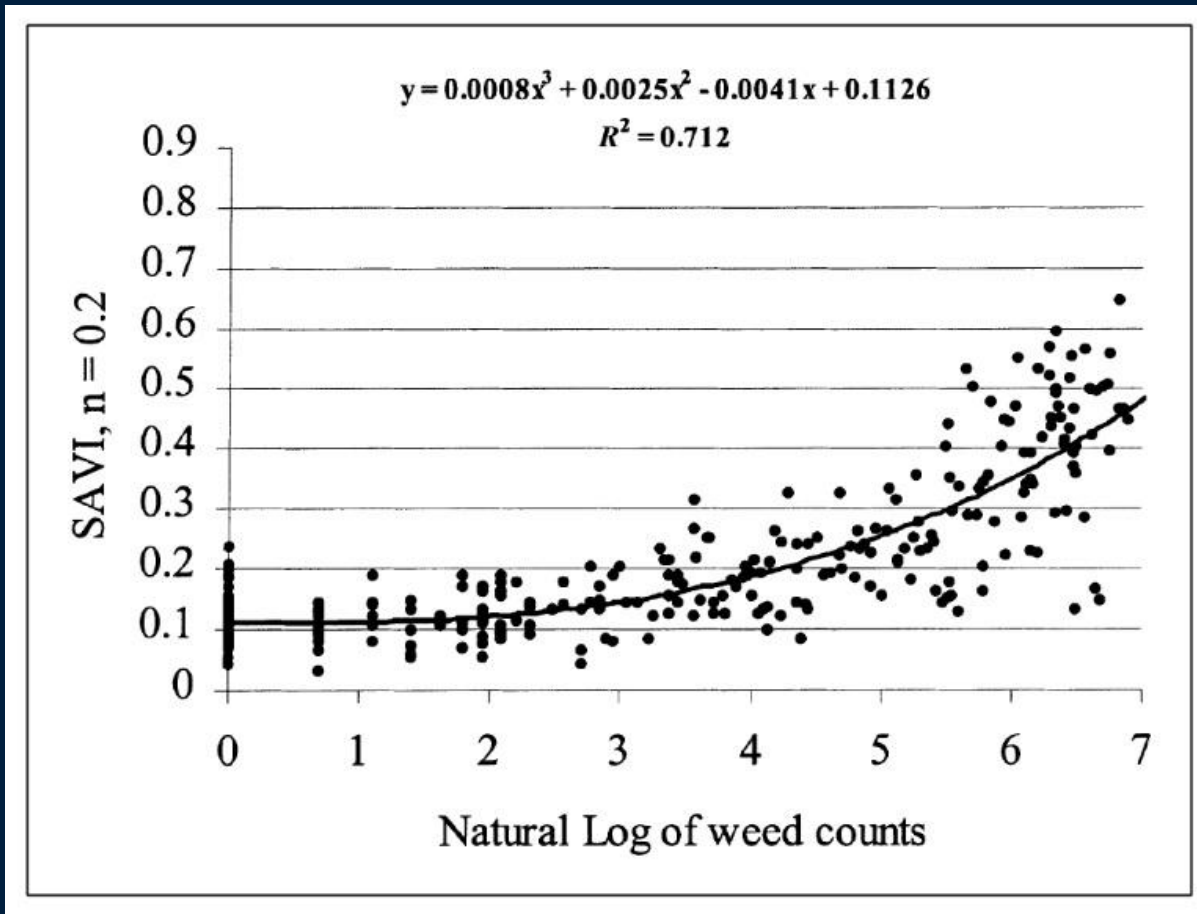


NDVI

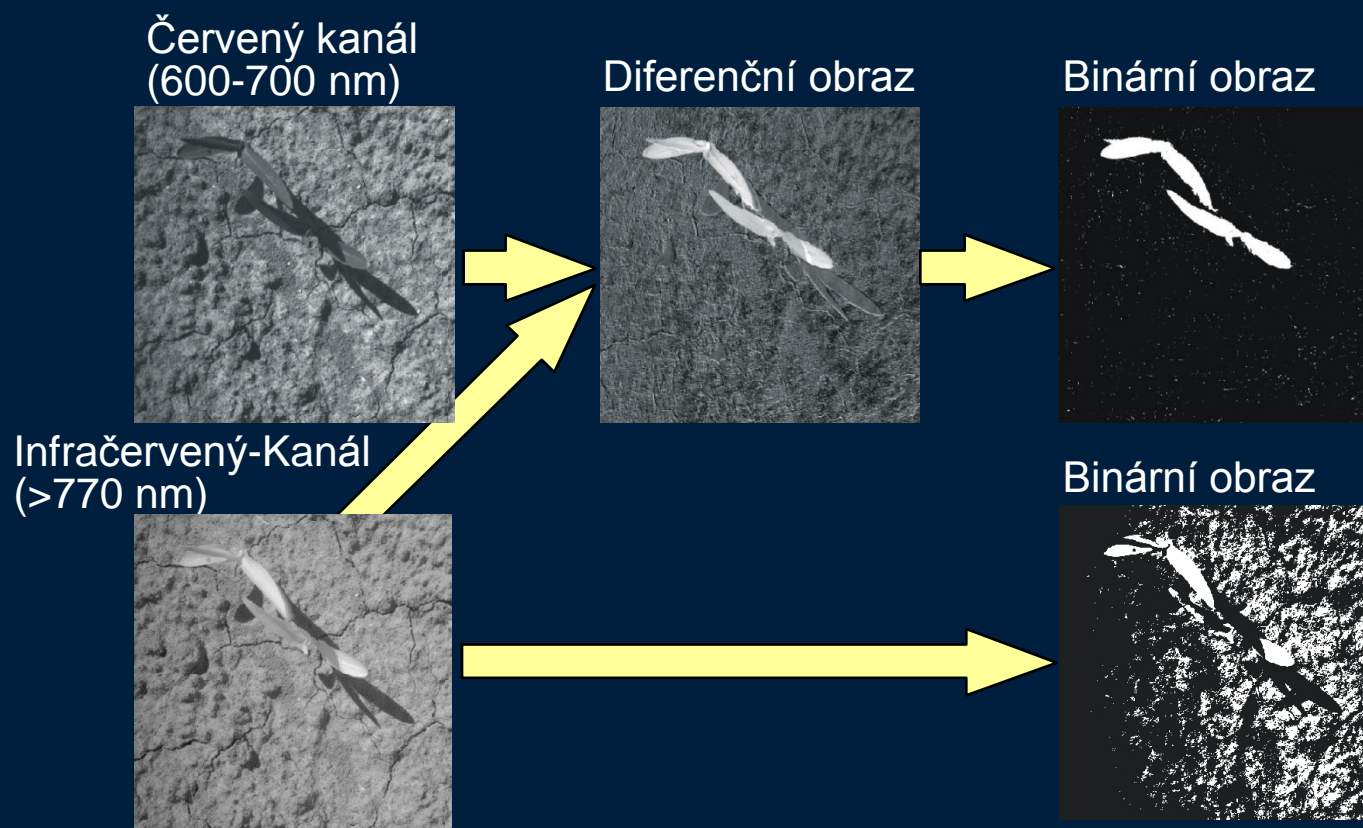
Korelace mezi pokryvností pcháče a hodnotami indexů



Oves hluchý v triticales (počátek vegetace – BBCH 12)



Zpracování obrazu pro extrakci obrysu rostlin za přímého slunečního svitu



Vegetační indexy pro detekci chorob

Photochemical reflectance index

$$\text{PRI} = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}}$$

Vegetační indexy pro detekci vodního stresu

Photochemical reflectance index

$$\text{PRI} = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}}$$

- detekce vodního stresu v raných fázích (pokles fotosyntézy)





100
8253

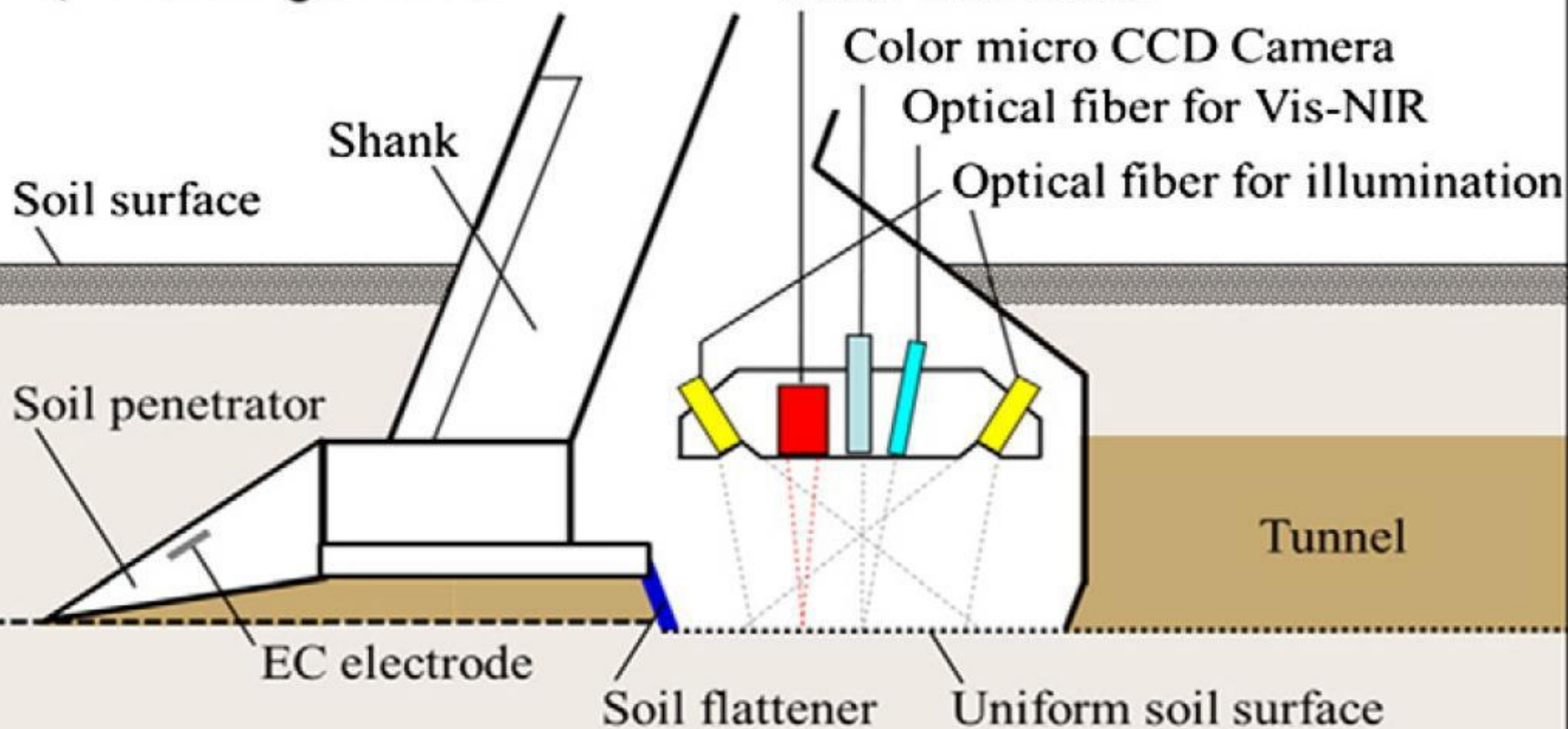
Veris
MSP3

Veris
MOBILE SPRAYER PLATFORM

Veris EC Surveyor 3150



← Traveling direction





Yara N-sensor



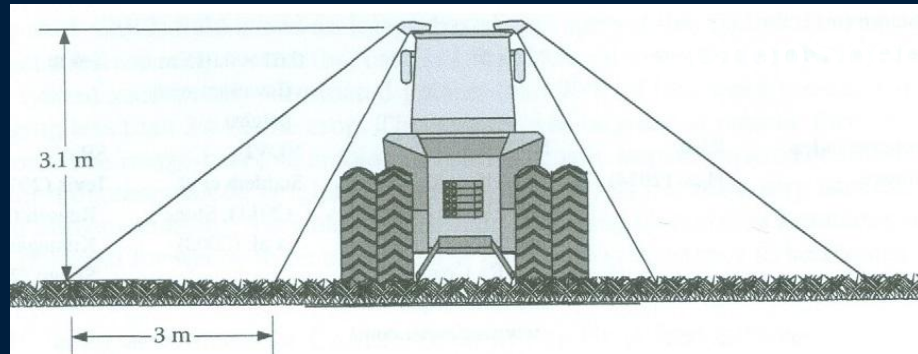
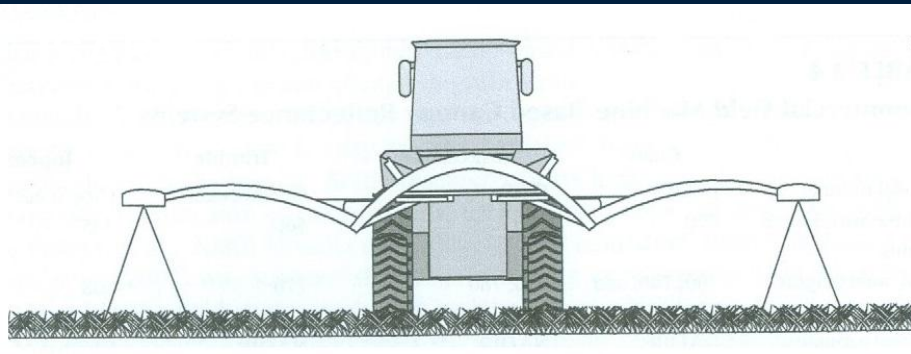
AgLeader OptRx



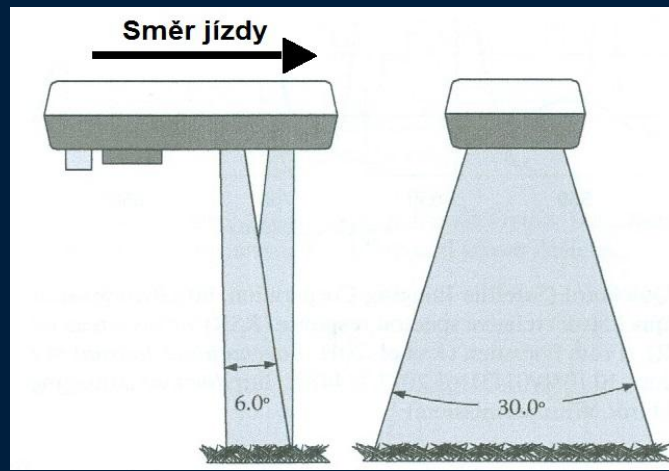
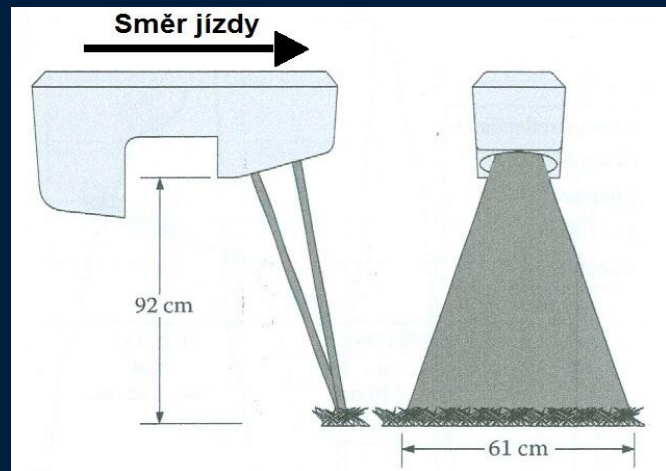
Trimble GreenSeeker



Topcon CropSpec



Typ/ vlnová délka (nm)	Viditelné spektrum	NIR
ISARIA	670	700, 740, 780
OptRx	670	730, 780
GreenSeeker	660	770
CropSpec	735	808



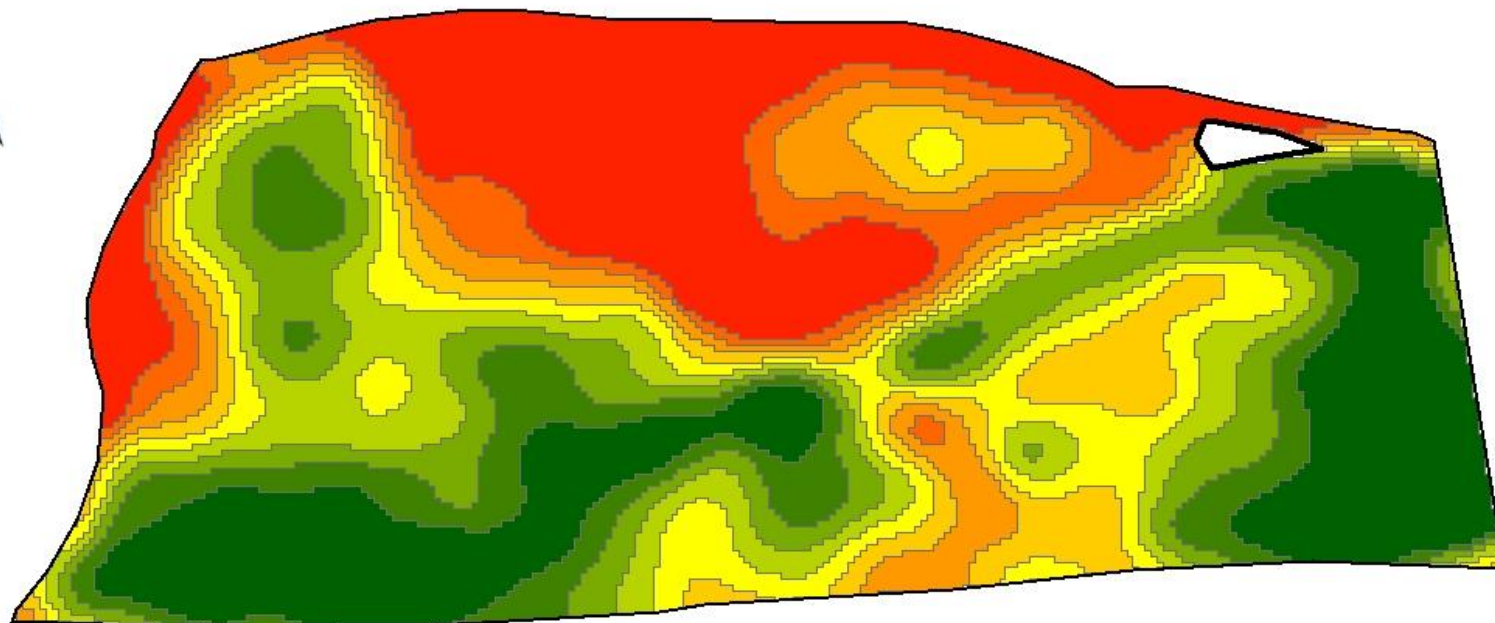
GreenSeeker

OptRx

Fritzmeier/ Claas ISARIA

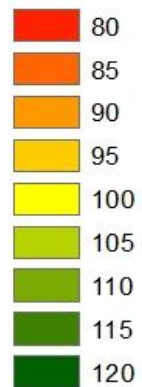






výnosový potenciál

%

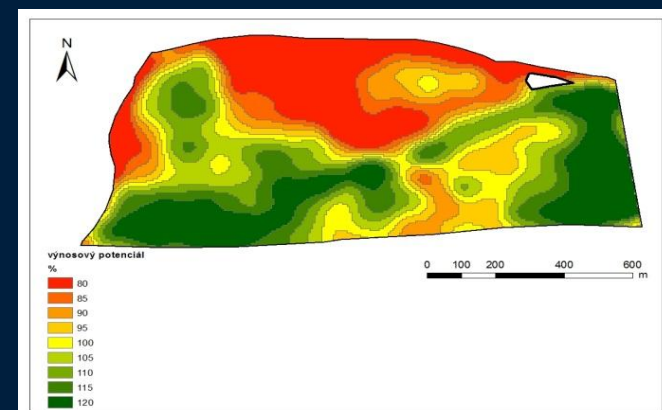


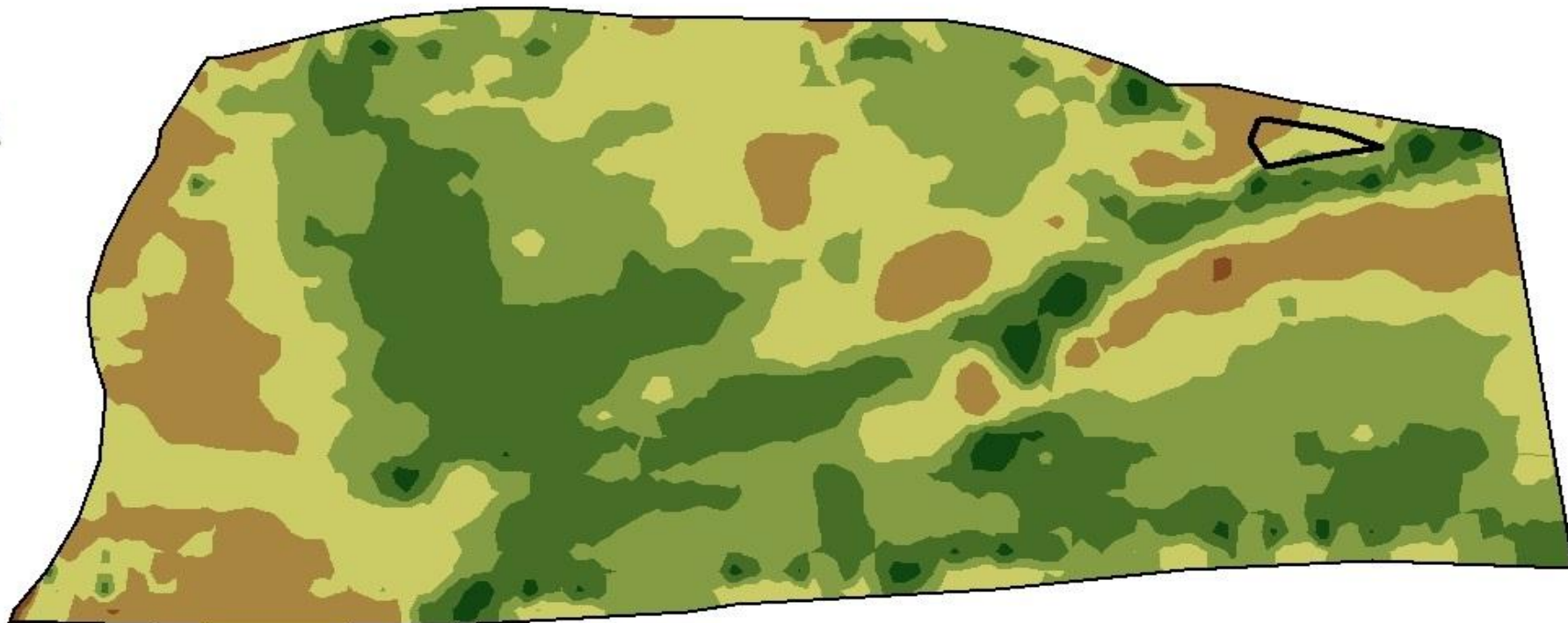
Výnos_rel (%)	plocha m2	%
120	103981.8	17.3
115	58905.33	9.8
110	68114.75	11.3
105	64212.75	10.7
100	57125.94	9.5
95	53711.11	8.9
90	44098.72	7.3
85	37814.74	6.3
80	112127.5	18.8

Jednobodový mód



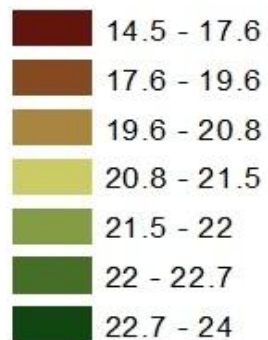
Absolutní mód



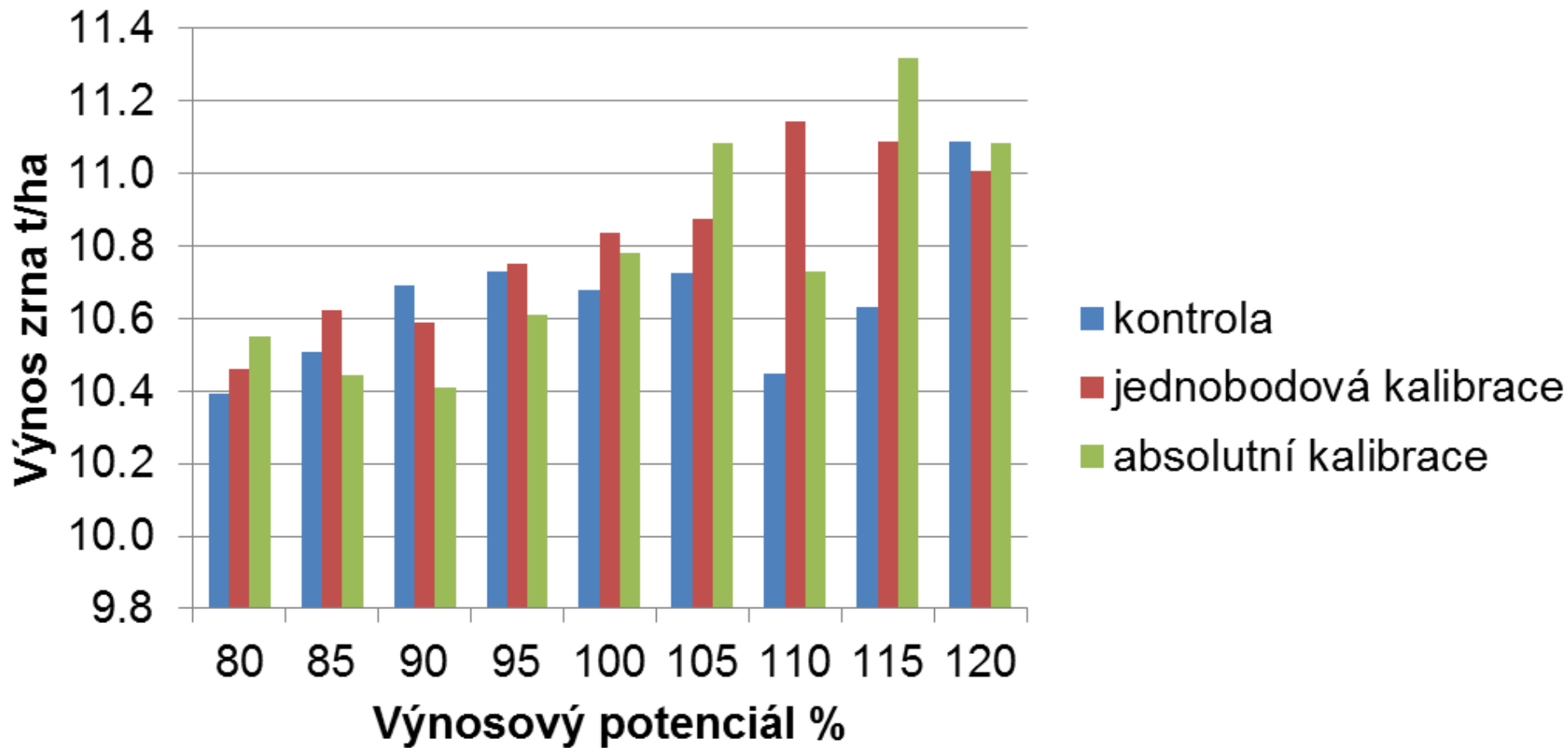


IRMI

Příjem dusíku

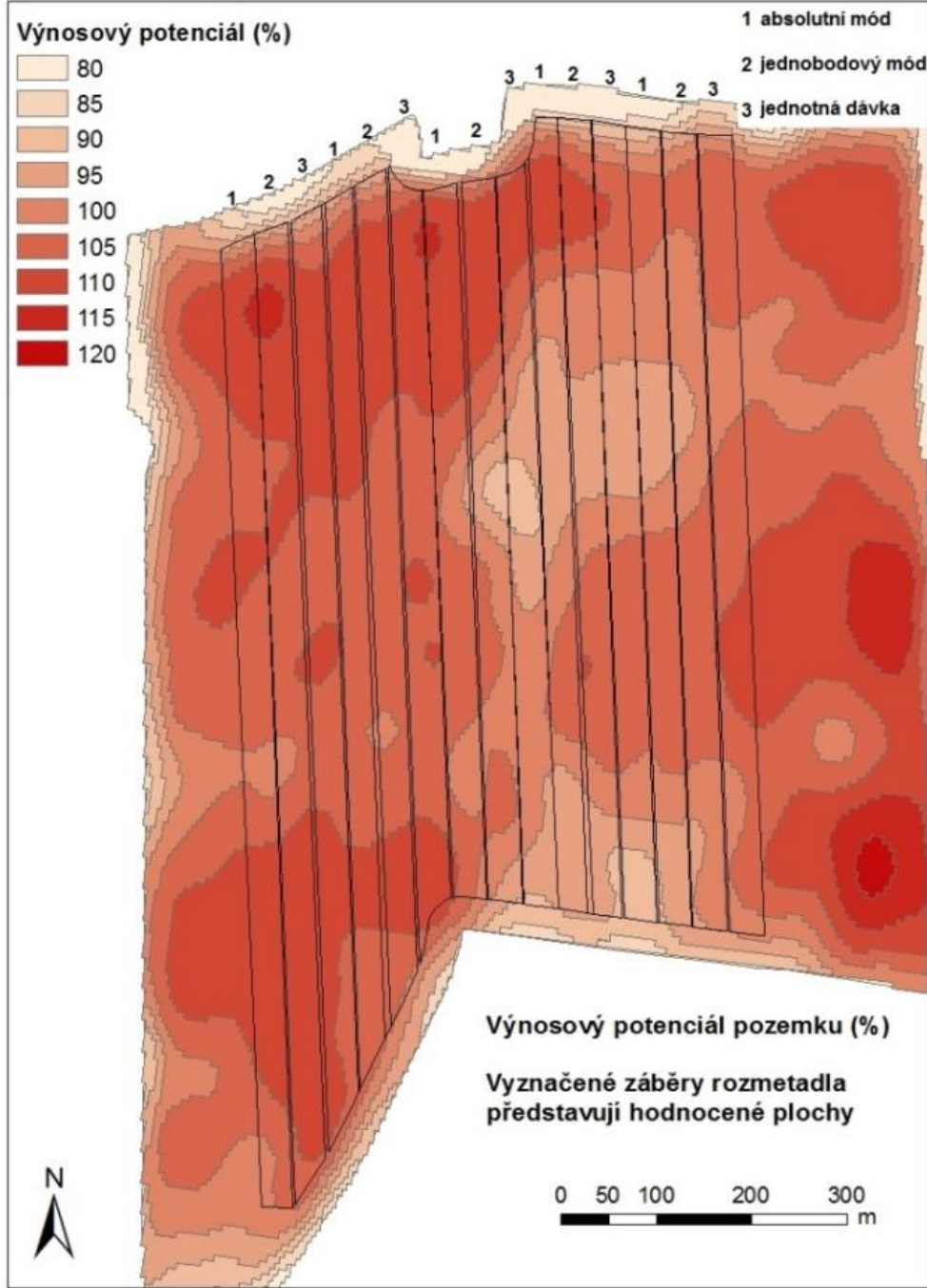


Stav porostu 13.3.2015
1. regenerační přihnojení
Hnojivo Ledek vápenatý, 27 %
Dávka 100 kgLV/ha



Graf s hodnotami výnosu zrna pro jednotlivé zóny výnosového potenciálu

Navýšení o 0,16 t/ha pro jednobodovou kalibraci a 0,12 t/ha pro absolutní kalibraci.



Celková výměra pokusu činila 47 ha.

310 do 330 m n.m.

Černozem modální

Regenerační přihnojení
200 kg LV/ha

Produkční přihnojení LV 27

BBCH 31

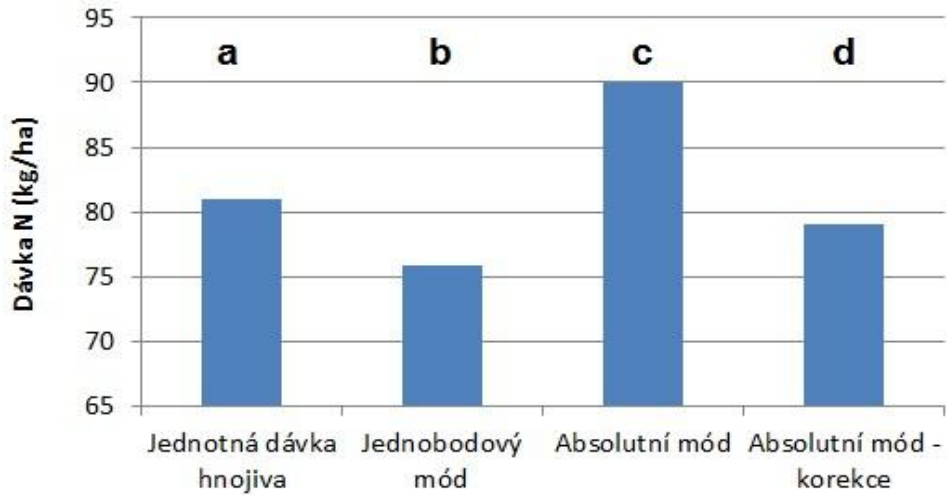
300 kg LV/ha (81 kg N)
(200 do 400 kg LV/ha)

Kvalitativní přihnojení LAD 27

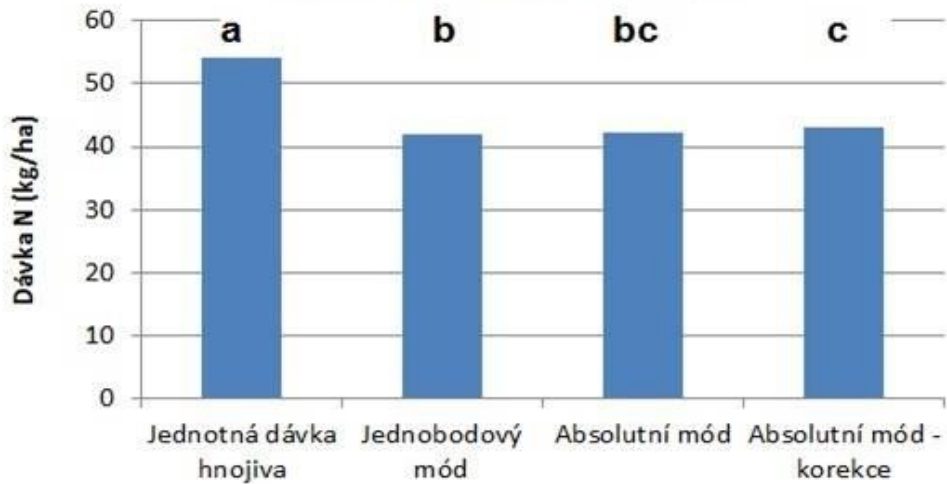
BBCH 41

200 kg LAD/ha (54 kg N)
(100 do 300 kg LV/ha)

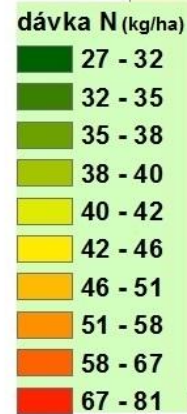
II. produkční přihnojení



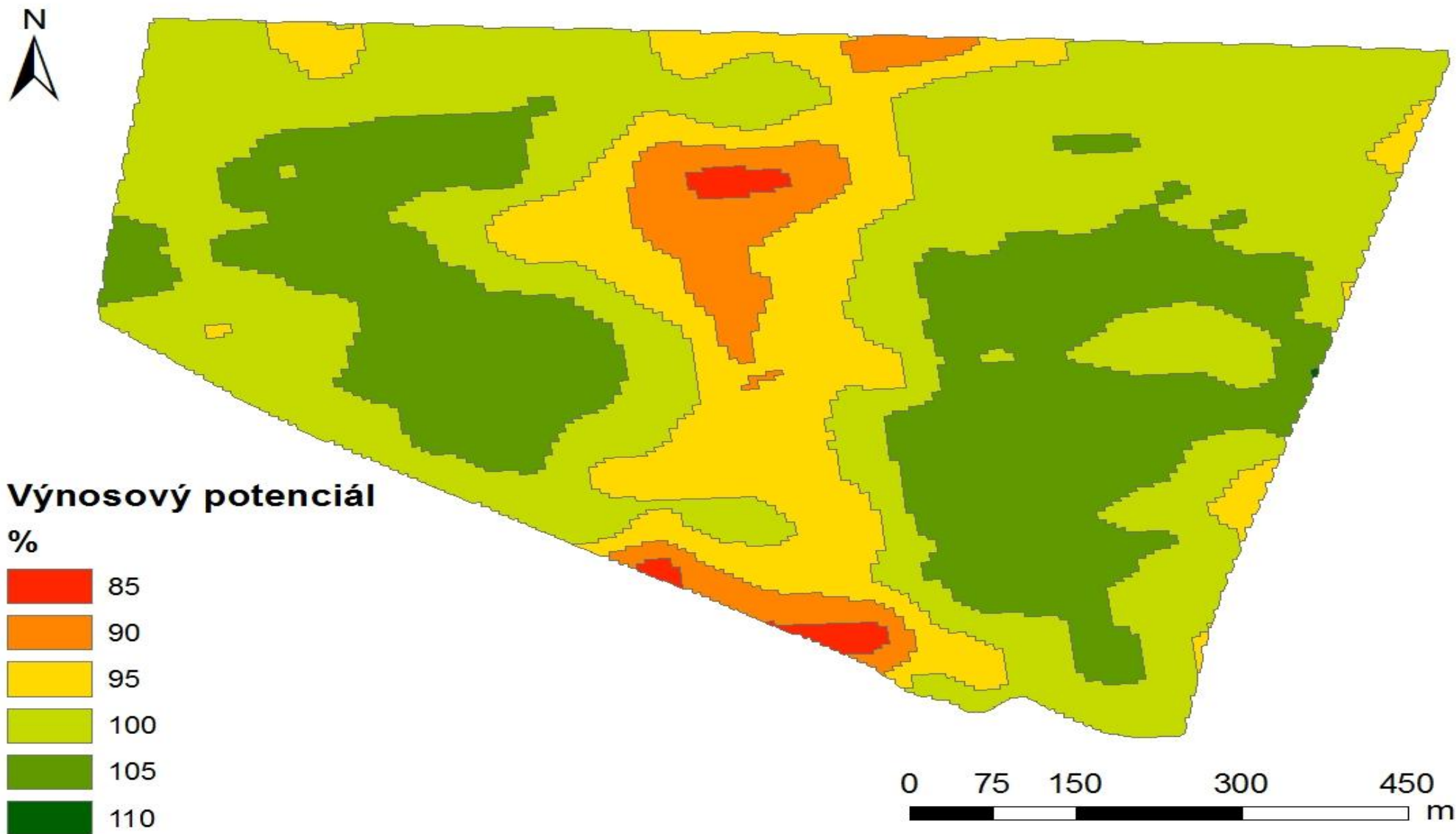
III. kvalitativní přihnojení



- 1 absolutní mód
- 2 jednobodový mód
- 3 jednotná dávka
- * korekce



Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv na základě map výnosového potenciálu.



Cílená desikace porostů řepky

- Desikace
 - aplikace neselektivního herbicidu před sklizní
 - sjednocení dozrávání porostů
 - snížení ztrát
 - zvýšení výkonnosti mlátiček
 - riziko rezidujících herbicidů ve sklizeném produktu
- Požadavek evropské komise:
 - Omezení předsklizňové desikace plodin na nezbytnou úroveň
- Cílená desikace – ošetření pouze ploch s nižší zralostí porostu

ADC Micro Camera Tetracam



Metodika

- Detekce zralostního stavu:
 - Multispektrální kamera Tetracam ACD Micro + Falcon 8
 - Snímkování vyznačených ploch řepky různým stupněm zralosti
 - Indexy NDVI, SAVI

CIR



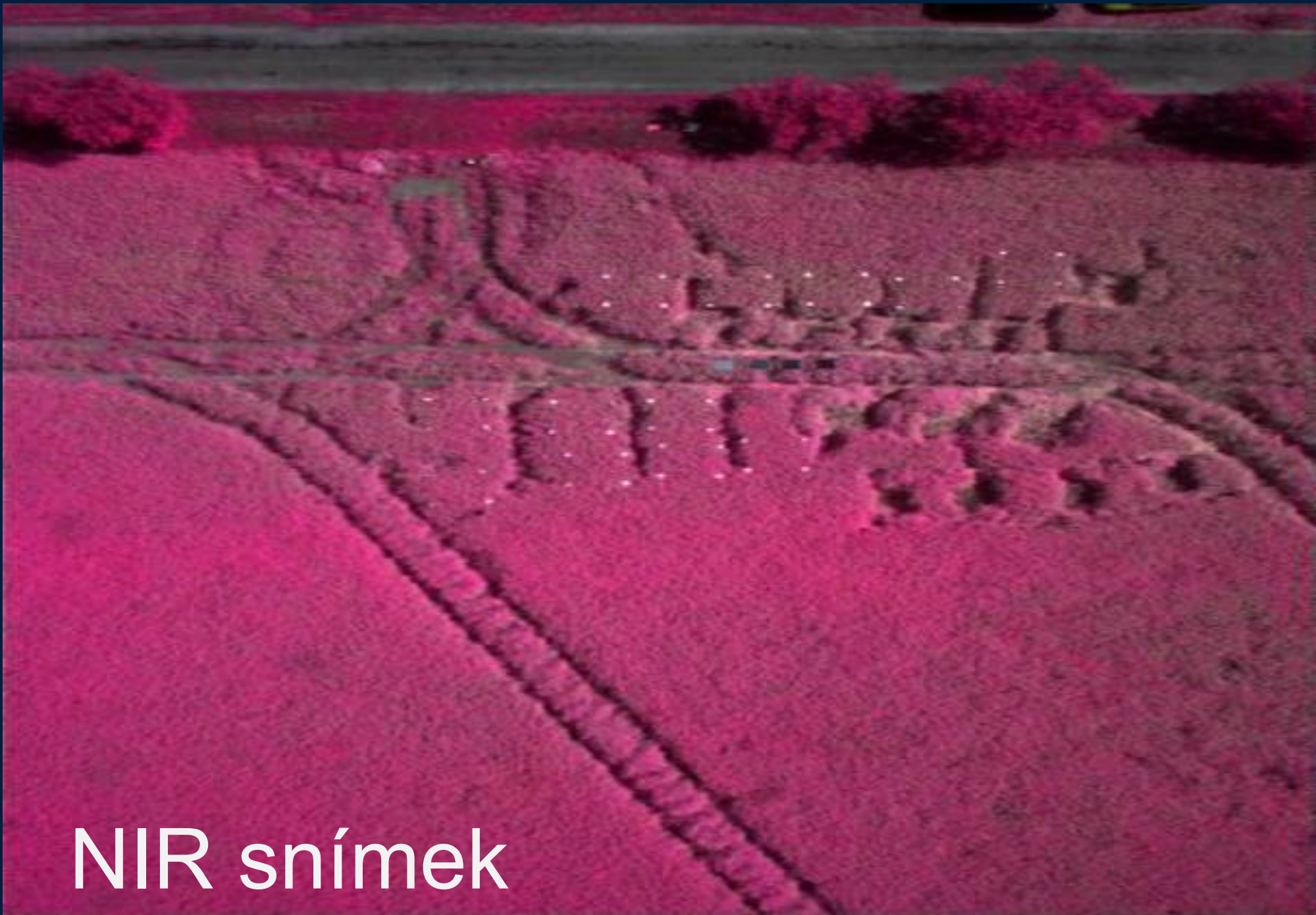
NDVI



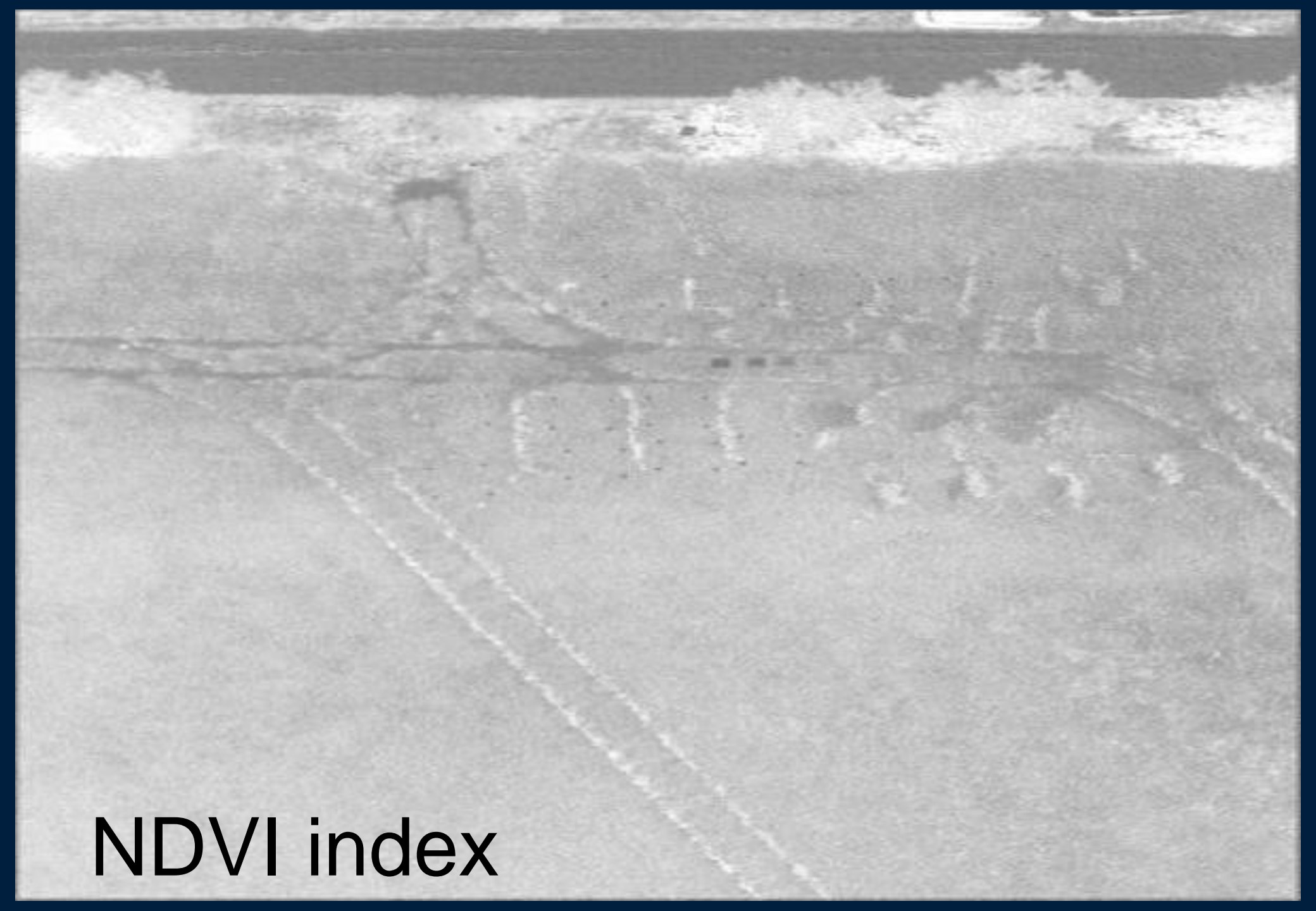
Metodika

- Odběr vzorků z referenčních ploch a stanovení skutečné vlhkosti
- Stanovení závislosti mezi vlhkostí a NDVI, SAVI
- Nalezení vhodných metod pro detekci zralostního stavu porostů řepky





NIR snímek

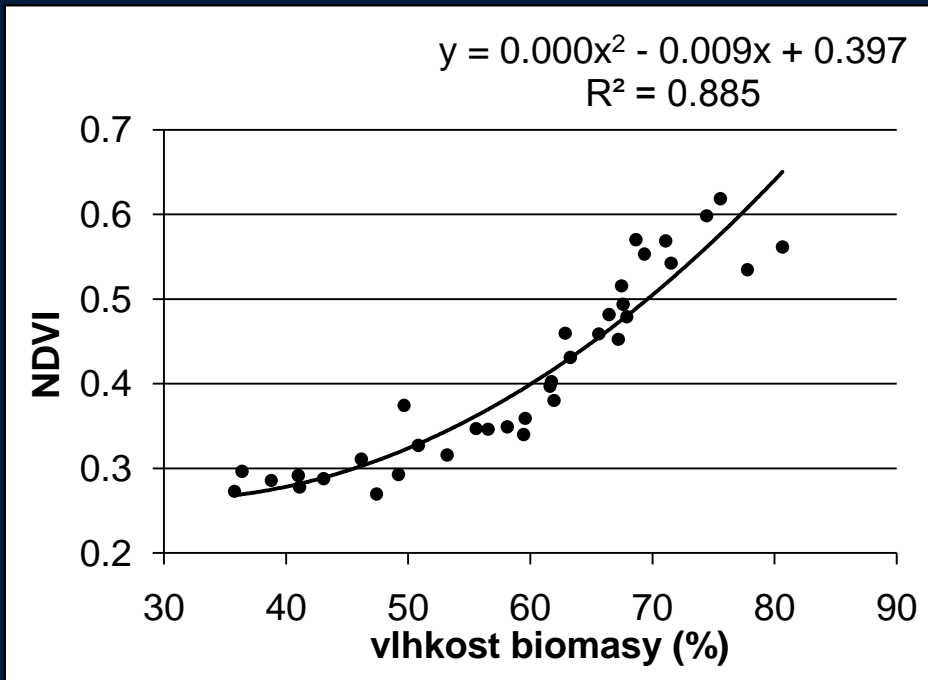


NDVI index

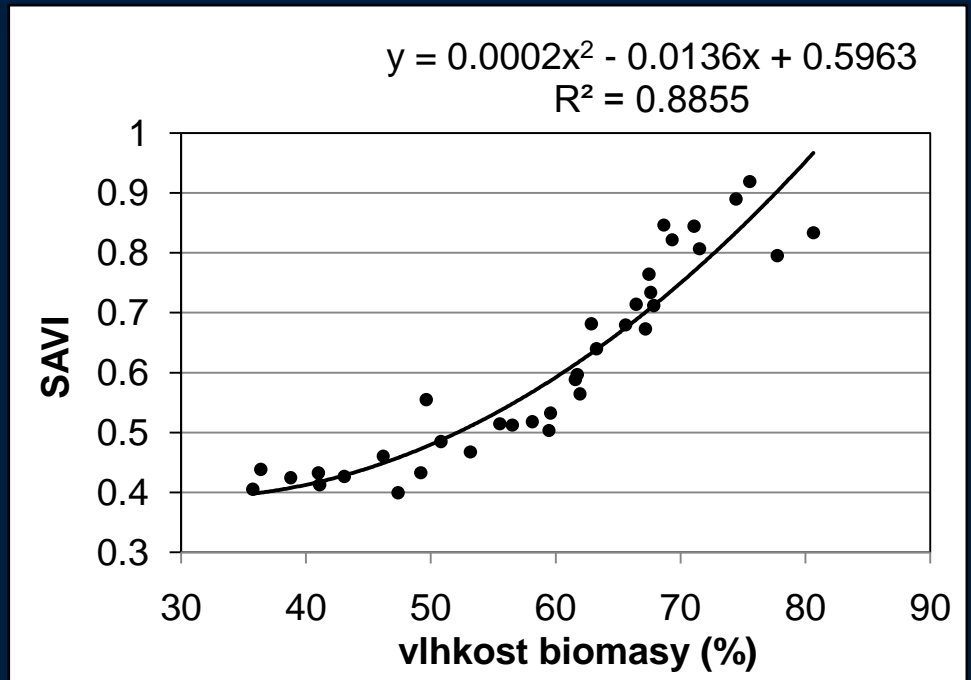
Výsledky

Detekce zralostního stavu

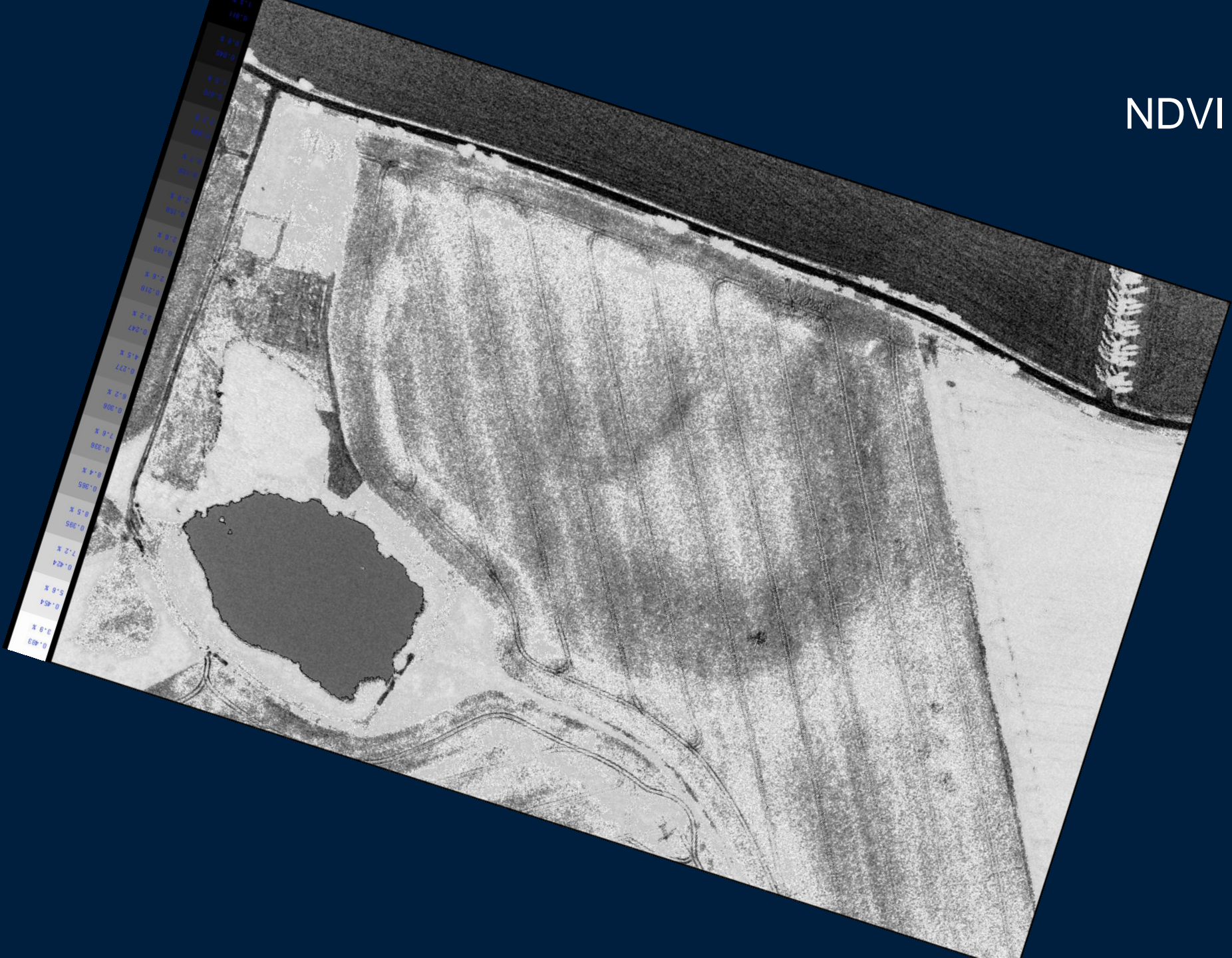
NDVI



SAVI



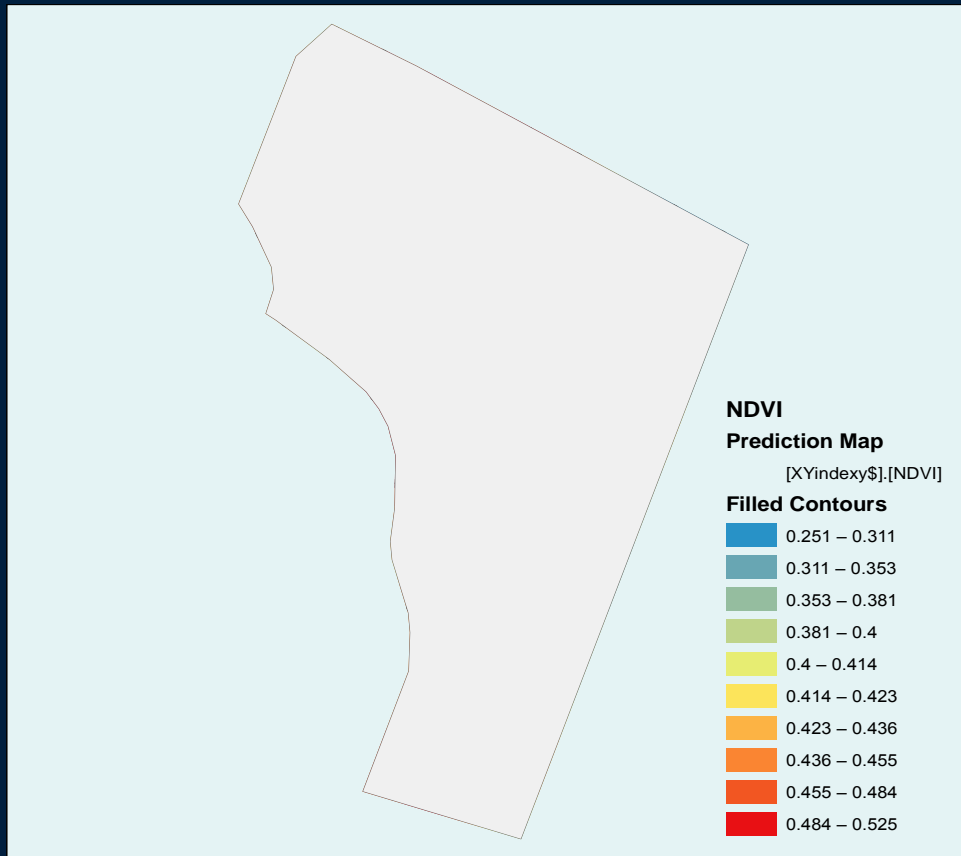
NDVI



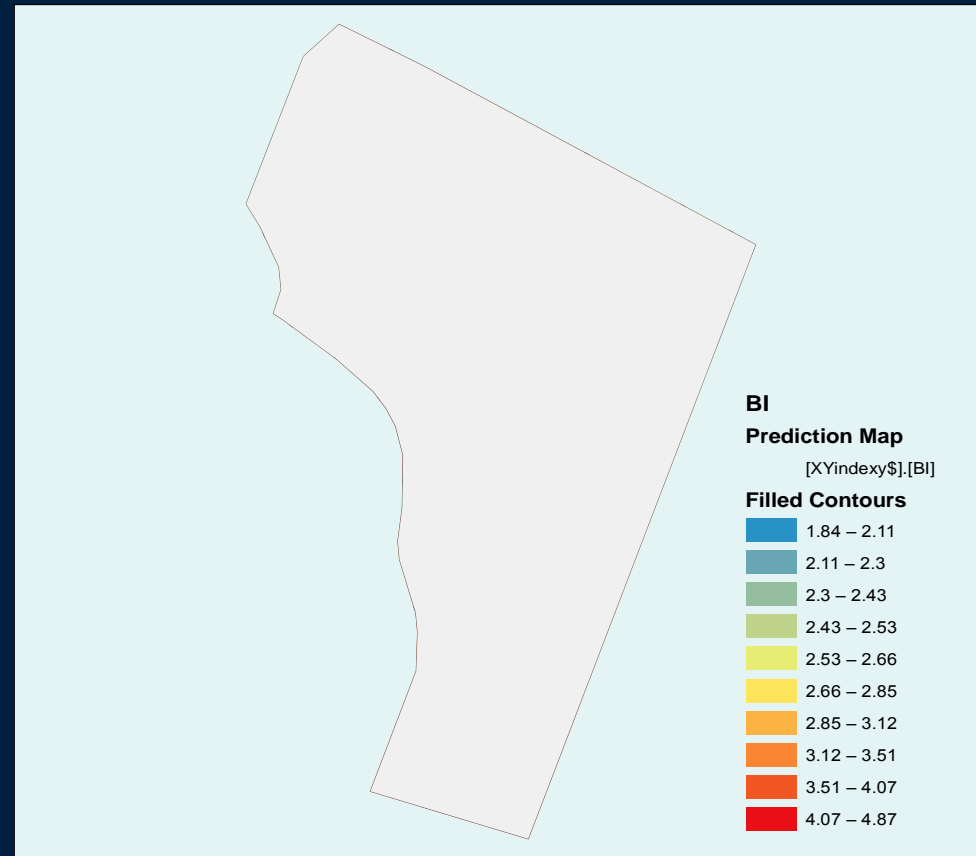


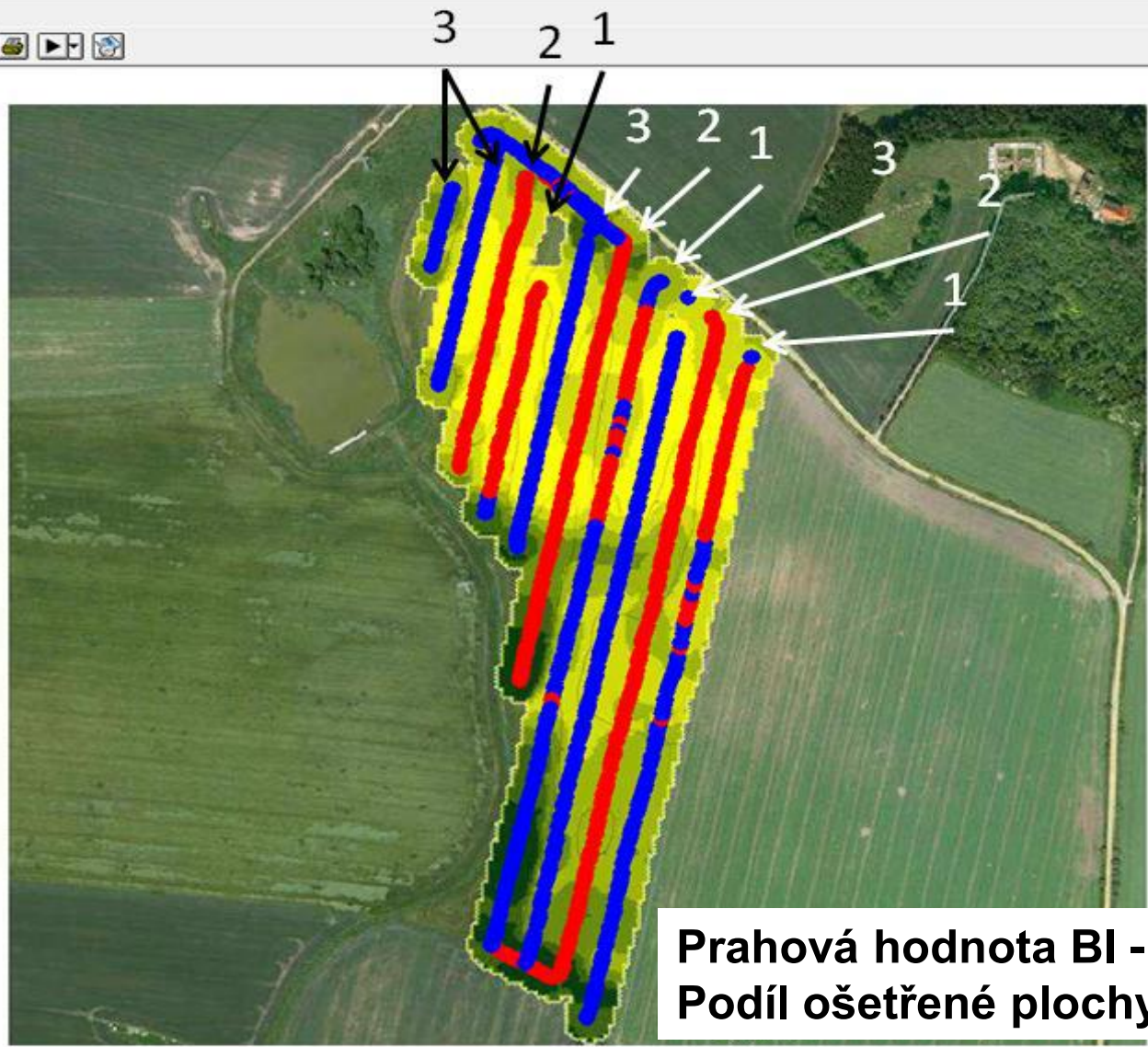
Pasivní N-senzor

Mapa NDVI



Mapa BI





varianty desikace:

- 1 = ohniskově dle NS
- 2 = žádný desikant
- 3 = celá plocha

Prahová hodnota BI - 2,9
Podíl ošetřené plochy - 52 %

zobrazené vrstvy

- pokus desikace repka / mala tezka
- 1210072_mala_tezka_ostry_pokus_150706_45
- Vrstva hranice
- desikace repky BI

zobrazení

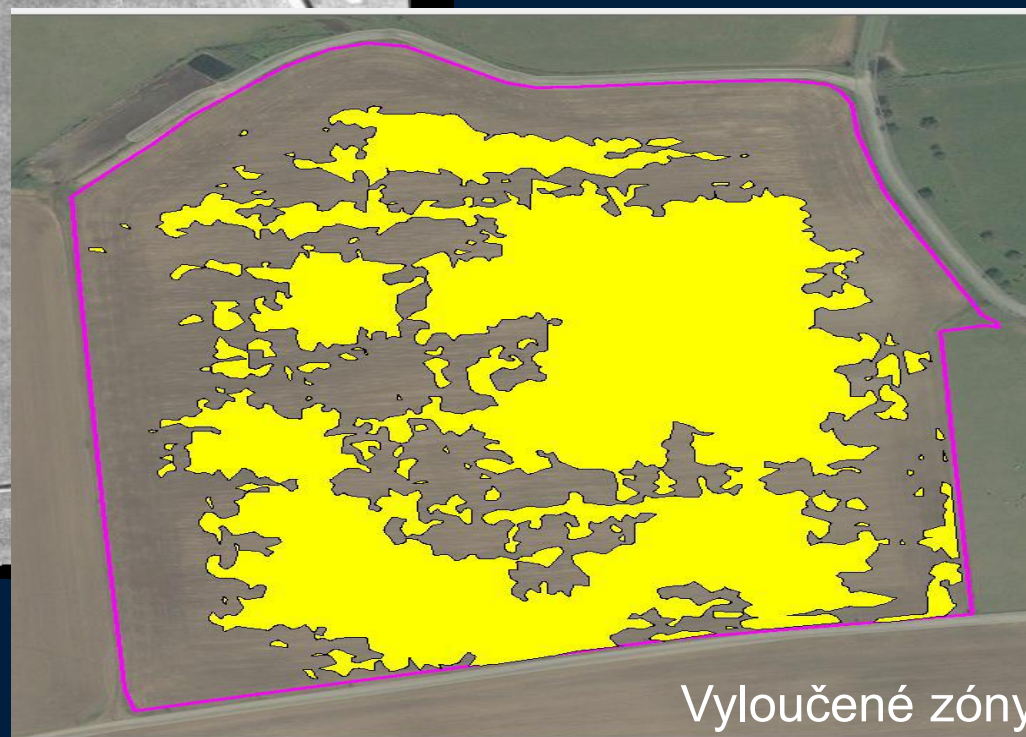
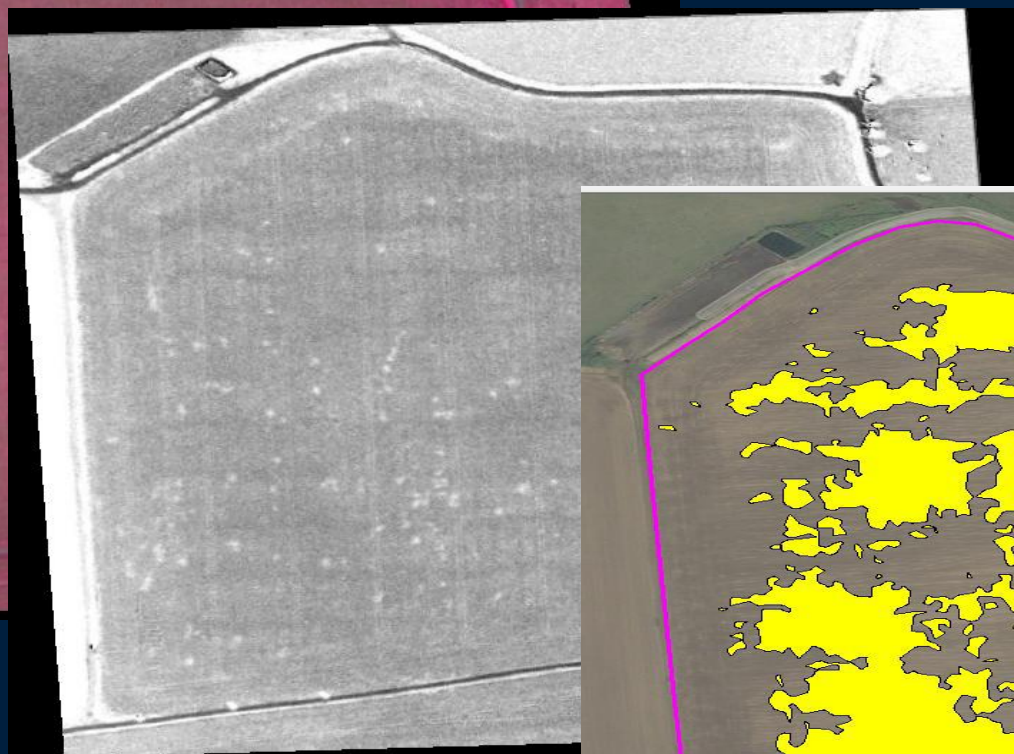
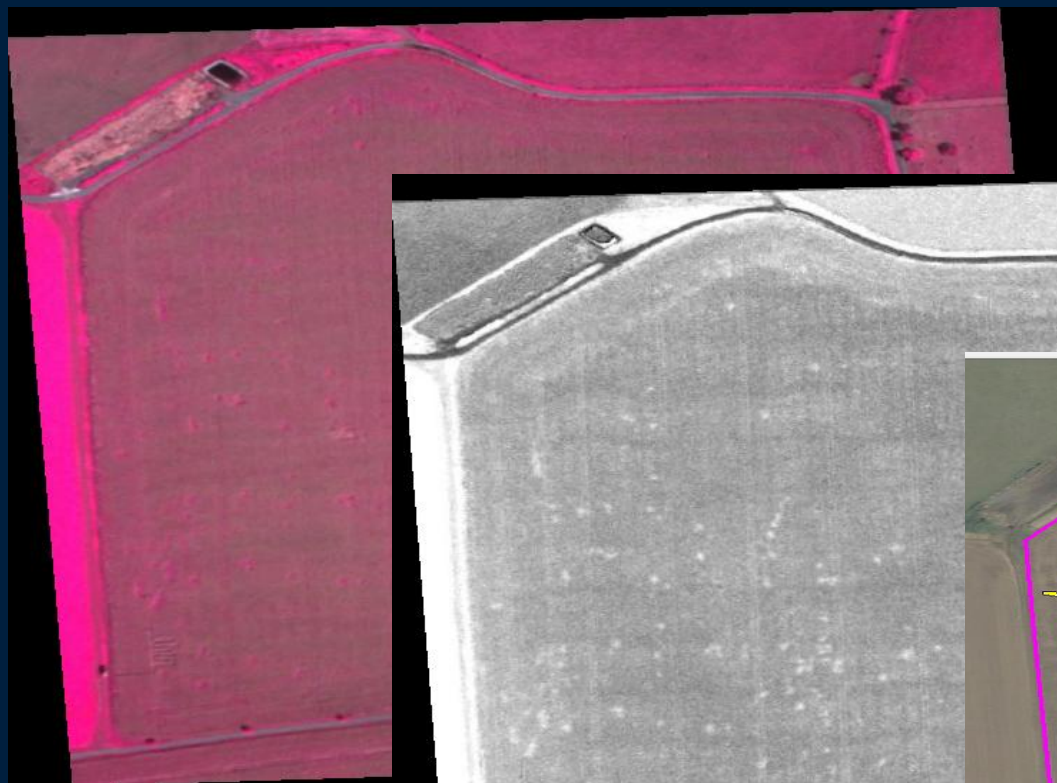
- ApplFactor
- Biomass Index
- Elevation
- Kurz
- N Applied
- N Target
- Nitrogen Content

Legenda

250,0 kg/ha	842 bodů	[Yellow Box]
0,0 kg/ha	505 bodů	[Yellow Box]

Transparentnost

Ohnisková desikace řepky ozimé dle NDVI indexu změřeného kamerou na UAV, aplikace systémem Trimble Field-IQ – vyloučené zóny

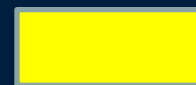


Vyloučené zóny

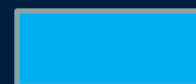


**Ohnisková aplikace
- úspora 66 %
desikantu**

Celoplošná plocha

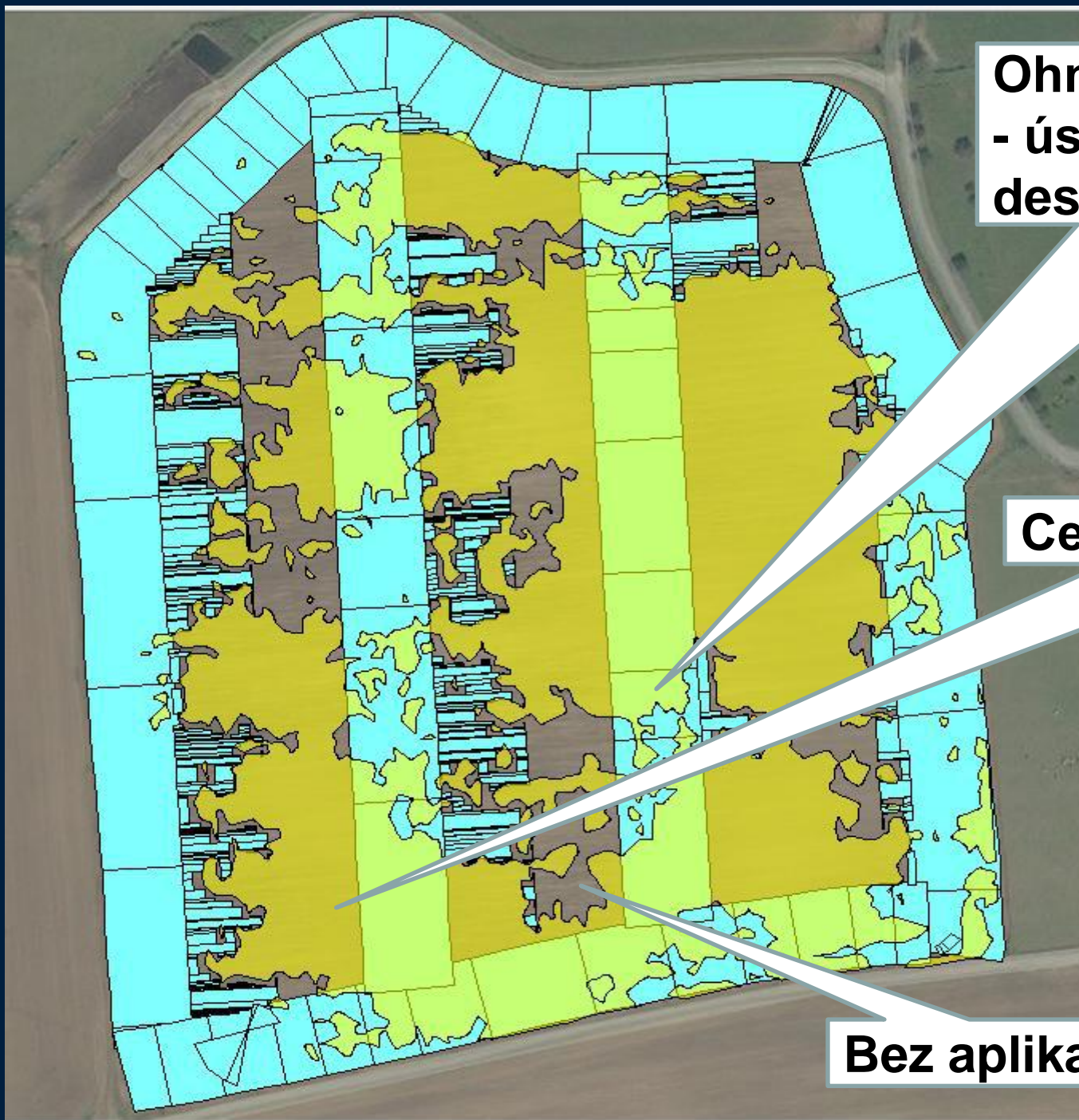


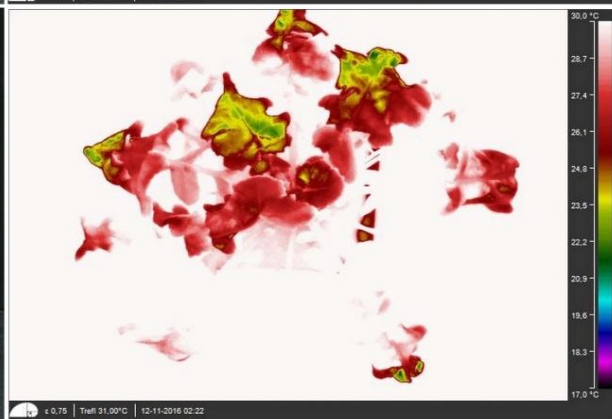
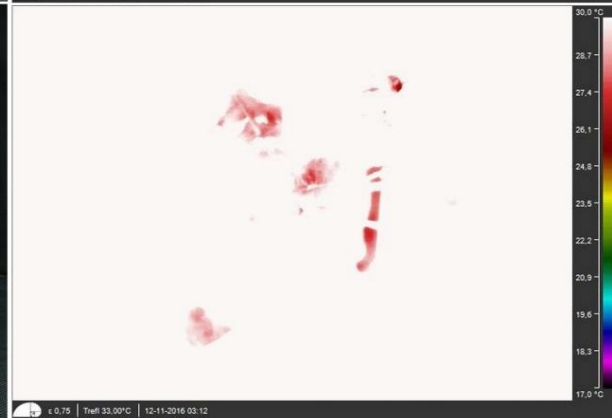
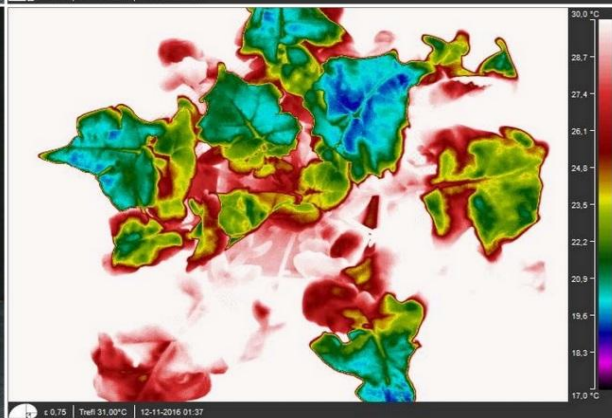
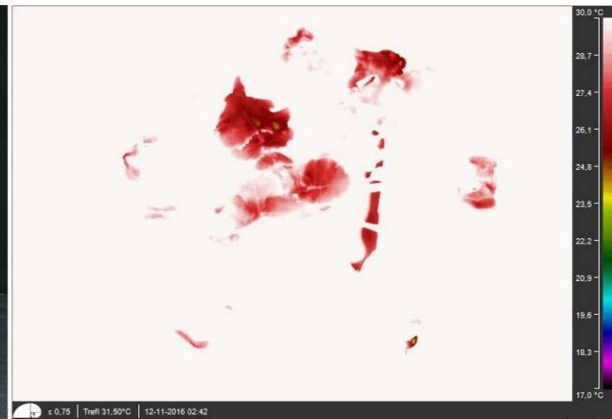
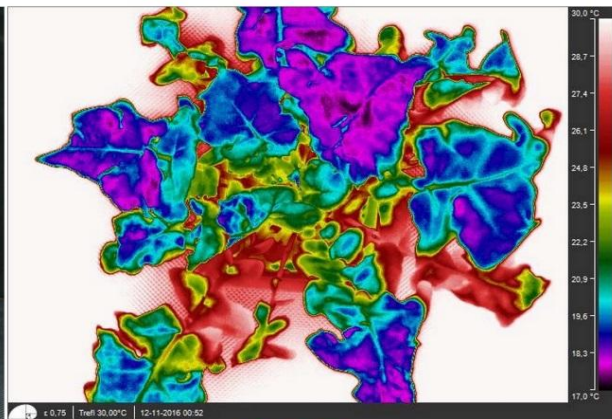
Vyloučená zóna



Aplikace

Bez aplikace

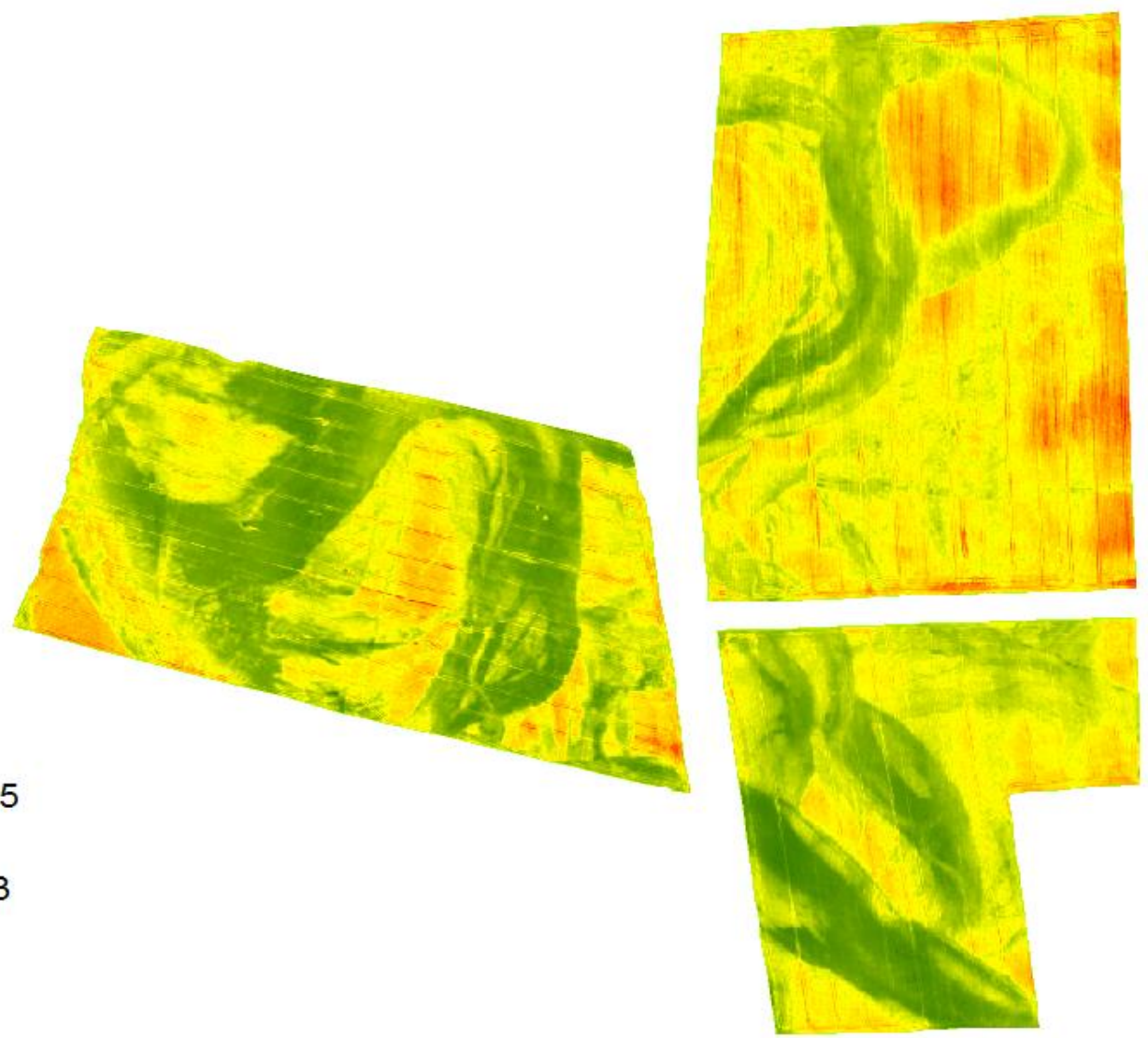




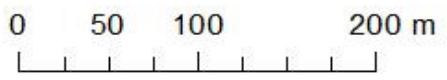
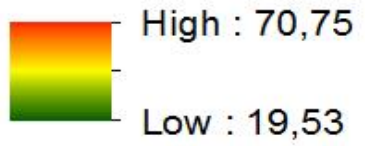
Snímkování pomocí termokamery

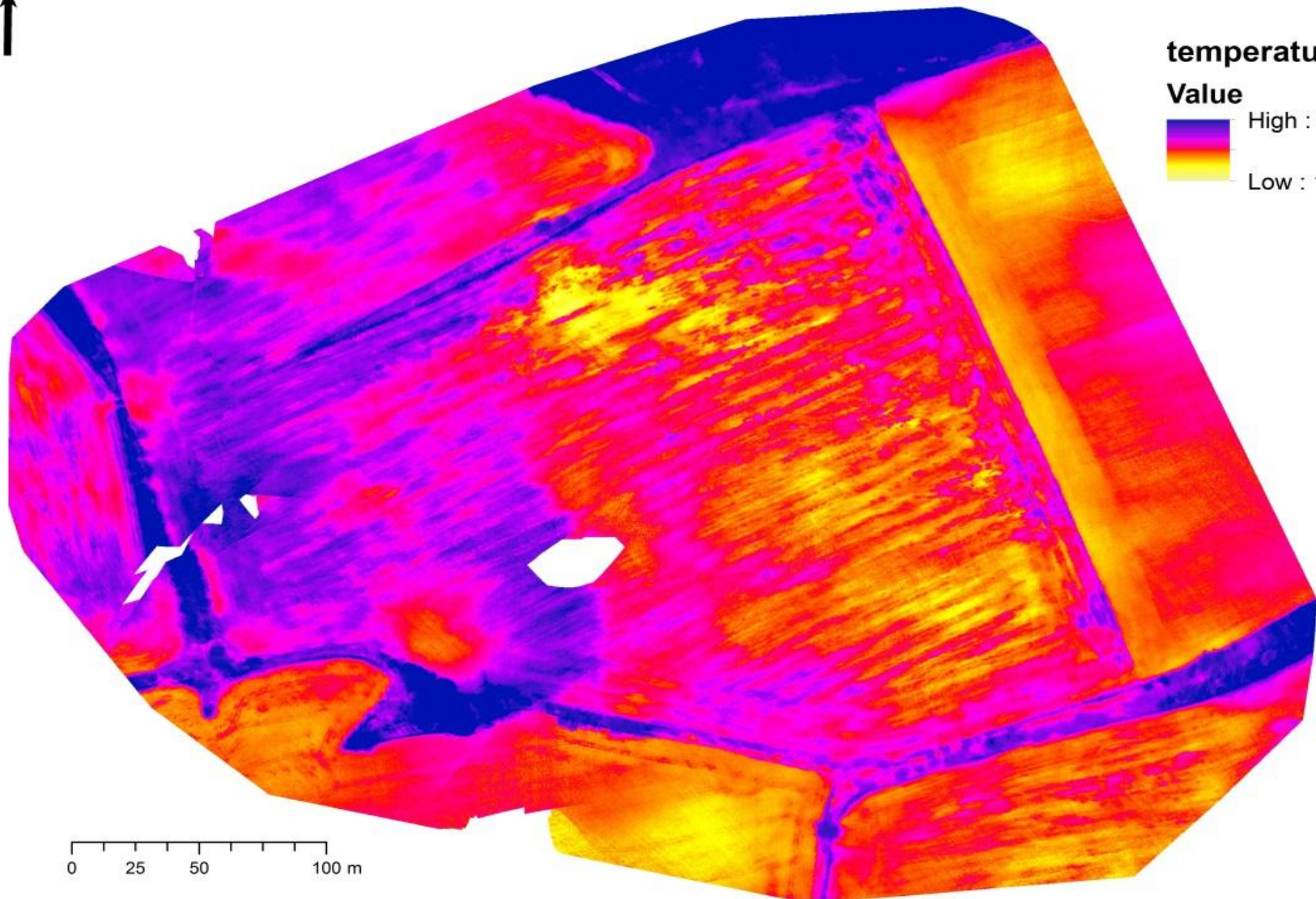
- eBee osazený přístrojem thermoMAP (FLIR TAU2)



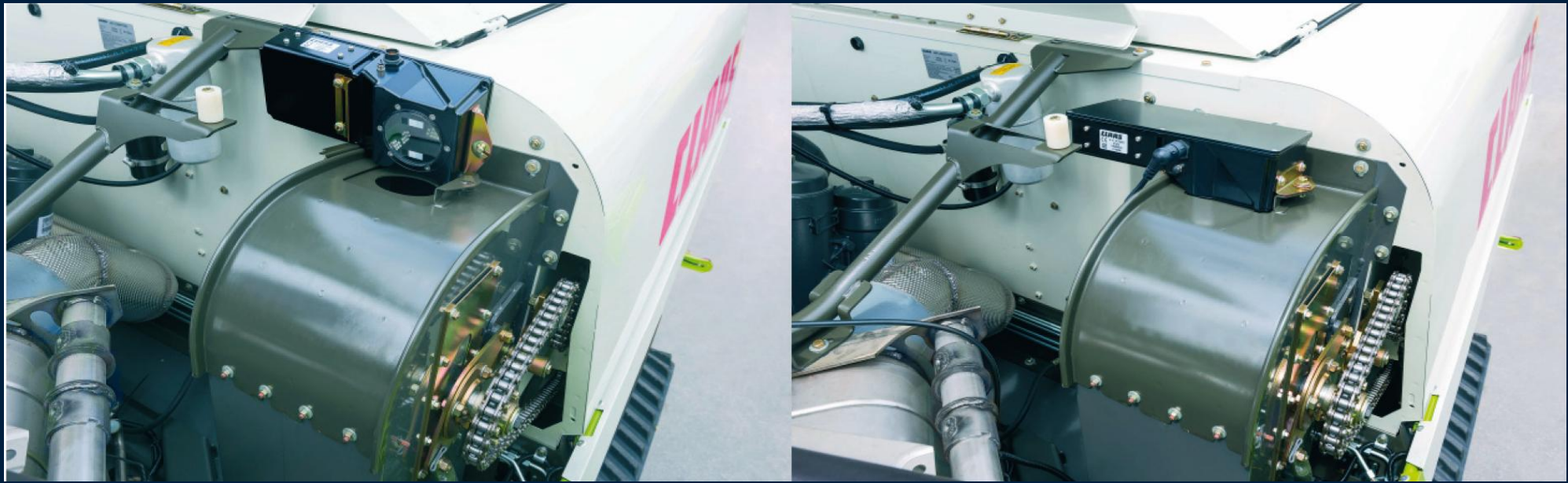


Teplota (°C)









Optické čidlo pro sledování kvality sklizeného zrna firmy Claas. Escher a Krause (2014), upraveno.



Optický senzor firmy John Deere. Firemní literatura, upraveno.



Optické čidlo firmy Krone vyhodnocující zralost sklízeného porostu kukuřice. Firemní literatura, upraveno.



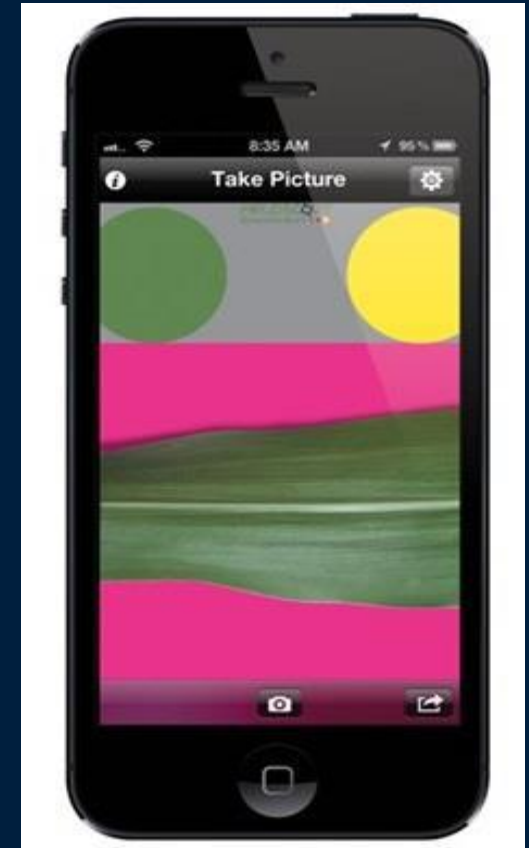
Podpůrné systémy. Firemní literatura, upraveno.

Senzory v telefonech

Rádio přijímač / vysílač pro GSM, GPRS, EDGE, LTE

Gyroskop, akcelerometr, kamera, WLAN and BlueTooth, GPS, kompas,

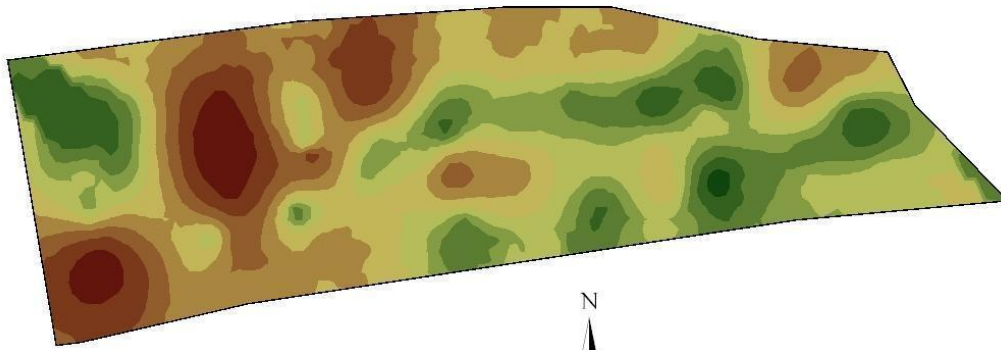
Spectrum
Technologies, Inc.



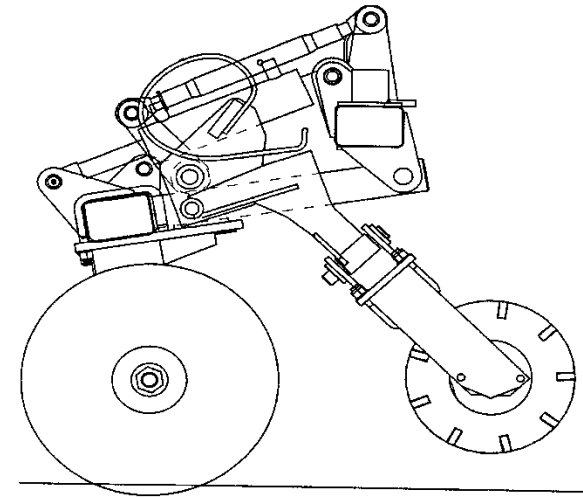
Spectrum Technologies, Inc.

<http://www.specmeters.com/nutrient-management/chlorophyll-meters/chlorophyll/greenindex/>

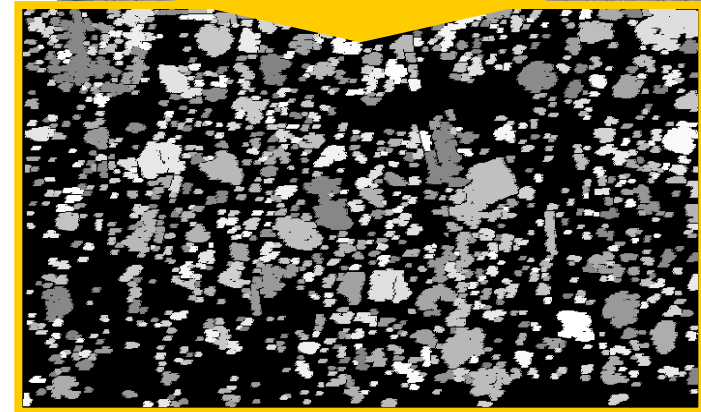
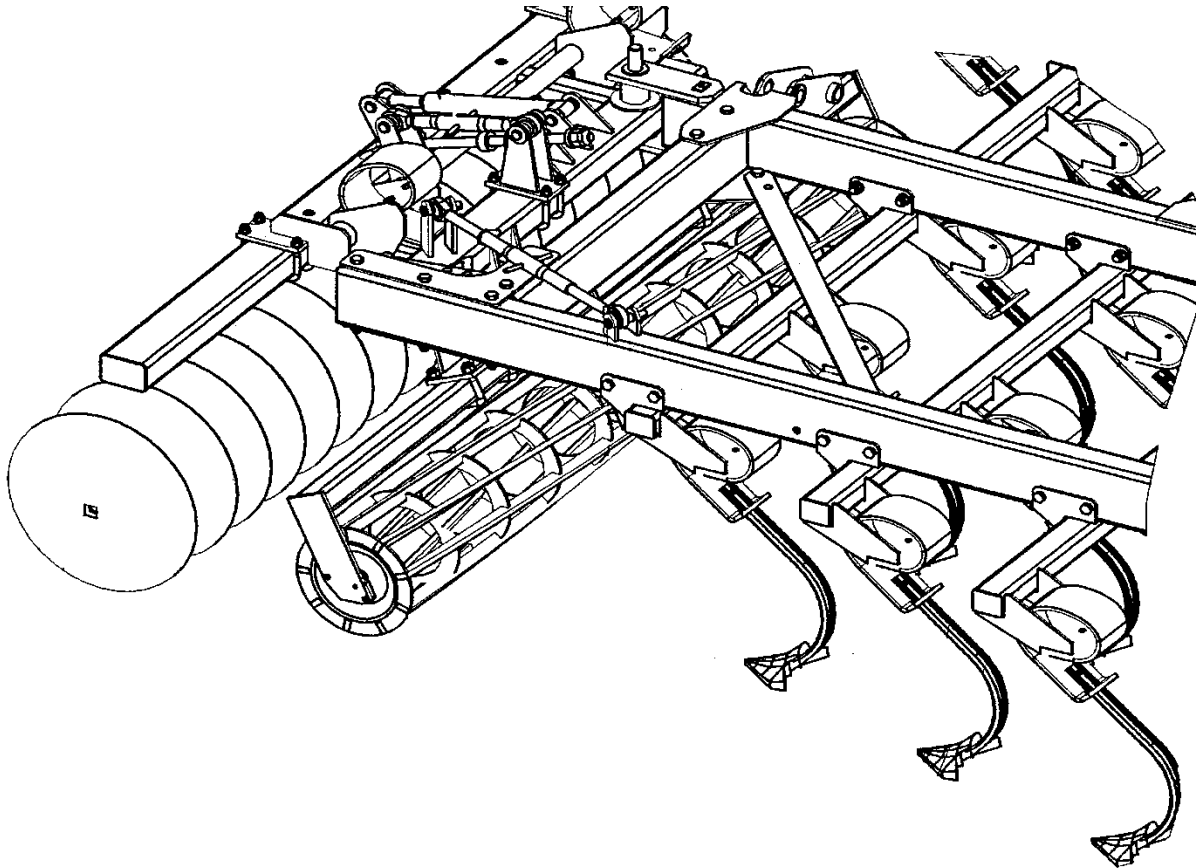
Střední vážený průměr hrud (mm)

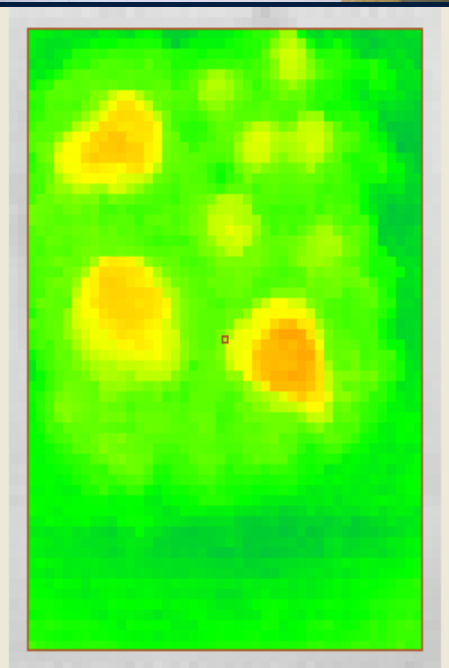


- 19 - 21.3
- 21.3 - 23
- 23 - 24.3
- 24.3 - 25.3
- 25.3 - 26.5
- 26.5 - 28.3
- 28.3 - 30.6
- 30.6 - 33.7
- 33.7 - 37.9
- 37.9 - 43.5



0 50 100 200 300 400 m



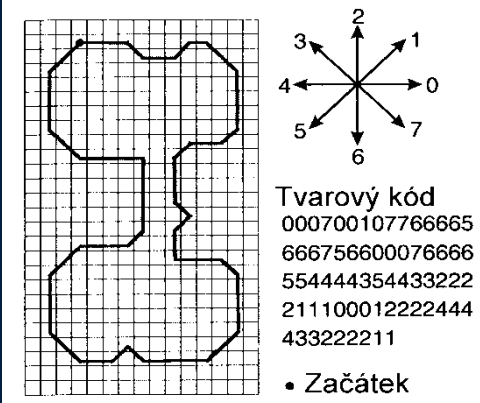
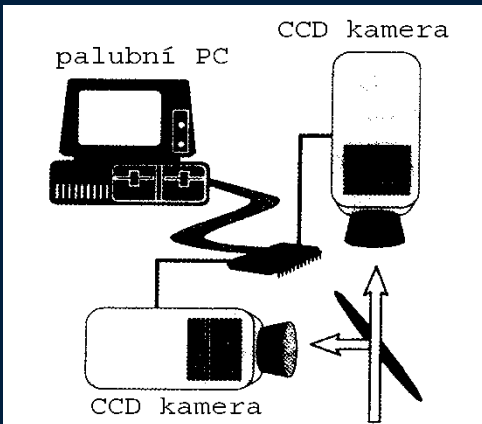


Povrch půdy je odrazem kvality zpracování a charakterizuje hrudovitost v celém zpracovávaném profilu půdy.

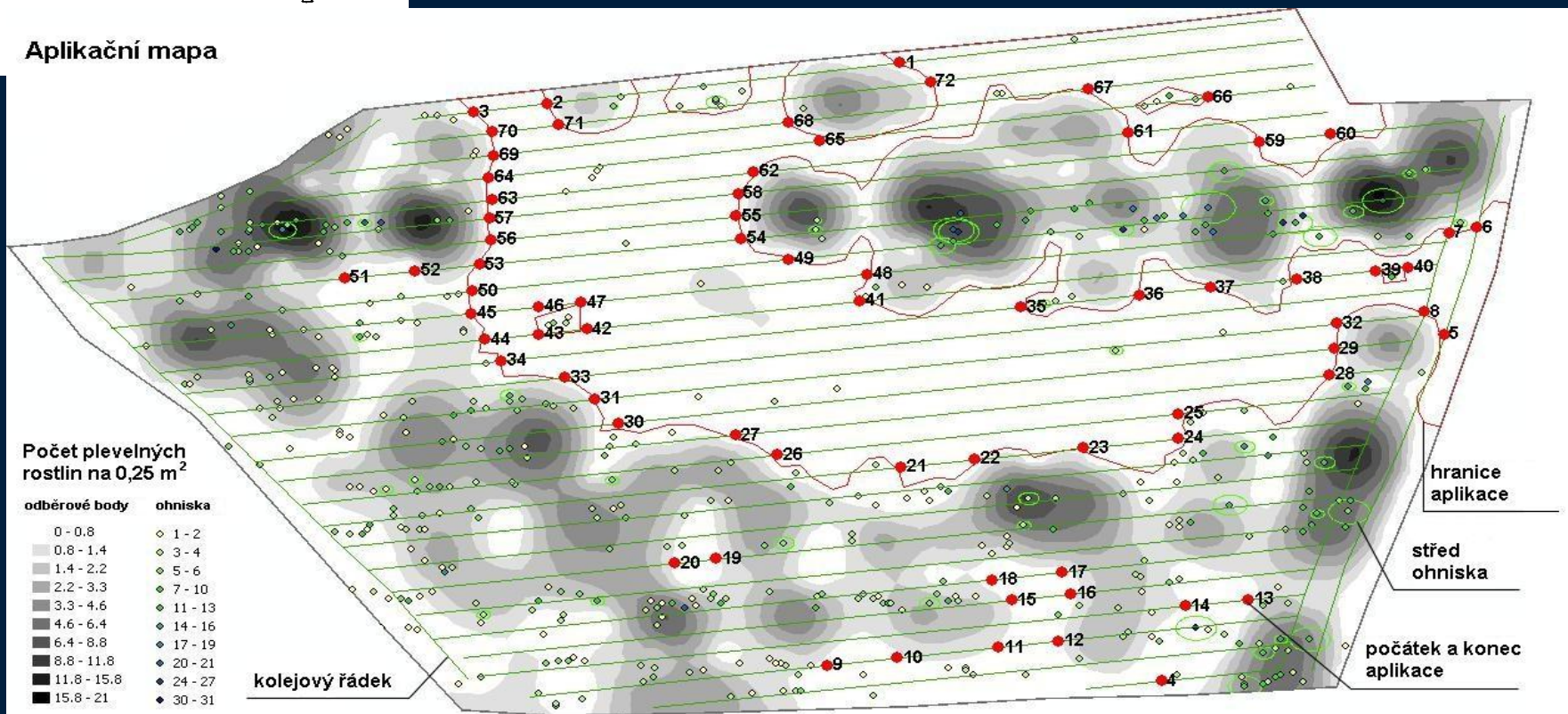
Jako výstup je kromě grafického zobrazení povrchu rovněž tabulka hodnot vzdálenosti povrchu tělesa od čidla se souřadnicemi, které určují polohu bodu.



Hodnocení zaplevelení pomocí CCD kamery a tvarového kódu rostlin

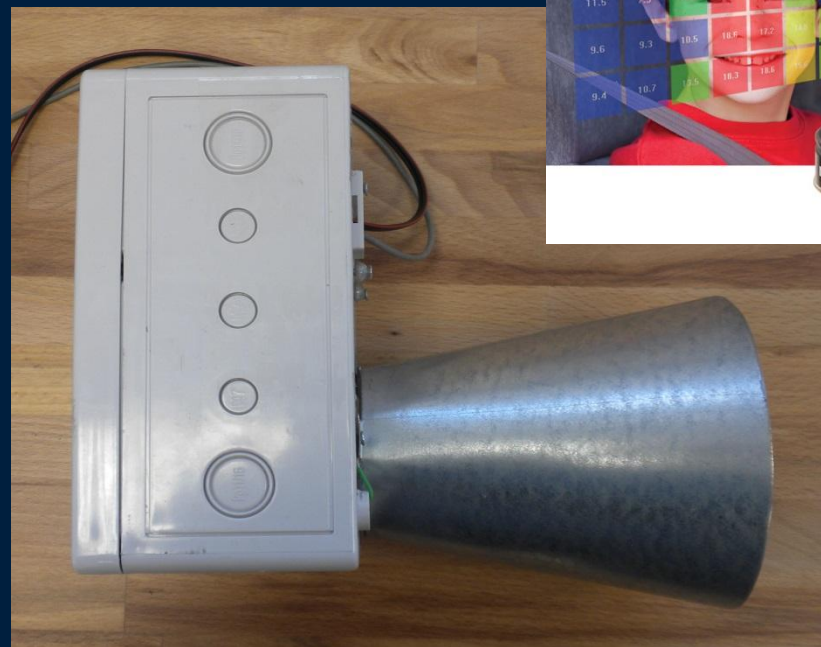


Aplikační mapa



Detekční zařízení pro žací techniku

- Usmrcování zvěře (především mlád'at) během sklizně píce.



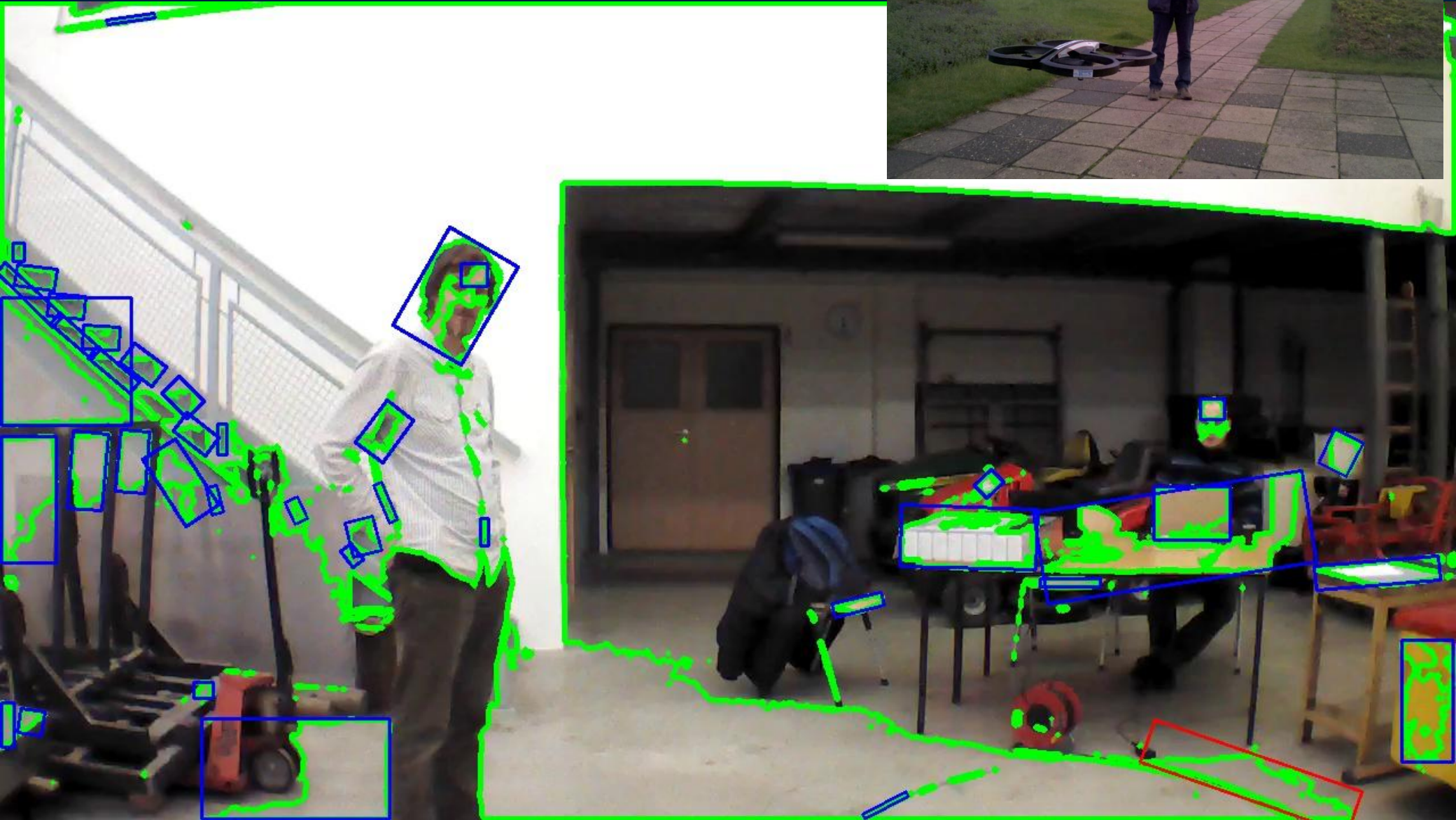
Cílená aplikace herbicidů

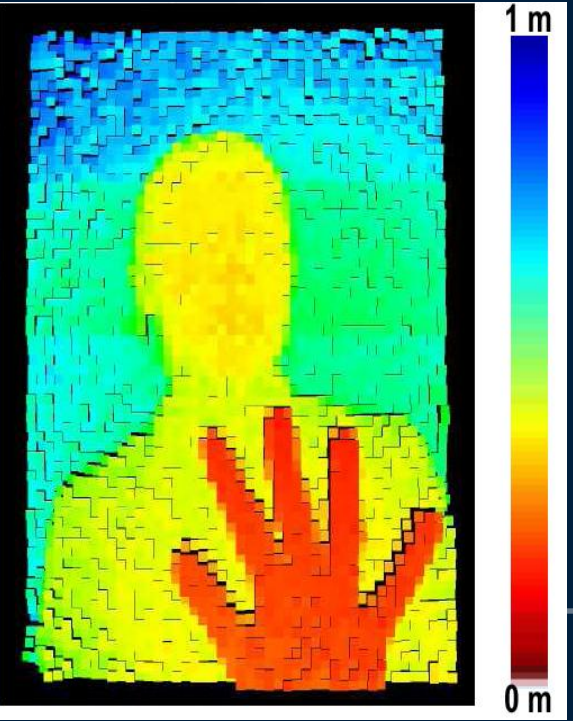


www.ecorobotix.com



www.naio-technologies.com





Děkuji za pozornost

Milan Kroulík