



# Reálné využití družicových snímků v rostlinné produkci

Vojtěch Lukas a kolektiv

Ústav agrosystémů a bioklimatologie  
Mendelova univerzita v Brně



Agronomická  
fakulta

## Metody

- pozemní (plodinové senzory)
- dálkový průzkum (DPZ)
  - bezpilotní/letecký průzkum
  - družicový monitoring

## Využití

- monitoring porostů (vývoj, analýza poškození)
- přihnojování N
- aplikace fungicidů
- aplikace reg. růstu
- desikace
- predikce výnosů
- ...

- efektivní celoplošné mapování rozsáhlého území,
- nepřímé měření = měříme fyz. veličiny, které agronomie nezná

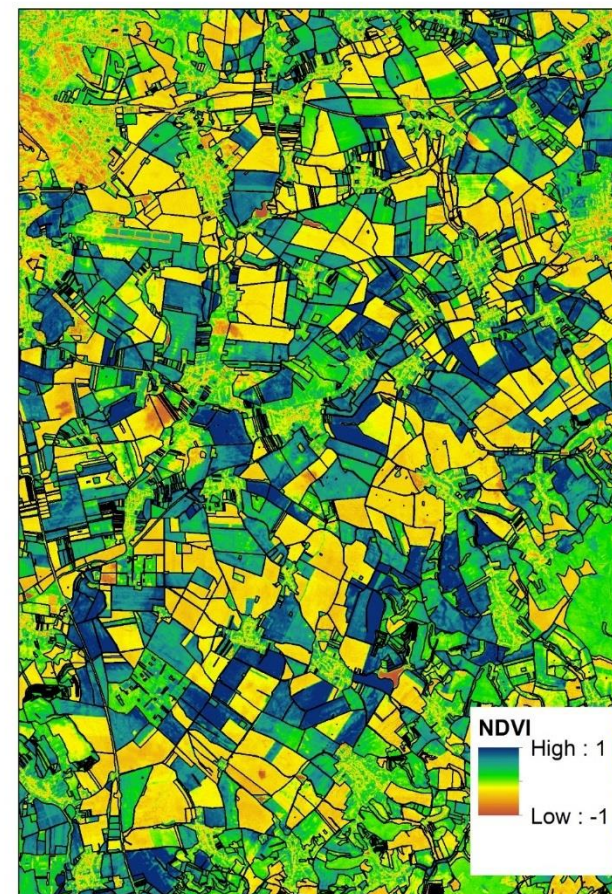


## Využití distančních metod

- diferencí v zapojení porostu
- výživného stavu
- zaplevelení porostů
- zralosti porostů
- polehnutí
- rozlišení míst s projevy stresových stavů porostů
- nebo při snímkování půdy k diferencí půdních typů, vlhkostních poměrů a obsahu humusu.

*„Rukověť agronoma“ prof. Petr (Petr a kol., 1989)*

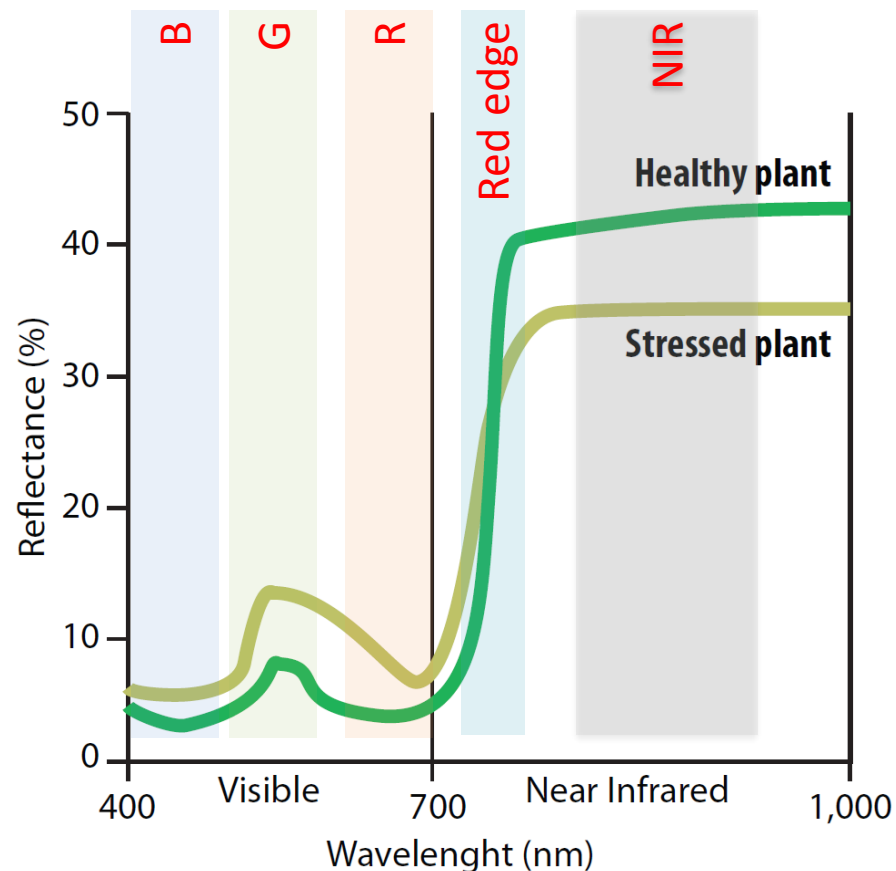
*...„vytvoření víceúrovňového informačního systému resortu zemědělství, který by měl poskytovat pro účely řízení produkčních procesů expertní prognózy podmínek tvorby výnosů zemědělských plodin“.*



# Spektrometrická měření

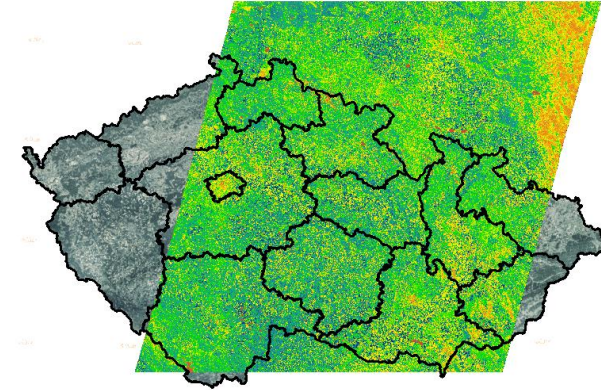
- Hodnocení porostu na základě **spektrálních charakteristik** (odrazivosti)
- vyjádření v podobě tzv. **vegetačních indexů** v oblasti viditelného, blízké infračerveného nebo termálního záření
- Vegetační indexy se liší v citlivosti na sledované porostní parametry (**biomasa, výživný stav, stresové projevy** rostlin či stav půdy).
  - širokopásmové - NDVI, EVI, SAVI
  - úzcepásmové – REIP, NRERI, NDRE

Do jaké míry lze těmito metodami nahradit tradiční hodnocení porostů?



## Družicový průzkum z volně dostupných dat

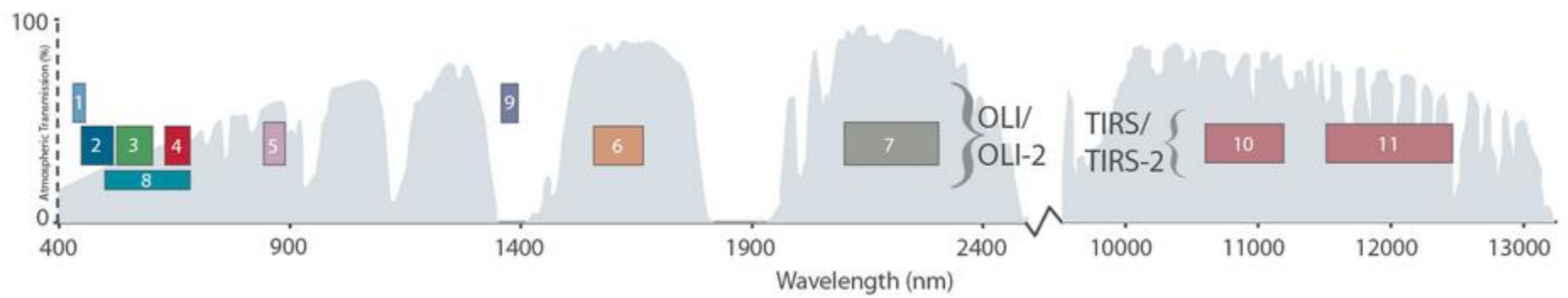
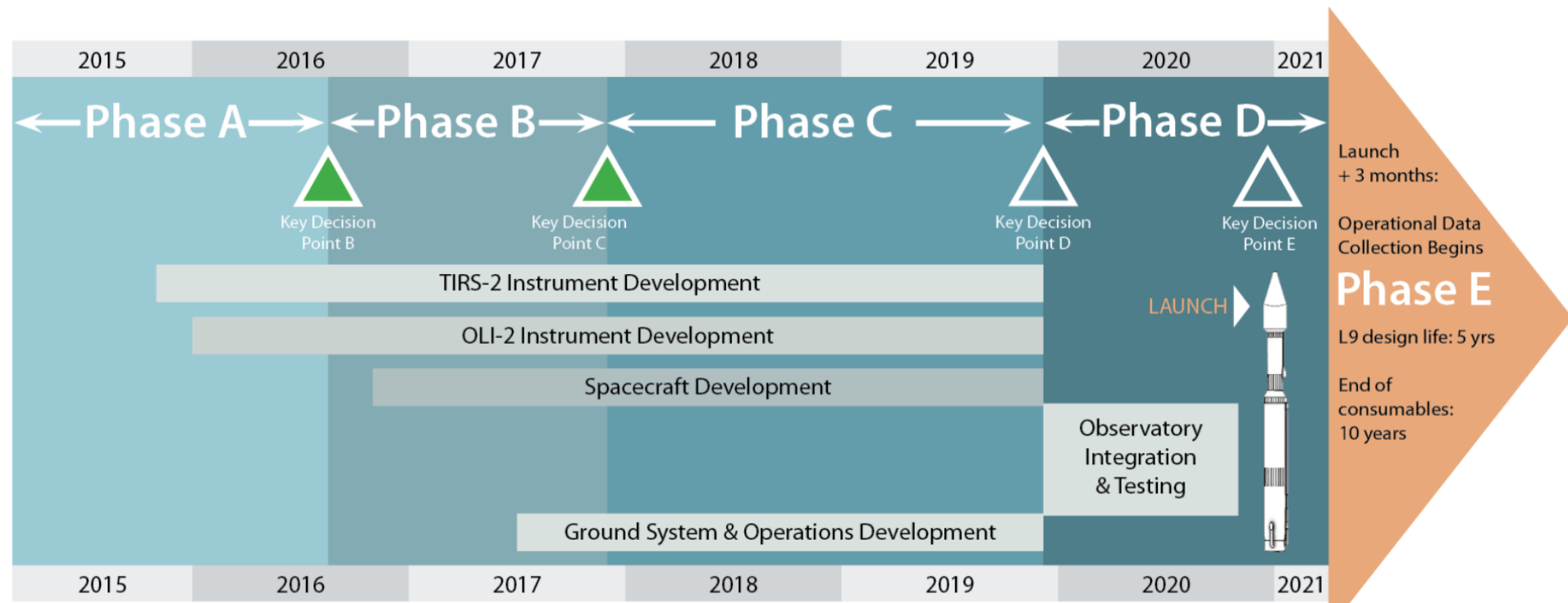
- Landsat (NASA/USGS) od 70. let 20.stol., v současnosti Landsat 8 (2014)
  - Doba oběhu 16 dnů (8 dnů v překryvech)
  - Rozlišení 30m (OLI) / 100m (TIRS), záběr 180 km
  - zdroj: Earth Explorer, Google Earth Engine
- **Sentinel 2 (ESA)**, od 2015
  - Doba oběhu 10 dnů (**5 (3-4dny) dnů** od 2017 – S2B)
  - Rozlišení (**10m/20m/60m**), záběr 290 km
  - **Red-edge pásma**
  - zdroj: ESA scihub, Amazon Web Service, Google Earth Engine



**Start Sentinel 2B 7.3.2017 02:30 CET**



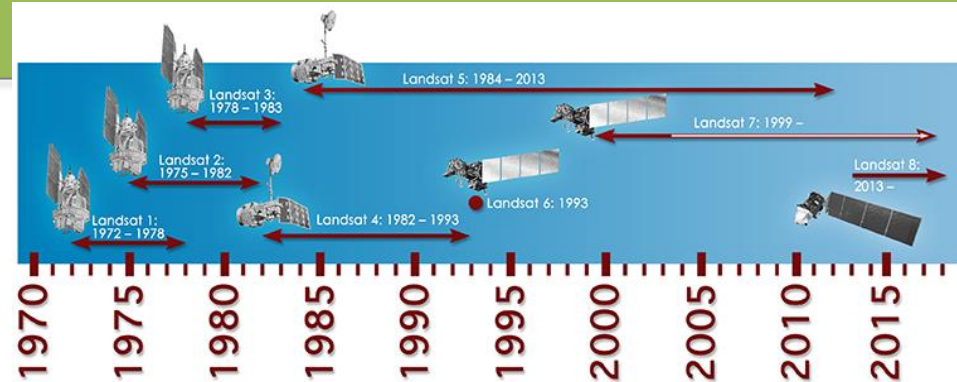
- Landsat 9 (plán od 2021)



## Poskytovaná data

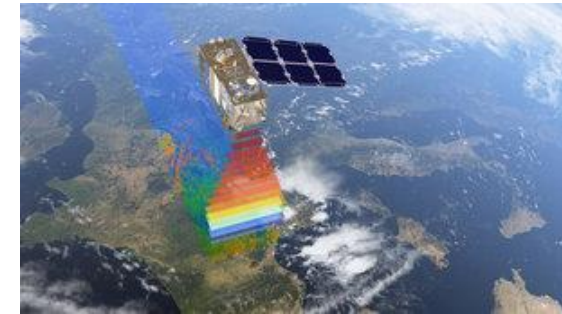
### Landsat (USGS)

- Od 70. let 20 stol.
- geotiff, geom. korigované, 11 pásem VIS-NIR-SWIR-TIR (Landsat 8)
- Od 2016 formou Collection (Level1/Level2)



### Sentinel-2 A/B (ESA)

- Od 2015, formát SAFE (xml+jpeg2000)
- geom. korigované, 13 pásem (VIS-RE-NIR-SWIR)
- Level-1C (ToA), Level-2A (od 2017/03 pro S2A)



- **Level 1** – radiometricky korigovaná data (Top-of-Atmosphere ToA), analýzy v rámci jednotlivých snímků
- **Level 2** – atmosfericky korigovaná data, povrchová odrazivost (surface reflectance/Bottom of Atmosphere-BoA), časové analýzy, kombinace snímků z různých senzorů, maska oblačnosti

## Prostorové rozlišení

- určuje detailnost snímků
- významné pro hodnocení heterogenity pozemků o nižší výměře, okrajové vlivy, identifikace poškození porostu, hodnocení zaplevelení...

Sentinel 2A/B  
10 / 20 / 60 m/pix



50cm



1m



2m

Landsat  
30 / 100 m/pix



5m



10m



30m

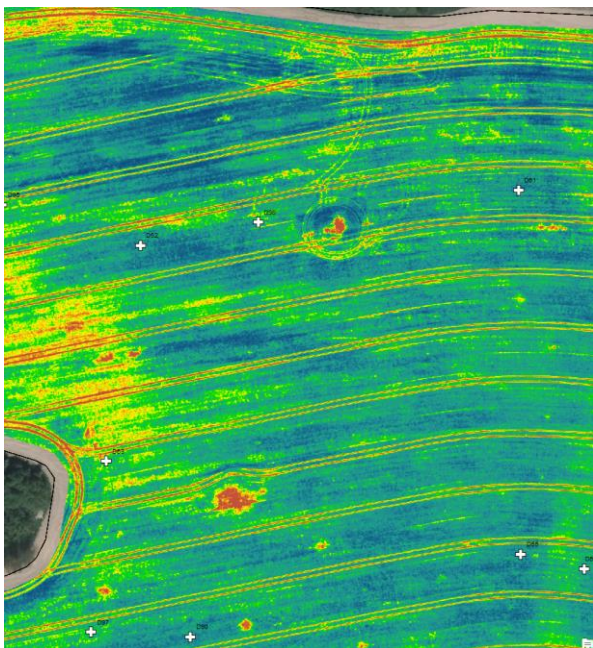
Rapid Eye  
5 m / pix

Planetscope  
3 m / pix

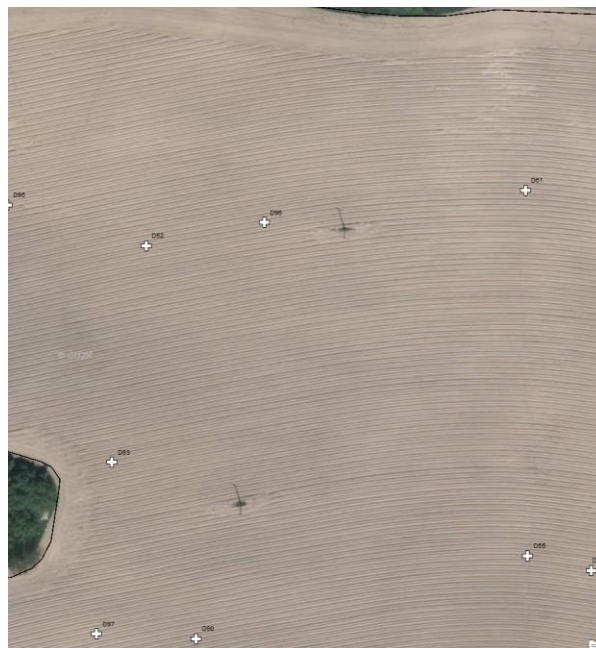
Skysat  
1 m / pix



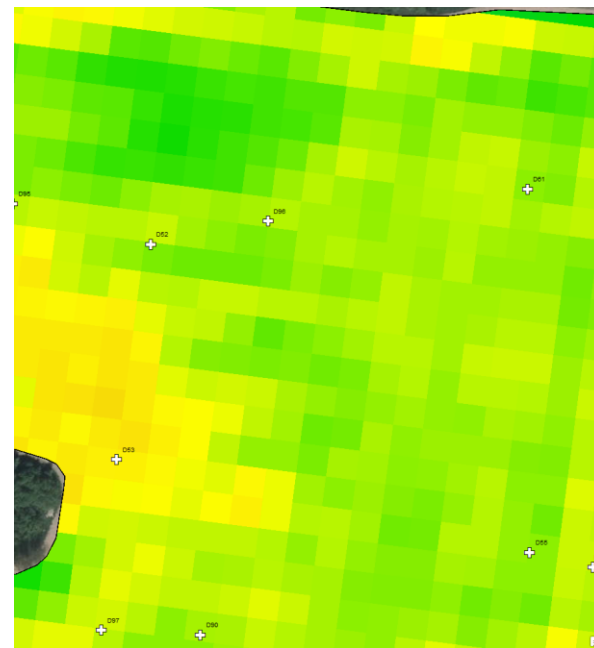
# Prostorové rozlišení



UAV 21.4.2017



ortofoto



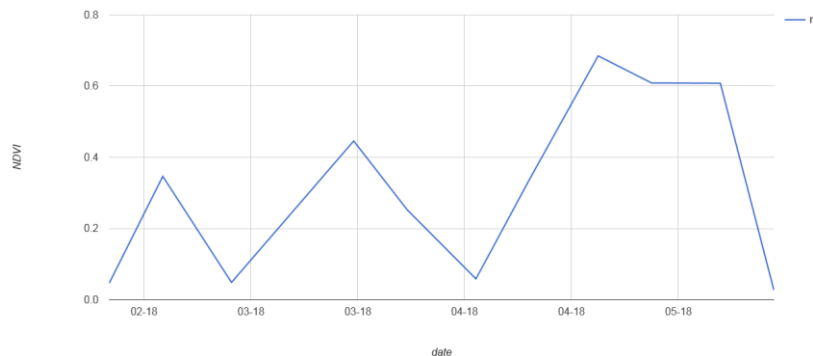
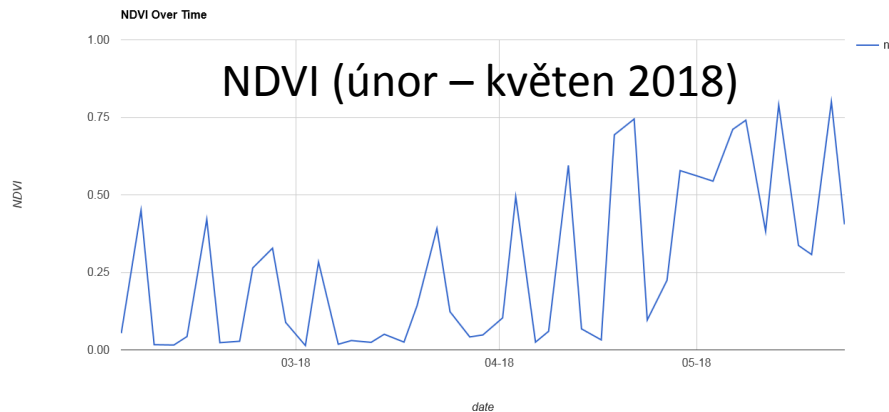
Sentinel2 1.4.2017

## Časové rozlišení

- Doba oběhu družice – kdy přelétá znovu nad zájmovým územím
- Zvýšená četnost = význam pro eliminaci oblačnosti a sladění termínu s prováděním polních prací

Sentinel 2 A/B  
5 dnů (3-4)

Landsat 8  
16 dnů (8)



Další družice:

MODIS /  
Planetscope

1 den

## Souhrn snímků Landsat 8 (2014)

LC81900262014012LGN00	12.1.2014	19	3
LC81890262014021LGN00	21.1.2014	88	3
LC81890262014037LGN00	6.2.2014	96	3
LC81900262014044LGN00	13.2.2014	44	3
LC81900262014060LGN00	1.3.2014	61	2
LC81890262014069LGN00	10.3.2014	5	1
LC81900262014076LGN00	17.3.2014	77	3
LC81890262014085LGN00	26.3.2014	26	1
LC81900262014092LGN00	2.4.2014	20	2
LC81900262014108LGN00	18.4.2014	44	1
LC81890262014117LGN00	27.4.2014	33	1
LC81890262014133LGN00	13.5.2014	61	3
LC81900262014140LGN00	20.5.2014	1	1
LC81890262014149LGN00	29.5.2014	79	3
LC81900262014156LGN00	5.6.2014	90	3
LC81890262014165LGN00	14.6.2014	55	2
LC81900262014172LGN00	21.6.2014	88	3
LC81890262014181LGN00	30.6.2014	40	3
LC81900262014188LGN00	7.7.2014	4	2
LC81890262014197LGN00	16.7.2014	13	2
LC81900262014204LGN00	23.7.2014	29	2
LC81890262014213LGN00	1.8.2014		3
LC81900262014220LGN00	8.8.2014		1

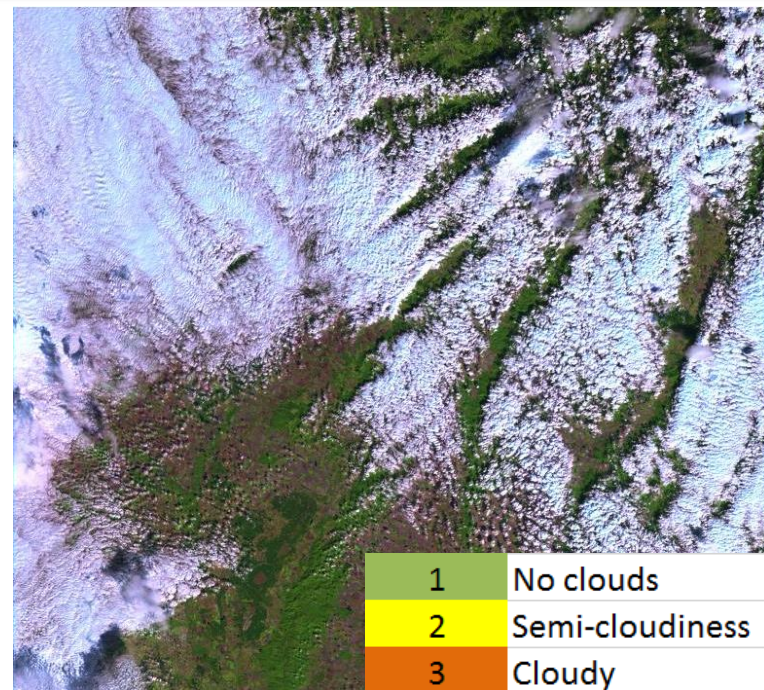
Hnojení

regenerační

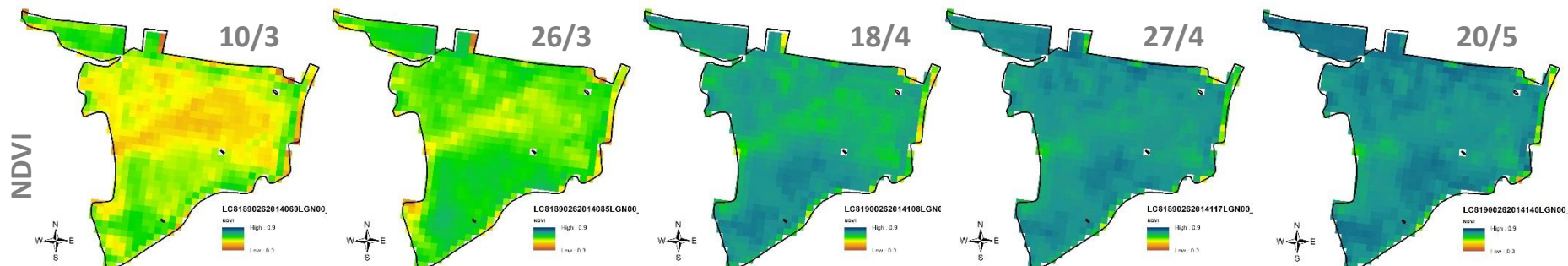
produkční

kvalitativní

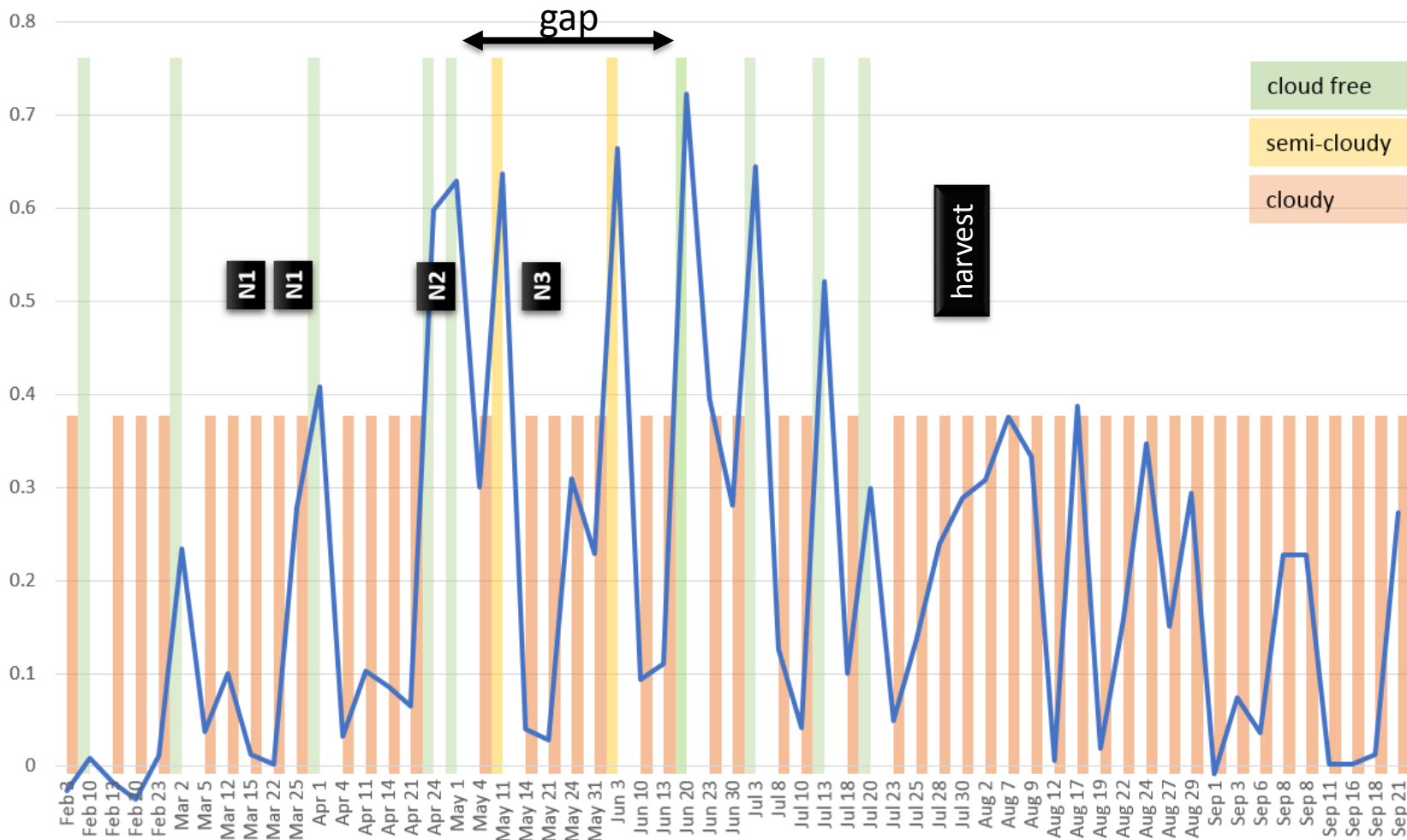
sklizeň



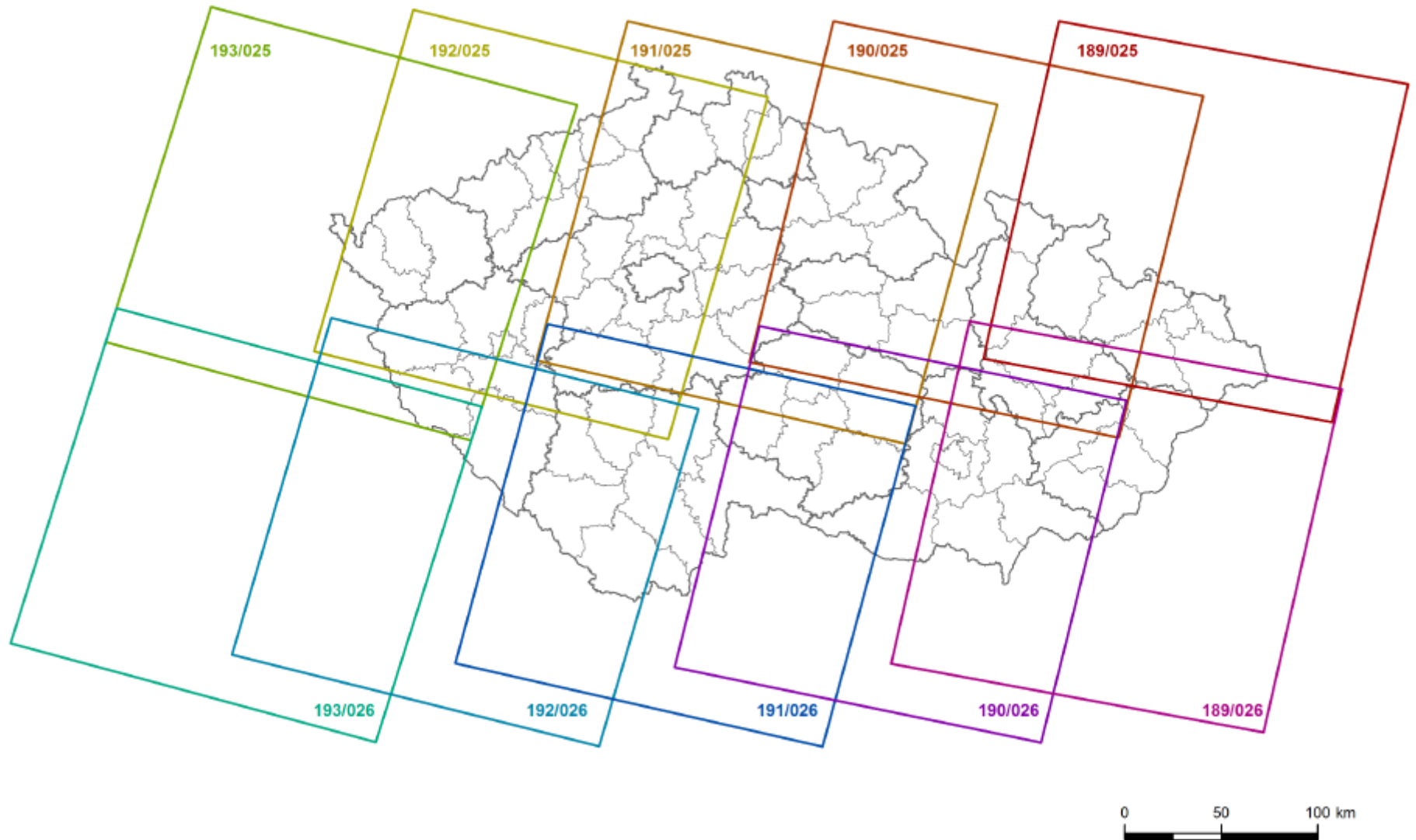
Omezené využití pro plánování VRA

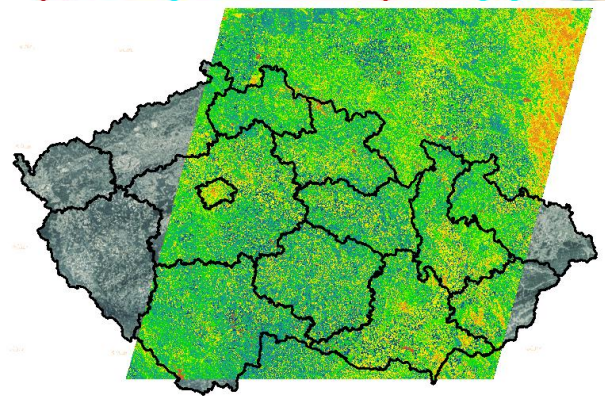


## Dostupnost Sentinel 2 scén pro vybranou lokalitu (Pelhřimov, 2017)



## LANDSAT SCÉNY - POKRYTÍ ČR WRS-2



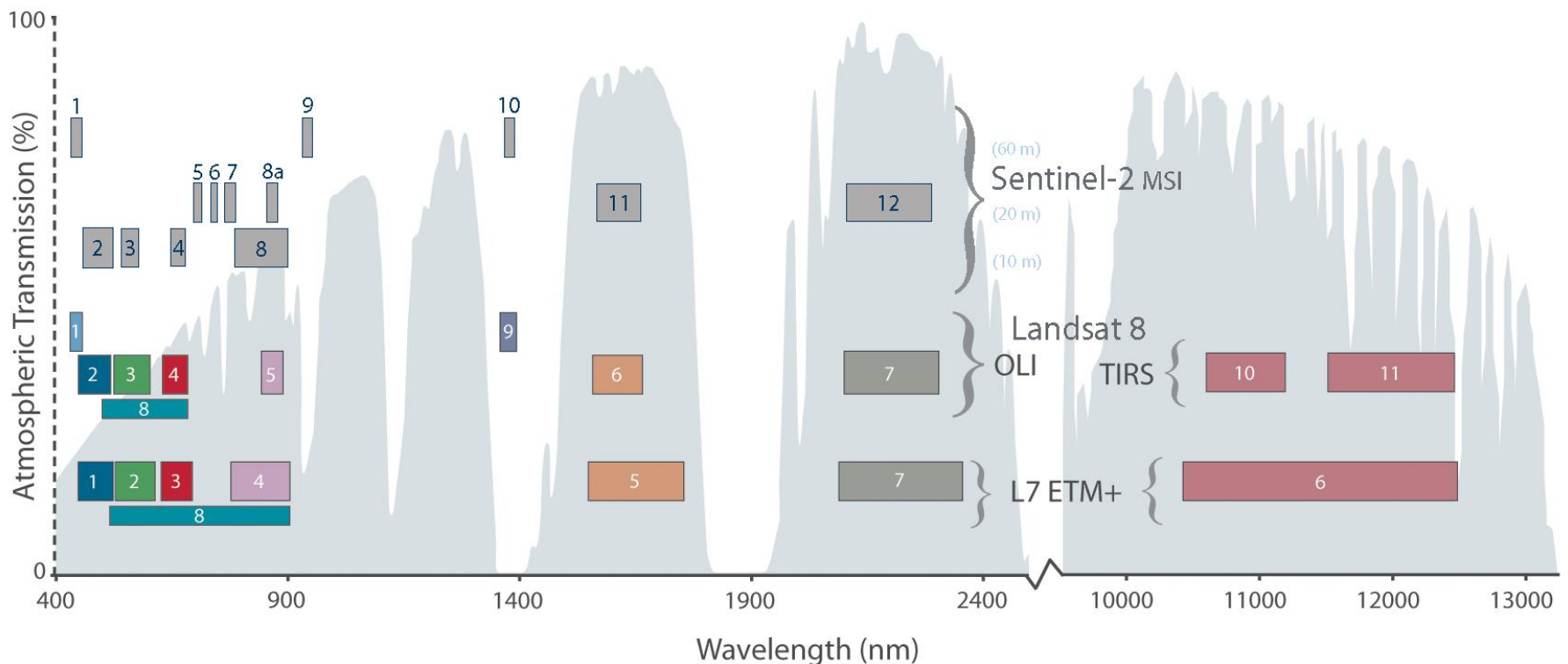


Dlaždice Sentinel-2 (granule)

## Spektrální rozlišení

- Přesnost zachycení spektrálního chování objektů
- Významné pro hodnocení stavu porostů (citlivost na změny chlorofylu v oblasti red-edge)

Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel-2



## Jak prohlížet / získat / zpracovat data

1. Komerční aplikace
  - Sinergise Sentinel-hub (tvorba WMS služeb): <http://sentinel-hub.com/>
  - Satagro ([www.satagro.pl](http://www.satagro.pl))
  - Cropio ([www.cropio.com](http://www.cropio.com))
2. Bezplatné prohlížečky
  - EO browser (<http://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>)
  - Landviewer (<https://eos.com/landviewer>)
3. Cloud platformy pro zpracování
  - Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>)
4. Ruční stahování / zpracování dat
  - QGIS – Semi-automatic Classification Plugin
  - SNAP (<http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>)
5. Automatizované dotazování/stahování
  - SentinelSat: <https://github.com/cenima-ibama/sentinel-sat>
  - Sentinel-download <http://olivierhagolle.github.io/Sentinel-download/>
  - Sat utils <https://github.com/sat-utils>



## Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>)

The screenshot displays the Google Earth Engine web interface. At the top, the search bar contains 'otnice'. The main workspace is divided into three panels:

- Scripts Panel:** Shows a script named '1\_filter\_S2\_plot' with the following code:
 

```

1 // Filter collections to dates of interest.
2 var start = '2016-02-01';
3 var end = '2017-07-31';
4 var l8 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
5   .filterDate(start, end)
6   .select(['B4', 'B3', 'B2']);
7 var ndvi = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
8   .filterDate(start, end)
9   .map(function(img) {
10     return img.addBands(img.normalizedDifference(['B6', 'B4'])).select("nd")
11   })
      
```
- Inspector Panel:** Shows the selected point at coordinates (16.84204, 49.09128) with a zoom of 19m/px. It displays a hierarchy of data:
  - Point (16.84204, 49.09128) at 19m/px
  - ↳ Pixels
  - ↳ NDVI: ImageCollection (1 band, 107 images)
  - ↳ Mosaic: Image (1 band)
  - ↳ nd: 0.10103806108236313
  - ↳ Series: List (107 Images)
  - ↳ Objects
  - ↳ NDVI: ImageCollection (107 elements)
  - ↳ 0: Image COPERNICUS/S2/20160203T095601 201...
- Map Panel:** Shows a satellite view of a rural landscape with a red polygon overlaid on a field, indicating the area of interest.

Below the map, the **Two Chart Inspector** panel provides detailed analysis of the selected point:

- Coordinates:** lon: 16.8420, lat: 49.0913
- NDVI Over Time:** A line chart showing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from April 2016 to July 2017. The y-axis ranges from -0.4 to 1.2. The data shows seasonal fluctuations, with peaks around 0.8 and troughs near 0.0.
- RGB Bands Spectrum Over Time:** A line chart showing the reflectance values for the Blue (B2), Red (B3), and Blue (B4) bands from April 2016 to July 2017. The y-axis represents 'band value' from 0 to 10,000. The B4 band (orange) shows the highest reflectance, peaking around 8,000, while B2 (blue) and B3 (red) show lower values, generally below 5,000.

# https://spectator.earth



## EVENTS TIMELINE

## IMAGES

- Sat May 26 2018**  
Sentinel 2A  
Last overpass 3 days 21 hours 25 minutes 9 seconds ago.
- Mon May 28 2018**  
Sentinel 2B  
Last overpass 1 day 21 hours 35 minutes 9 seconds ago.
- Mon May 28 2018**  
Landsat 8  
Last overpass 1 day 11 hours 8 minutes 9 seconds ago.
- Thu May 31 2018**  
Landsat 8  
Next overpass in 1 day 2 hours 12 minutes 50 seconds

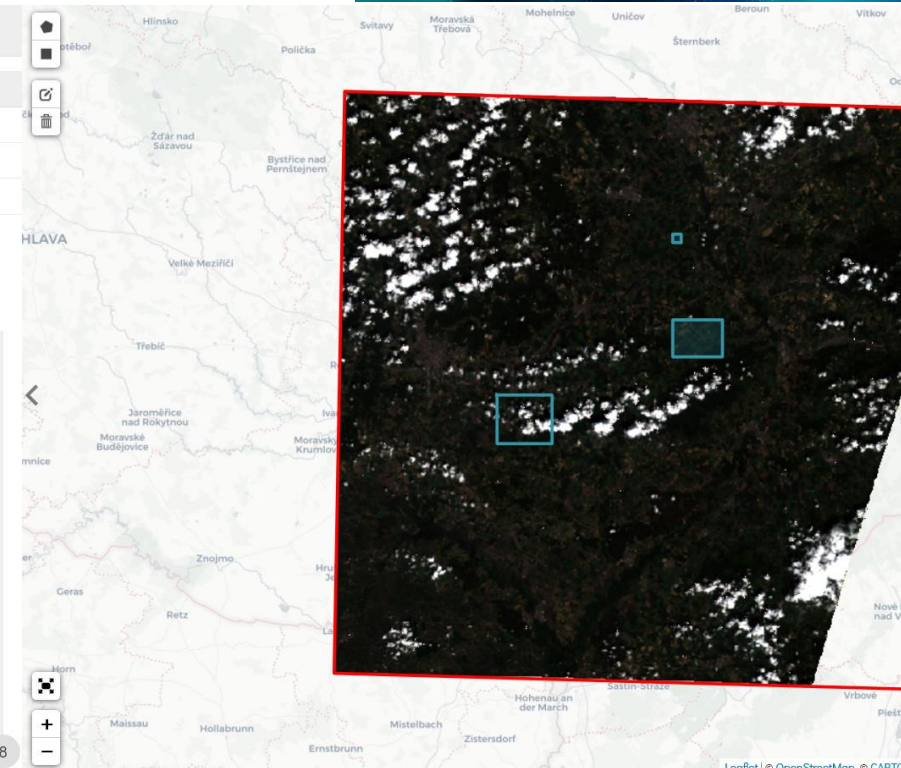
**S2L8**  
LANDSAT 8, SENTINEL 2A, SENTINEL 2B

Otnice  
Polkovice  
Kojnice  
zdounky

EVENTS TIMELINE IMAGES

satellite	details	preview	download
Sentinel-2A	S2A_MSIL1C_20180526T100031_N0... Acquisition: 26/05/2018 12:00:31 Clouds: 6 % Size: 751.99 MB		
Landsat-8	LC08_L1TP_189026_20180524_2018... Acquisition: 24/05/2018 11:37:55 Clouds: 27 %		
Landsat-8	LC08_L1TP_189025_20180524_2018... Acquisition: 24/05/2018 11:37:31 Clouds: 15 %		
Sentinel-2A	S2A_MSIL1C_20180523T095031_N... Acquisition: 23/05/2018 11:50:31 Clouds: 87 % Size: 761.67 MB		
Sentinel-2B	S2B_MSIL1C_20180521T100029_N0... Acquisition: 21/05/2018 12:00:29 Clouds: 4 % Size: 732.15 MB		
Sentinel-2B	S2B_MSIL1C_20180518T095029_N... Acquisition: 18/05/2018 11:50:29 Clouds: 60 % Size: 765.37 MB		
Sentinel-2B	S2A_MSIL1C_20180516T100031_N0... Acquisition: 16/05/2018 12:00:31		

pages 1 out of 18



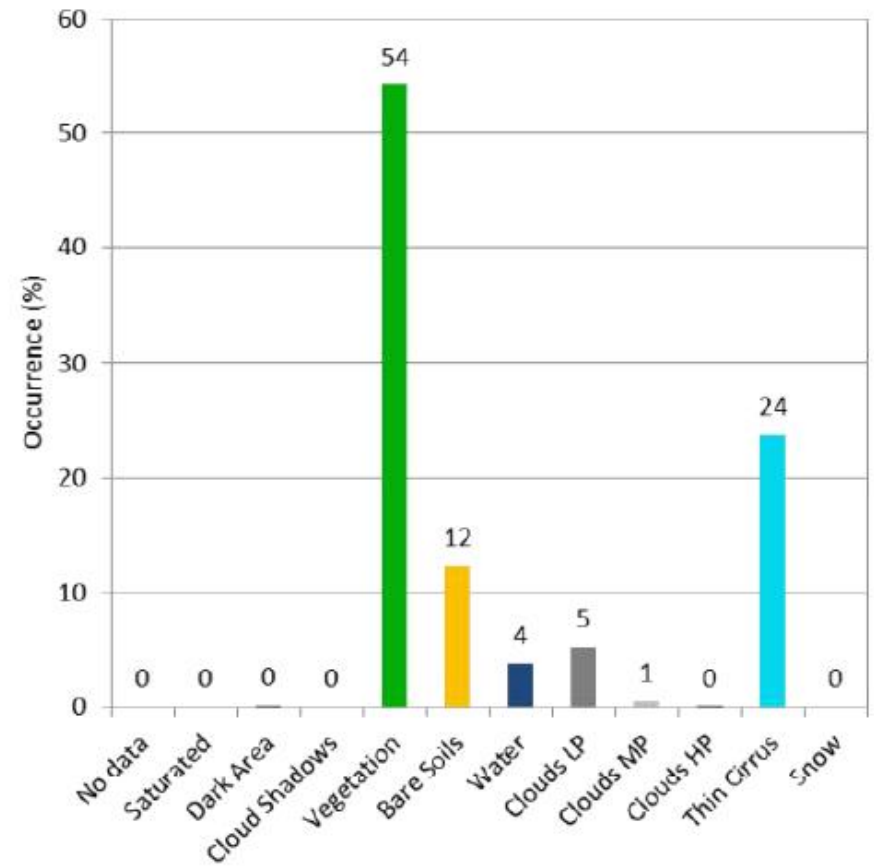
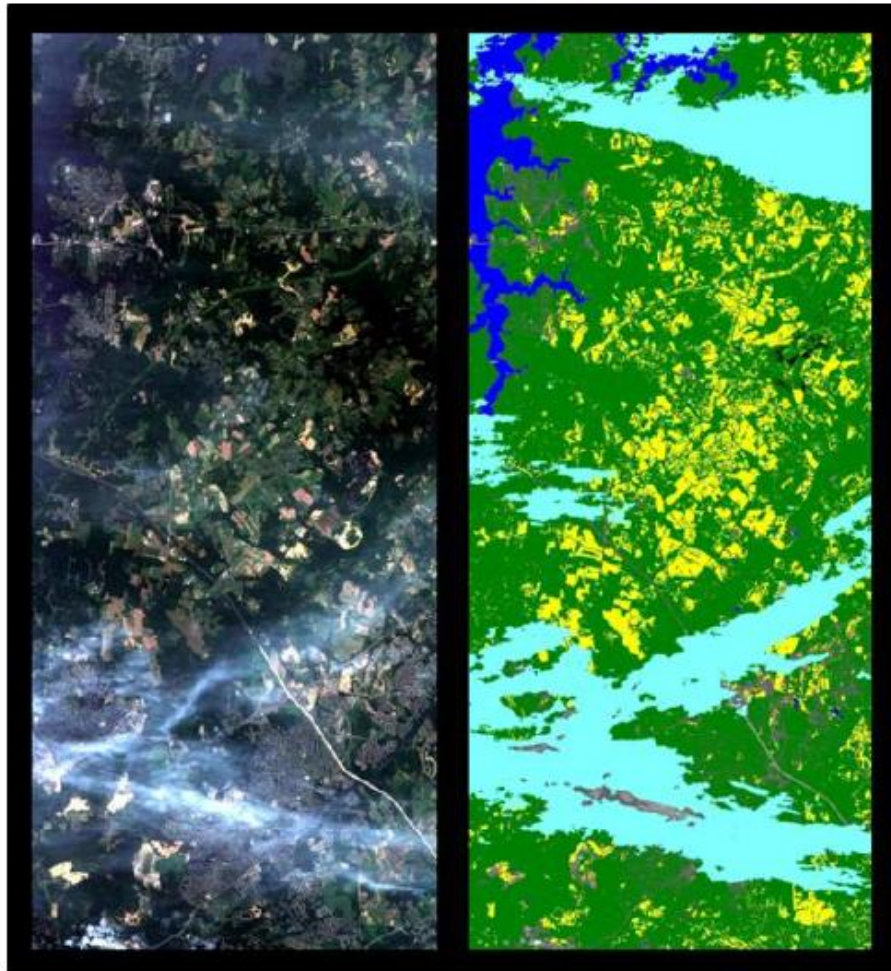
# Využití družicových dat

- **Průběžný monitoring**
  - Hodnocení **aktuálního stavu** porostů = jednotlivé scény
  - Hodnocení vývoje porostů = rozdíl mezi termíny
- **Analýza střednědobých trendů**
  - Analýza historických dat
  - Vymezení **produkčních zón**, které mohou sloužit jako alternativa výnosovým mapám
  - Definuje **výnosové hladiny**

## Požadavky na kvalitu dat:

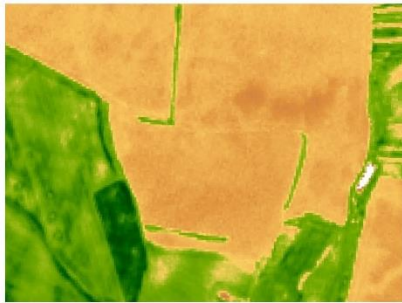
- Atmosférické korekce (povrchová odrazivost) – **nezbytné pro porovnávání v čase**
- Identifikace oblačnosti – vymaskování oblačnosti a stínů v ploše zájmového území

## Identifikace oblačnosti Sentinel-2

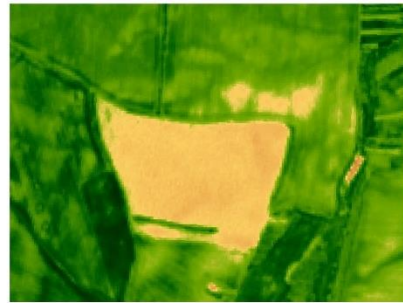


**Figure 2-6 – Scene Classification**

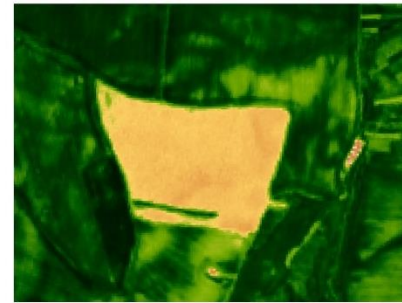
## Vývoj stavu porostů - Sentinel-2 NDVI, Rostěnice (Vyškov), 2017



20170401



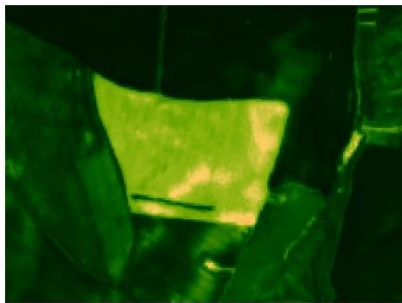
20170421



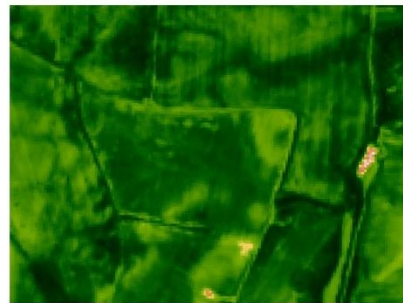
20170501



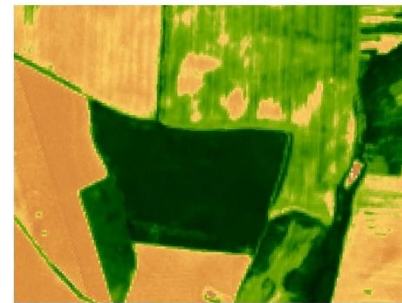
20170511



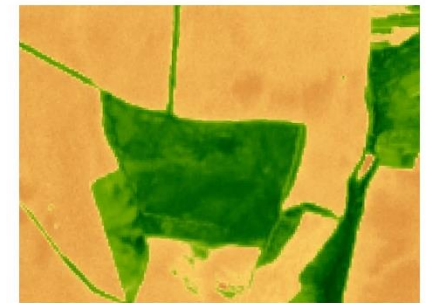
20170521



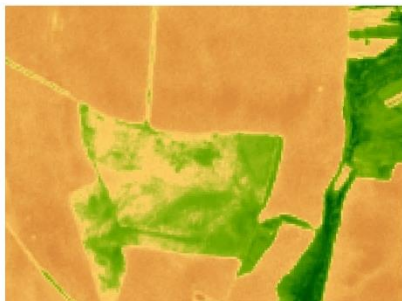
20170620



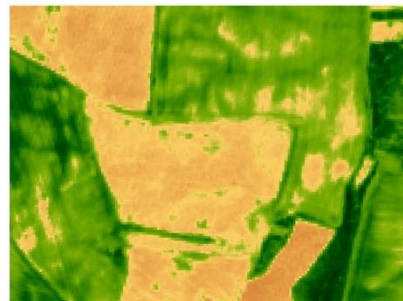
20170730



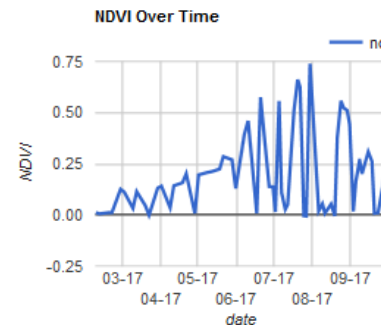
20170824



20170908

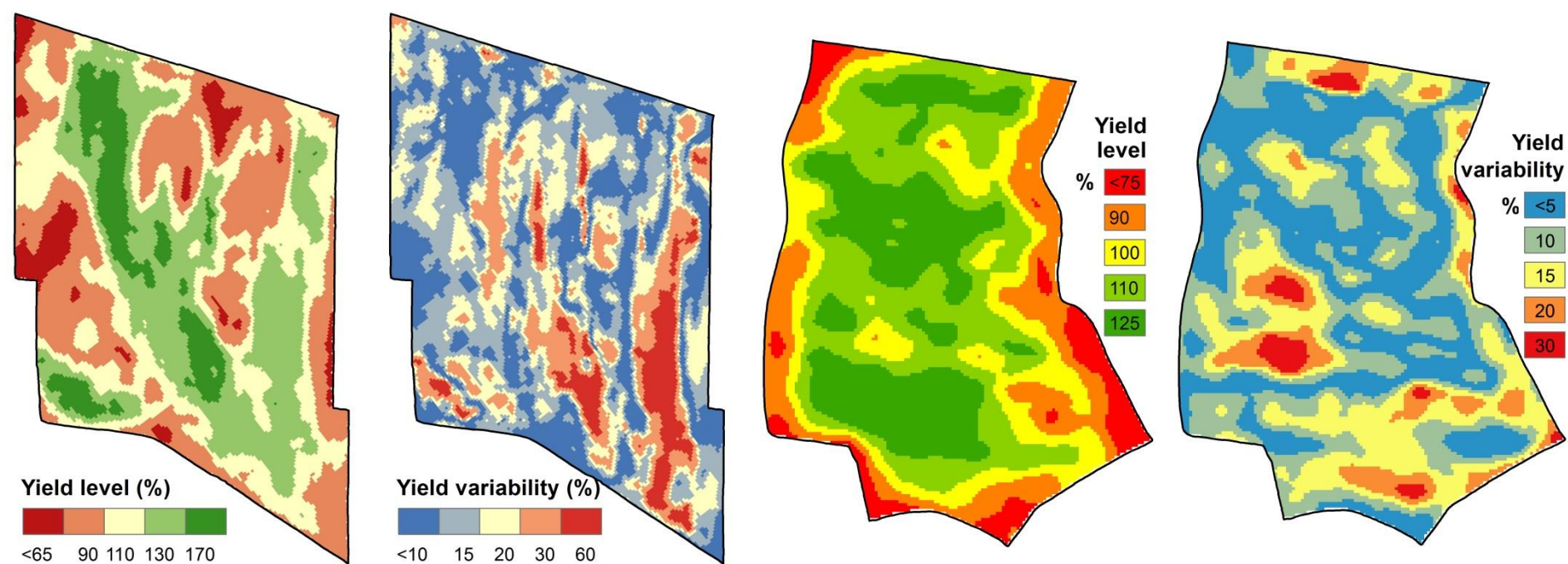


20170930



# Zohlednění výnosových úrovní

Výnosová úroveň x stabilita výnosu z historických výnosových map (2004-2009)



1. Nadprůměrně výnosné a výnosově stabilní plochy
2. Podprůměrně výnosné a výnosově stabilní plochy
3. Výnosově nestabilní plochy

Management class (code)	Single Crop		Multiple Crops	
	Condition 1	Condition 2	Condition 1	Condition 2
Higher yielding and stable (30)	$\bar{y}_i > \bar{Y}$	$CV_i < 30$	$\bar{s}_i > 100$	$CVs_i < 30$
Lower yielding and stable (20)	$\bar{y}_i < \bar{Y}$	$CV_i < 30$	$\bar{s}_i < 100$	$CVs_i < 30$
Unstable (10)	-	$CV_i > 30$	-	$CVs_i > 30$
All others (40)	-	-	-	-

Table 1. Management classes and their conditions

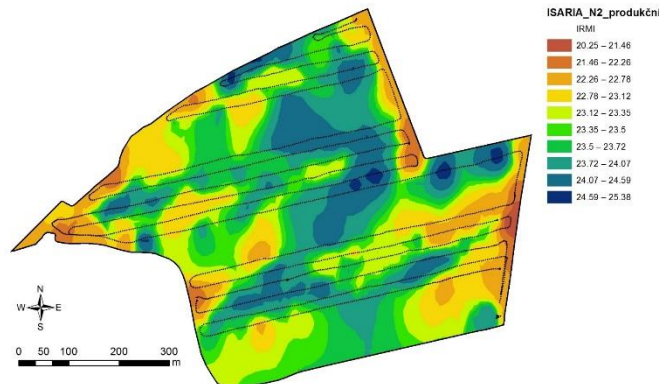
(Blackmore, 2000)

## Vymezení produkčních zón v rámci pozemků

- Stanovení produkčních zón na pozemcích na základě detekované heterogenity porostu z družicových dat za několik let
- Procentuální rozložení v rámci jednotlivých pozemků

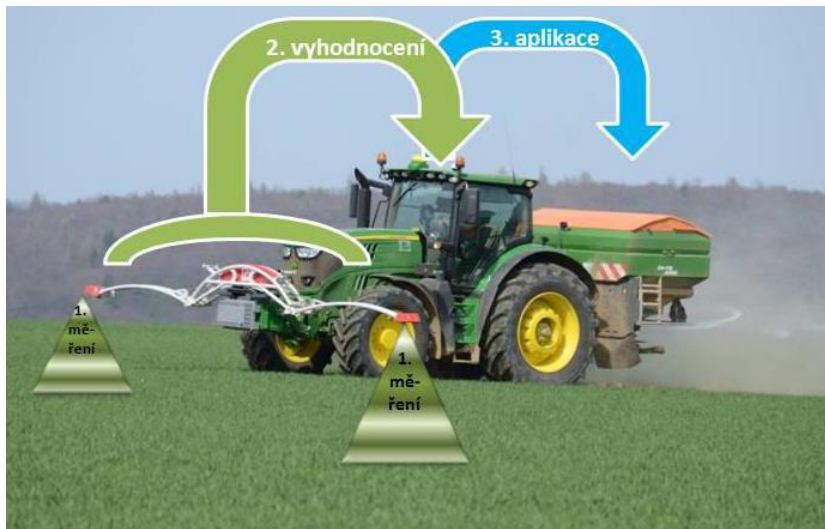
### Využití

- Definování **management zón** = oblasti se stejnou intenzitou pěstebního zásahu (dle plánovaného výnosu plodin)
- **Podklady** pro senzorové systémy přihnojování porostů



## Online + mapový podklad (map overlay)

- **Spektrální měření porostu**  
= aktuální stav porostu
- **Mapový podklad s korekcí aplikace**  
= na jakou úroveň hnojit



Ertragskarte 2011



Map Overlay

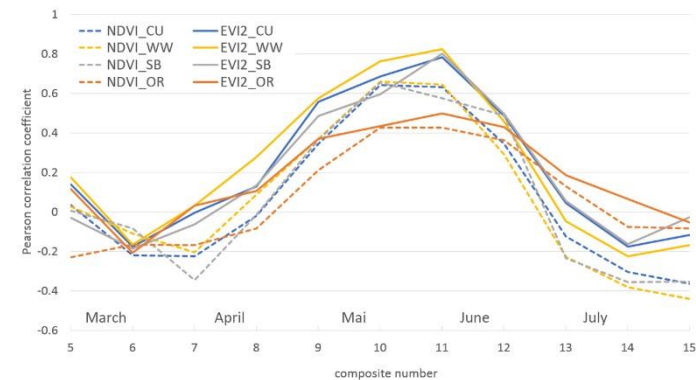


## Vymezení produkčních zón v rámci pozemků

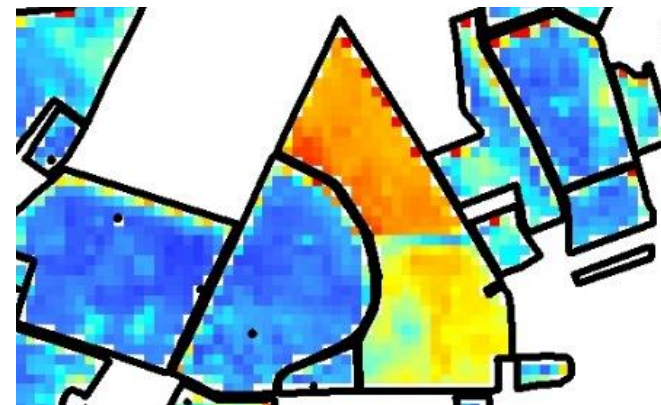
- Družicová multispektrální data
  - víceletá časová řada (8 let) = Landsat 5, 8
  - produkty Surface reflectance (ESPA USGS)
  - identifikace oblačnosti algoritmem Cfmask
  - výběr scén v rámci vegetačního období
  - veg. index EVI
  - Implementace Sentinel-2
- Hranice pozemků
  - Hranice DPB (LPIS) – snadno dostupné, nepřesné
  - osevň. plány - obtížně dostupné v podobě geodat (parcely v LPIS ?)

V současnosti probíhá validace pomocí výnosových map ze zemědělských podniků

- Problematická dostupnost výnosových dat
- chyby v záznamech = nezbytnost filtrování



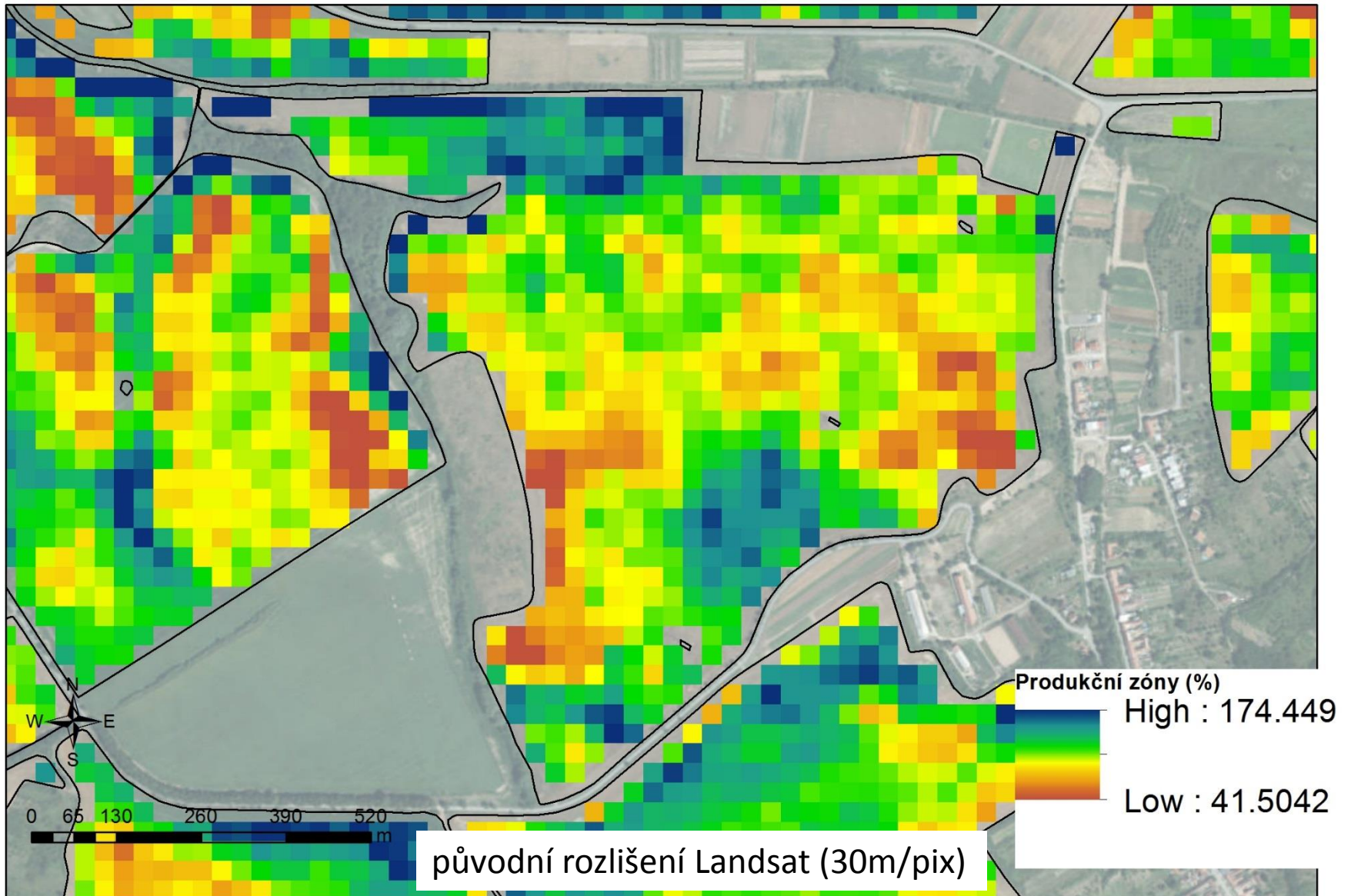
Korelace NDVI/EVI2 MODIS s výnosy (okresy)



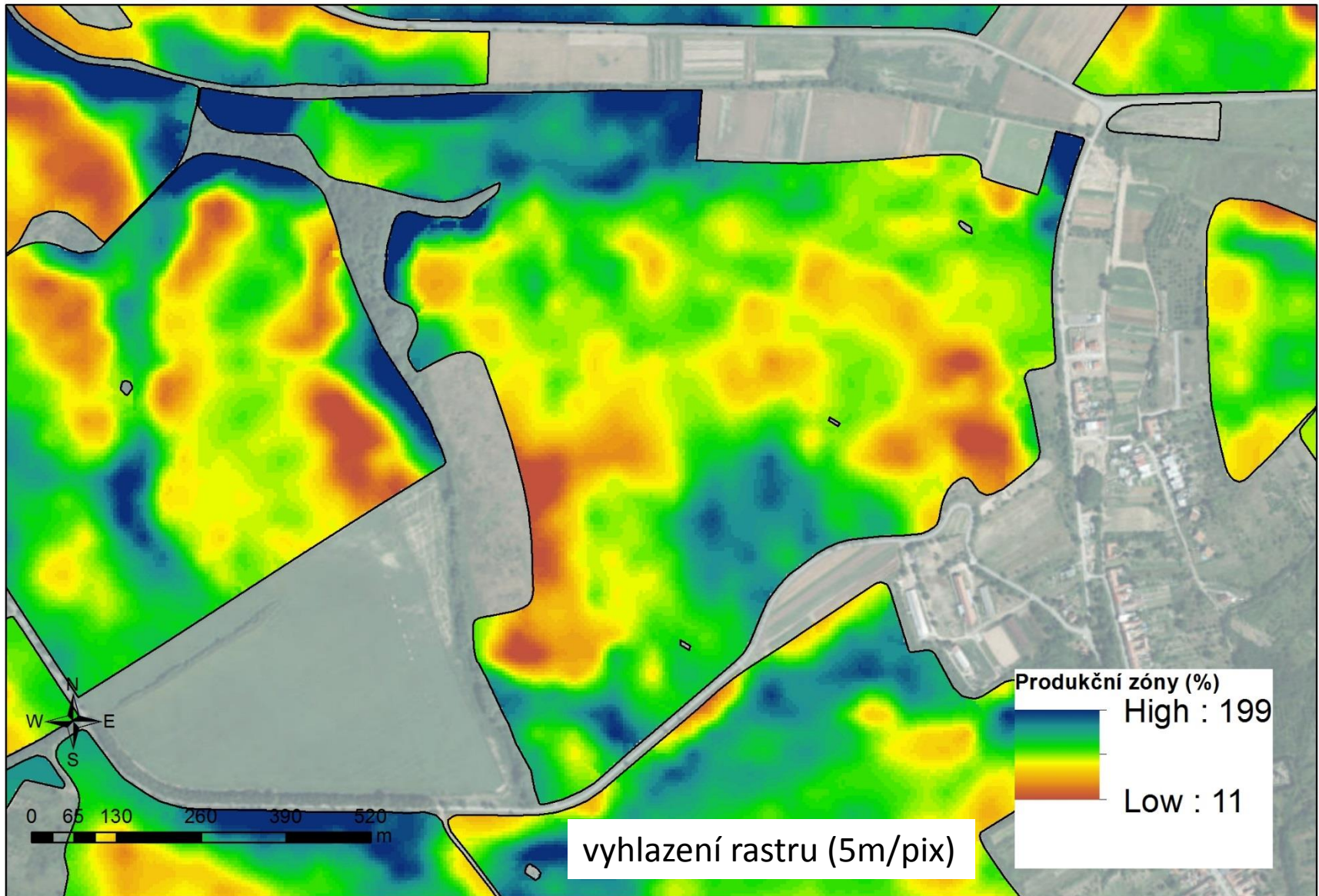
Dělené bloky s více plodinami  
= nepřesné vymezení ploch



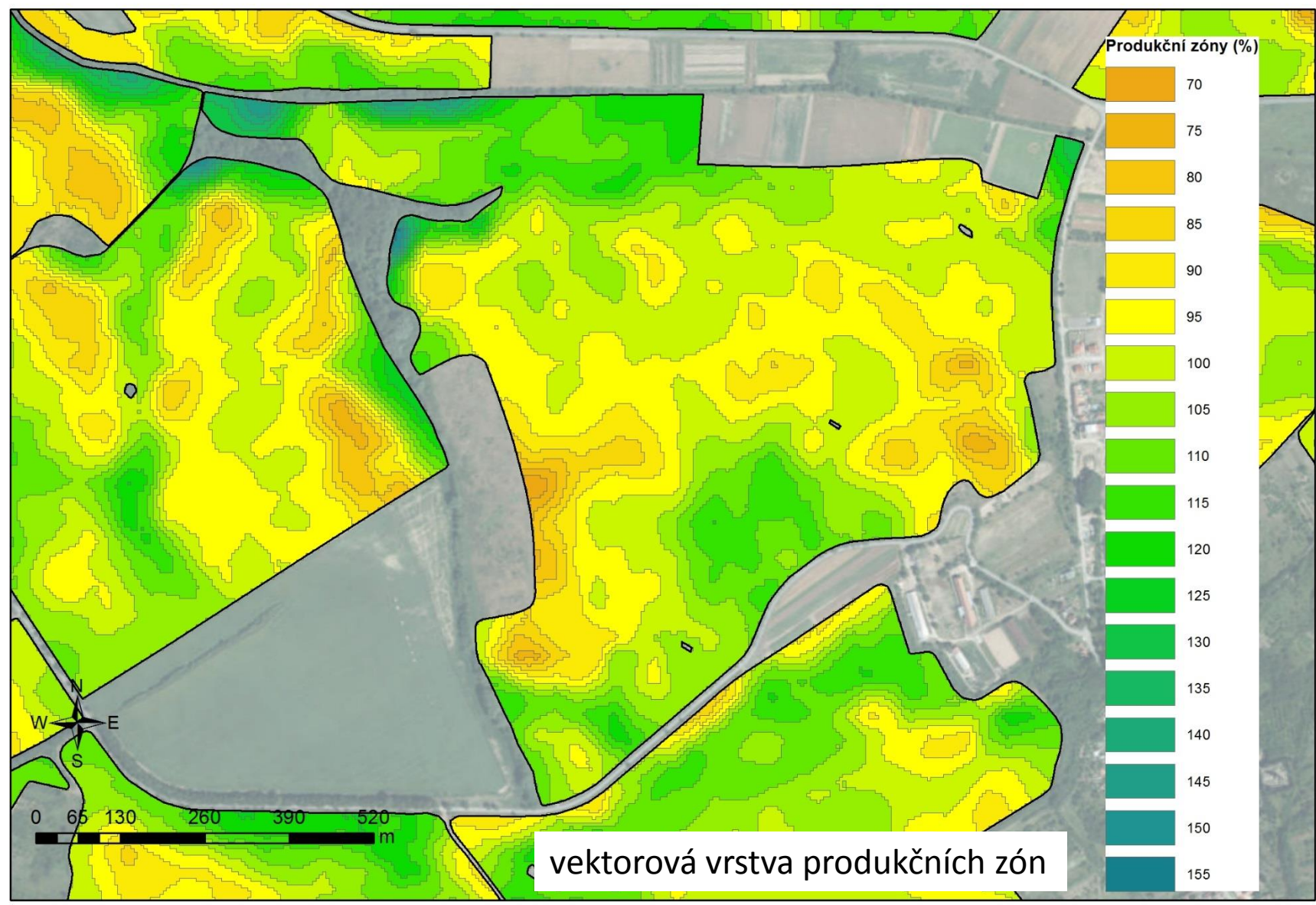
# Produkční zóny



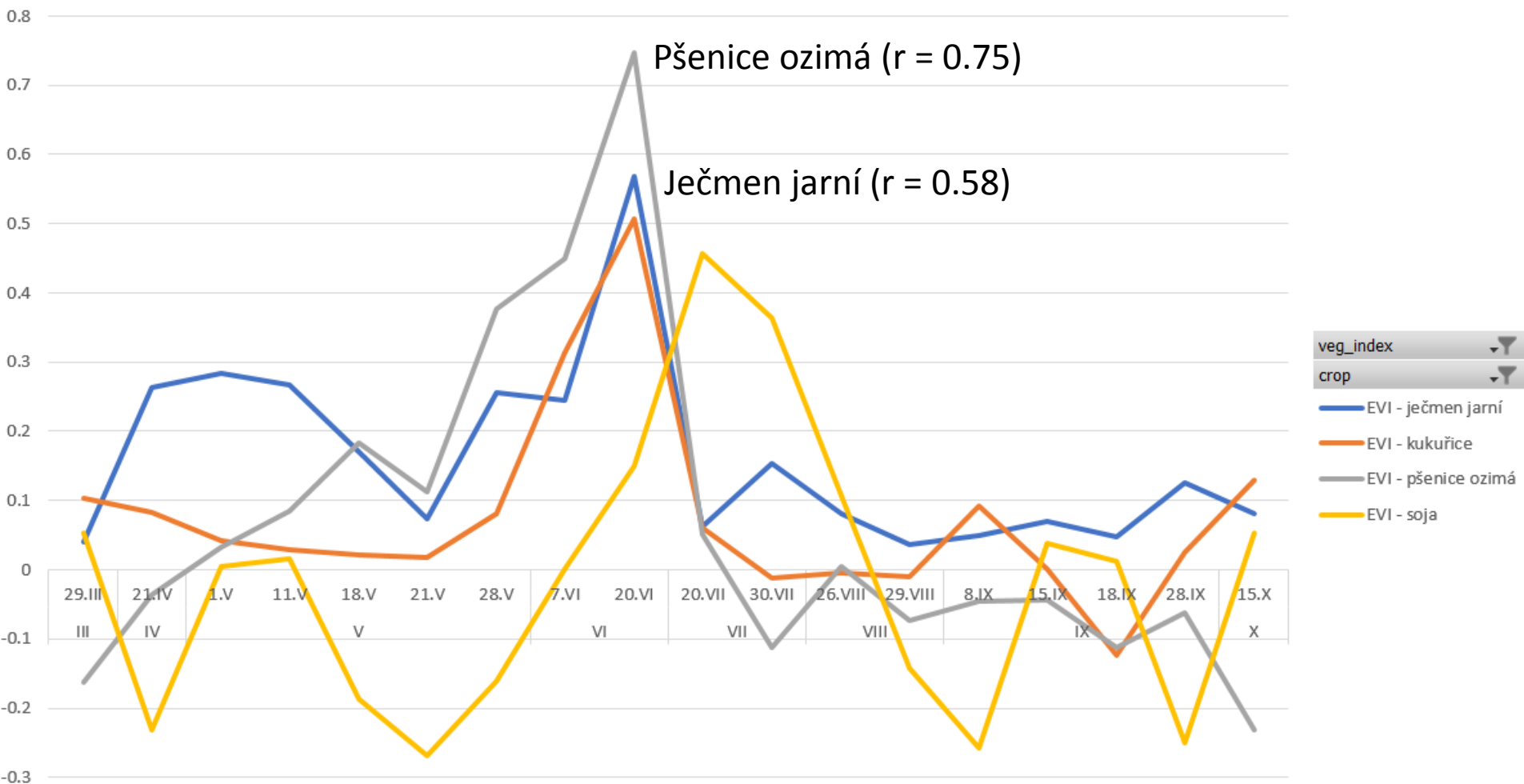
# Produkční zóny



# Produkční zóny

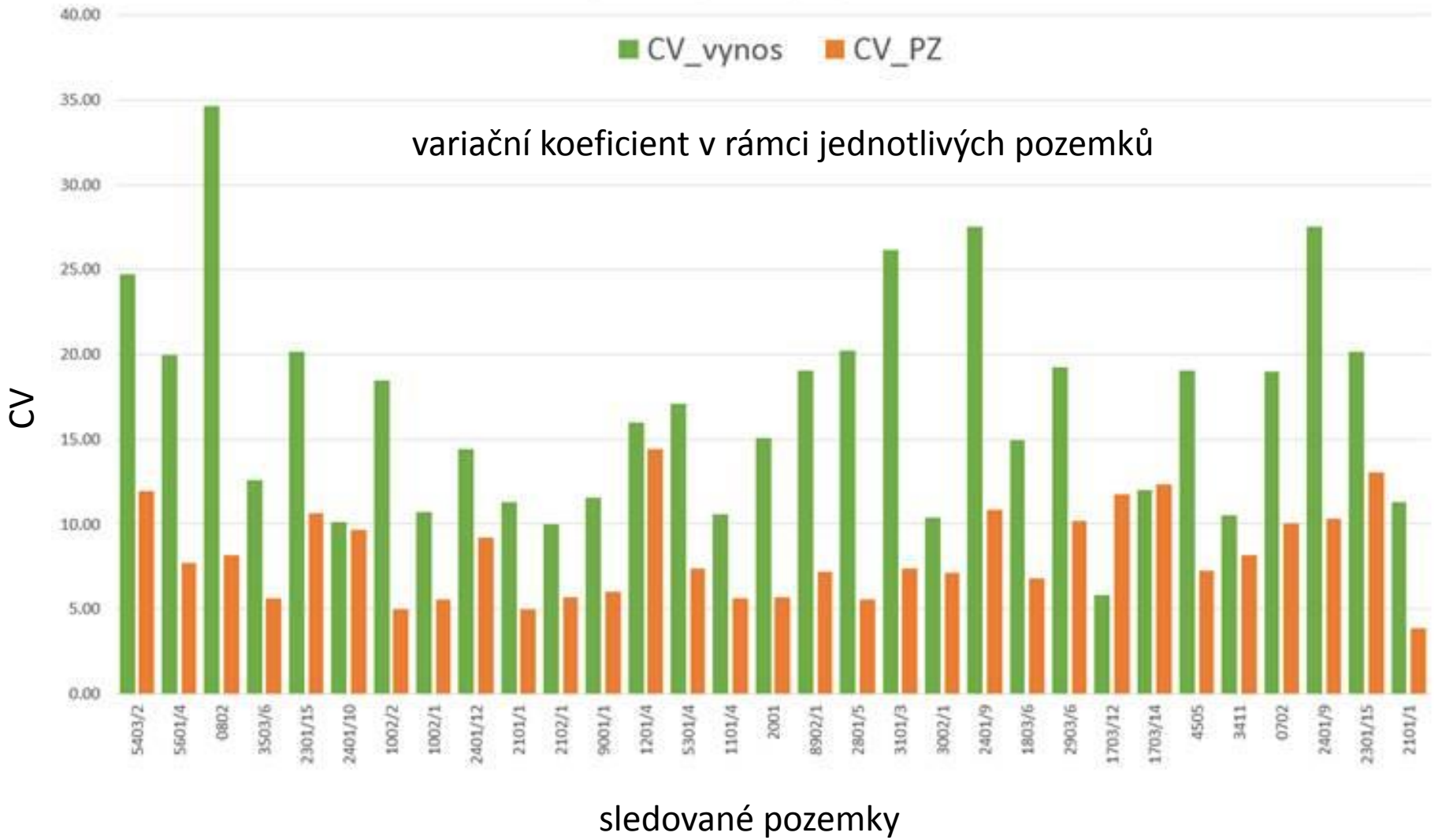


# Produkční zóny

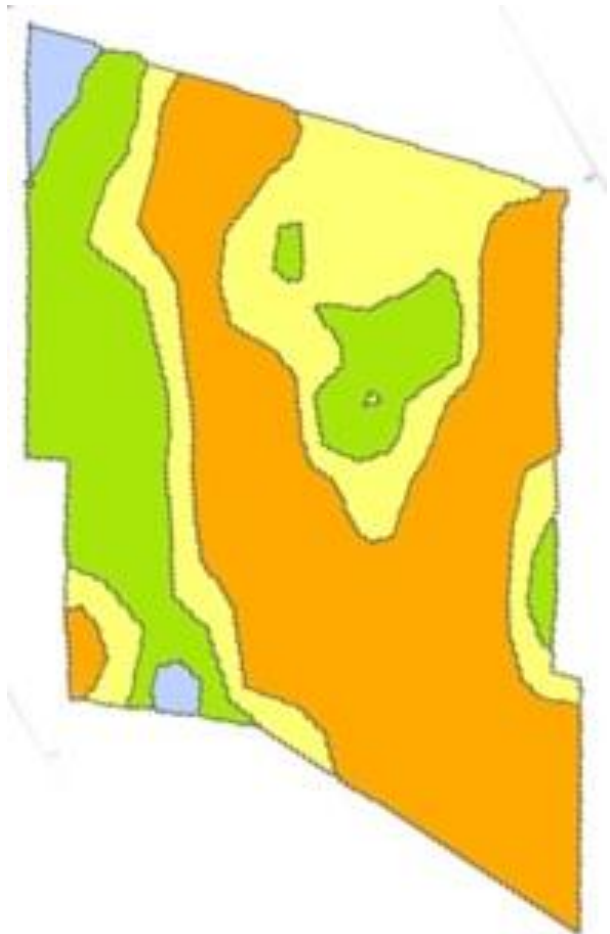


Příklad korelace výnosů plodin s indexem EVI ze Sentinel 2A (Rostěnice, 2017)

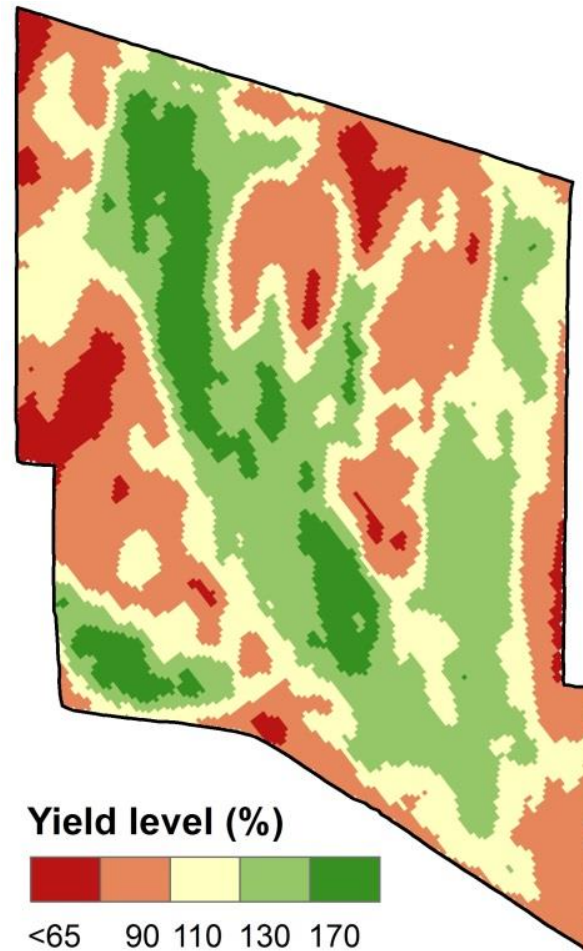
## Porovnání výnosových map a produkčních zón



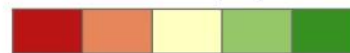
# Zohlednění výnosových úrovní



Zásobenost fosforu v půdě  
(52 ha, Přísnovice, 2004)



Yield level (%)



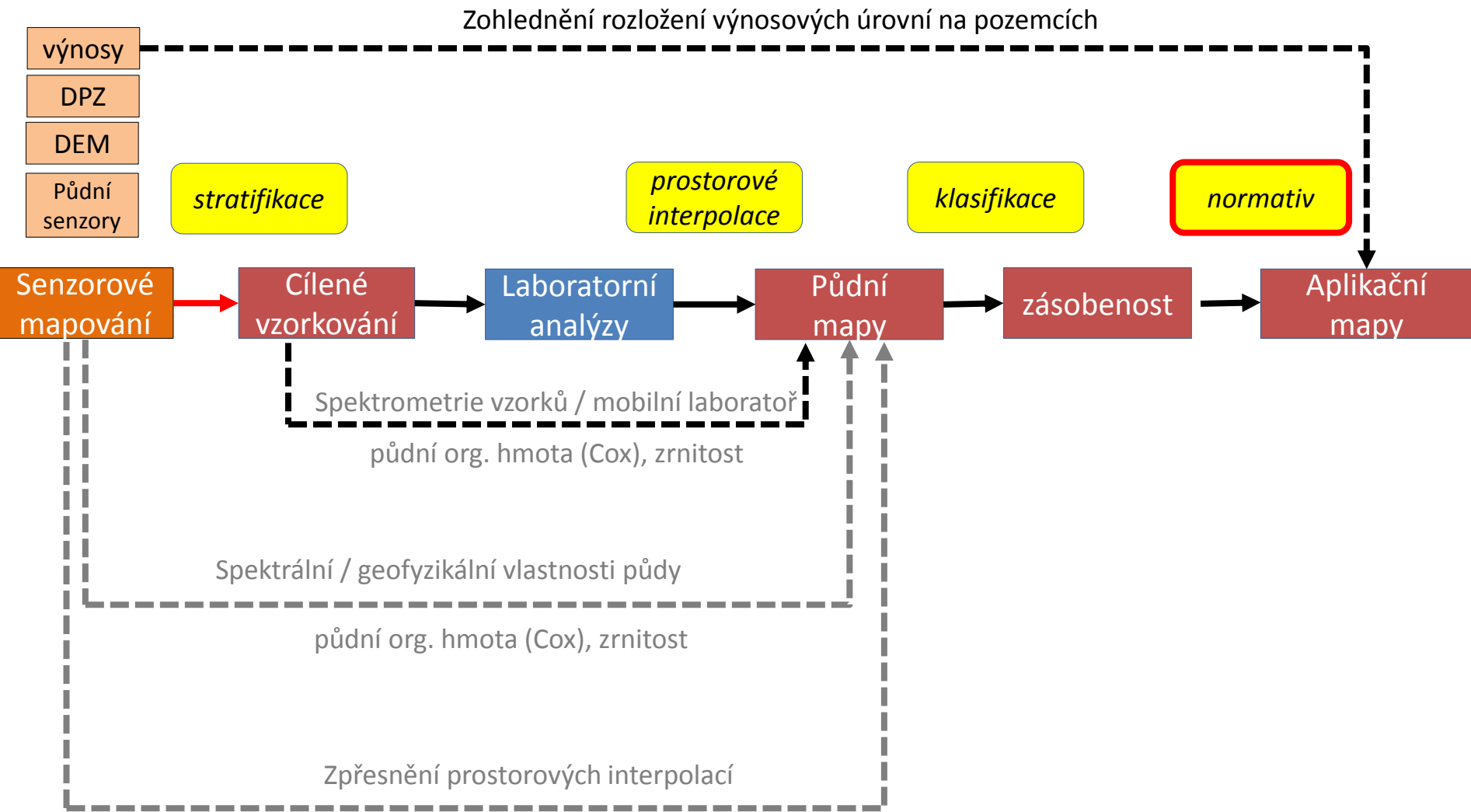
<65 90 110 130 170

Výnosová úroveň  
(vým. mapy 2004-2009)



# Návrh postupu tvorby aplikačních map

Návrh postupu variabilní aplikace zásobního hnojení (projekt NAZV OptiAgro 2016-2018)



# Kombinace vstupních dat DPZ pro pěstitelské operace



Var. aplikace hnojiv



Aplikace POR



Zpracování půdy

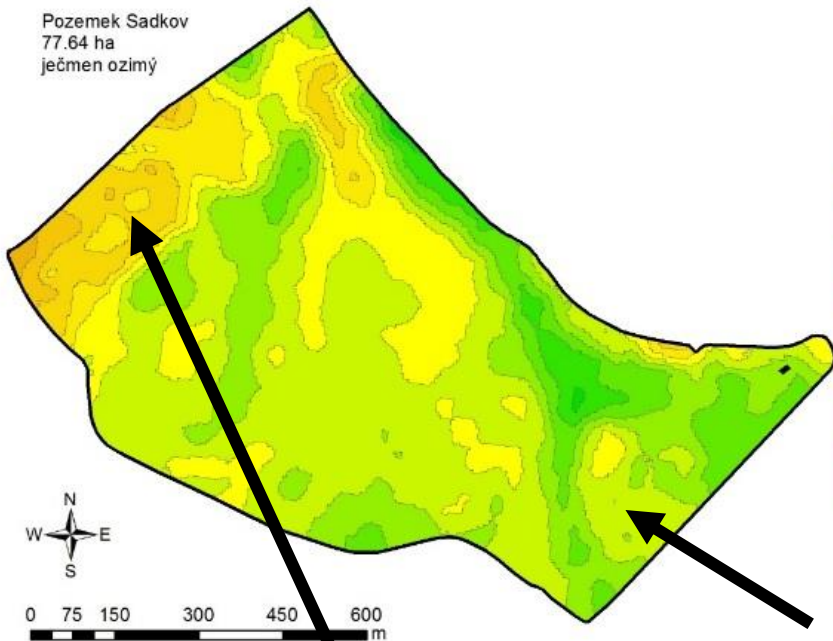


Variabilní setí

- Základní hnojení (P, K, Mg, Ca)
  - **produkční zóny**
- Hnojení statkovými hnojivy
  - **produkční zóny**
- Variabilní přihnojení porostů N hnojivy
  - **aktuální stav porostu + produkční zóny**
- Variabilní setí
  - **produkční zóny**
- Variabilní aplikace POR (fungicidy, desikace, **herbicidy**)
  - **aktuální stav porostu + produkční zóny**

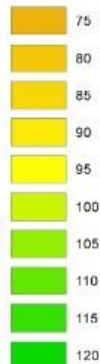
# Produkční zóny

Pozemek Sadkov  
77.64 ha  
ječmen ozimý



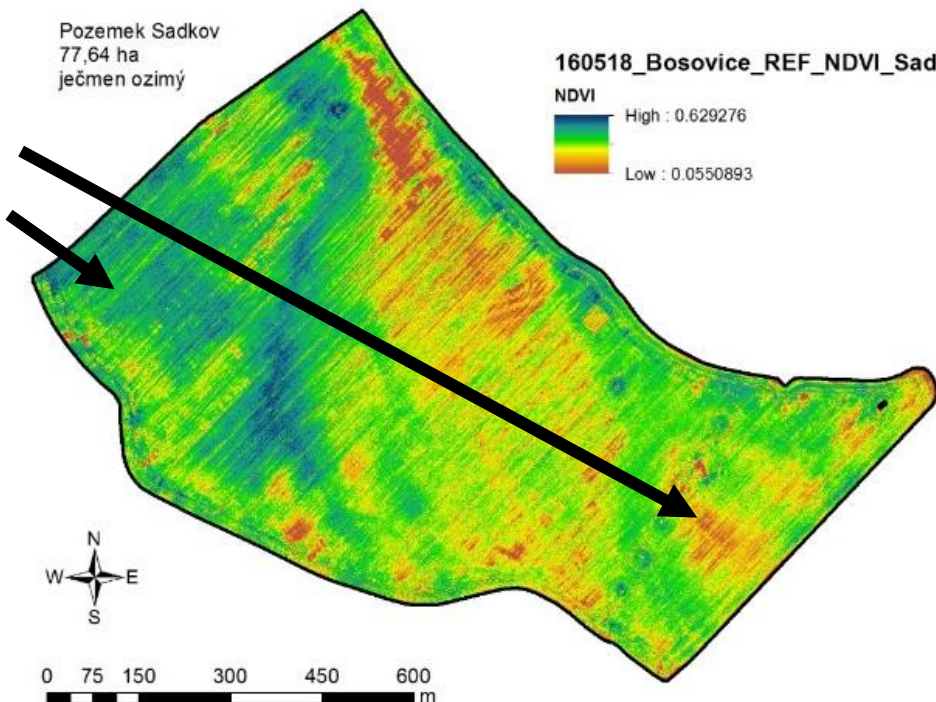
rostenice\_landsa

Produkční zóny (%)



Stav porostu (UAV)  
18.5.2016 (ječ.oz.)

Pozemek Sadkov  
77.64 ha  
ječmen ozimý



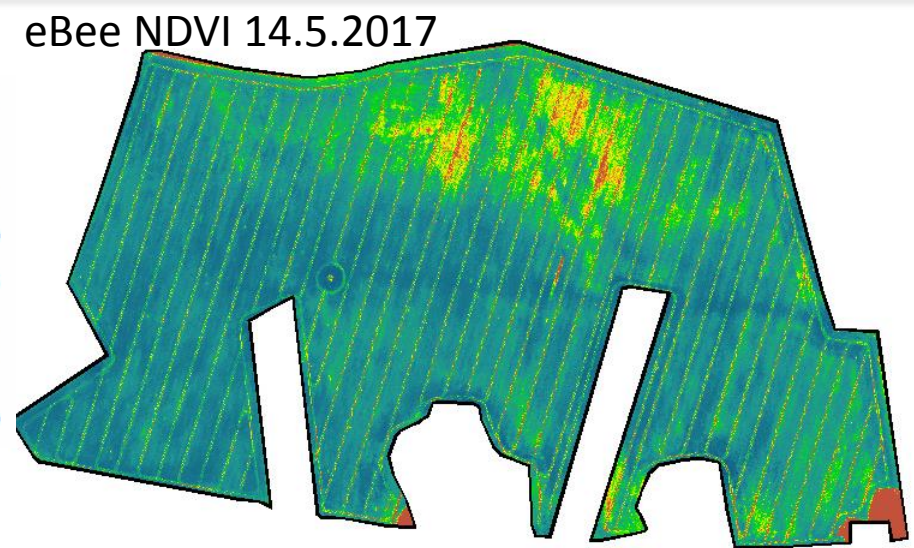
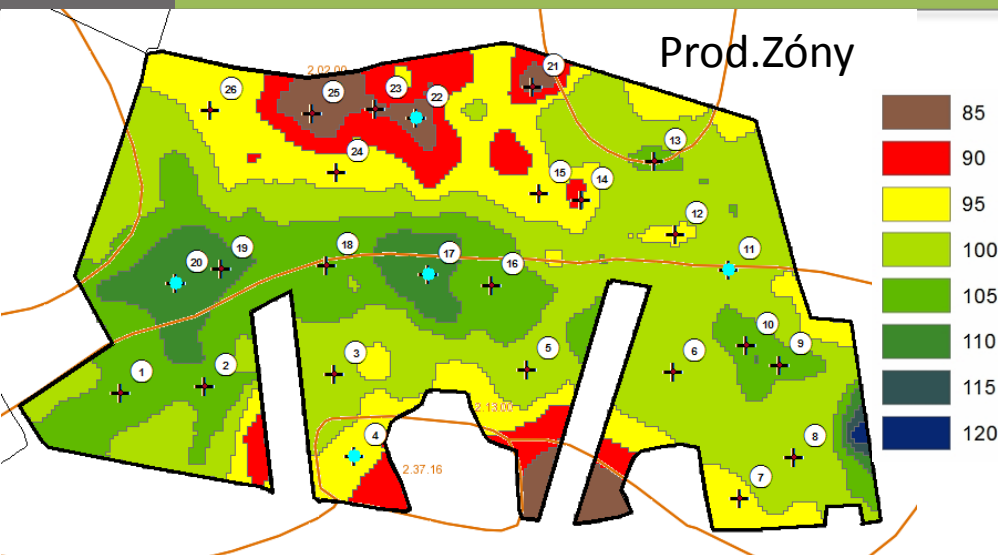
160518\_Bosovice\_REF\_NDVI\_Sadkov.



Rozdíl dlouhodobého trendu a  
aktuálního stavu

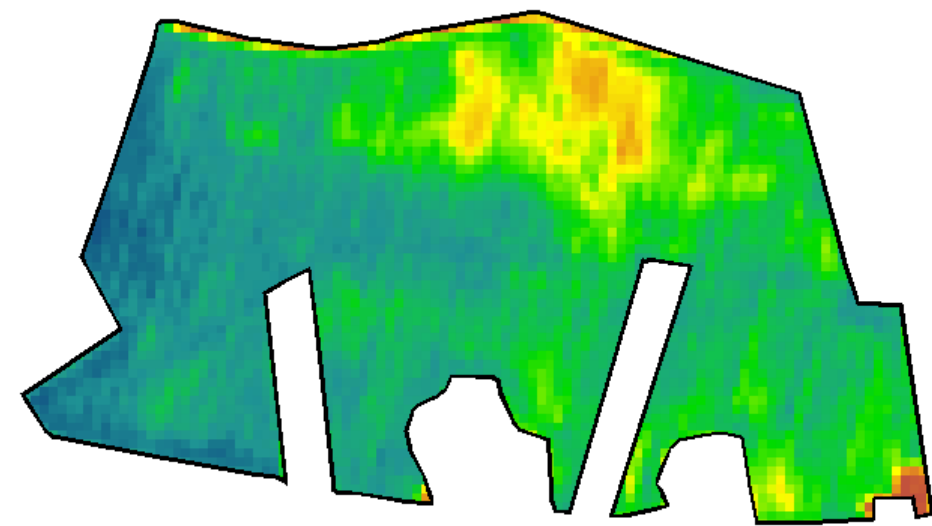
Produkční zóny  
(analýza časové řady snímků  
2007-2015)

# Průběžný monitoring vs. produkční zóny

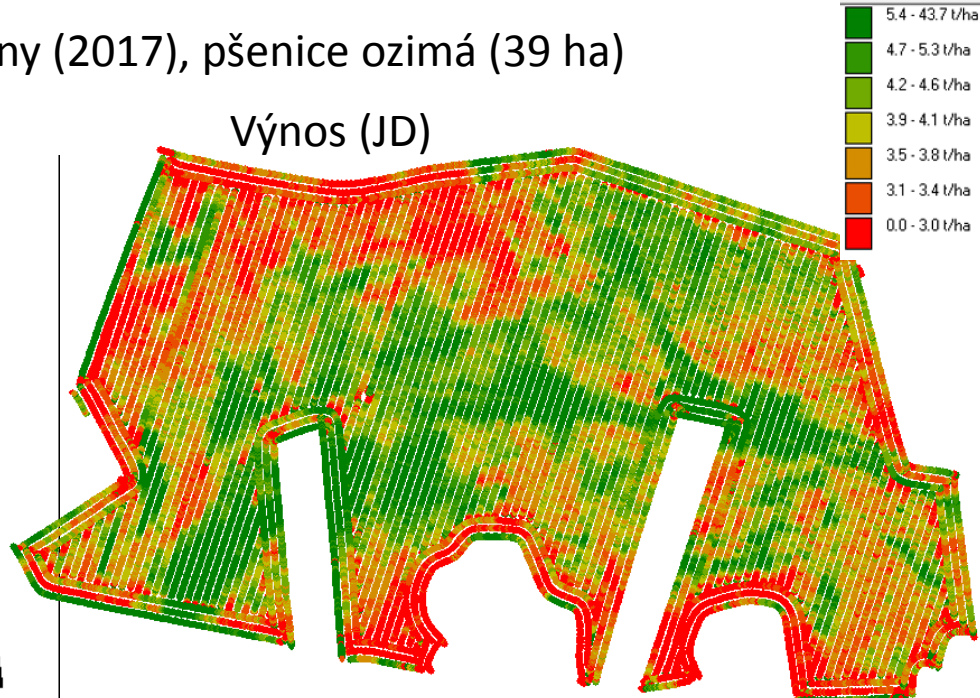


Lokalita Dukovany (2017), pšenice ozimá (39 ha)

Sentinel 2 NDVI 11.5.2017



Výnos (JD)





# Děkuji za pozornost

Mendelova  
univerzita  
v Brně



**Vojtěch Lukas**

Ústav agrosystémů a bioklimatologie

Agronomická fakulta

Mendelova univerzita v Brně

vojtech.lukas@mendelu.cz



Příspěvek vznikl za podpory výzkumného projektu NAZV QJ1610289 a TAČR TA04021389

