



Česká zemědělská
univerzita v Praze



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Současný stav a budoucnost digitalizace zemědělství

Milan Kroulík

Náš svět - naše zemědělství

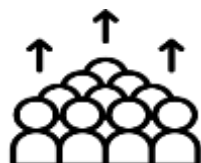


Celosvětově zemědělská půda představuje pouze 3 % povrchu Země

Rok	1950	2000	2050
- Světová populace	- 2,5 mld.	- 6,1 mld.	- 9,8 mld.
- Zemědělská plocha	- 0,52 ha/člověka	- 0,22 ha/člověka	- 0,16 ha/člověka

(United Nations 2019)

2050



9,8 mld. lidí
na planetě

Nárůst městské
populace o 50 až 70 %



Potřeba navýšení
produkce potravin o 50 %
(?? 100 %)



Výměra zemědělské půdy se sníží o 70 mil. hektarů
v rozvinutých zemích a navýší se o 120 mil. hektarů
v rozvojových zemích

+ 3,5 %



90% navýšení zemědělské produkce
bude vycházet z navyšování výnosu

Cíle společné zemědělské politiky EU



Výzvy k uplatnění moderních technologií

- Reakce na změny počasí, přizpůsobení zemědělských postupů změně klimatu
- Ochrana půdy a vodních zdrojů, snižování eroze a zhutňování půdy
- Vývoj stávající a budoucí legislativy (*eroze, meziplodiny, protierozní technologie, osevní postupy, omezení pesticidů apod.*)
- Ceny komodit, zachování ekonomiky zemědělské výroby
- Tlak na ekologizaci zemědělství (*omezení pesticidní zátěže*)
- Omezení energetické náročnosti (*včetně emisí skleníkových plynů*)
- Uhlíková neutralita
- Snížení spotřeby minerálních živin (*cílená aplikace, zonální hnojení*)
- Podpora biodiverzity, využití prvků ekologického zemědělství
- Řešení nedostatku pracovních sil v zemědělství (*pohled veřejnosti a nepružnost odborného školství, propagace zemědělství*)
- Rozvoj automatizace a robotiky v zemědělství

Modifikace v zemědělství



Produktivita farmy je omezena nejslabší složkou rámce.

„Bez **sledování informací** se jen obtížně hledá prostor pro **zlepšení**, pokud nemůžete ukládat své informace, nemůžete je použít k **lepšímu rozhodování** a moderní vybavení potřebuje **podporu v rozhodování** při převodu informací k aplikaci“.

„Internet věcí - potenciál zvýšit zemědělskou produktivitu do roku 2050 o 70 %“.

(DeloitteConsulting)

„Globální trh pro zemědělskou robotiku: do roku 2020 poroste ze současných 1miliardy USD na 14 - 18 miliard USD“

(McKinsey&Company)

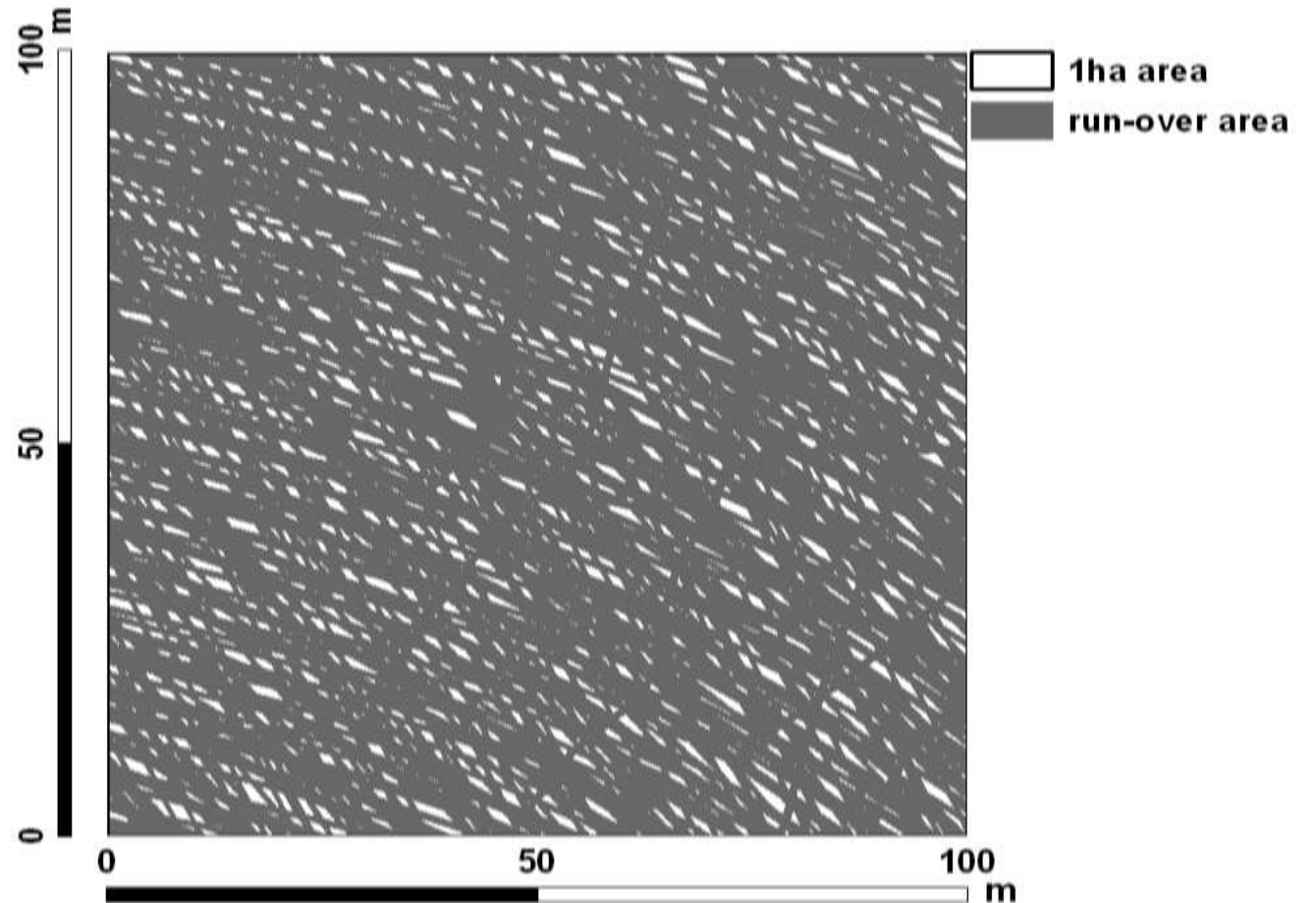
- Sledované období 2004 až 2020
- Data sbíraná z pozemku o výměře 22 ha
- Na počátku < **11 MB**, dnes > **18 500 MB**
- **40 497 MB během sezóny 2025**

Kayad et al.2022

Jaká je celkově přejetá plocha pneumatikami zemědělských strojů během jedné sezóny?

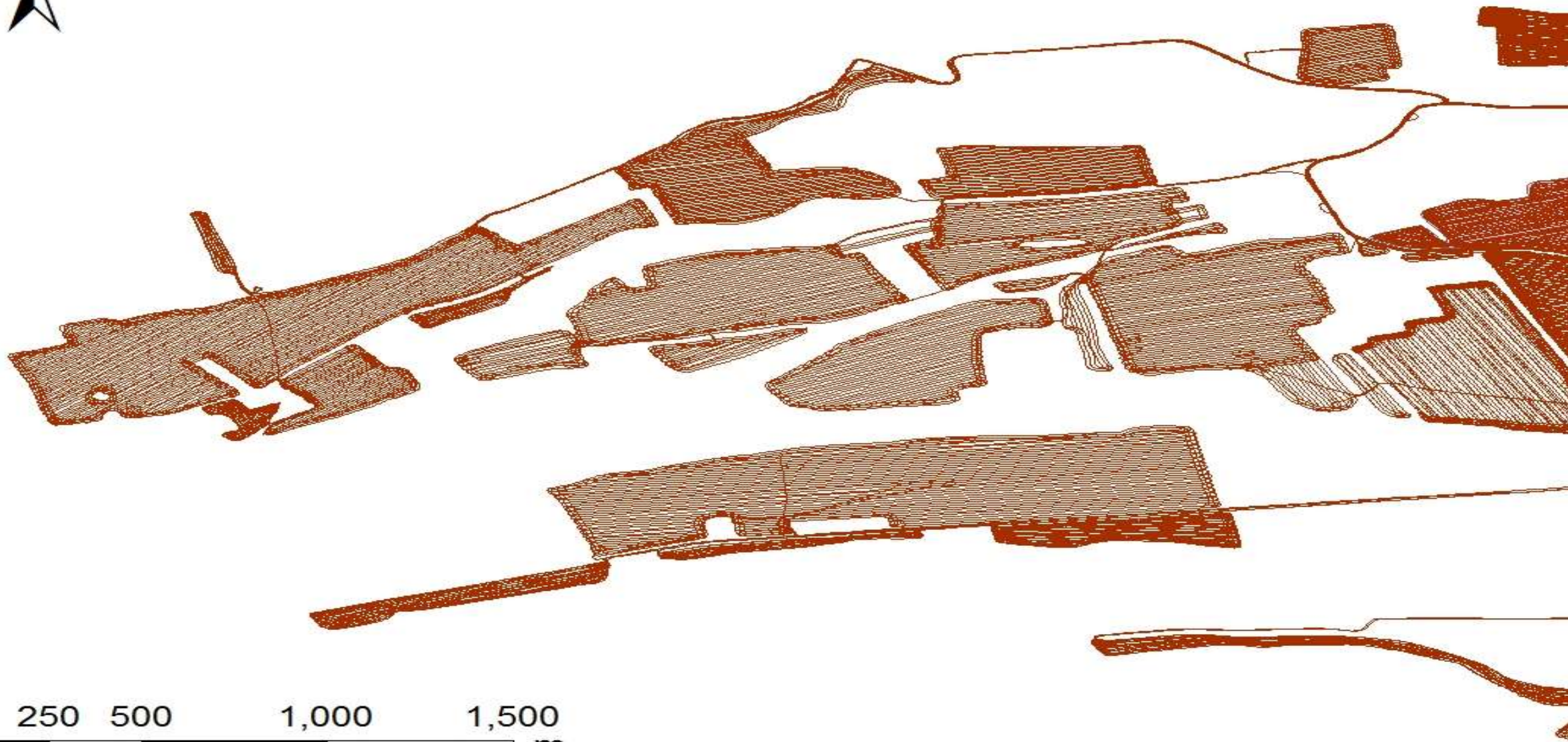
Konvenční technologie

86 %





Telematika



0 250 500 1,000 1,500 m



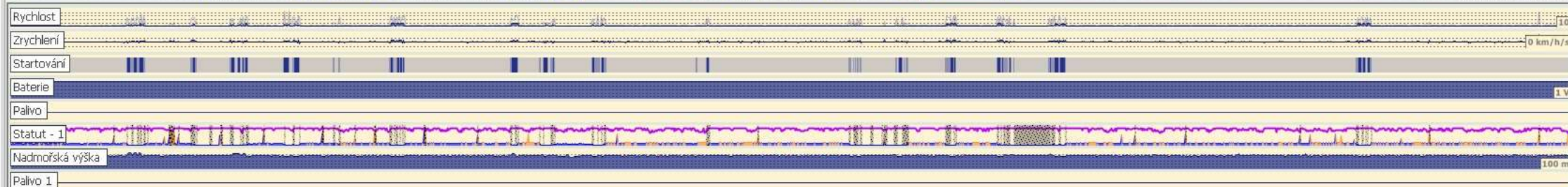
Aktuální poloha

Aktuální poloha 1. 5...31. 5. x



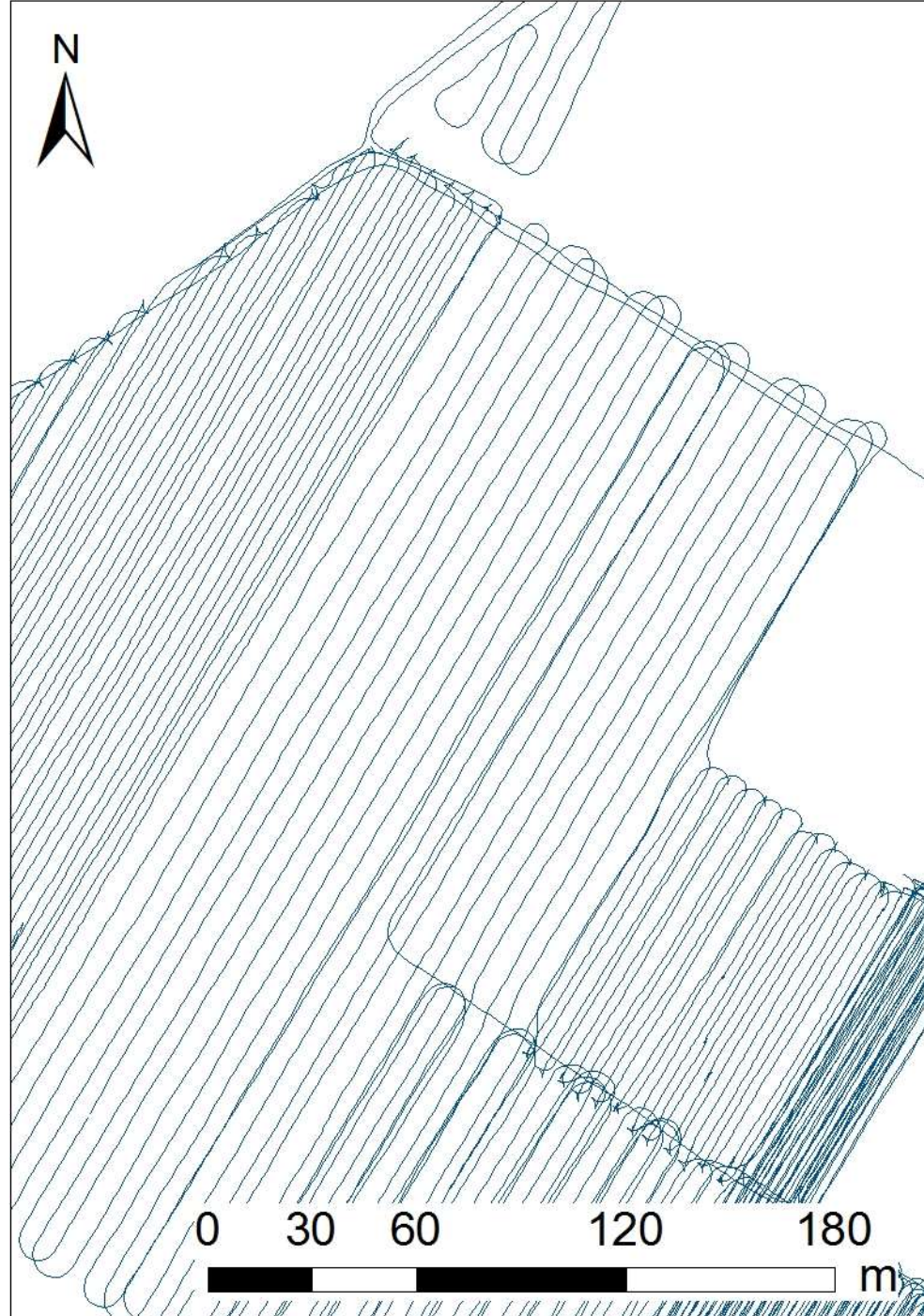
Vozidla

Traktor CZU





0 150 300 600 900 m



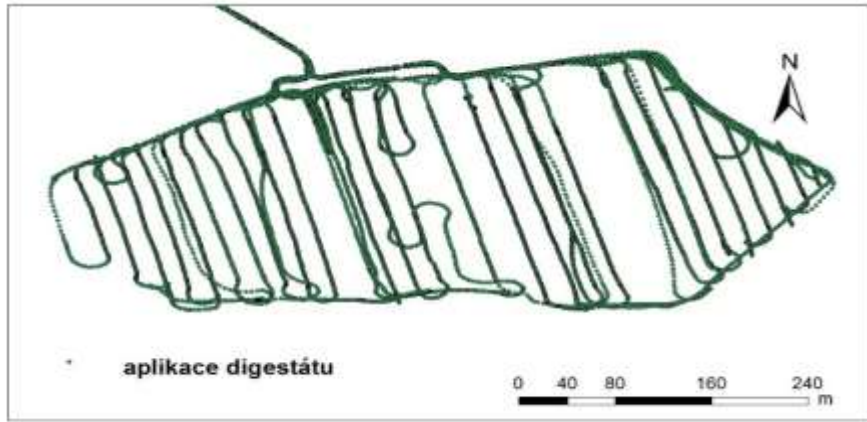
0 30 60 120 180 m

Najeto 599 km
Přejezdy 201 km
33 % jízdy

Agrotechnická kázeň

Aplikace organických hnojiv

Záznam přejezdů při aplikaci digestátu. Některé části pozemku jsou vystaveny vysoké zátěži od kol (Kroulík, 2016).



Variabilita aplikace kapalných organických hnojiv při nerespektování závislosti mezi dávkou hnojiva a délkou pozemku (foto Brant).







Modifikace výroby - nejen v zemědělství

Využití dat, prediktivní informace (servisní úkony...)

Vysoké zastoupení senzorů

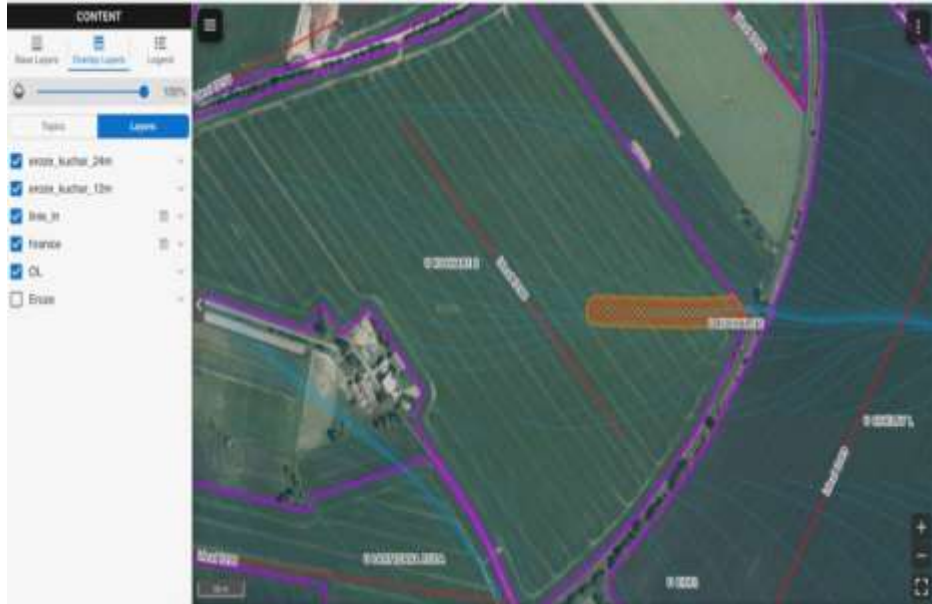
Hodnocení v reálném čase

Výroba na zakázku, Využití AI ku prospěchu, ne k navyšování výroby

Nové pracovní pozice

Logičnost společnosti: $\frac{3}{4}$ činností postrádá logiku
 plýtvání potravinami
 cesty do práce a zpět
 prodej půdy nebo vody

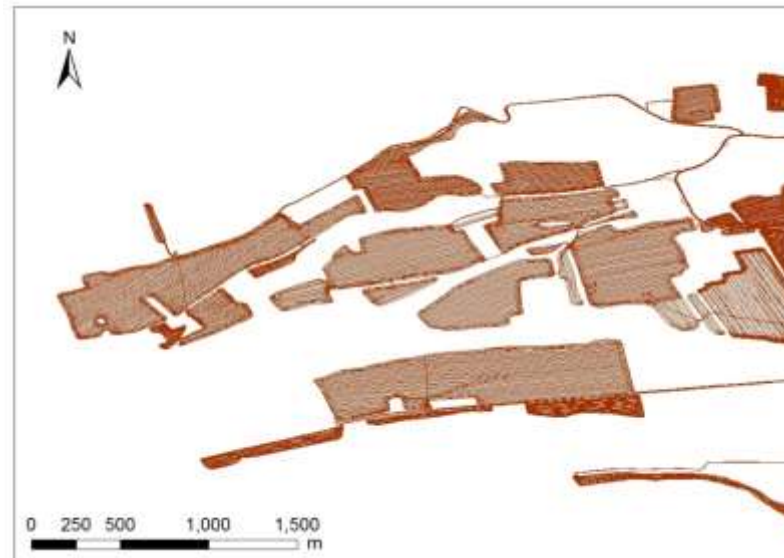
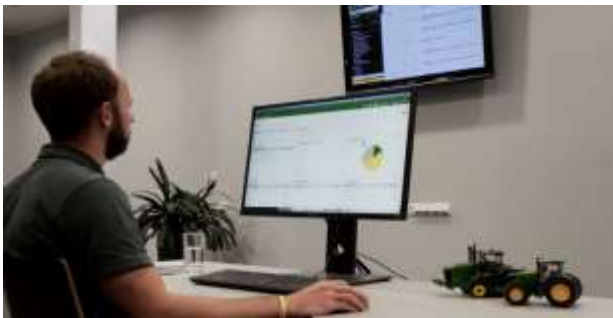
Posun k vyššímu stupni autonomie



GPS navigace a RTK korekce



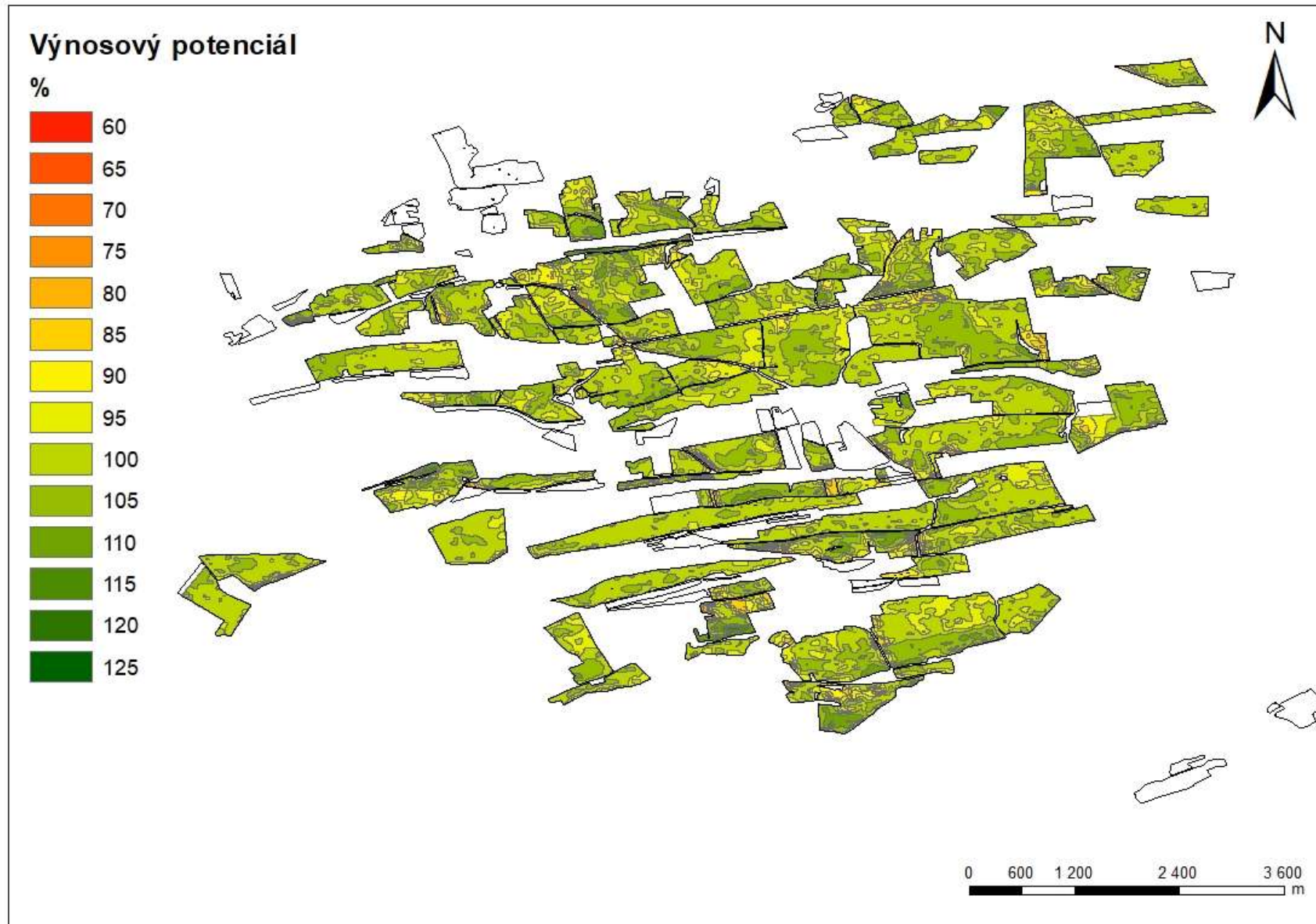
Standardizace datového přenosu,
telematika.

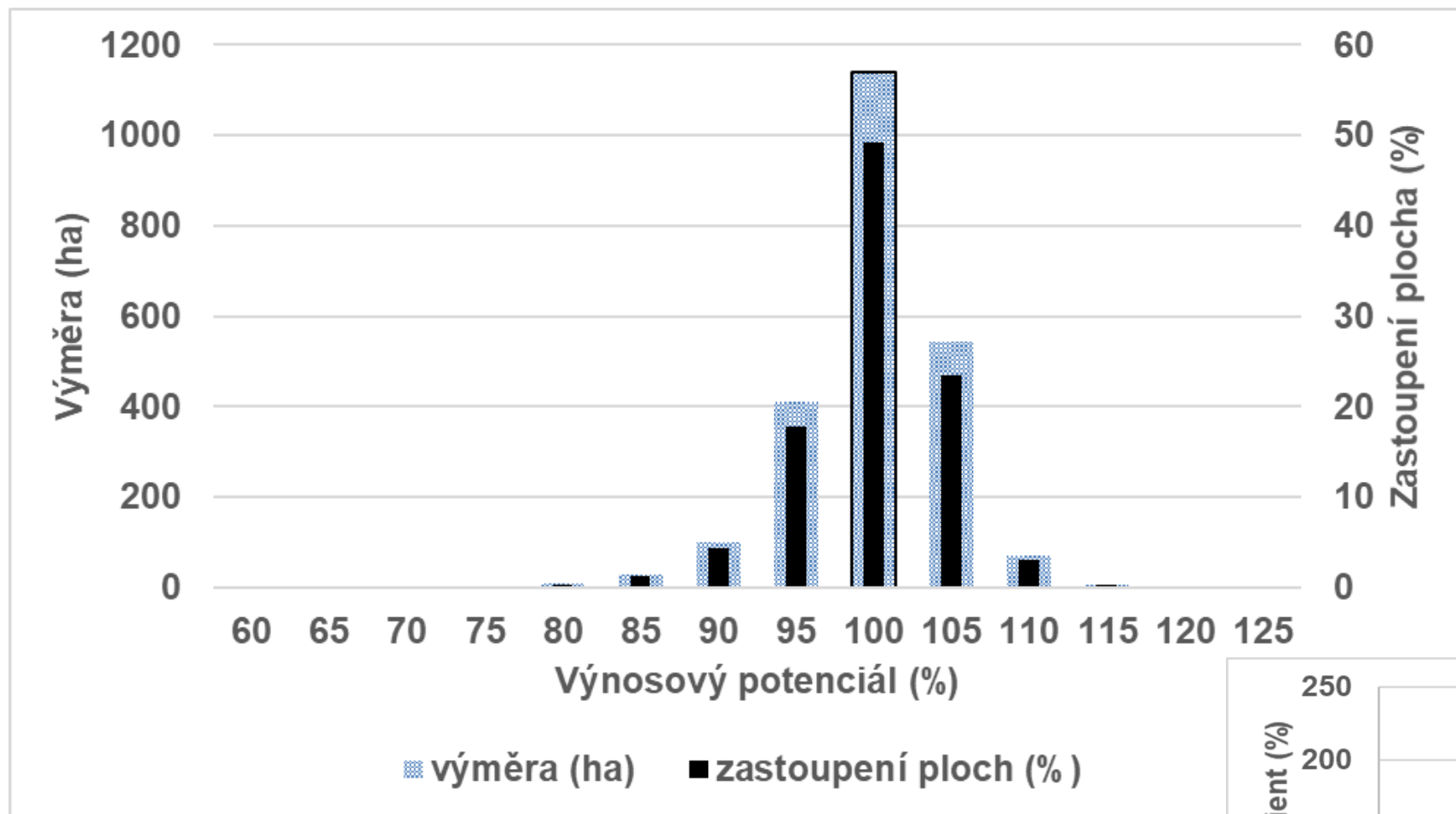


In-door farming

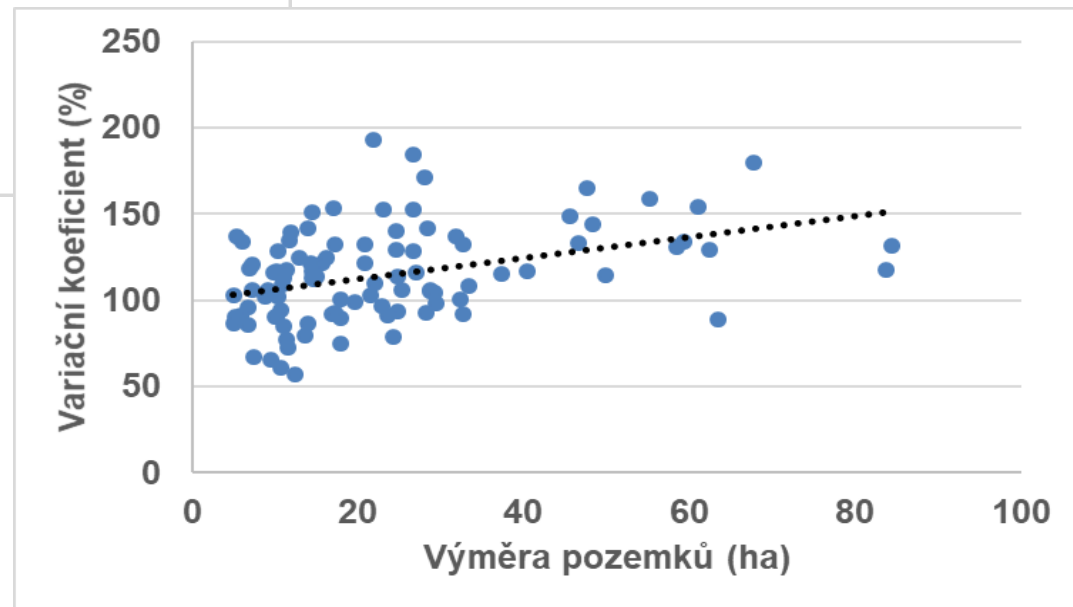


Základní informace o úrovni variability pozemků

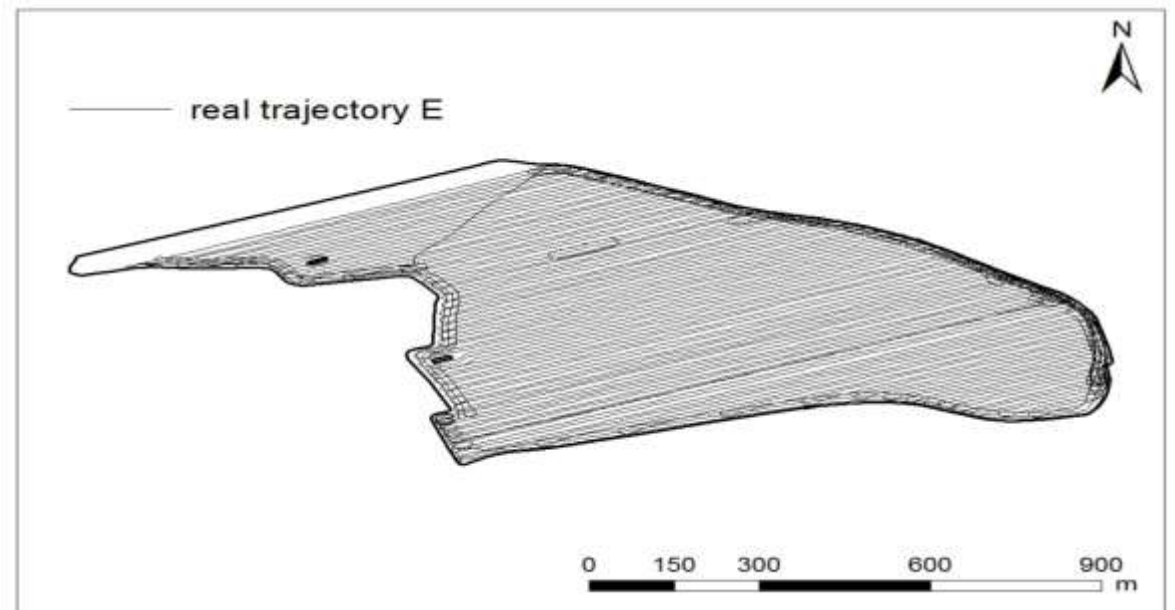
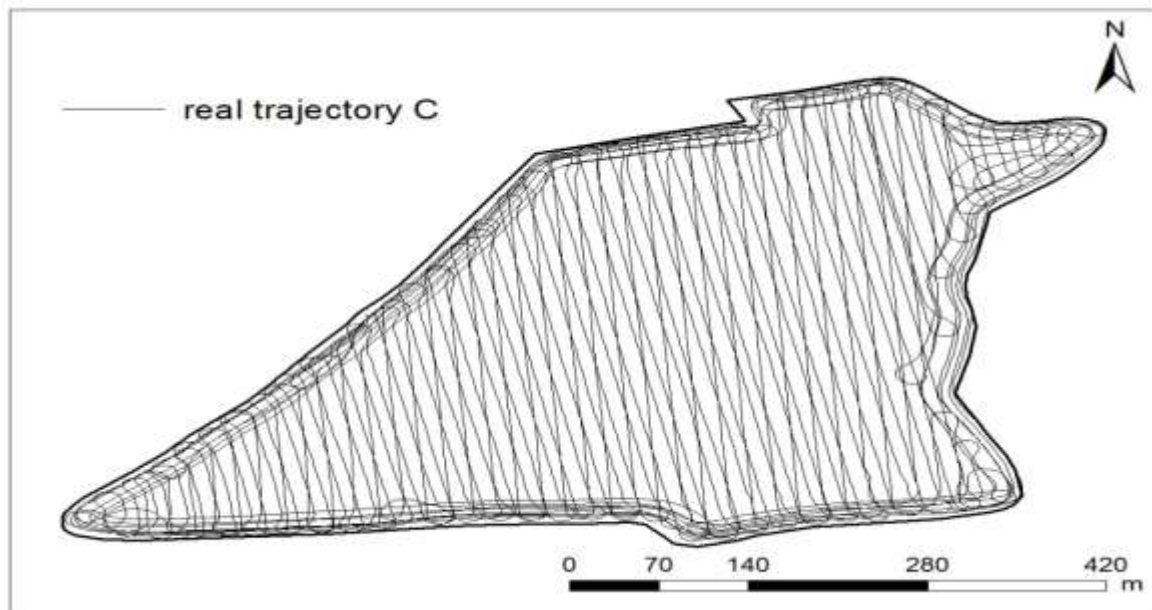
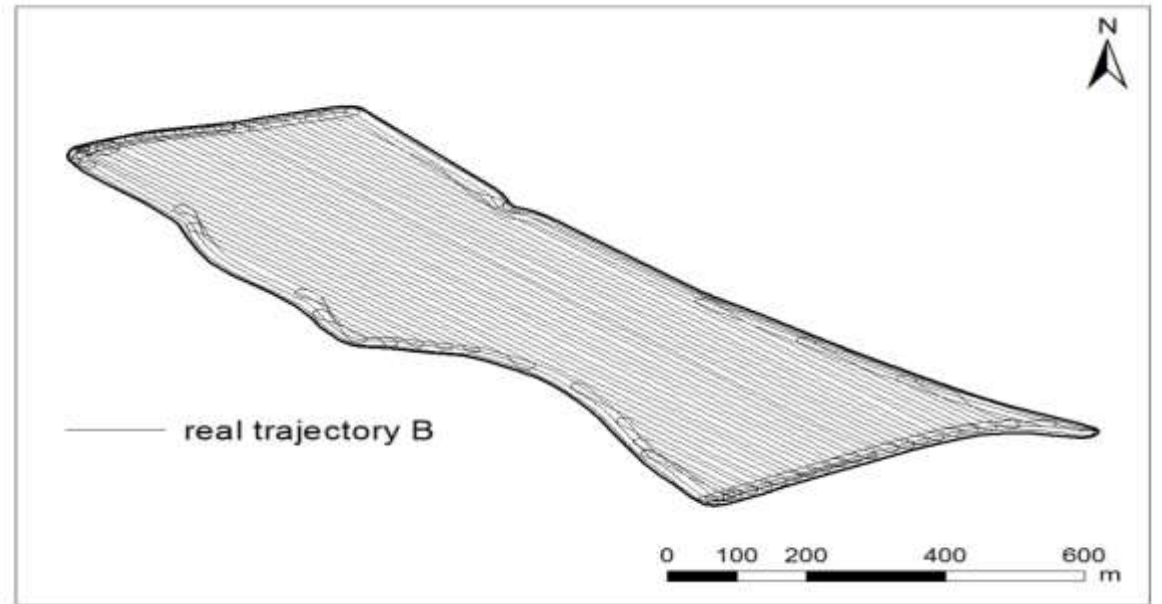
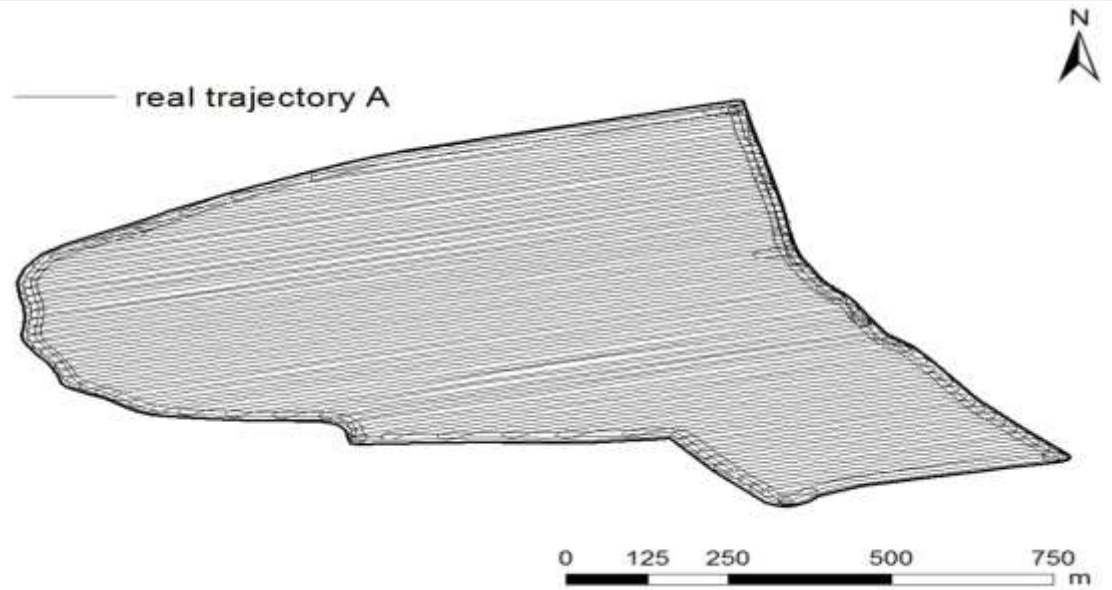


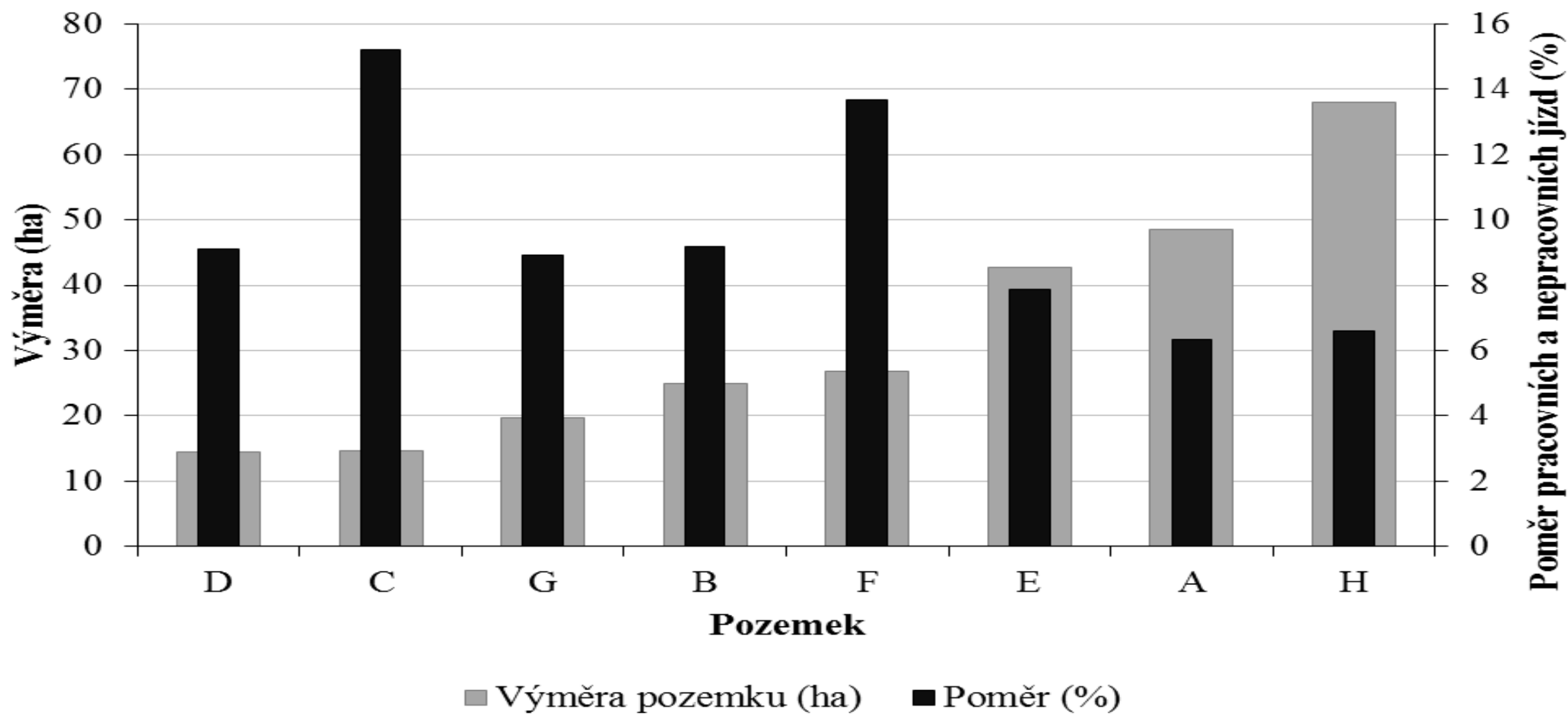


Zastoupení hodnot výnosového potenciálu.

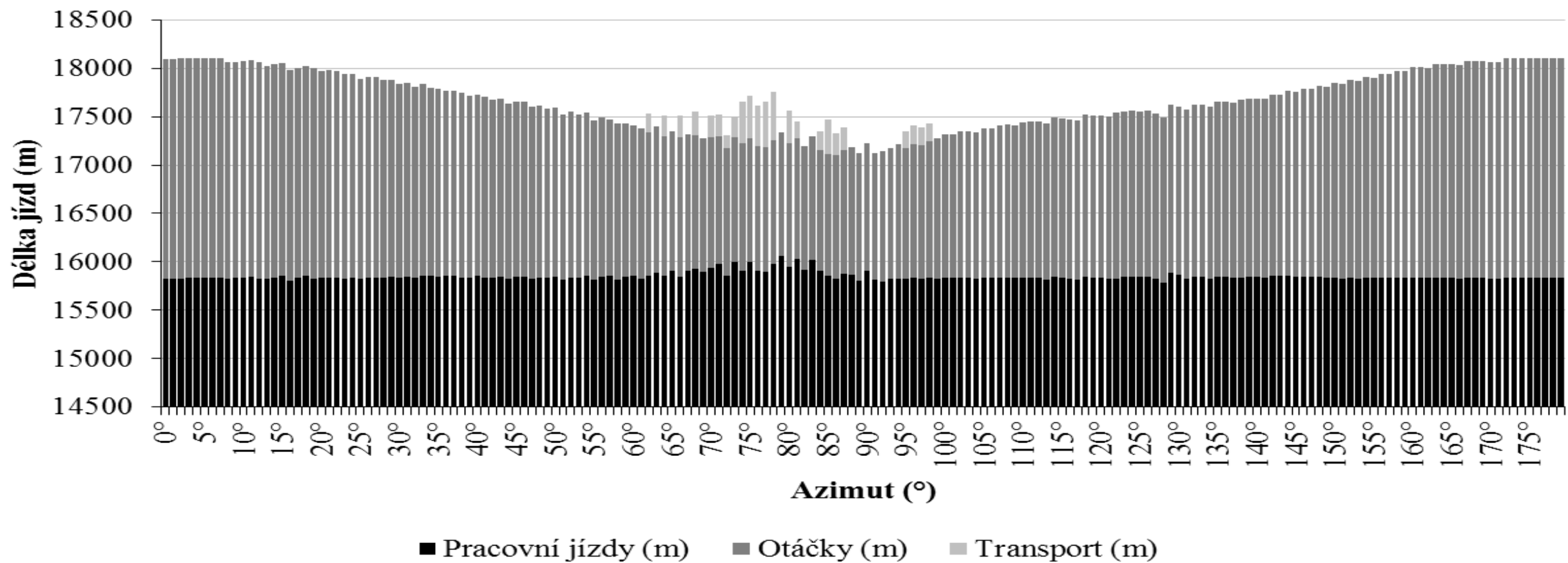


Jízda na základě odhadu nebo zkušenosti obsluhy



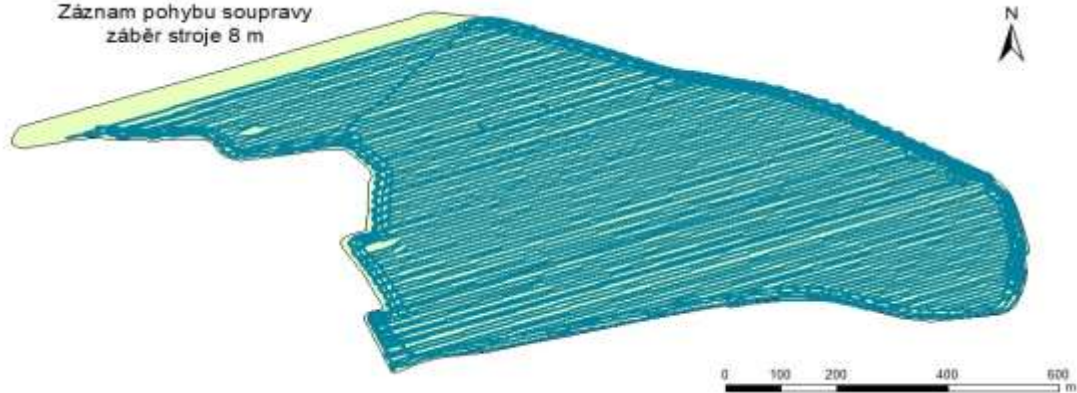


Vliv výměry pozemků na poměr pracovních a nepracovních jízd

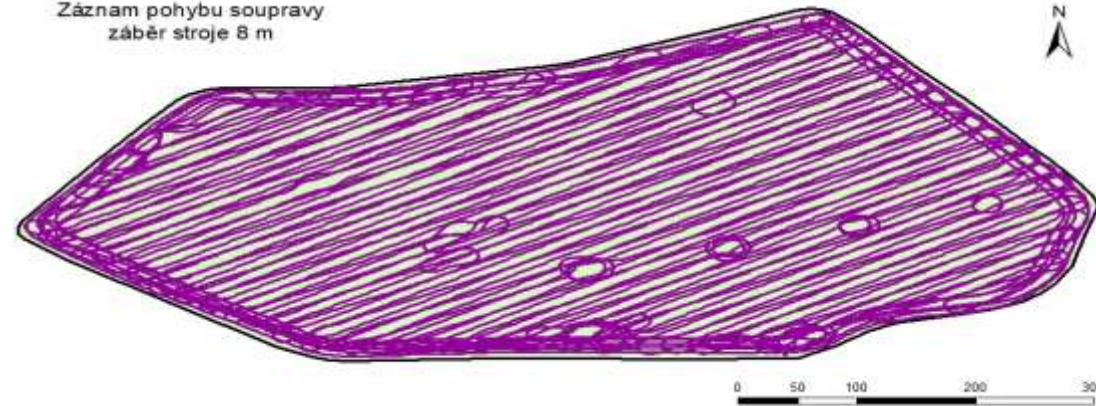


Vliv směru jízdy na pracovní a nepracovní délky jízdy.

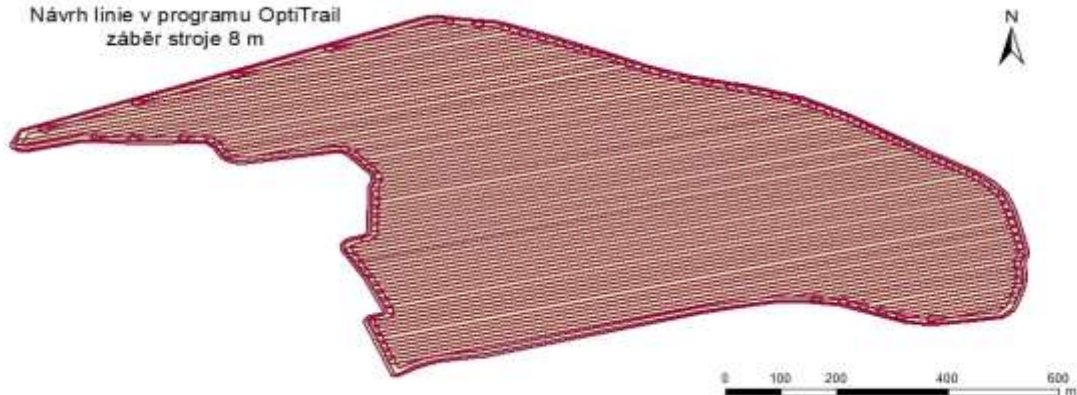
Záznam pohybu soupravy
záběr stroje 8 m



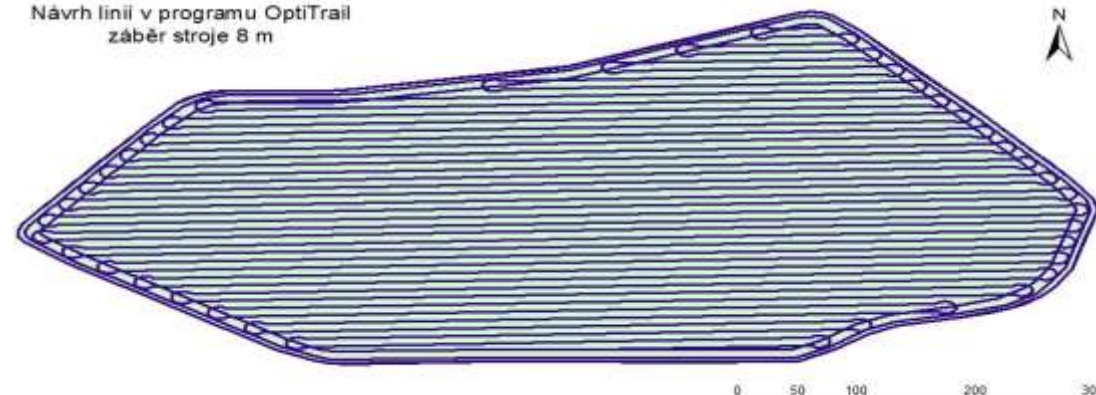
Záznam pohybu soupravy
záběr stroje 8 m



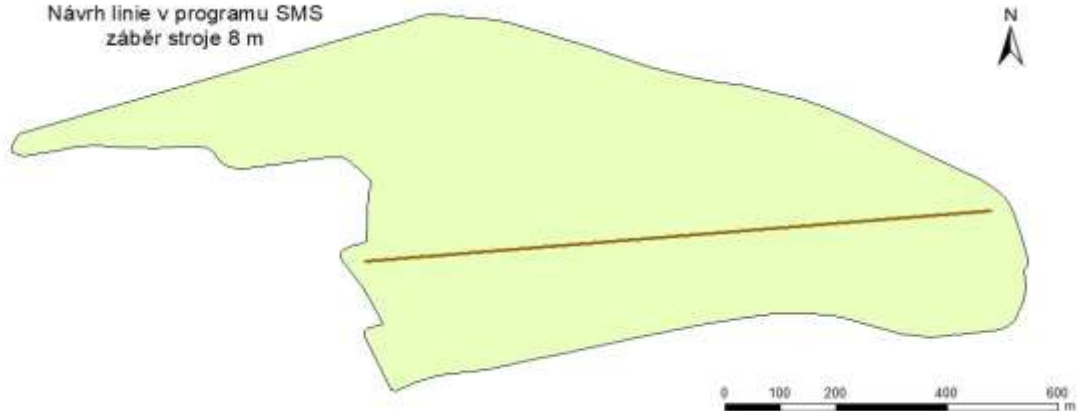
Návrh linie v programu OptiTrail
záběr stroje 8 m



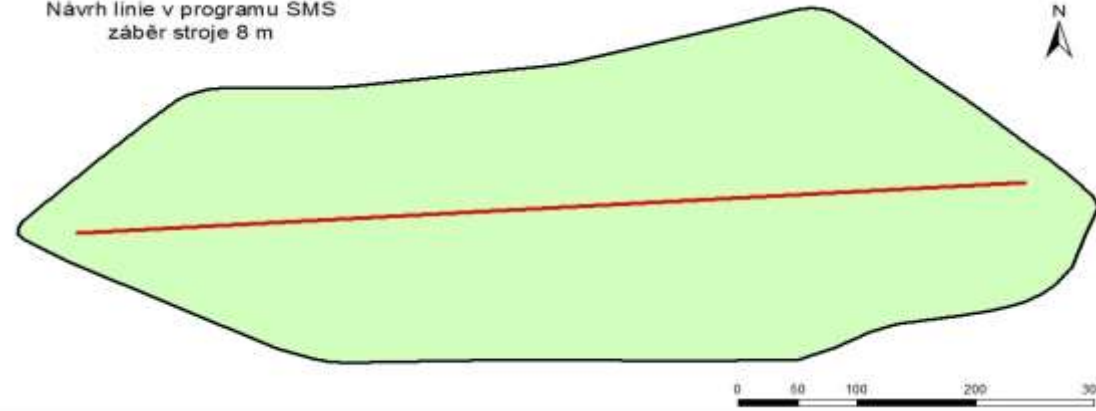
Návrh linií v programu OptiTrail
záběr stroje 8 m



Návrh linie v programu SMS
záběr stroje 8 m



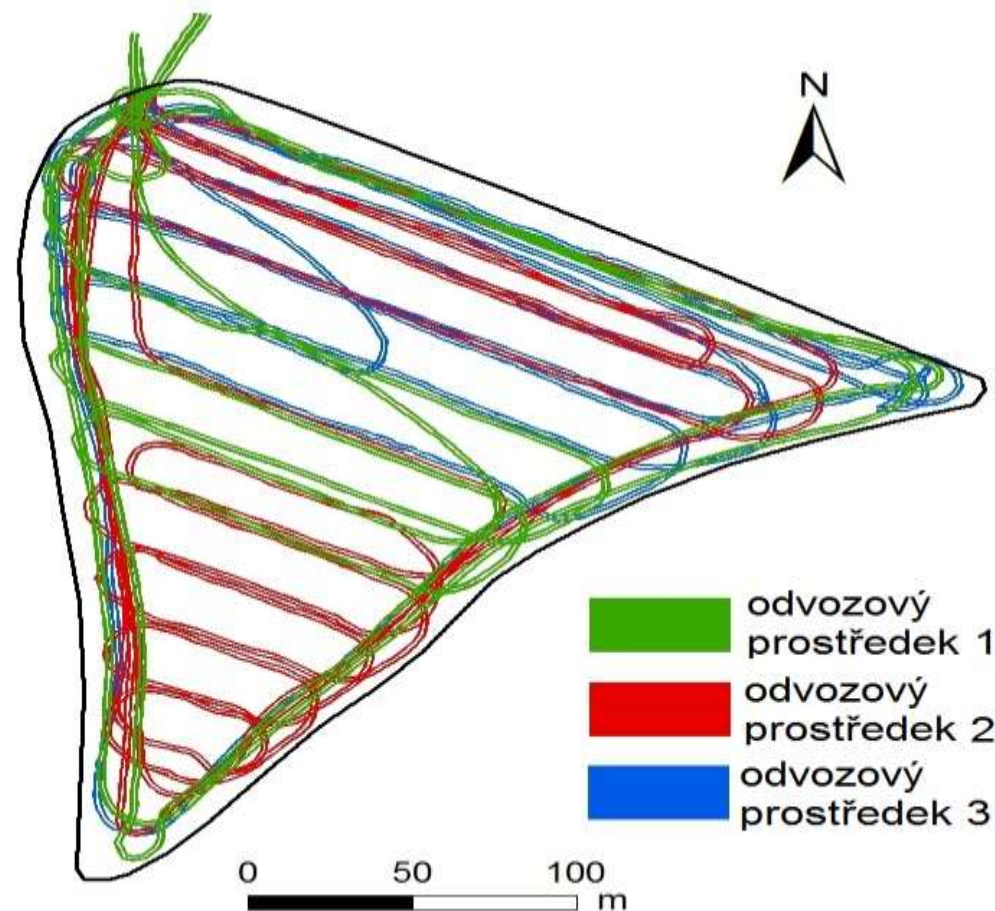
Návrh linie v programu SMS
záběr stroje 8 m



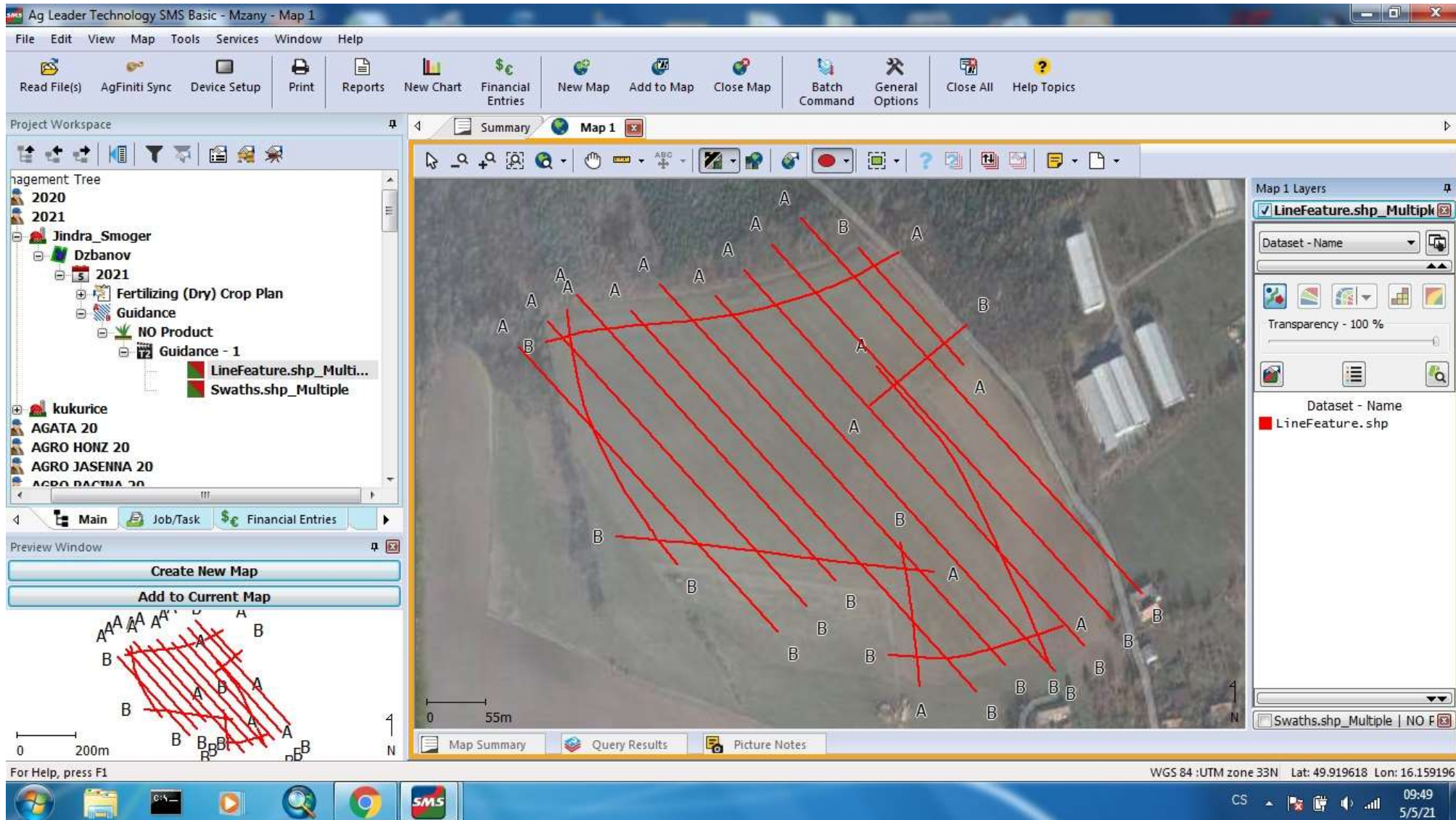
Logistické řešení pohybu strojů



Prázdný vůz sleduje soupravu po celou dobu plnění odvozového prostředku

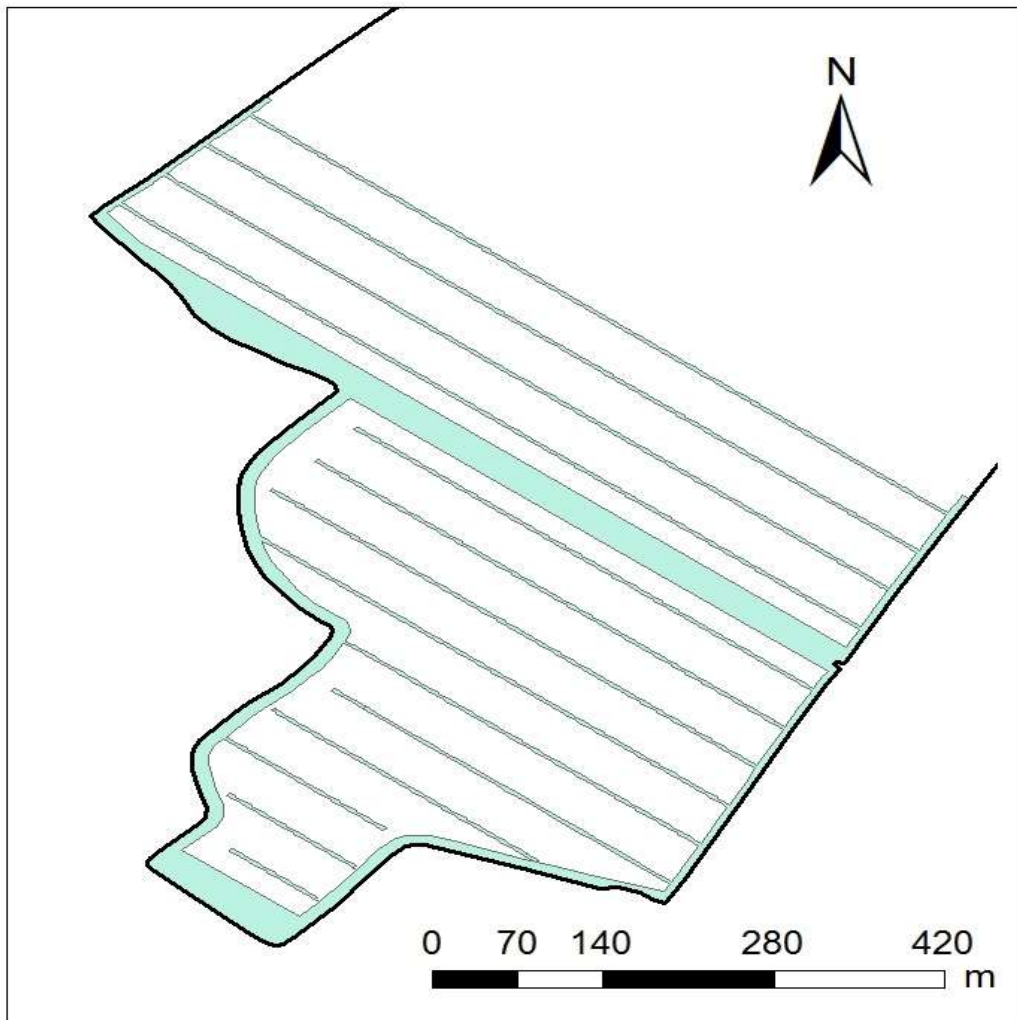


Podpora biodiverzity s využitím datových zdrojů



Záznam práce postřikovače

Ozelenění kolejových řádků



Hotový návrh pásů s možností zanesení do LPIS, nebo terminálu strojů.

Ozelenění kolejových řádků



Porost kukuřice s vynechanými pruhy pro kvetoucí rostliny (2020)



Pohled do řádku



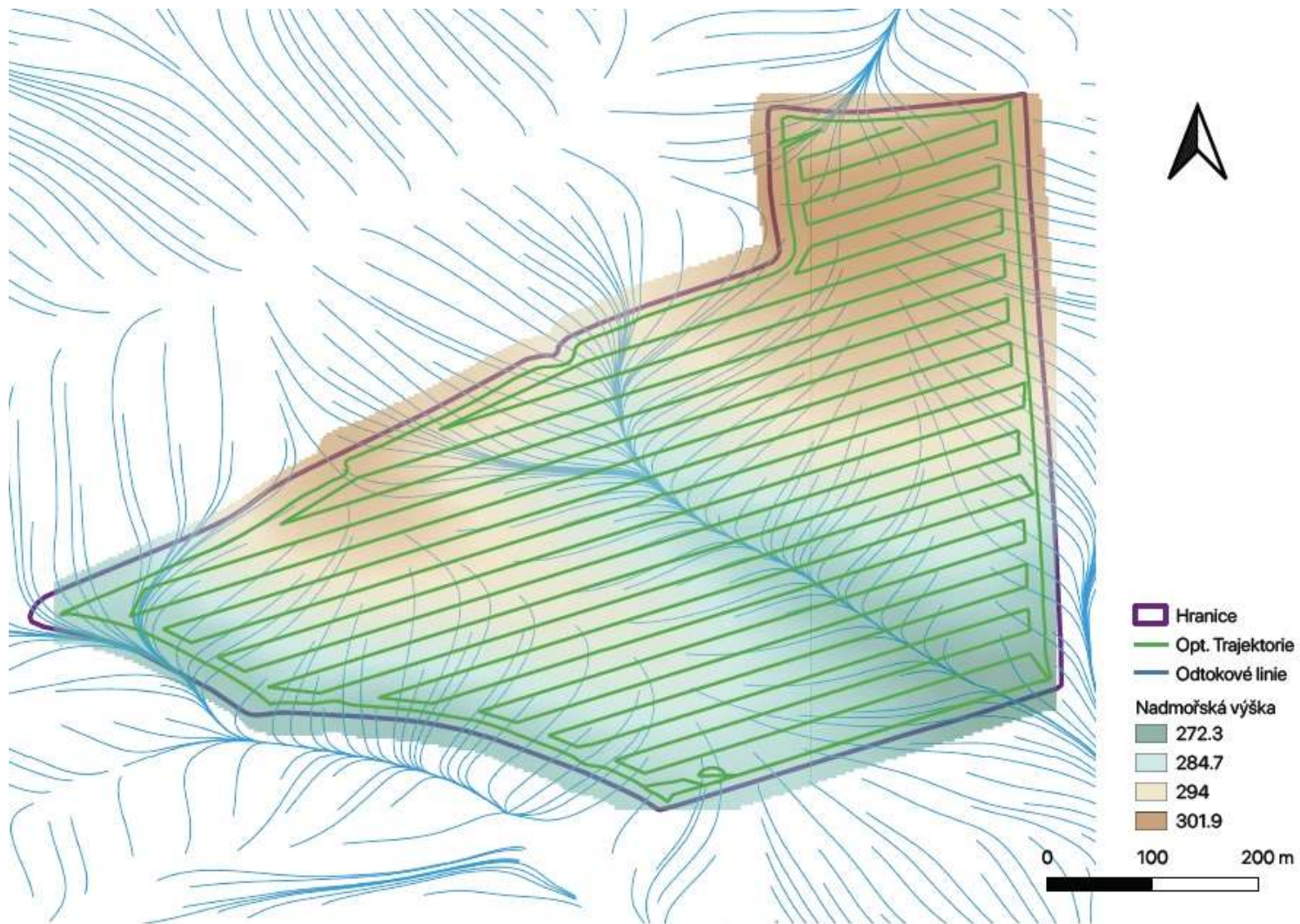
Následující rok

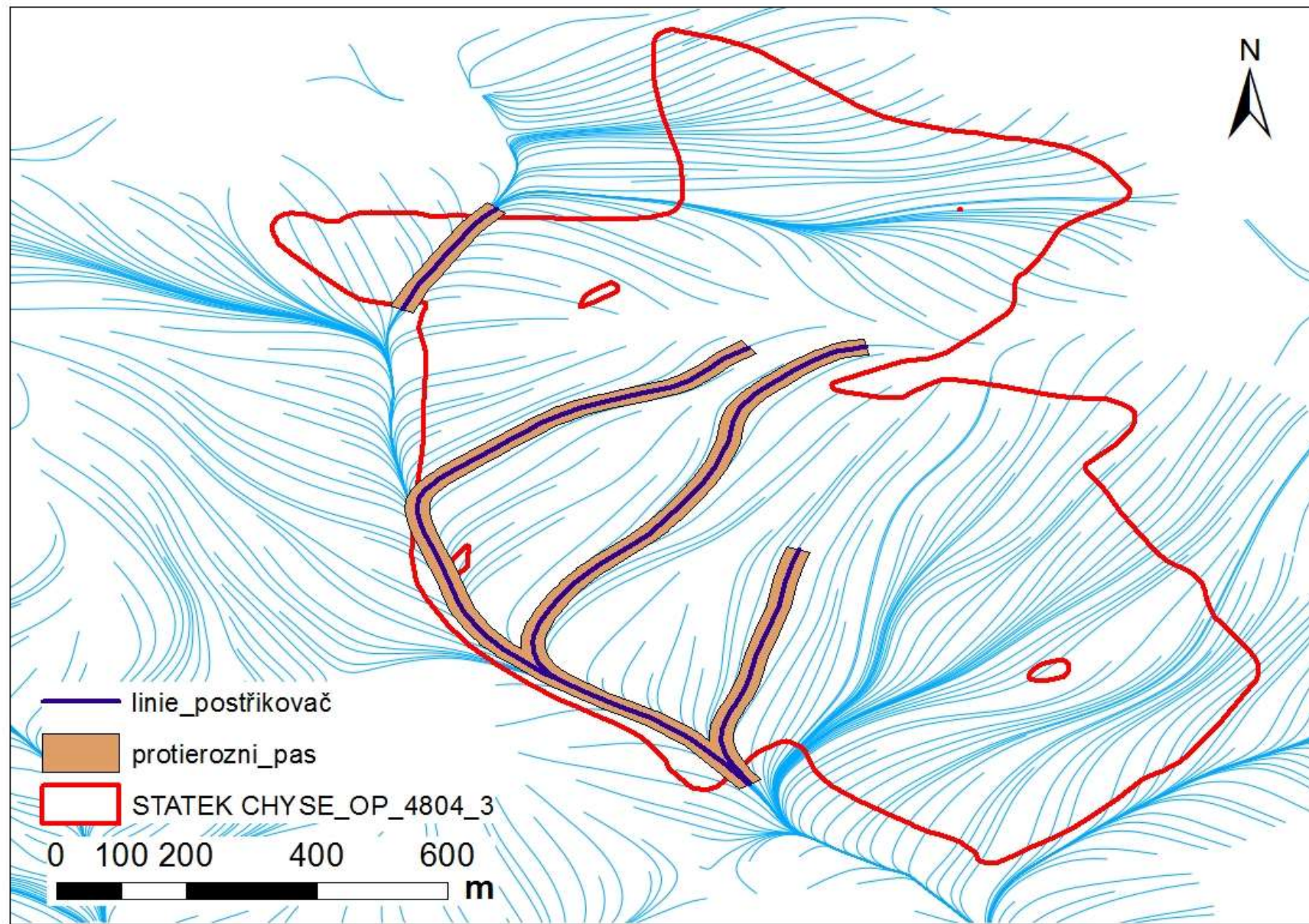
(foto: Smoger, Brant)

Zakládání protierozních opatření

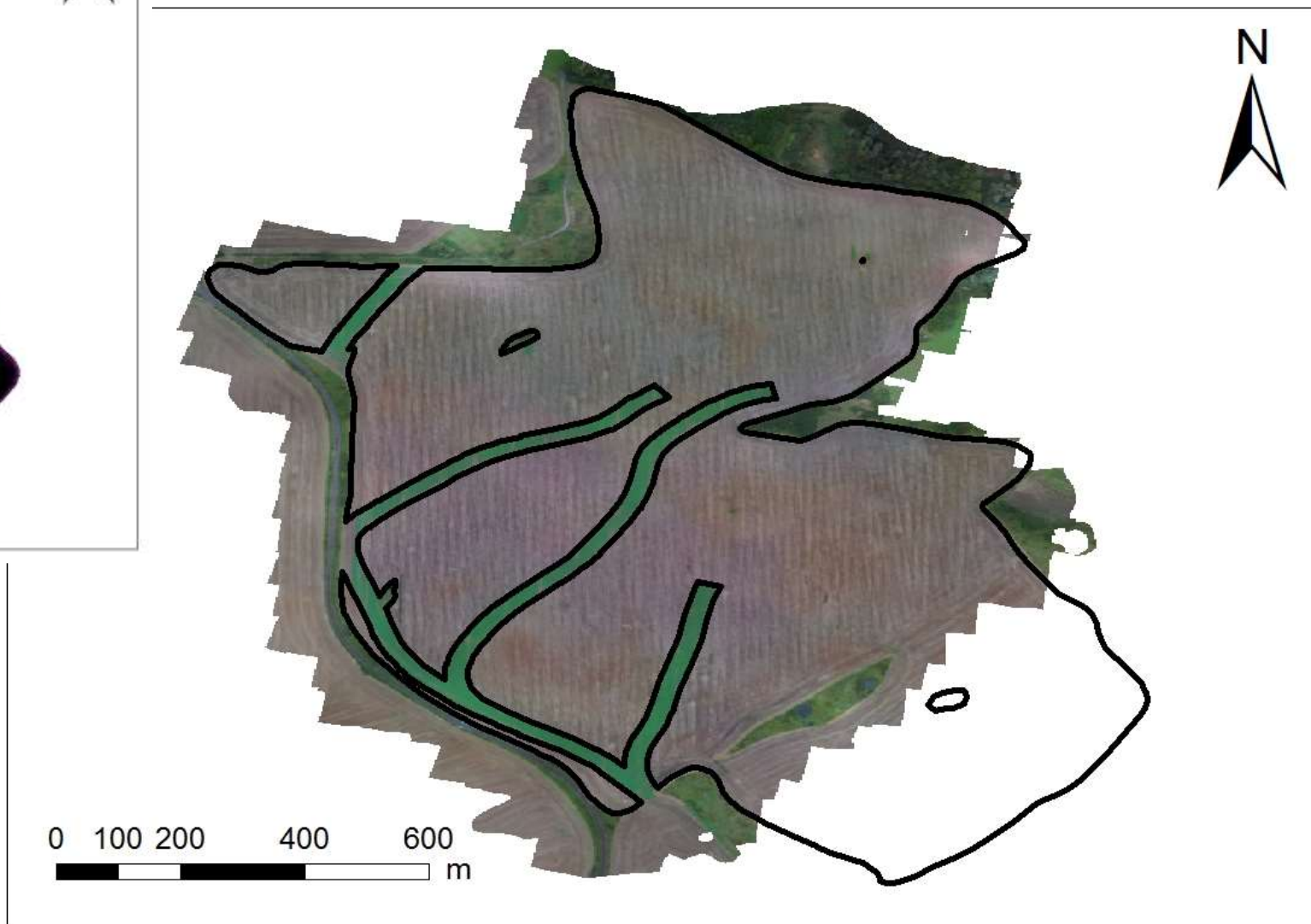
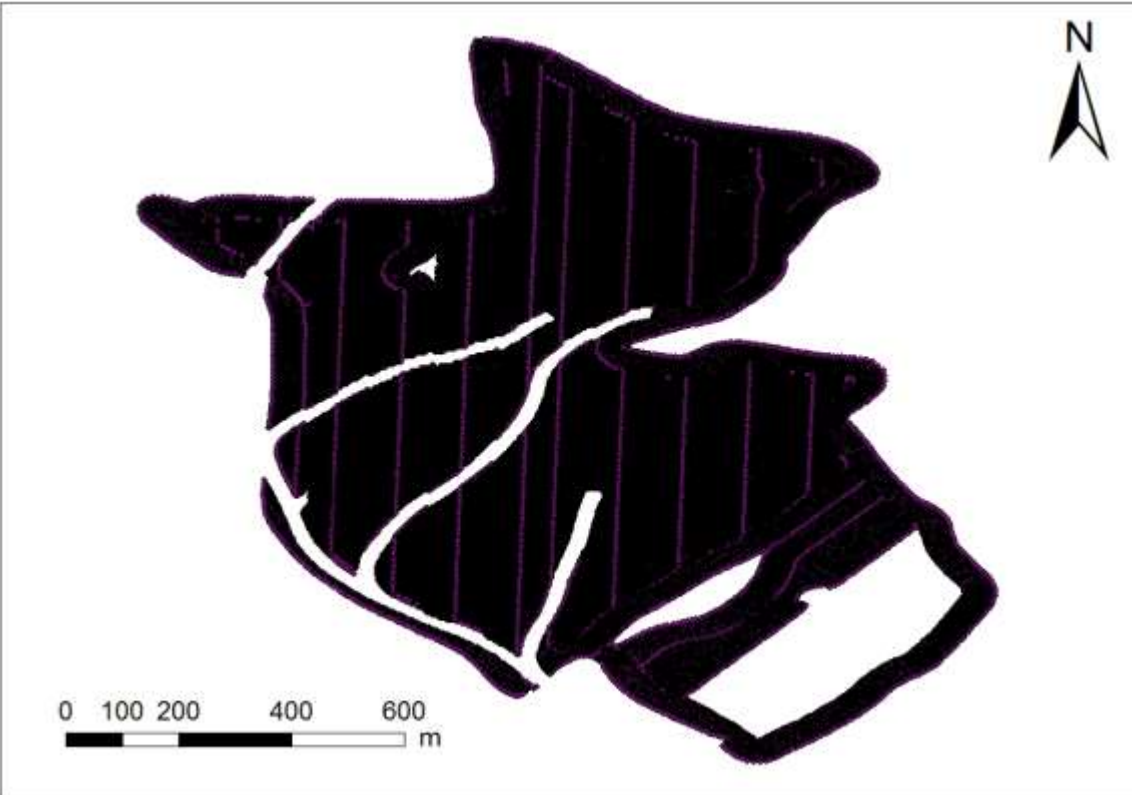


Optimalizace pohybu souprav na základě odtokových linií na pozemku





Návrh pro práci postřikovače



Záznam práce postřikovače a výsledek práce



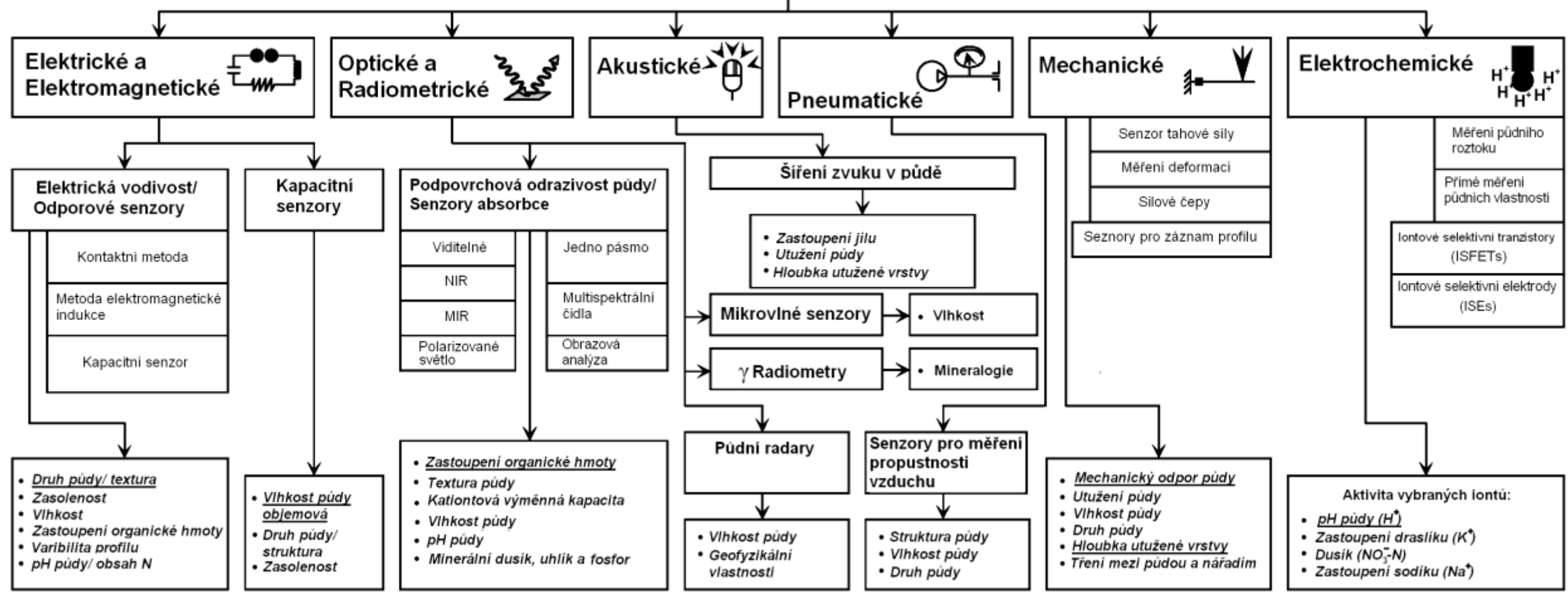
Možnost sledování parametrů práce stroje na mobilním zařízení.

Trajektorie vedené po vrstevnici

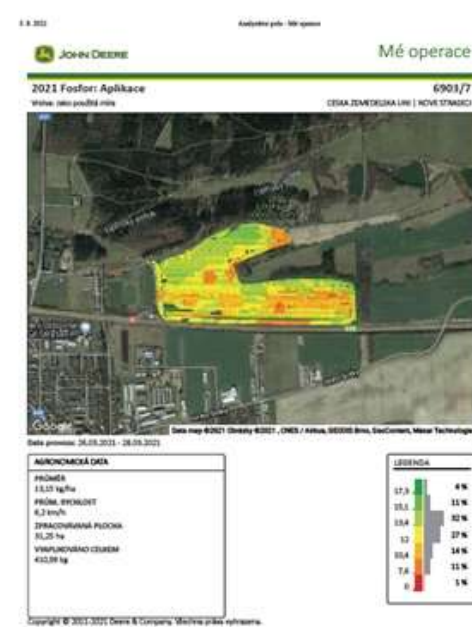
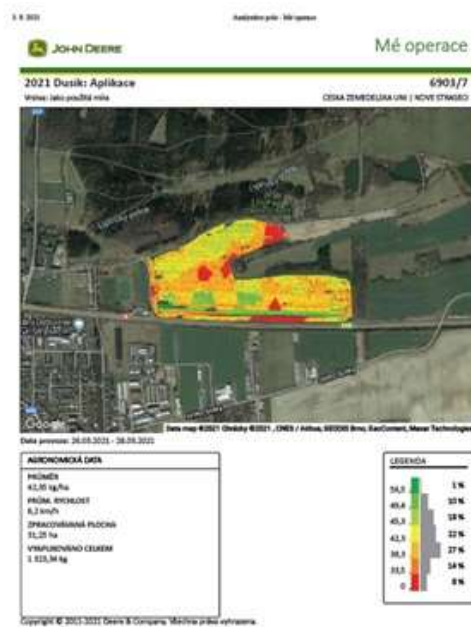
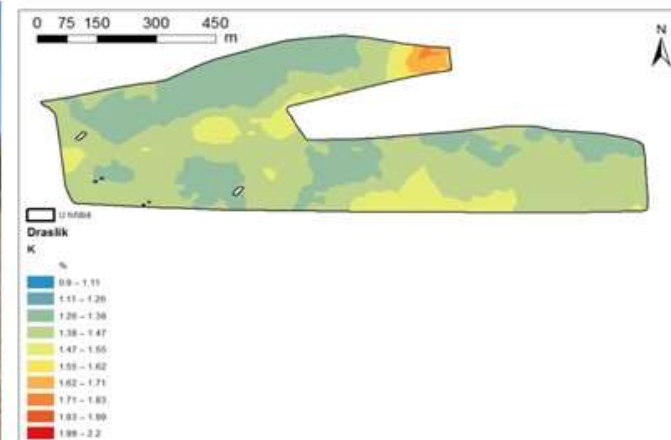
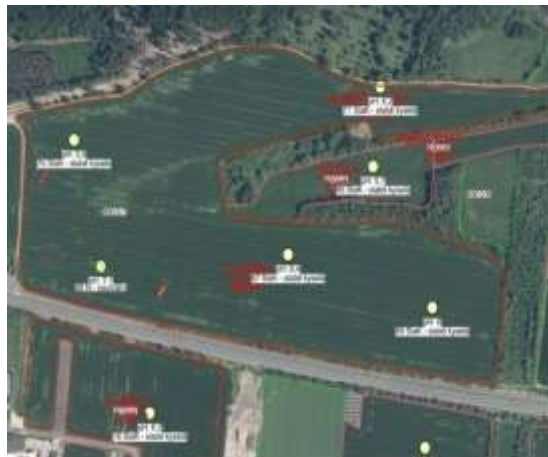




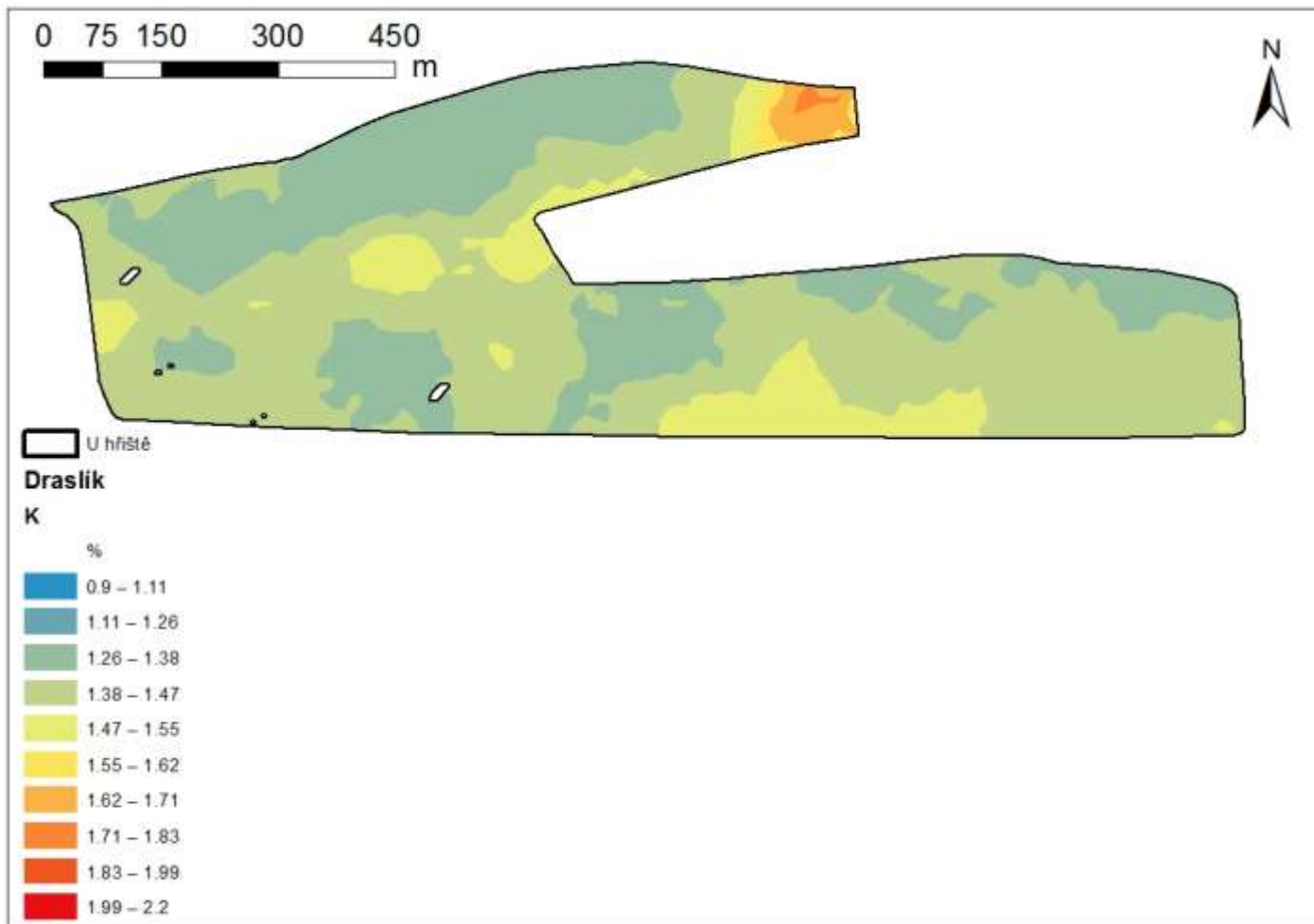
Komerčně užívané půdní On-the-Go senzory a prototypy



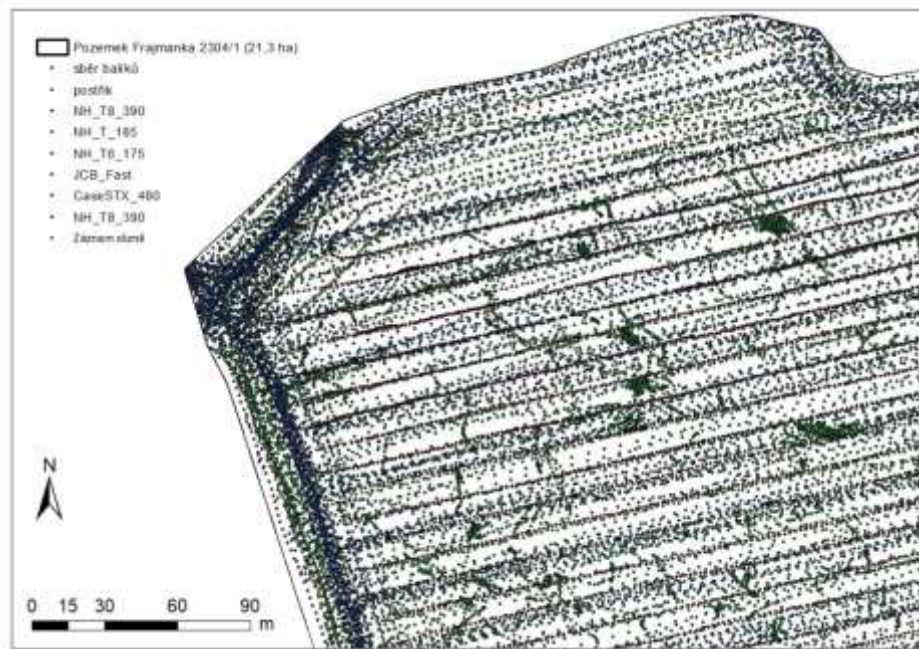
Variabilní aplikace kapalných organických hnojiv



Využití dat a telematiky pro variabilní hnojení



Sledování provozních dat strojů

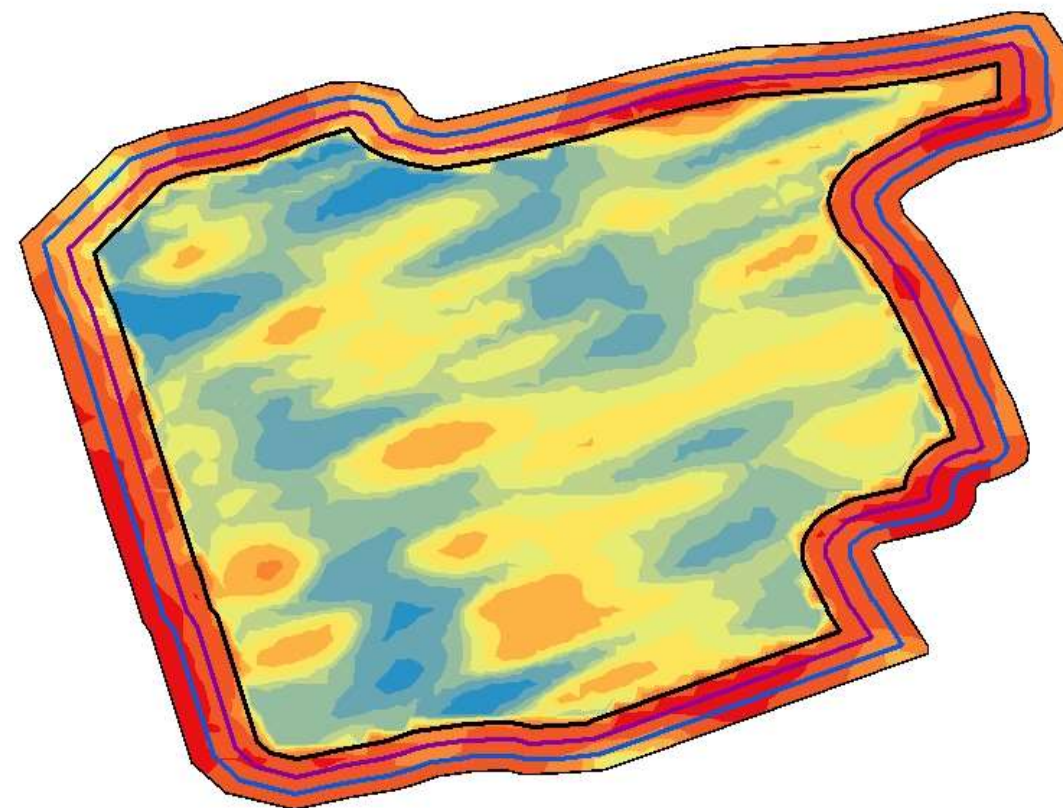


- Pozemek Frajmanka 2304/1 (21,3 ha)
- Souvrat 1
- Souvrat 2
- Souvrat 3

Spotřeba PHM celkem
Traktor CASE STX 480

l/ha

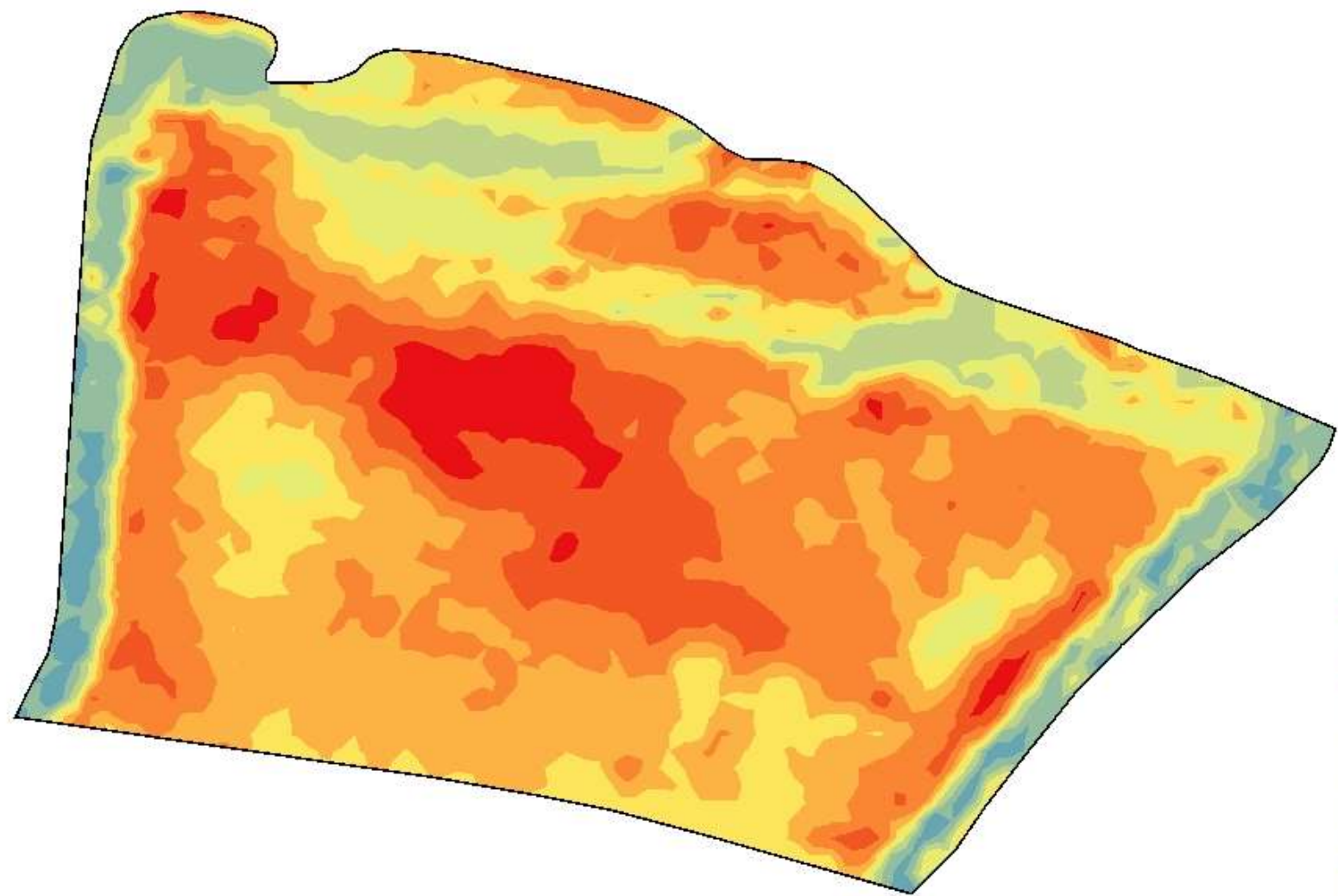
- 3,6 – 4,63
- 4,63 – 5,32
- 5,32 – 5,79
- 5,79 – 6,11
- 6,11 – 6,56
- 6,56 – 7,25
- 7,25 – 8,28
- 8,28 – 9,82
- 9,82 – 12,11
- 12,11 – 15,52

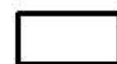


0 50 100 200 300 m

Záznam spotřeby pohonných hmot

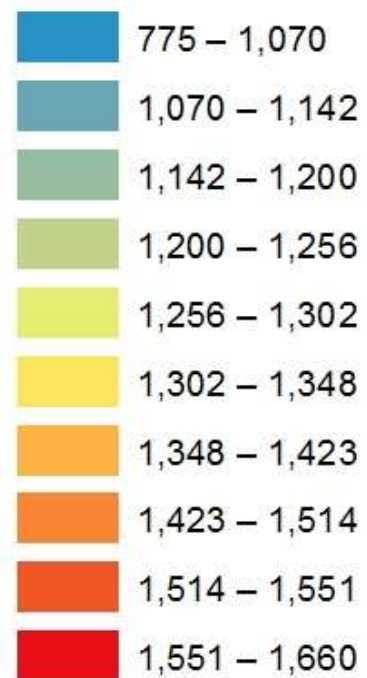




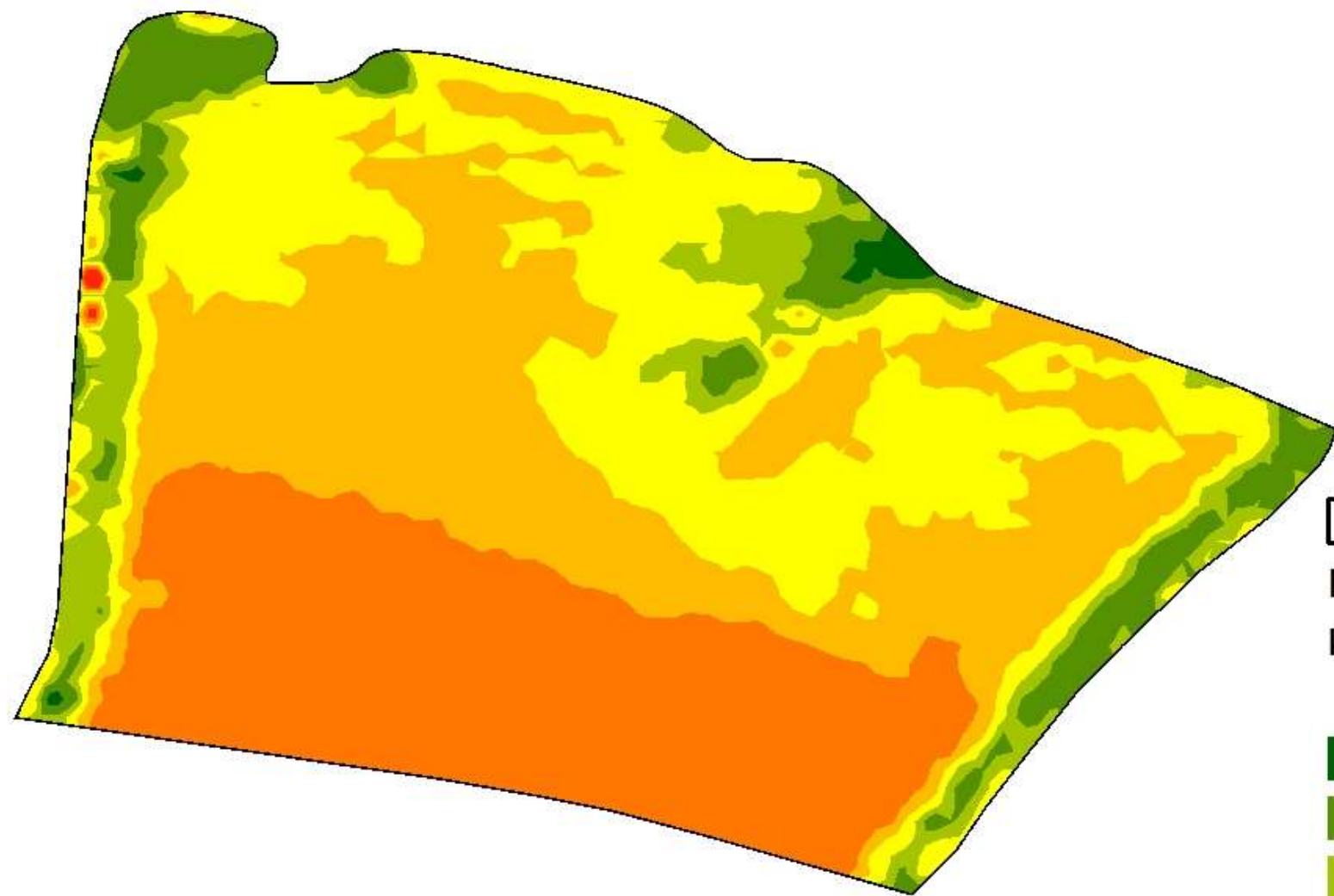
 pozemek 8001/6

**Otáčky motoru
-/min**

Claas Xerion



Záznam otáček motoru traktoru.



 pozemek 8001/6

Pracovní rychlost
km/hod

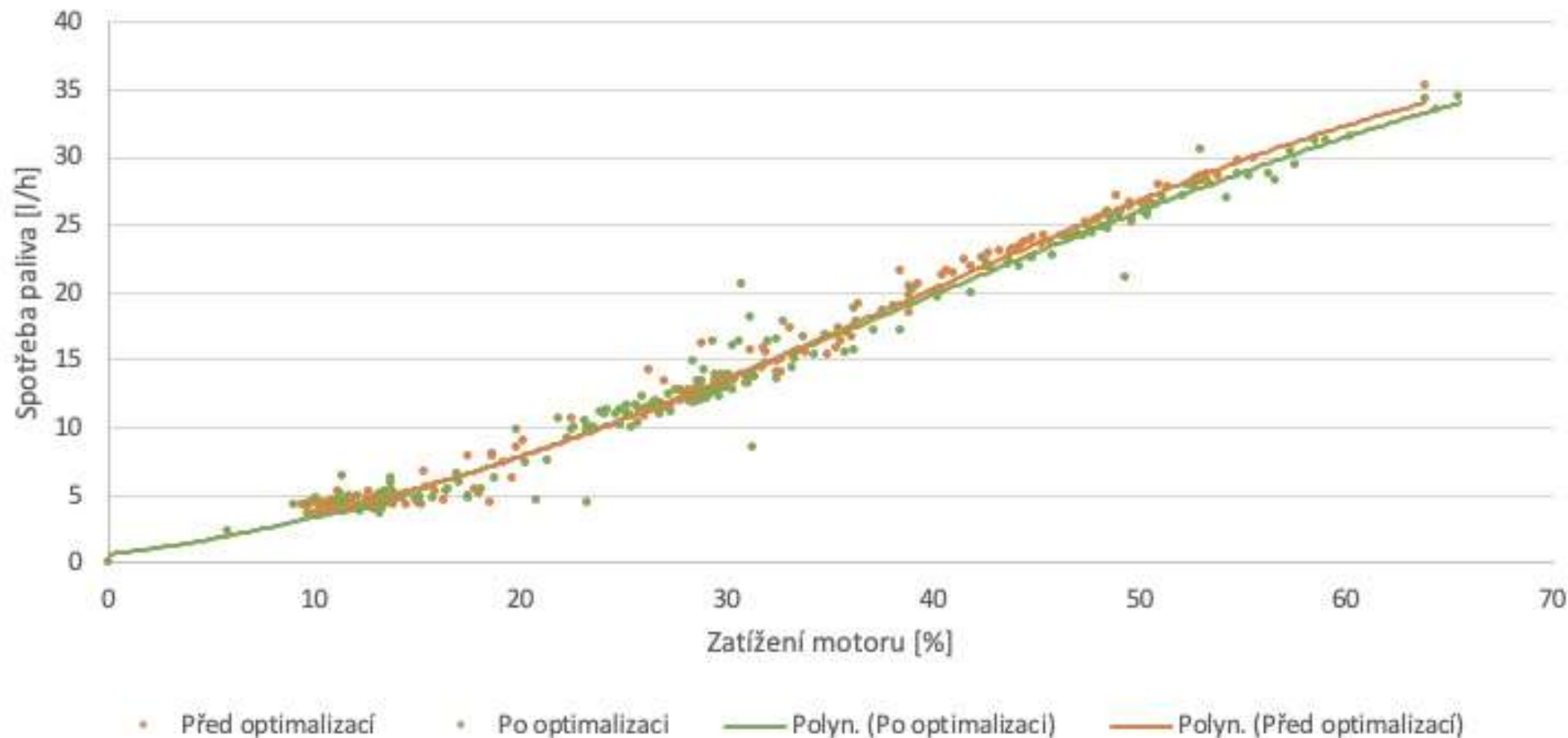
Claas Xerion

-  5.1 – 7.6
-  7.6 – 9.2
-  9.2 – 10.1
-  10.1 – 11.2
-  11.2 – 12.3
-  12.3 – 13.3
-  13.3 – 14.8

Záznam pracovní rychlosti soupravy

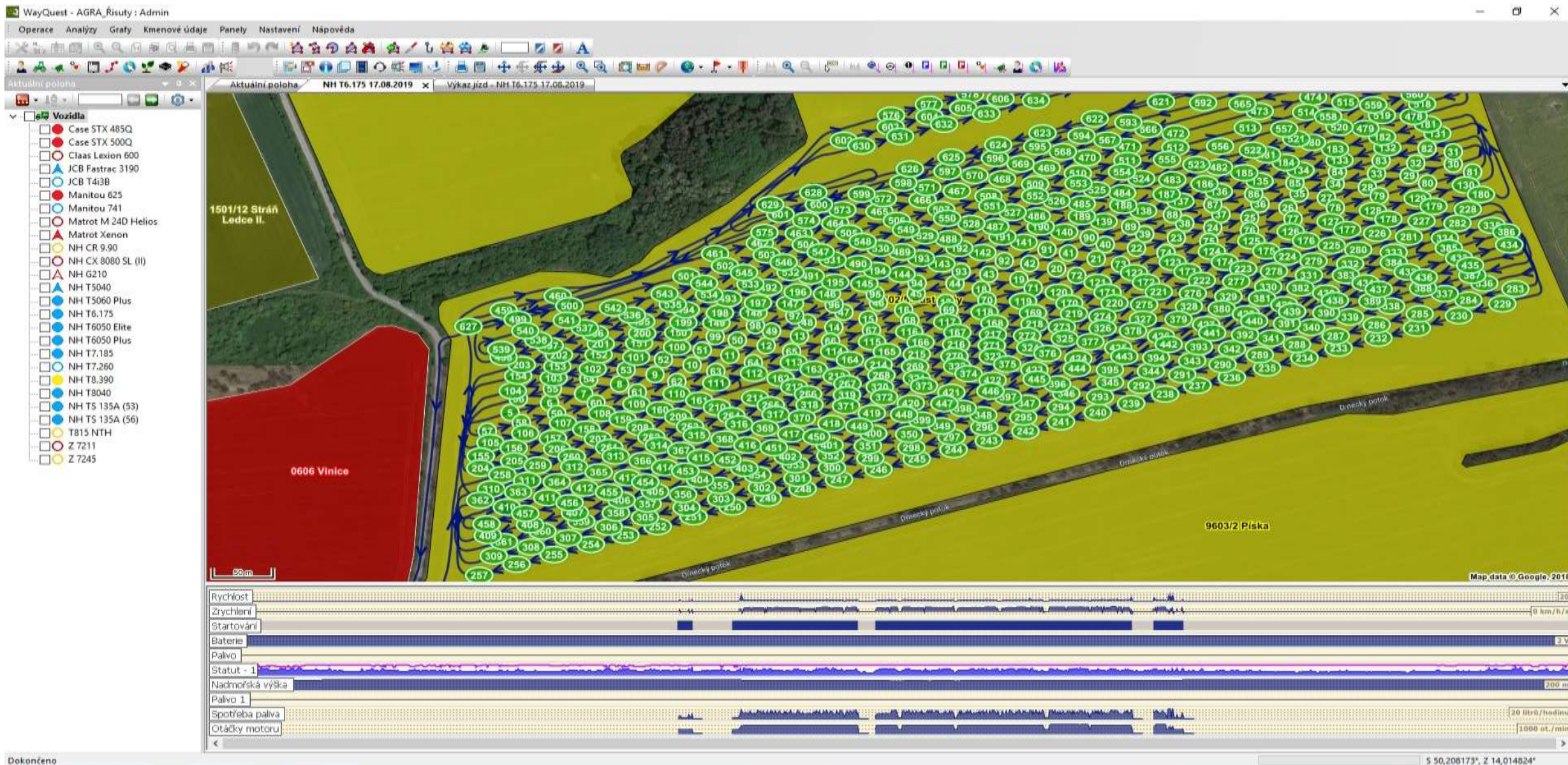
Optimalizace nastavení traktorových souprav

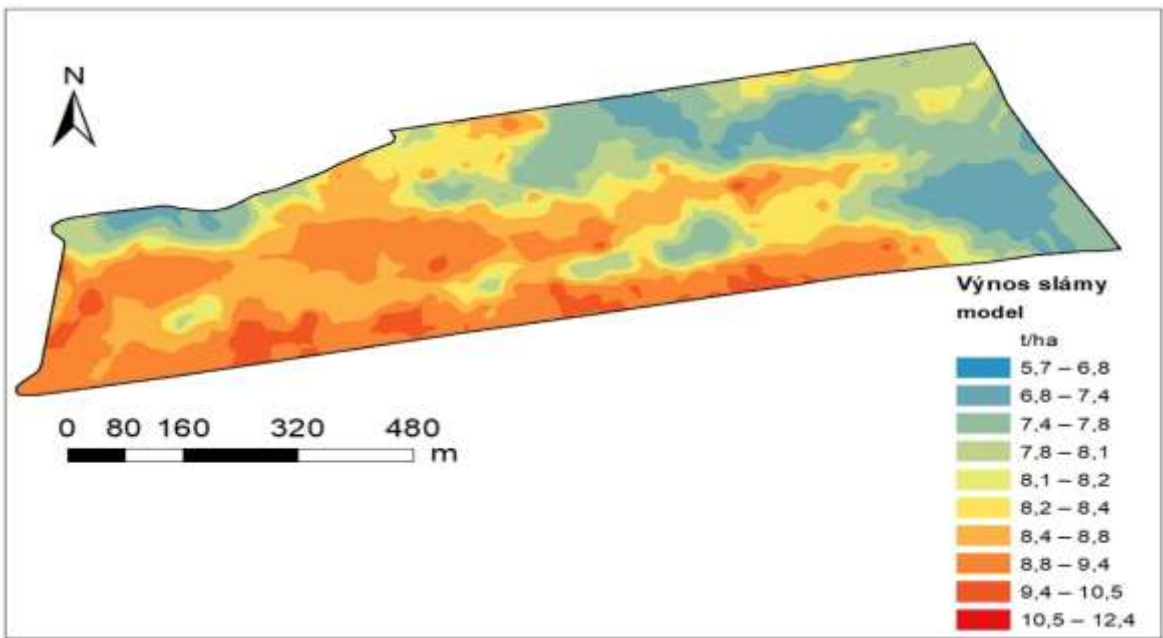
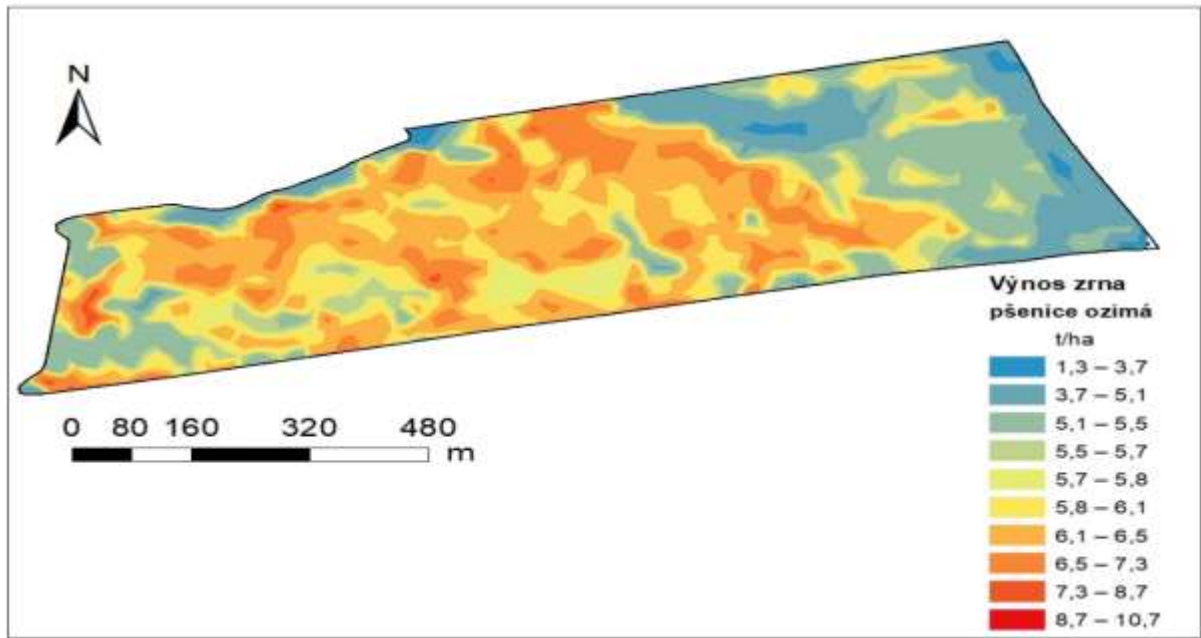
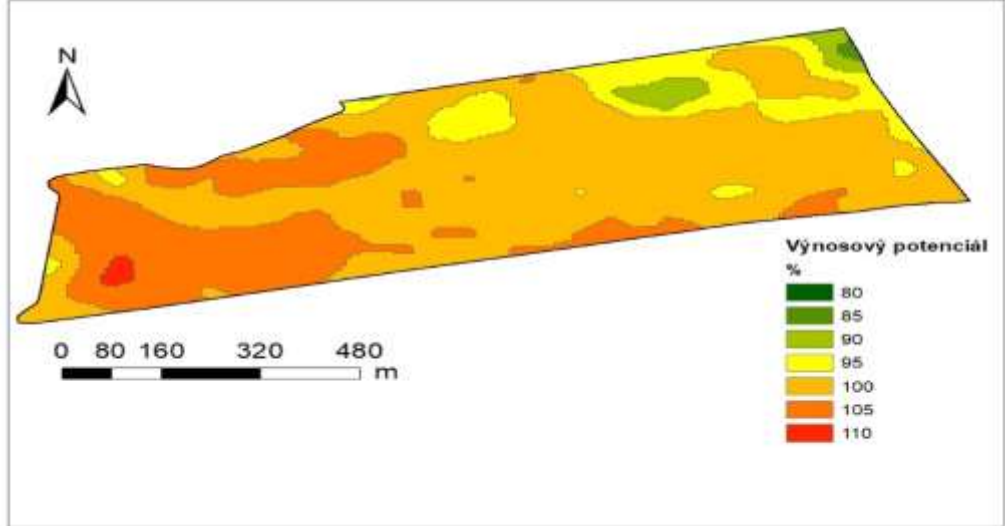
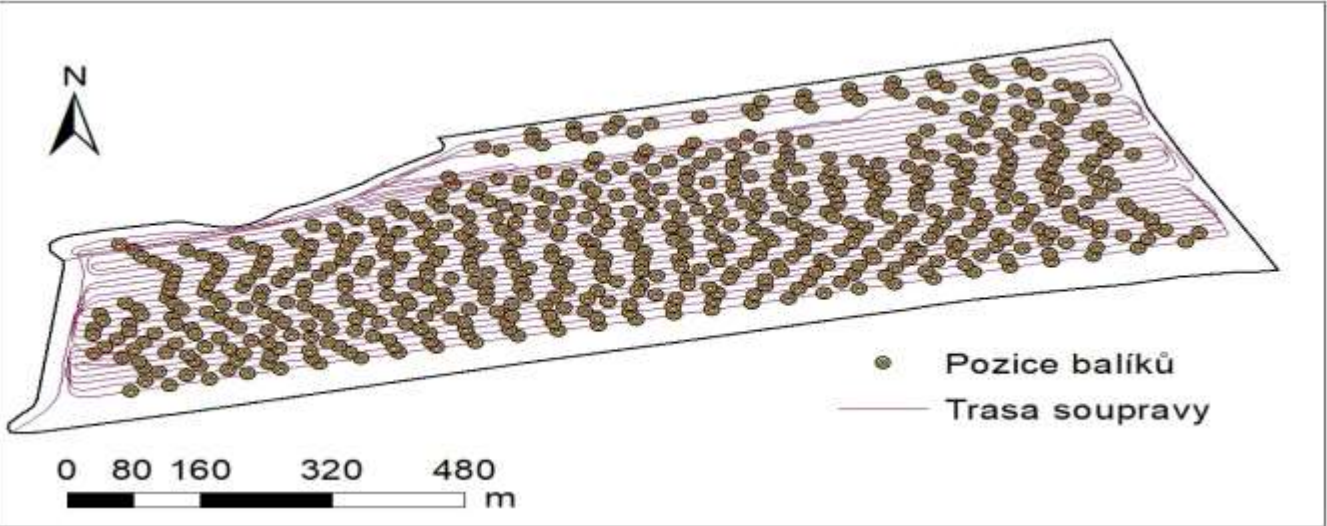
Závislost spotřeby na zatížení motoru



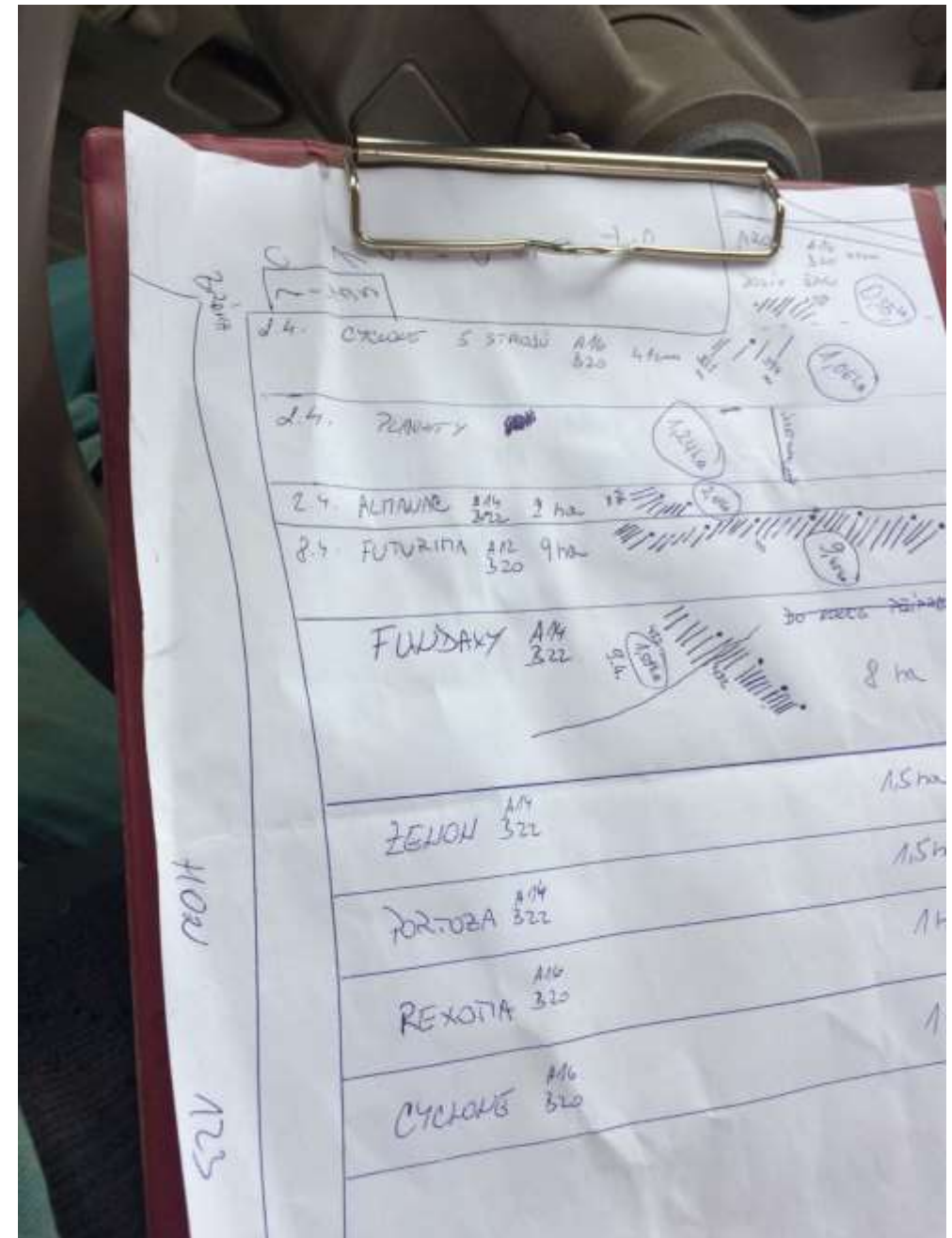
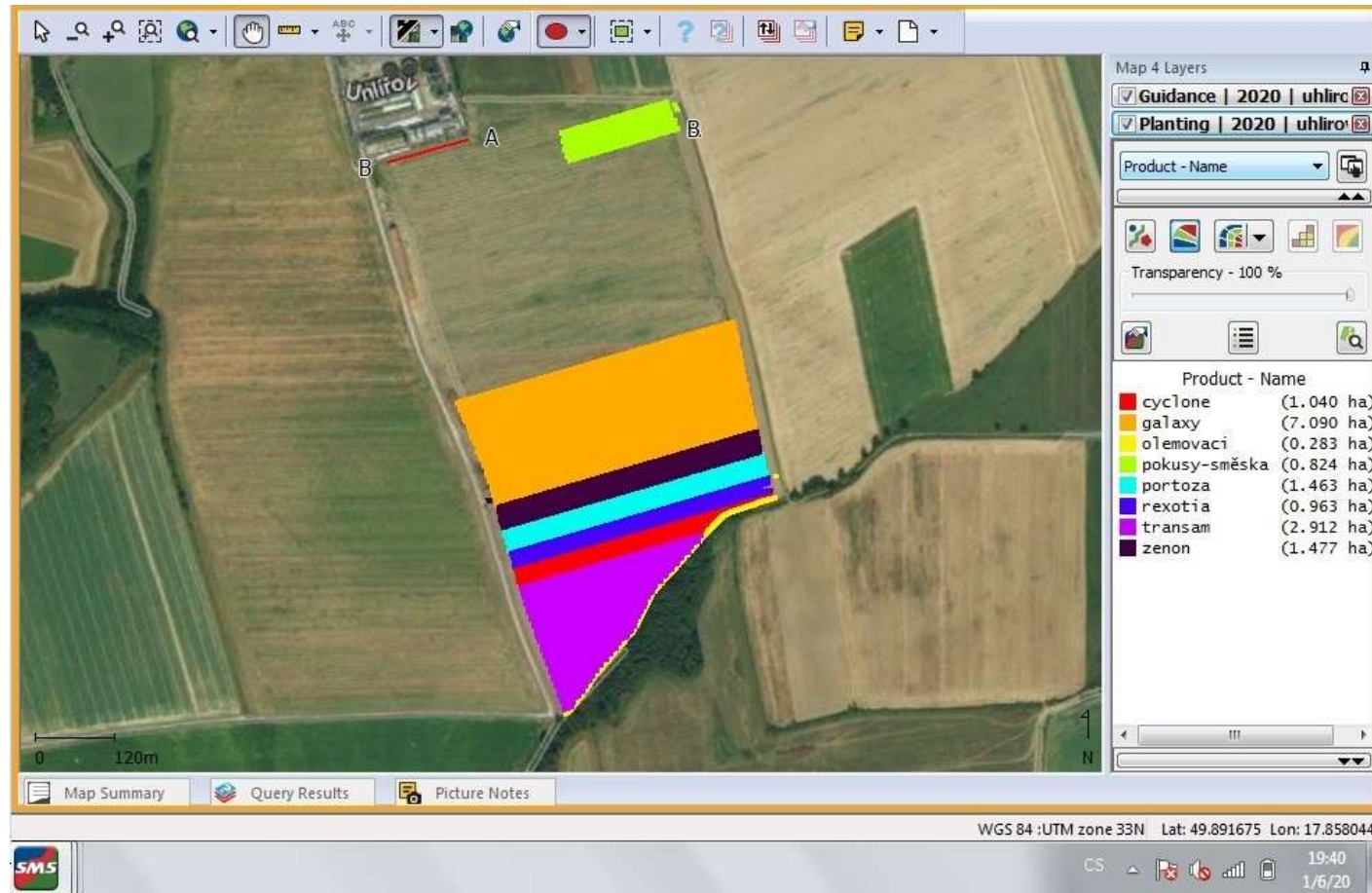
Výstupy optimalizace pracovní soupravy na základě rozboru telematických dat.

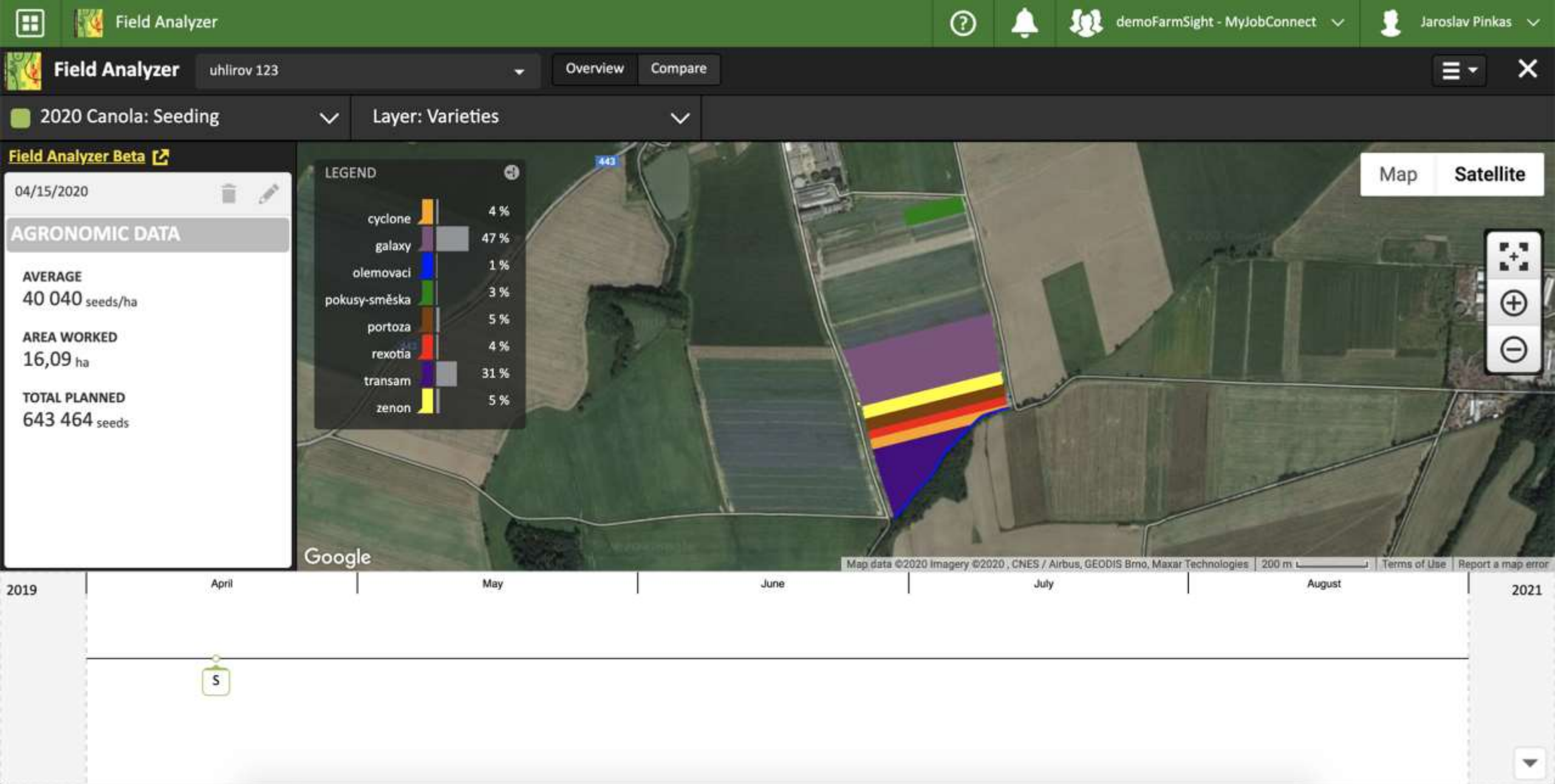
Telematika a vzdálená správa dat





Zakládání porostů



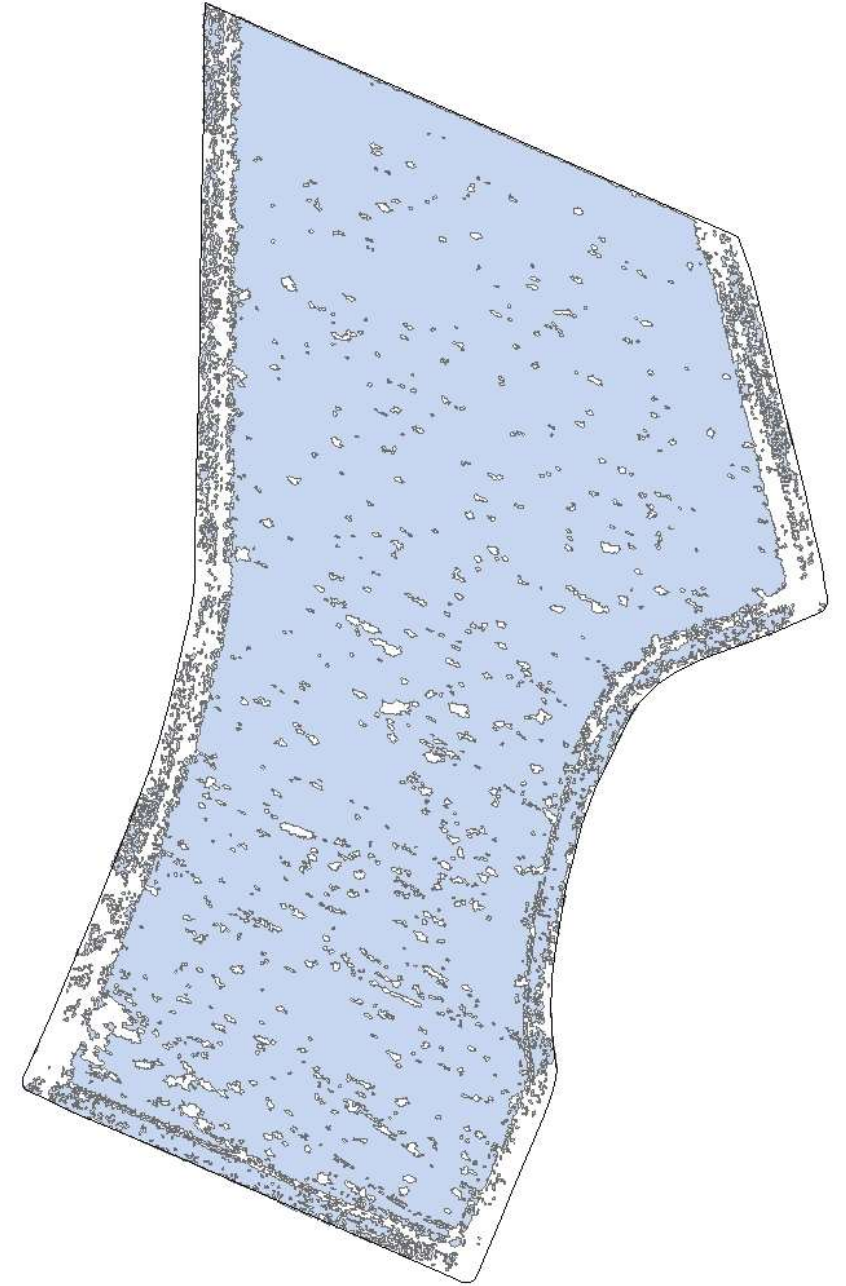


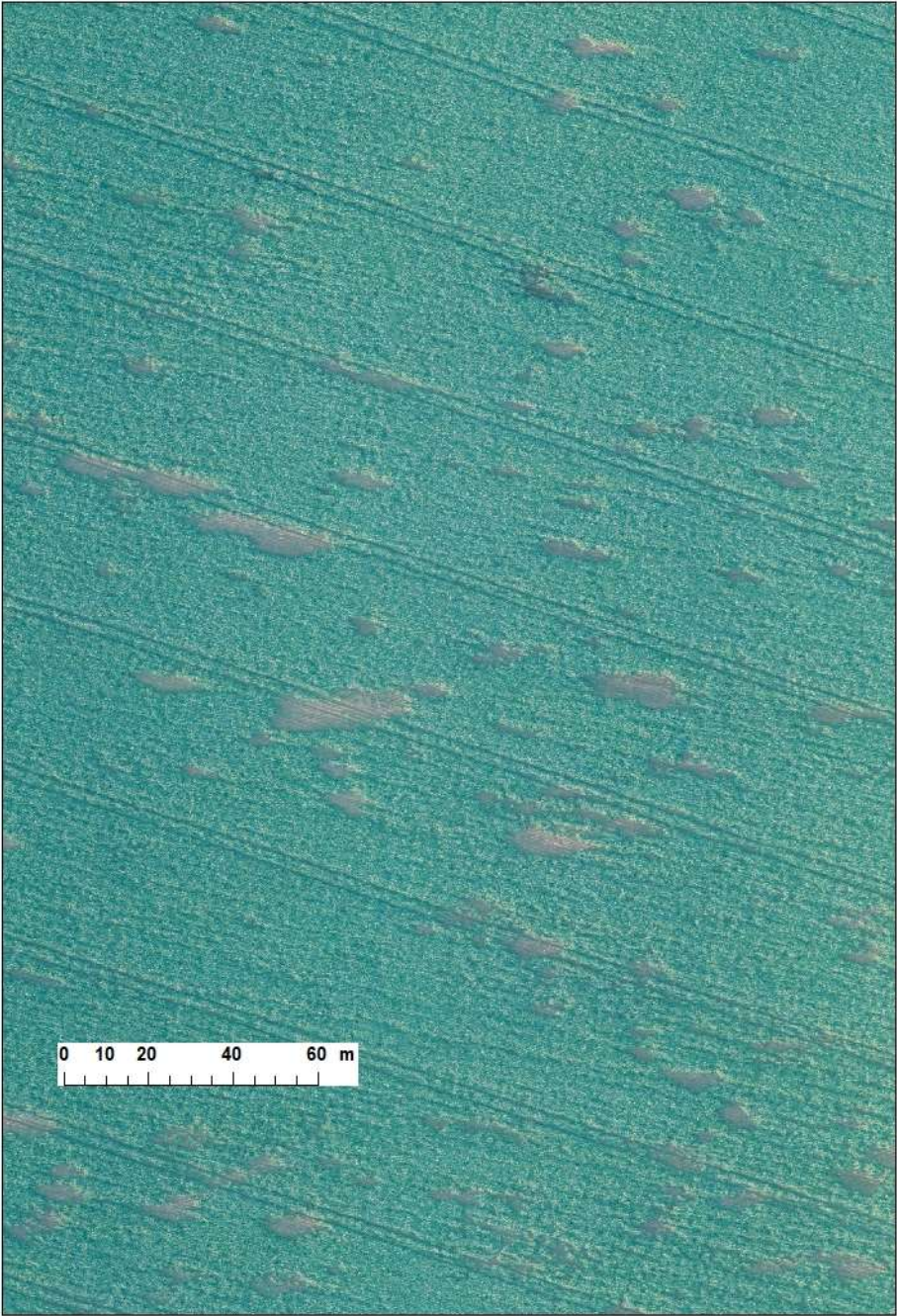
Telematický záznam setí zelí.

Postupy v ochraně rostlin



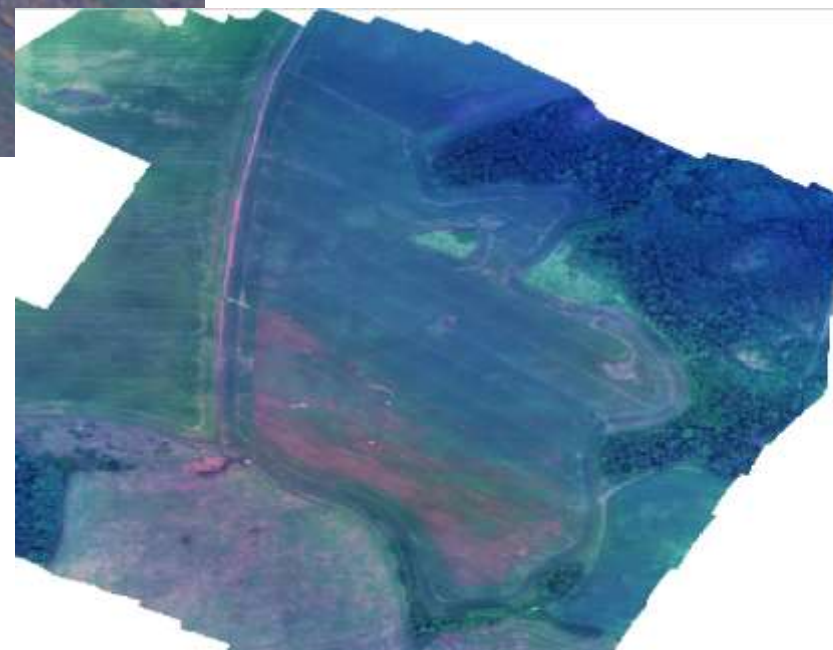
Poškození porostu řepky hrabošem







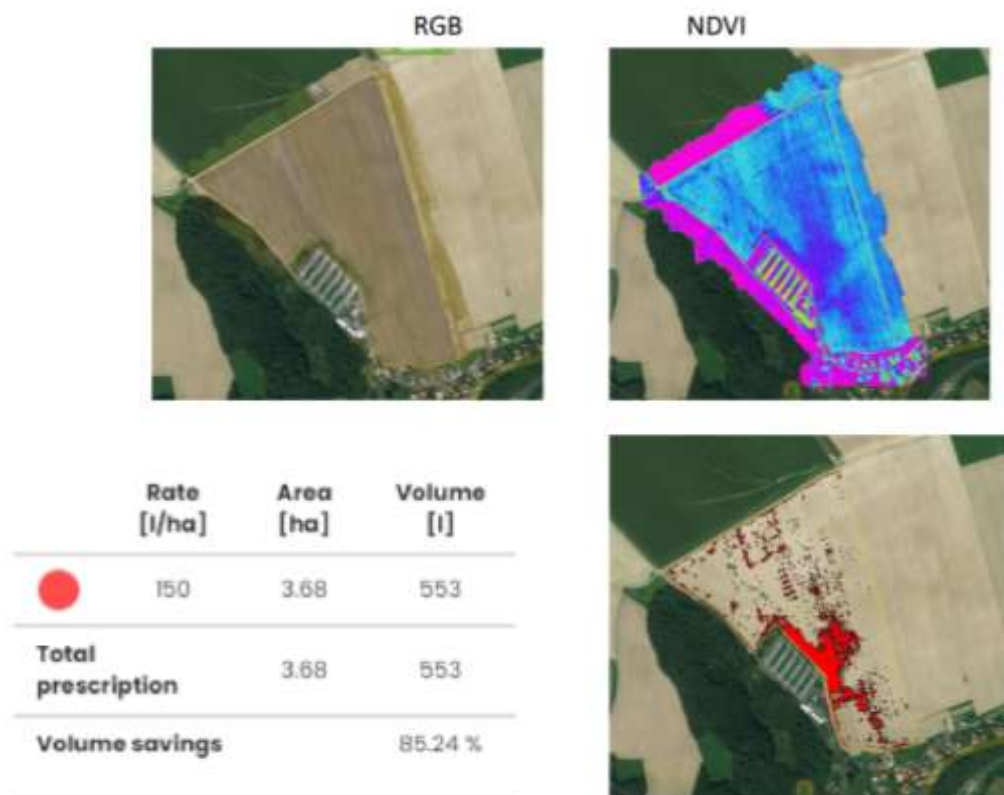
Snímek pozemku s ohniskovým zaplevelením chundelkou metlicí s detailem ohniska.



Selektivní aplikace herbicidů

Využití multispektrálních kamer a bezpilotních letounů k detekci ohnisek vytrvalých plevelů.

Úspora přípravků 70-90%



Použití multispektrálních kamer instalovaných na postřikovacích ramenech k detekci ohnisek plevelů.

10 - 30% úspora herbicidů

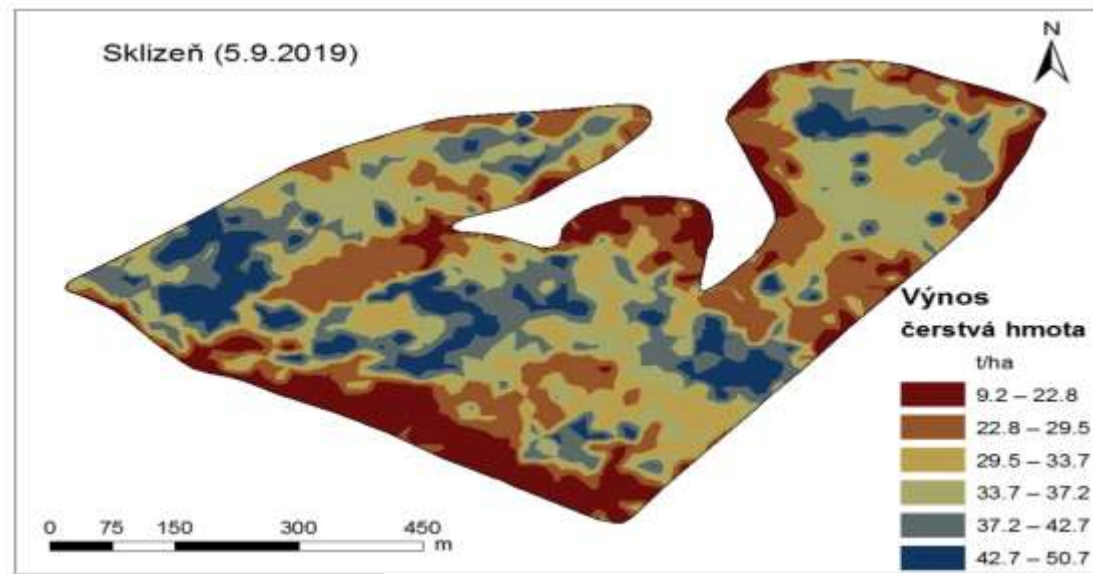


Data analysis estimation results

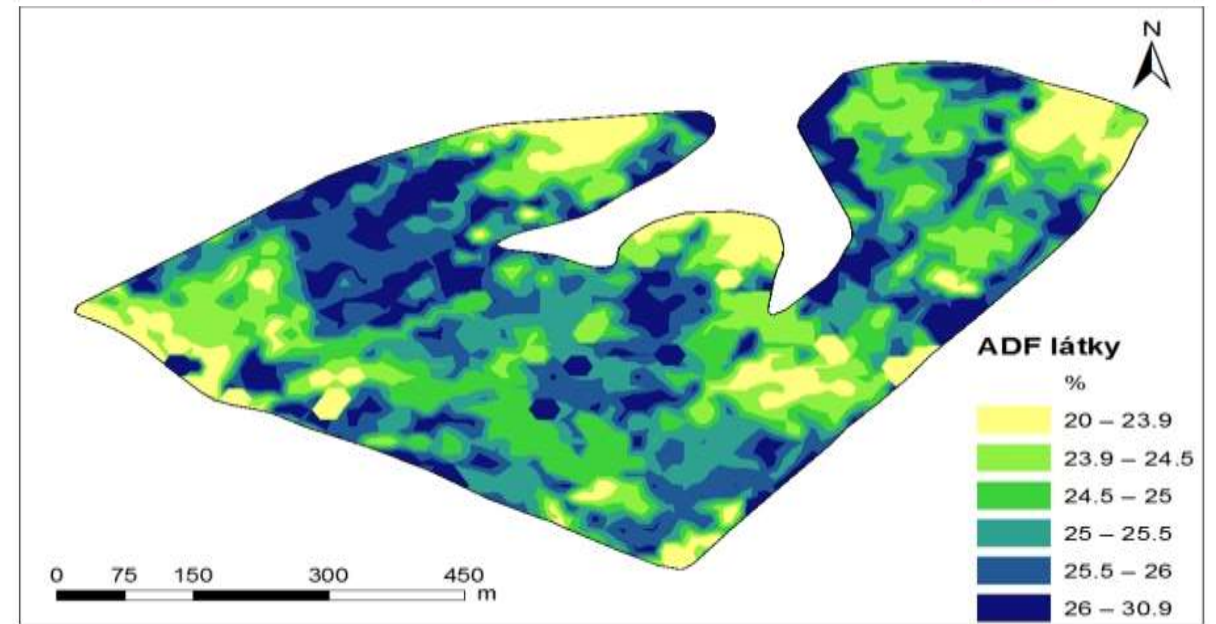
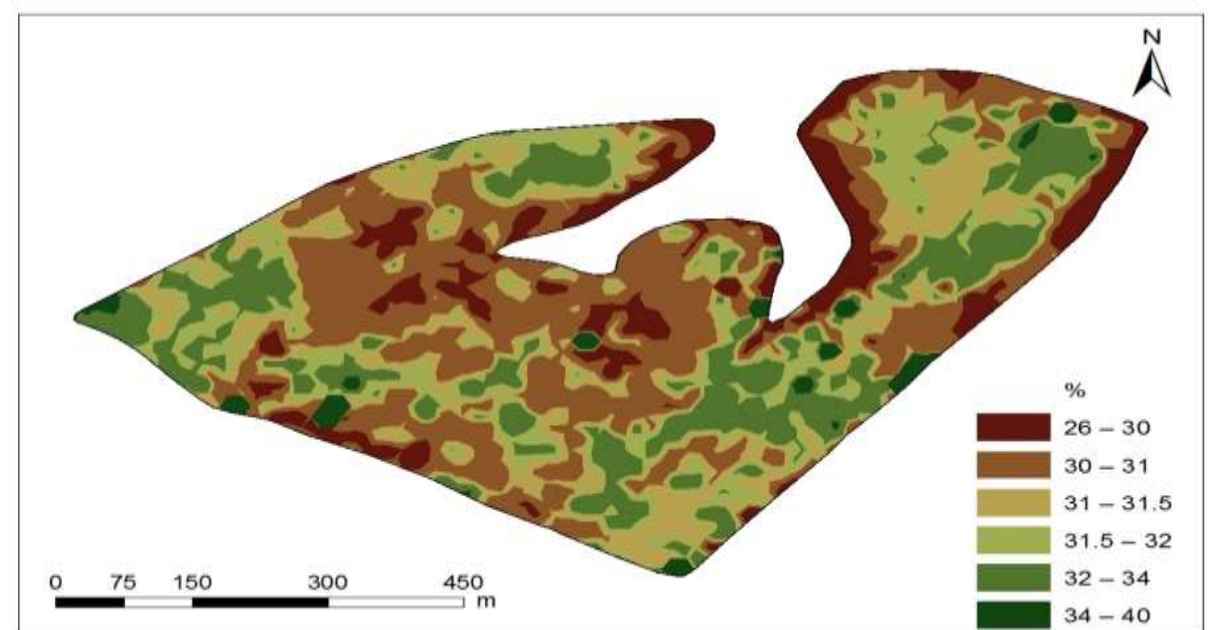
Area Sprayed		Area Not Sprayed		Total Area in Hectare	Distance Travelled by machine (km)
Hectare	%	Hectare	%		
22.15	87.66	3.11	12.35	25.27	7.03

(Foto Čejka)

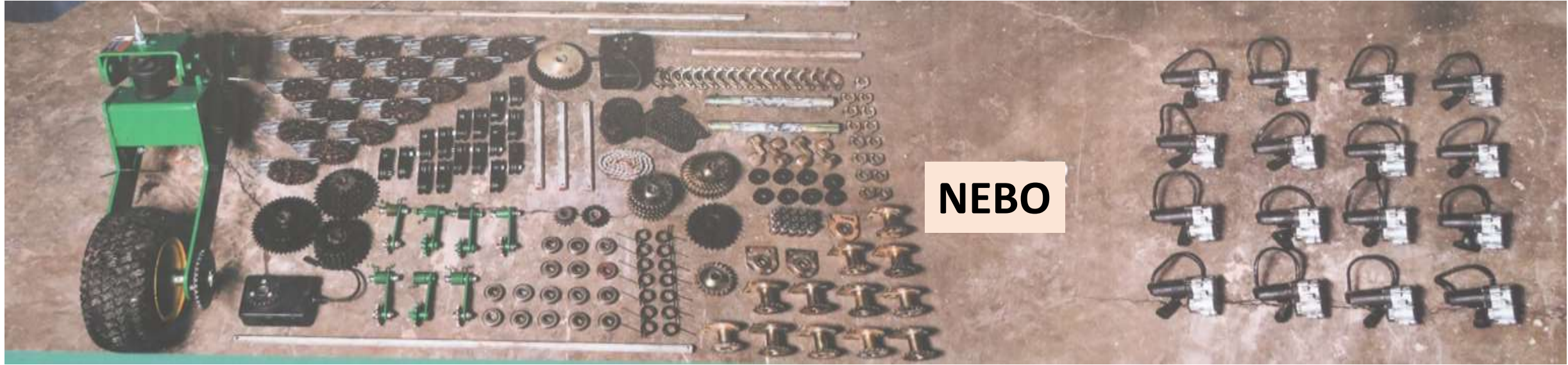
Komplexní výnosová data



Hodnoty sušiny,
škrobu (*Strch*),
vlákniny *ADF* (acido-detergentní vláknina),
NDF (neutrálně-detergentní vláknina) a dusíkatých látek (*Crd*)



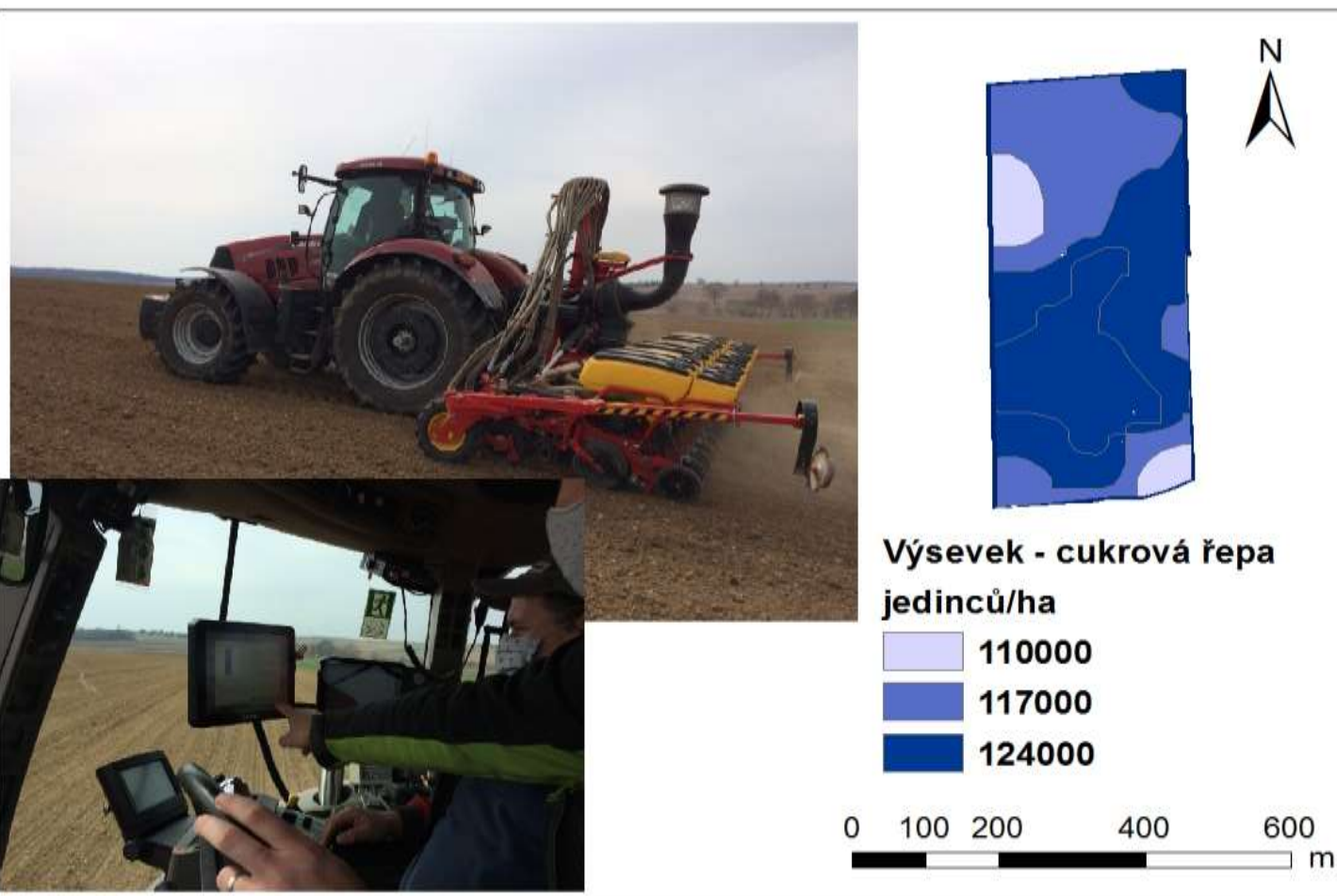
Změny v parametrech nastavení při zakládání porostů



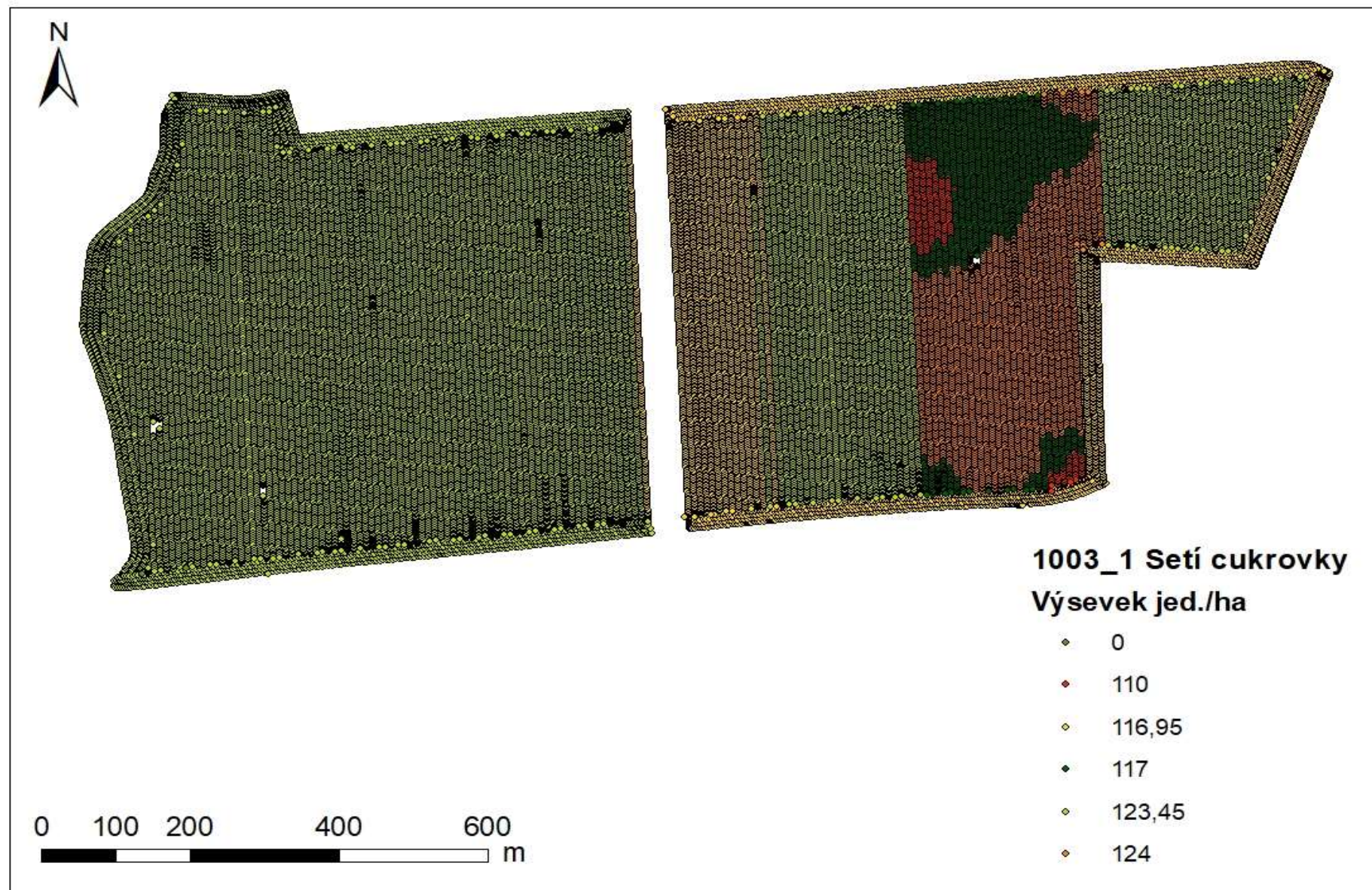
- výsevek
- přítlak
- hloubka setí
- rovnoměrnost rozmístění rostlin v řádku
- vyrovnání výsevku v zatáčke
- práce s rostlinnými zbytky



Variabilní aplikace – hnojení, přihnojení, setí



Zpětná vazba díky záznamu dat během práce



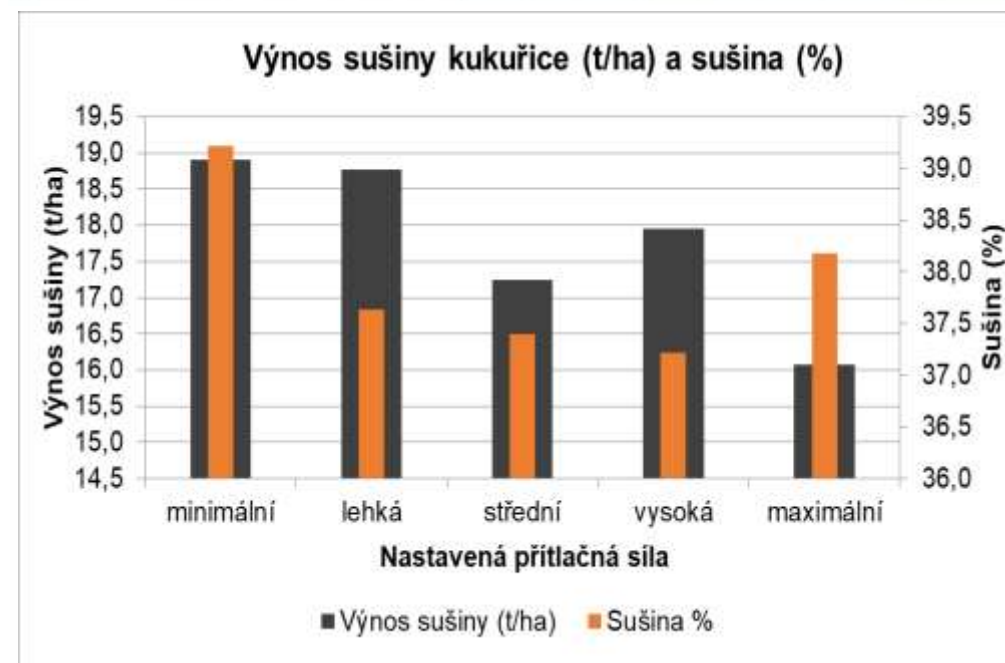
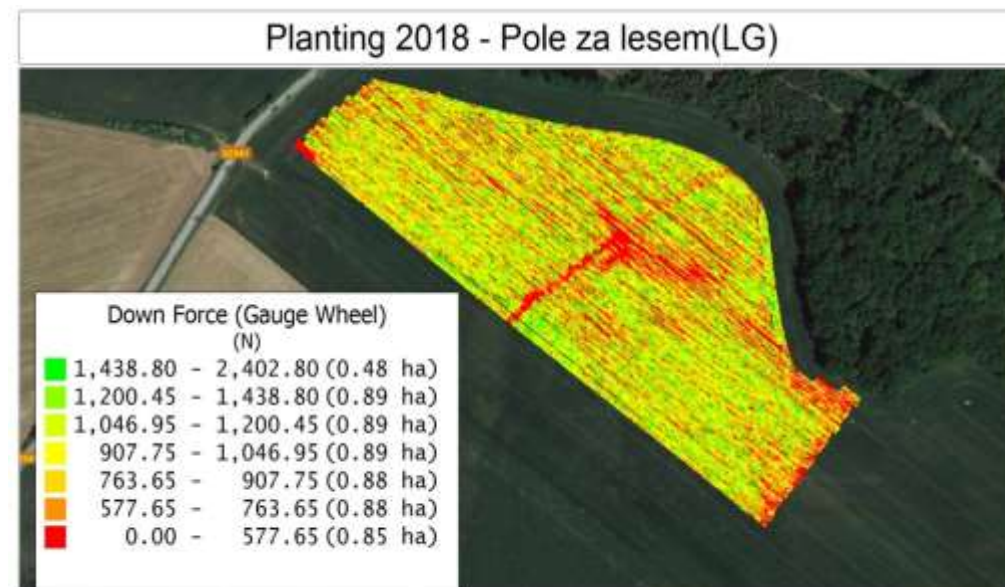
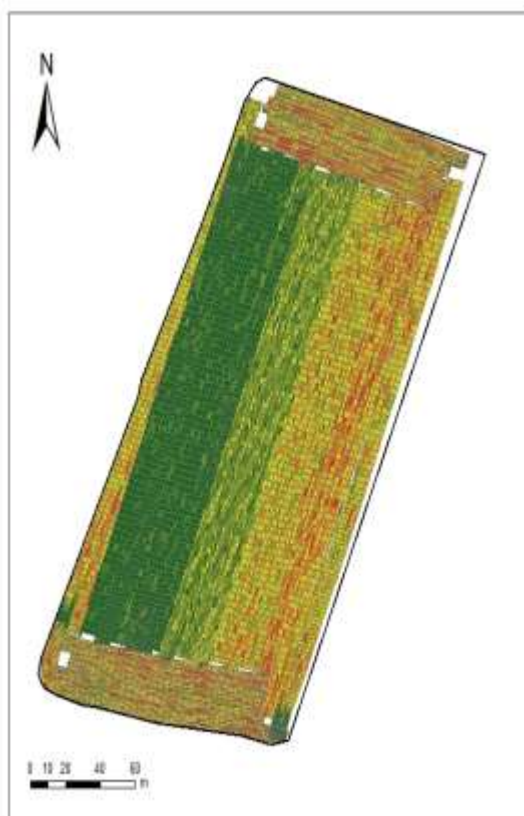
Variabilní přítlak na secí botky

Individuální nastavení každé botky

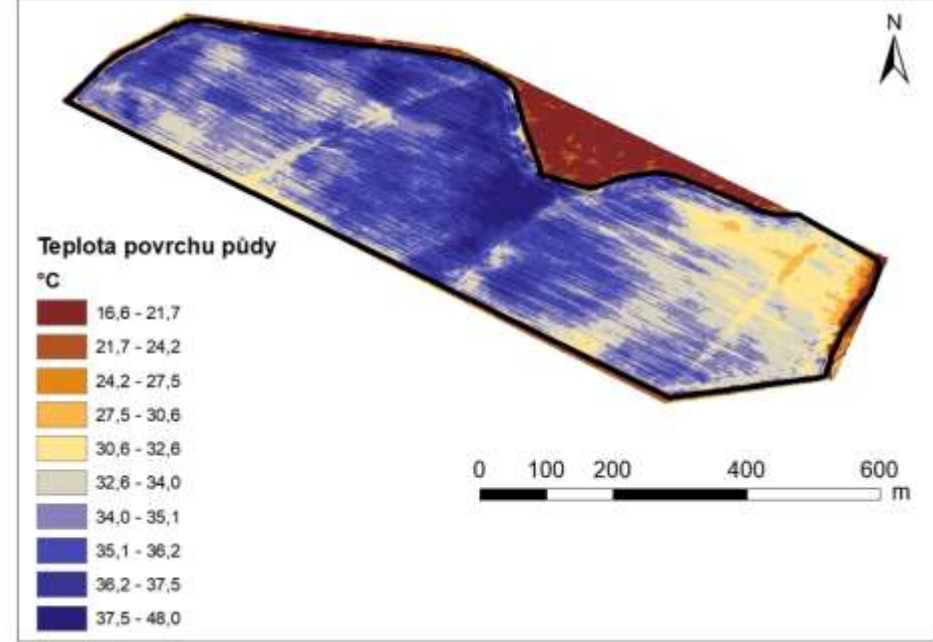
Záznam během setí

Dodržování hloubky setí v rozdílných podmínkách

Plochy s rozdílným nastaveným přítlakem



Hloubka setí

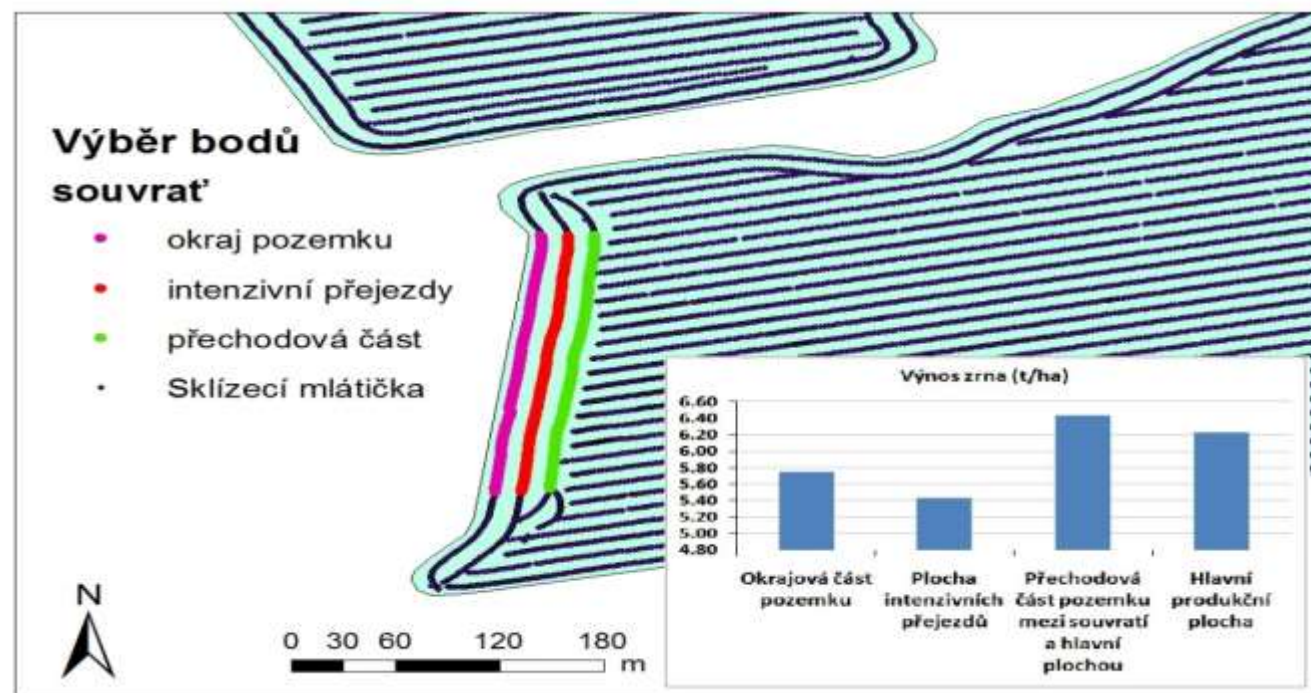
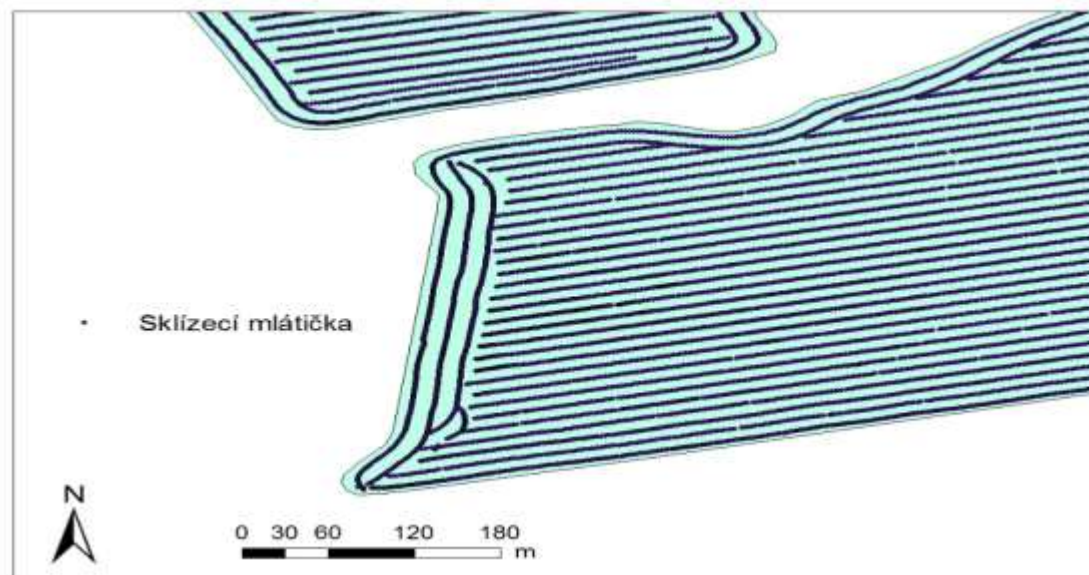
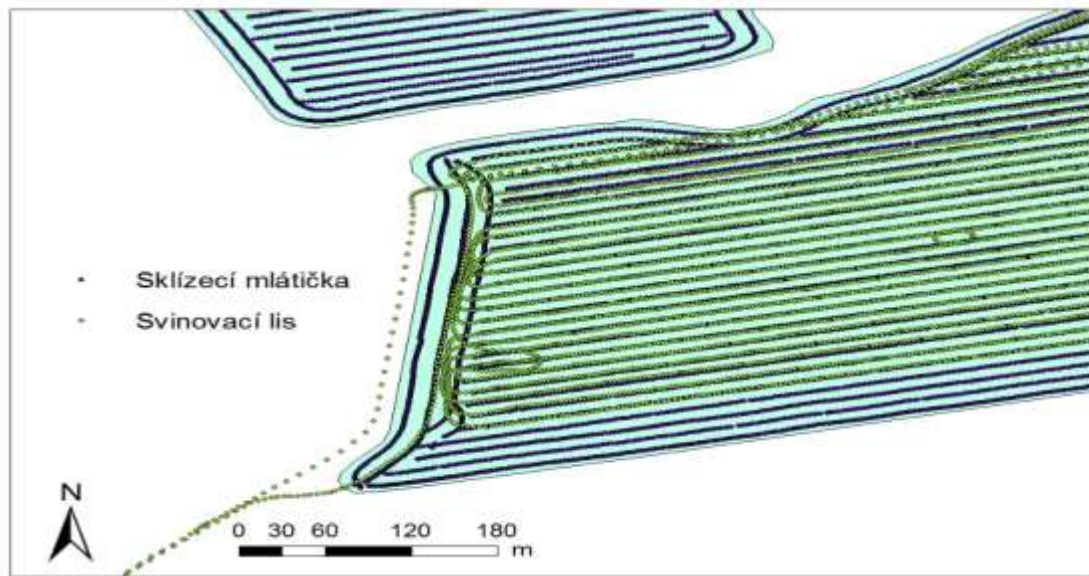


Nastavení hloubky setí podle aktuálních podmínek, zejména vlhkosti a teploty půdy.

Data ze senzoru nebo z UAV

Detail senzoru SmartFirmer a jeho umístění na secí botce.

Optimalizace tvarů a využití pozemků

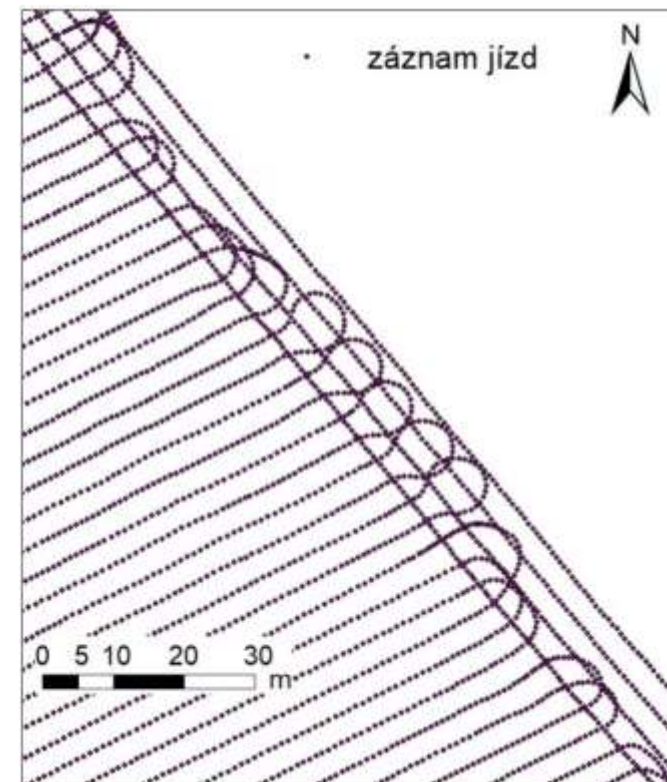
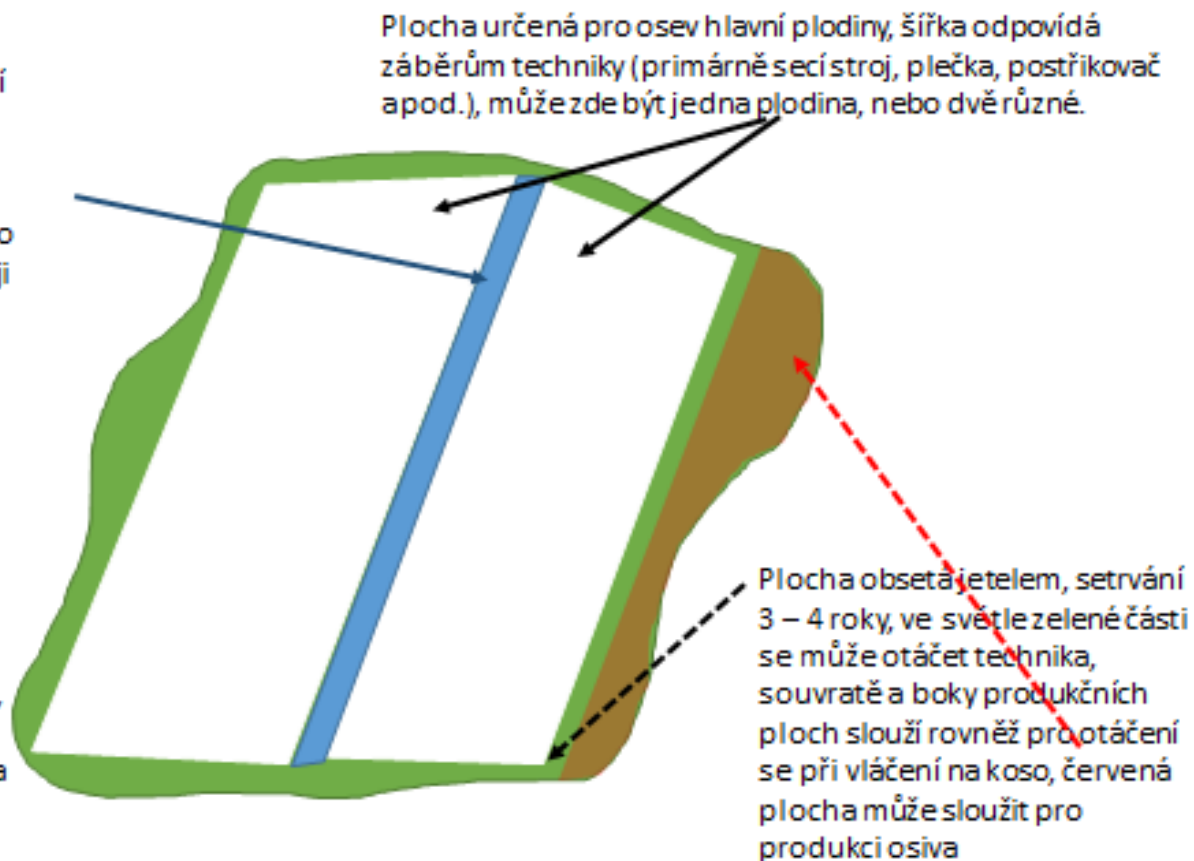


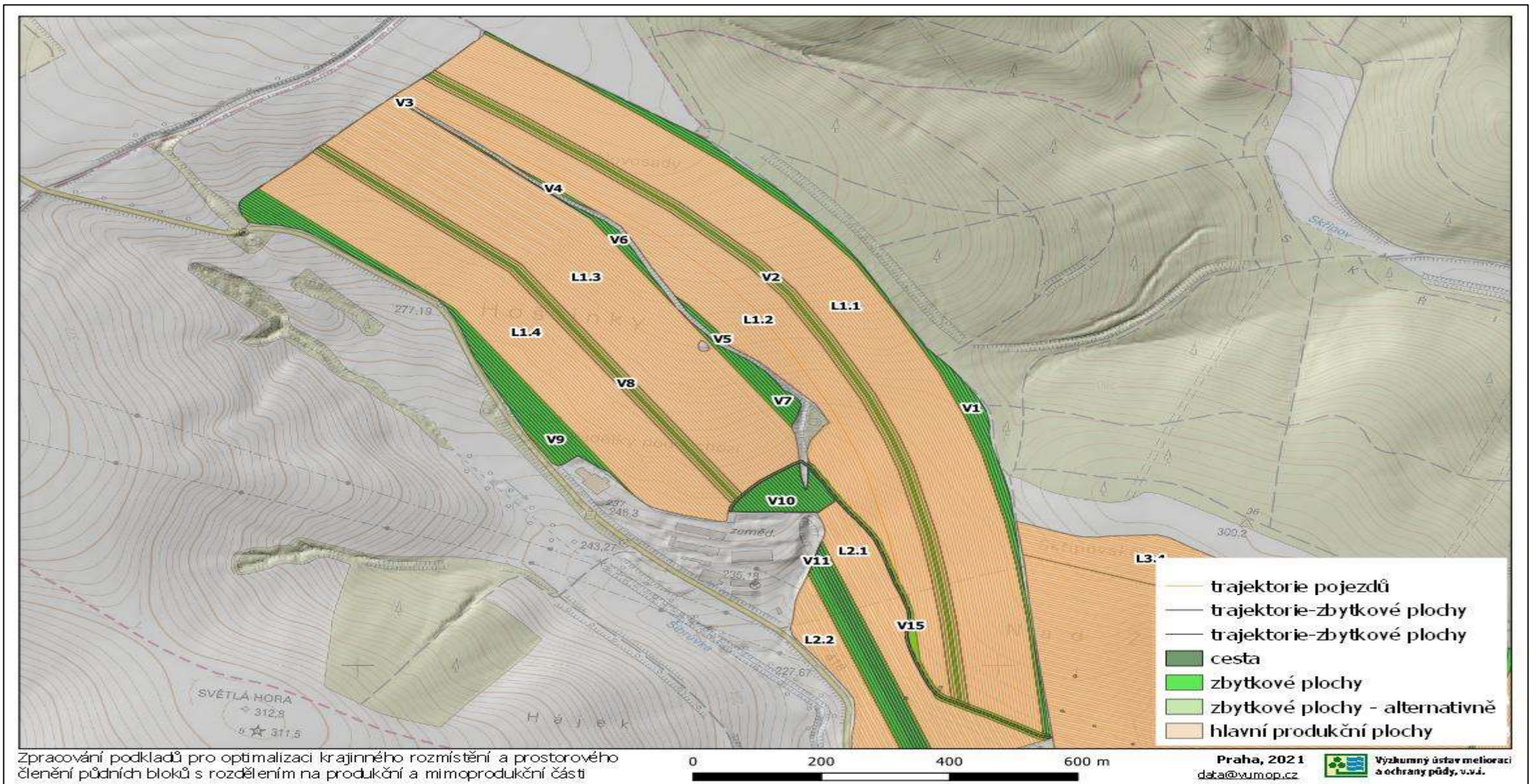
Pohled na výnosový potenciál souvatí, rozdělených podle četností zátěže půdy pojezdovými mechanismy

Optimalizace tvarů a využití pozemků

Modelový příklad znázorňující rozdílná kritéria, která mohou určovat pravidla dělení pozemku

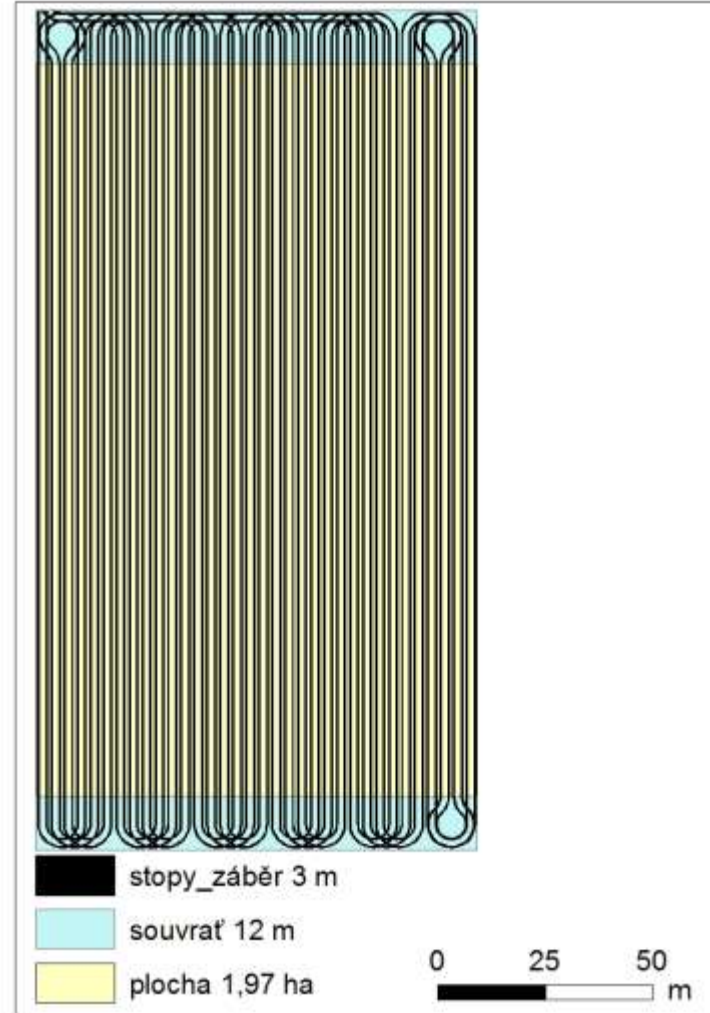
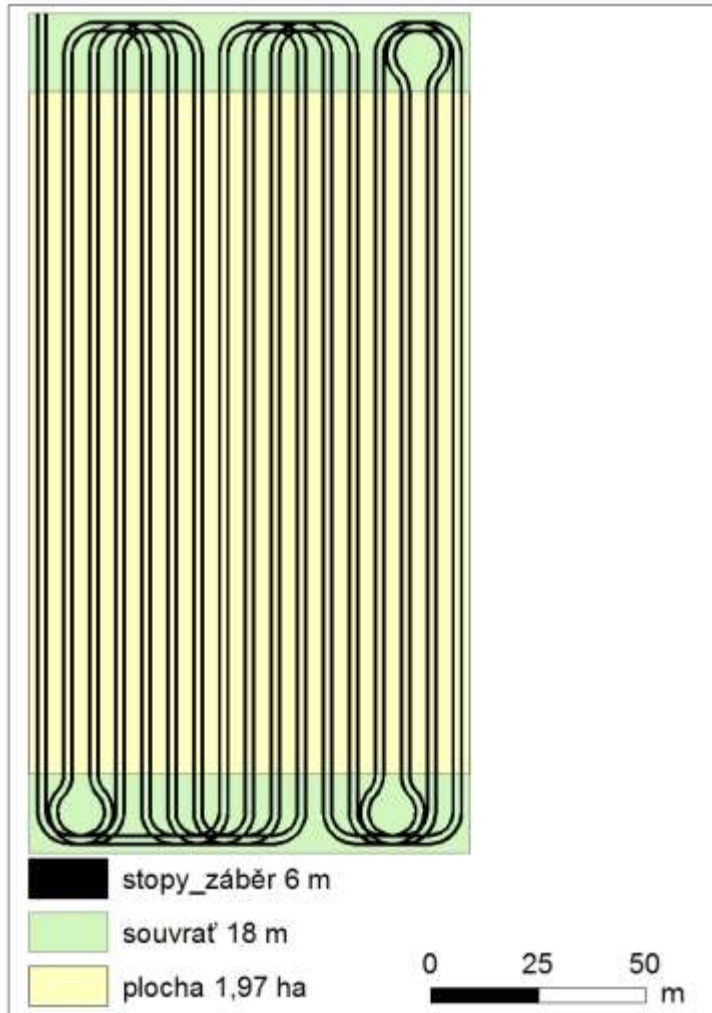
Přerušovací pás lze použít pro oddělení dvou plodin nebo rozdělení jedné, může sloužit manipulační pás pro techniku (nezatěžuje produkční plochu), nebo vyplňuje prostor neodpovídající záběrům strojů, nebo funguje jako biopás nebo jako protierozní pás, omezuje riziko poškození druhé plodiny pesticidem, apod. Má tedy dočasný charakter a jeho velikost a umístění se operativně mění.



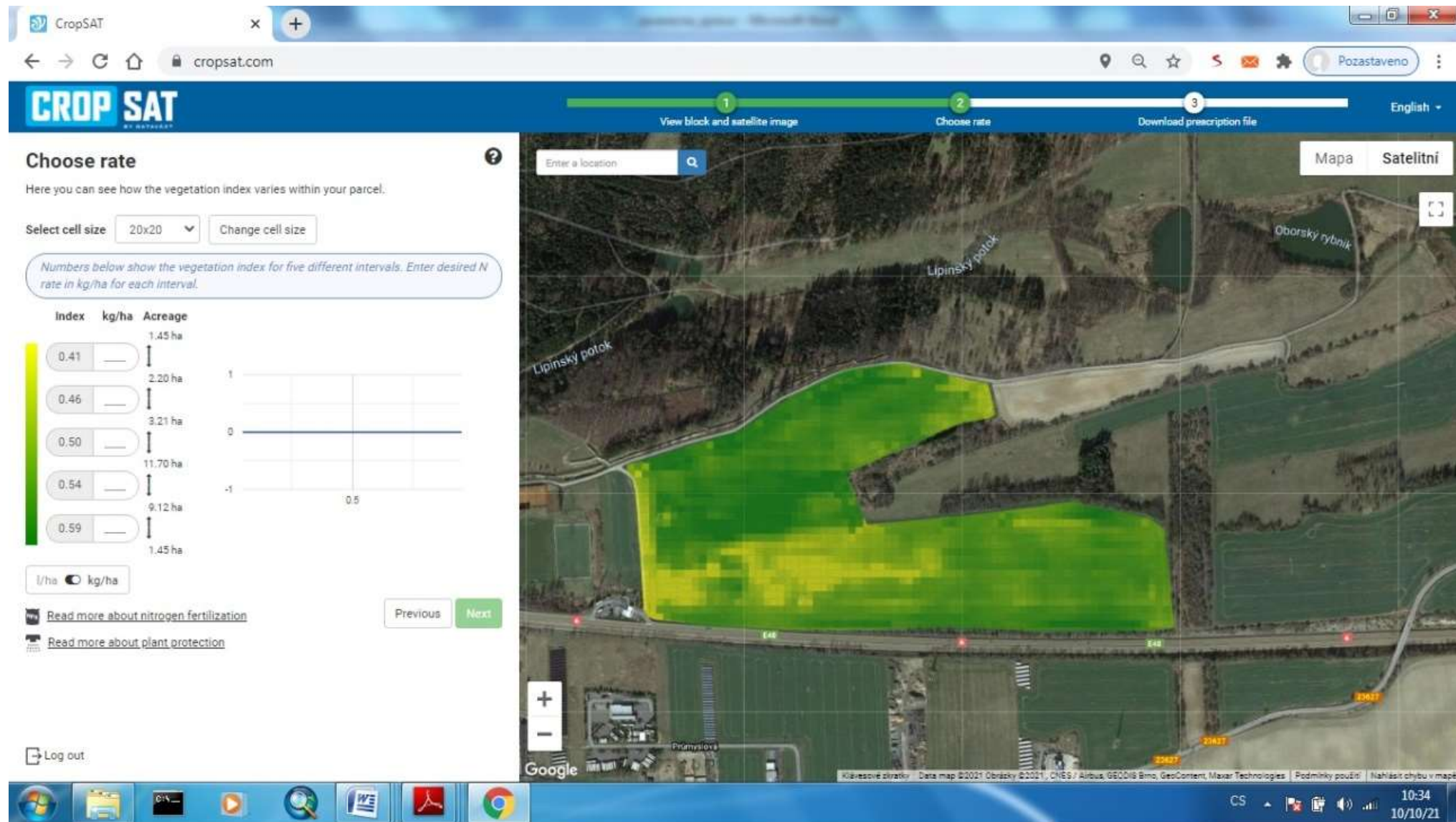


Reálný návrh na vytvoření interních půdních bloků pro plánovanou realizaci na Ekofarmě Probio.

Je snižování výměry půdních bloků cesta ke zlepšení stavu půdy a podpoře biodiverzity?



Datová podpora a příprava



NDVI index získaný z družicového snímku, který byl pořízen 17.6.2021.

Satelitní

 Poznámky

🔊 Aplikace: 1

SHR

☐

↓ PNC

 SHP☐

↓ PNC

↓ PNC

Získat VFM

☐ Ručně☐ Ručně

▼ Min Hnojiva: 3.94 l/ha

Zobrazit plochu



2020 DUSÍK APLIKACE: JAKO POUŽITÁ MÍRA

[Analyzátor pole](#)

Čas

Začátek 17. srp 2020 16:57

Konec 18. srp 2020 16:22

AGRONOMICKÁ DATA

Průměrná aplikovaná rychlost (kg/ha)	60,6
Vyaplikováno celkem (kg)	583
Cílová dávka (kg/ha)	59
Cíl celkem (kg)	567,3
Průměrná rychlost (km/h)	6,9
Zpracovávaná plocha (ha)	9,6

PRODUKTY

Dusík

2020 DUSÍK APLIKACE: RYCHLOST

Čas

Začátek 17. srp 2020 16:57

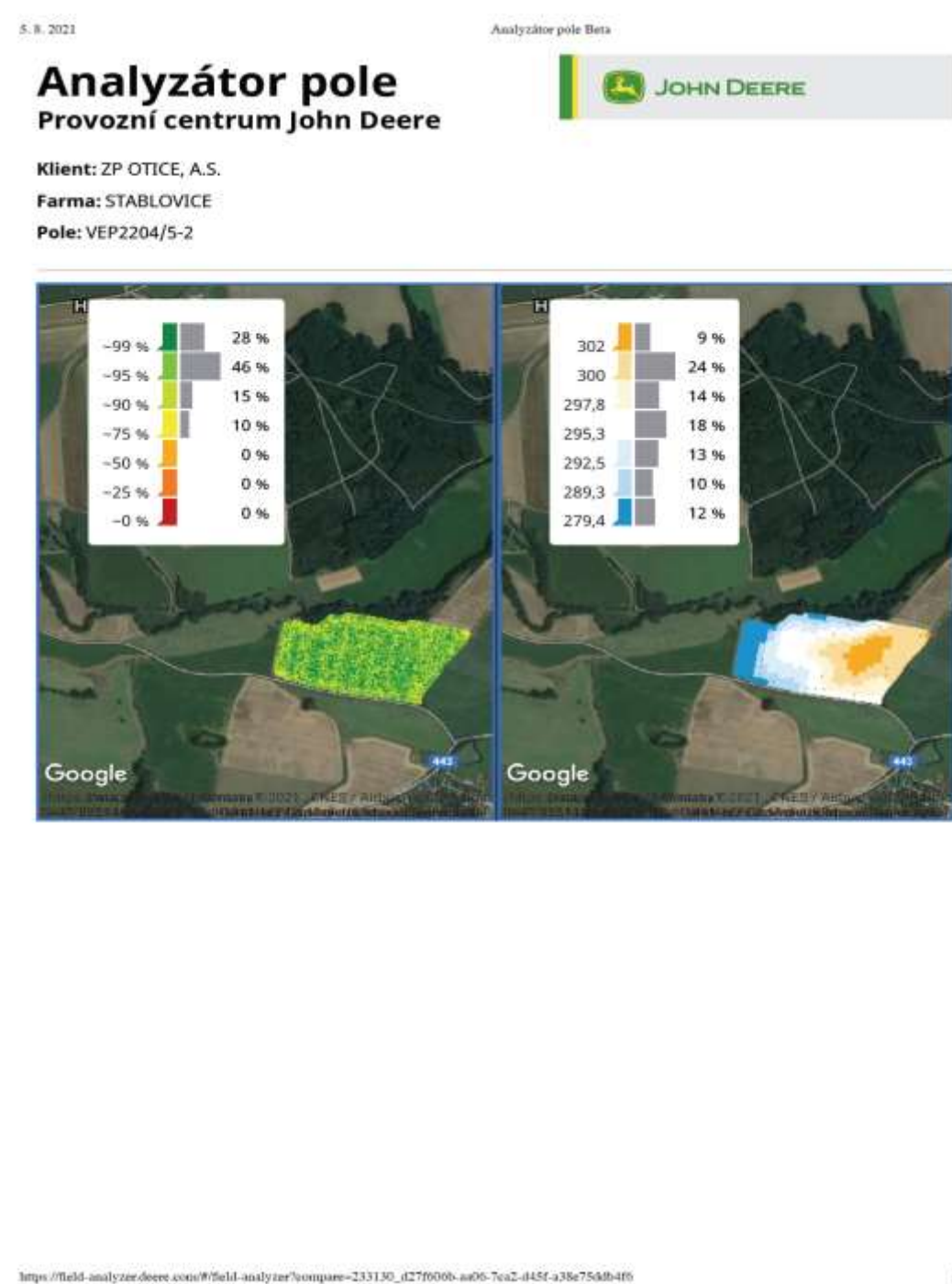
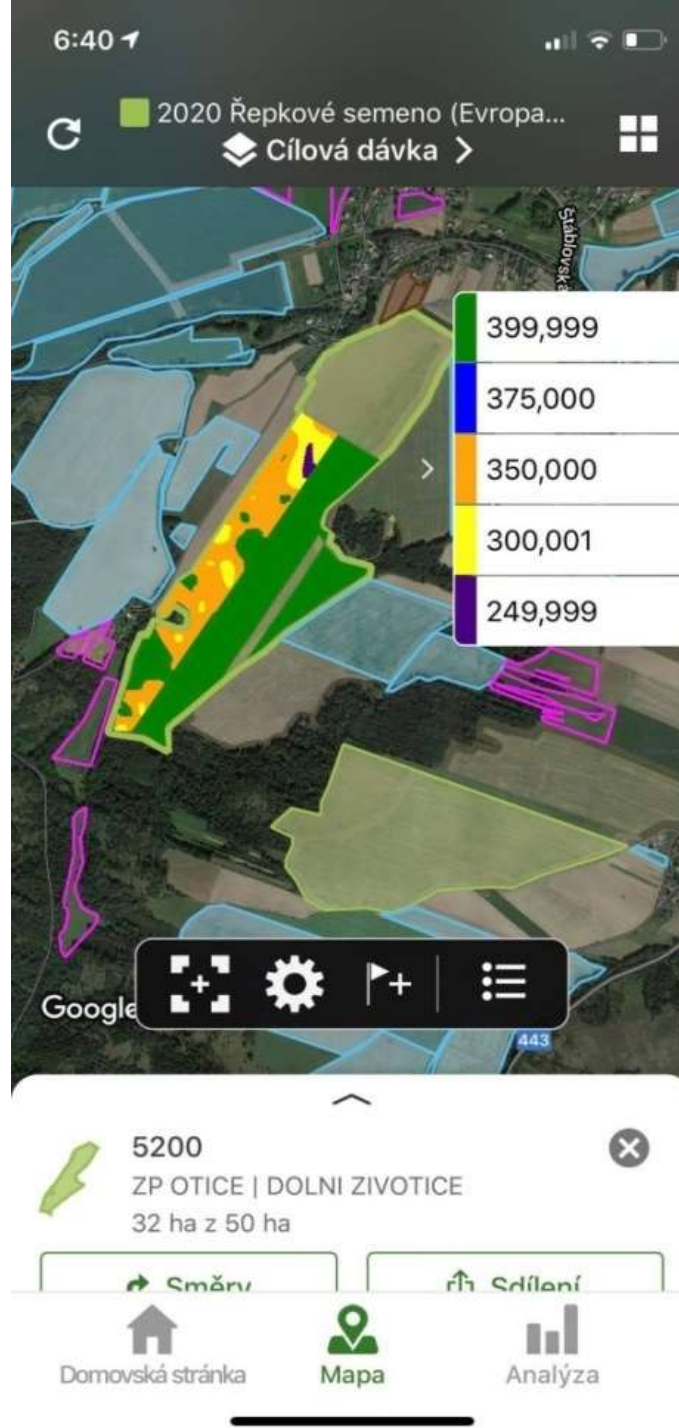
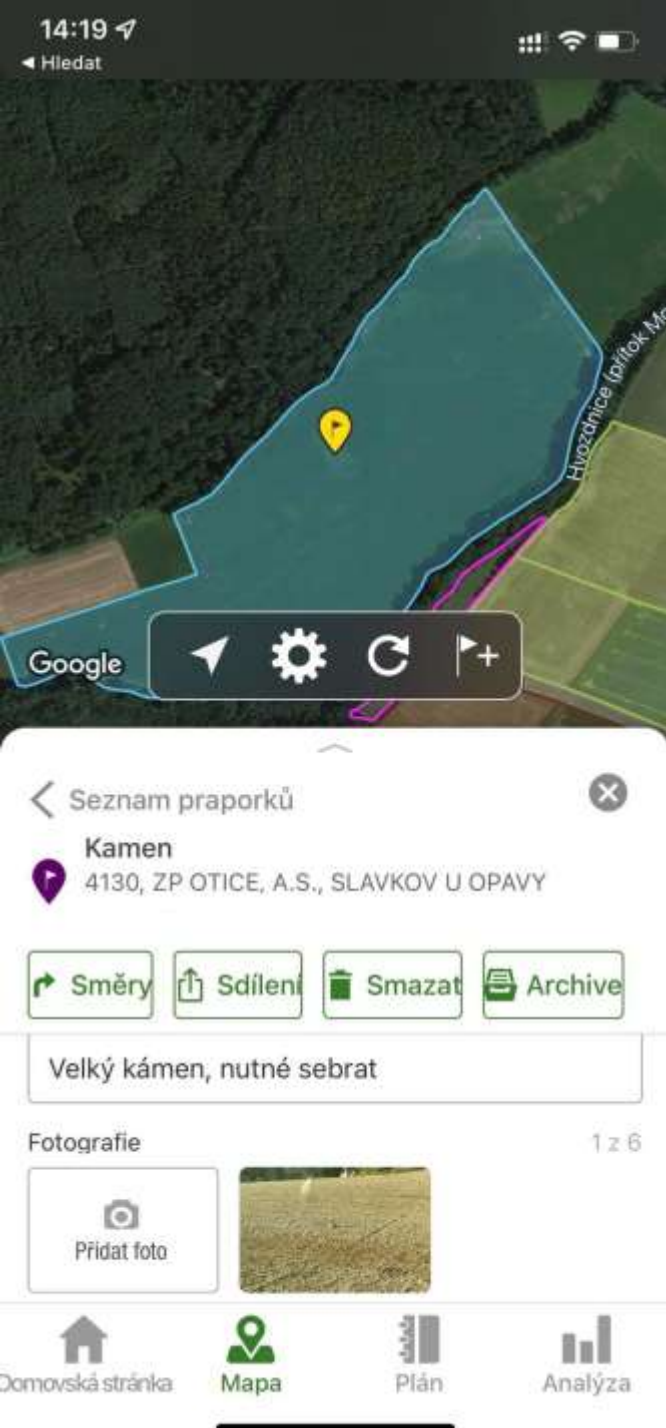
Konec 18. srp 2020 16:22

AGRONOMICKÁ DATA

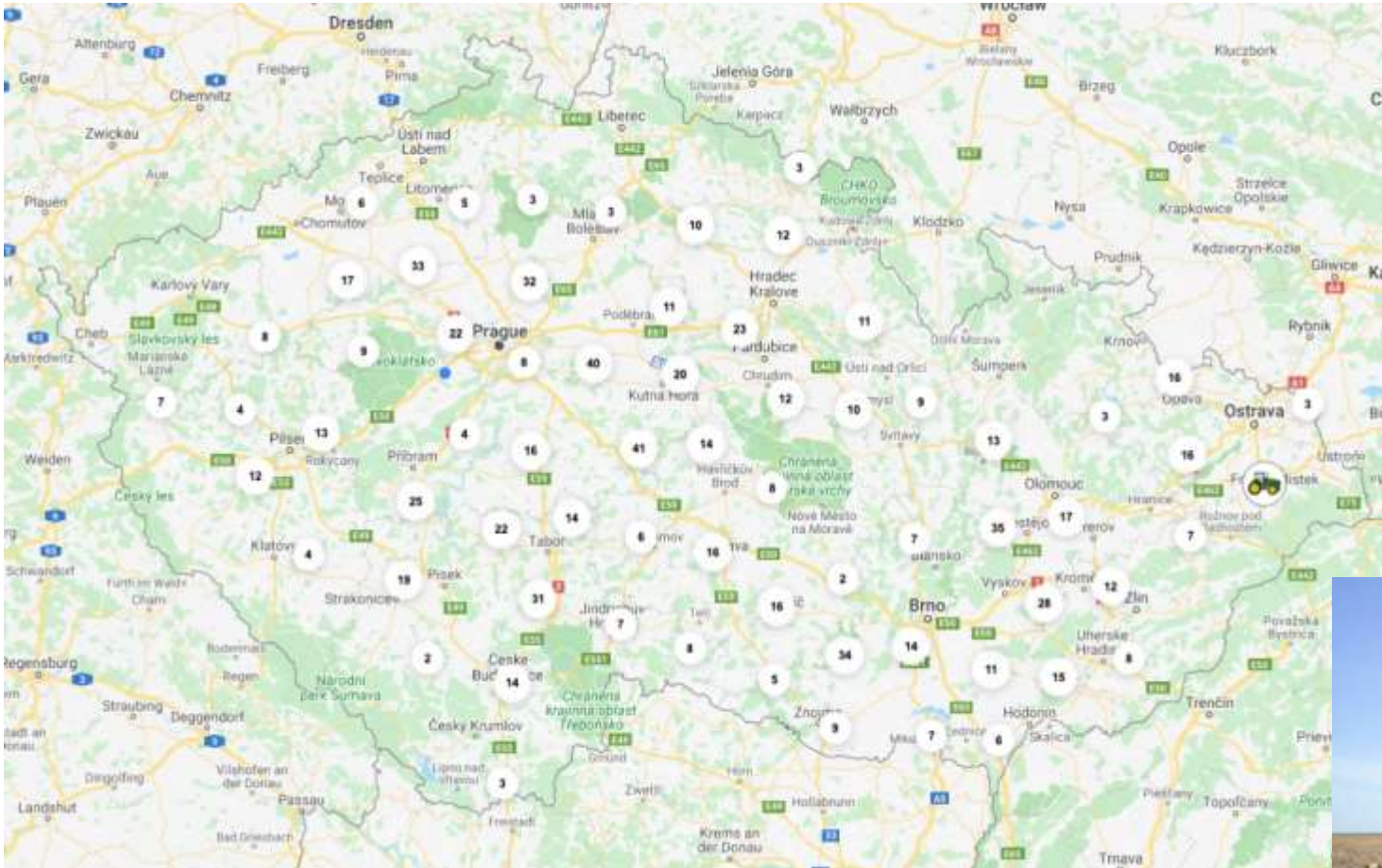
Průměrná rychlost (km/h)	6,9
Zpracovávaná plocha (ha)	9,6

PRODUKTY

Dusík

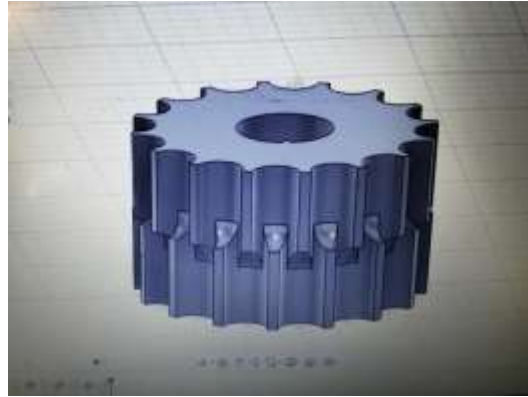
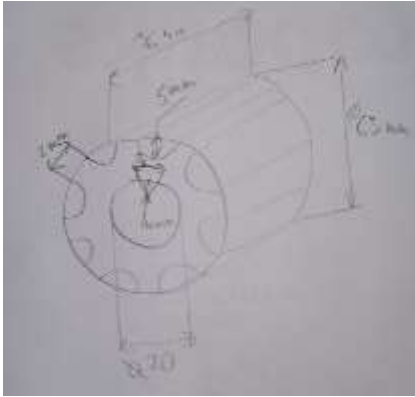


Prediktivní systémy hlášení poruch



Pohled na přehled strojů s telematikou JDLink







3D Tisk

Cesta autonomie a robotiky

Autonomní řízení

Koordinace a optimalizace

Autonomní funkce s asistencí řidiče

Robotický traktor pracující pod blízkým dohledem

Robotický traktor se vzdálenou kontrolou



Malí roboti/robotické roje

- + Výhodné pro bezpečnost a utužení půdy
- + Pokud jedna jednotka selže, druhá stále funguje
- + Možnost přizpůsobit počet jednotek konkrétní úloze
- + Možnost vzájemné zápůjčky malých robotů pro zajištění efektivity práce
- Obtížnější nasazení na velkých výměrách
- Náročnější strategie nasazení nebo údržby
- Nižší úroveň automatizace (těžší automatizovat)
- Vyšší počáteční náklady na komponenty autonomie

Velcí roboti

- + Úroveň autonomie
- + Modularita, univerzálnost
- + Nasazení na velkých pozemcích
- + Jednodušší strategie údržby a nasazení
- Kontrola práce
- Vyšší riziko zhutnění půdy
- Často pracují také na malých pozemcích
- Poruchy mohou způsobit značná zpoždění
- Limity a omezení pro provoz velkých strojů

Koncept člověk - robot

Kooperace lidí (HO; HumanOperator) a robotů jako HRI nebo HRS (Humane-Robot Interaction; Human Robot System).

-výrazně nabylo na významu.

- dozorování rutinních úkonů
- dálkově ovládané stroje pro řešení nepředvídatelných situací,
- plnění úkolu v režimu mastere - slave,
- autonomní vozidla, kdy je člověk na pozici cestujícího
- zapojení lidí do rozhodovacího procesu
- roboti budou v procesu napomáhat



Představujeme ProLab TF



Autonomní polní robot

Autonomní robotické systémy (ARS; Autonomous robot systems)

- provádějí úkoly, rozhodování a jednání v reálném čase bez lidského zásahu.





Agrointelli Robotti provozovaný společností LeadingFarmers

Robotika na ČZU







DARPA SubT

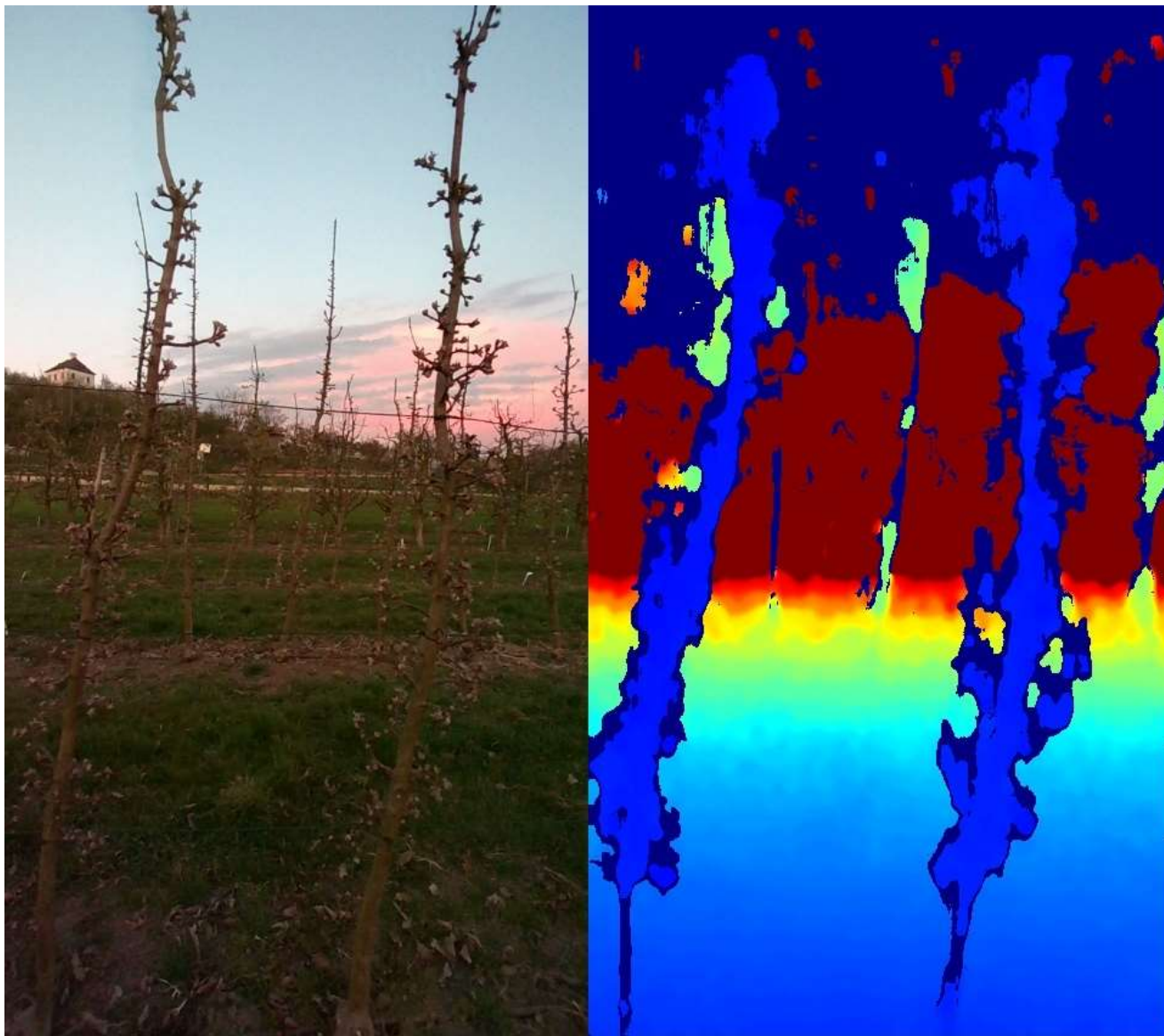




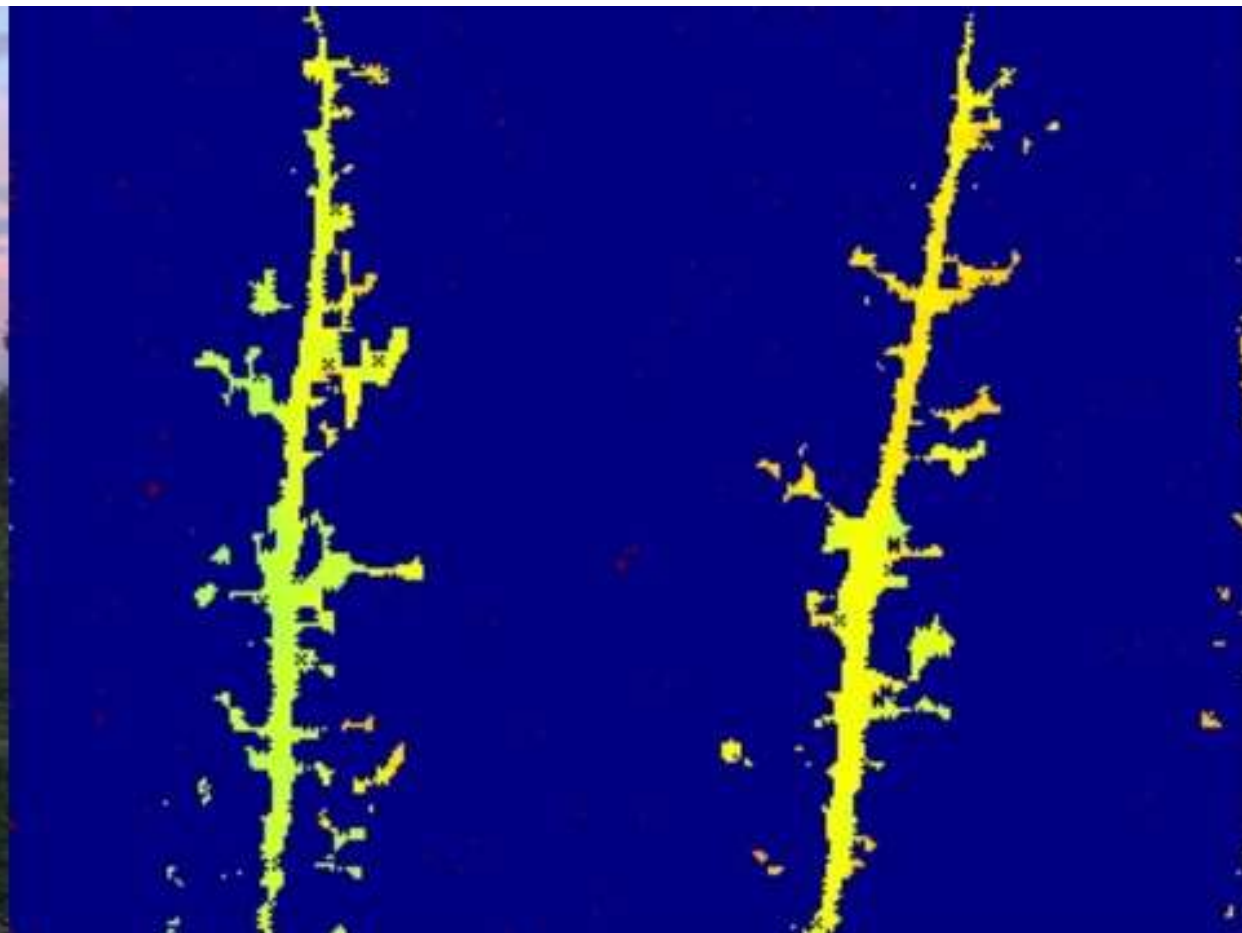
Designová studie a reálný výstup







RGBD kamera (hloubková kamera) Intel RealSense kamera D455.



Lidar - kamera Intel RealSense L515.
Kombinace solid-state lidarů a RGB kamery.
Tvorba digitálních dvojčat



Rozšíření o virtuální realitu

S robotem začíná operace v kanceláři a vytváří se plán (nebo trasa), po které bude robot pracovat.

Definujete pole, navigační linii GPS, kterou budete sledovat, a všechna provozní nastavení.

Práce s pozemky:

- například vytvoření otočných ploch
- příprava pěstebních záhonů pro usnadnění meziřádkové kultivace
- zajištění přepravy robota z jednoho pozemku na druhý atd.

Znáte všechna nastavení stroje předem?

Chybí systém pro kontrolu kvality práce.

Robotické řešení není pro každého

Co vyžaduje přechod k robotice?

Připravenost farmy

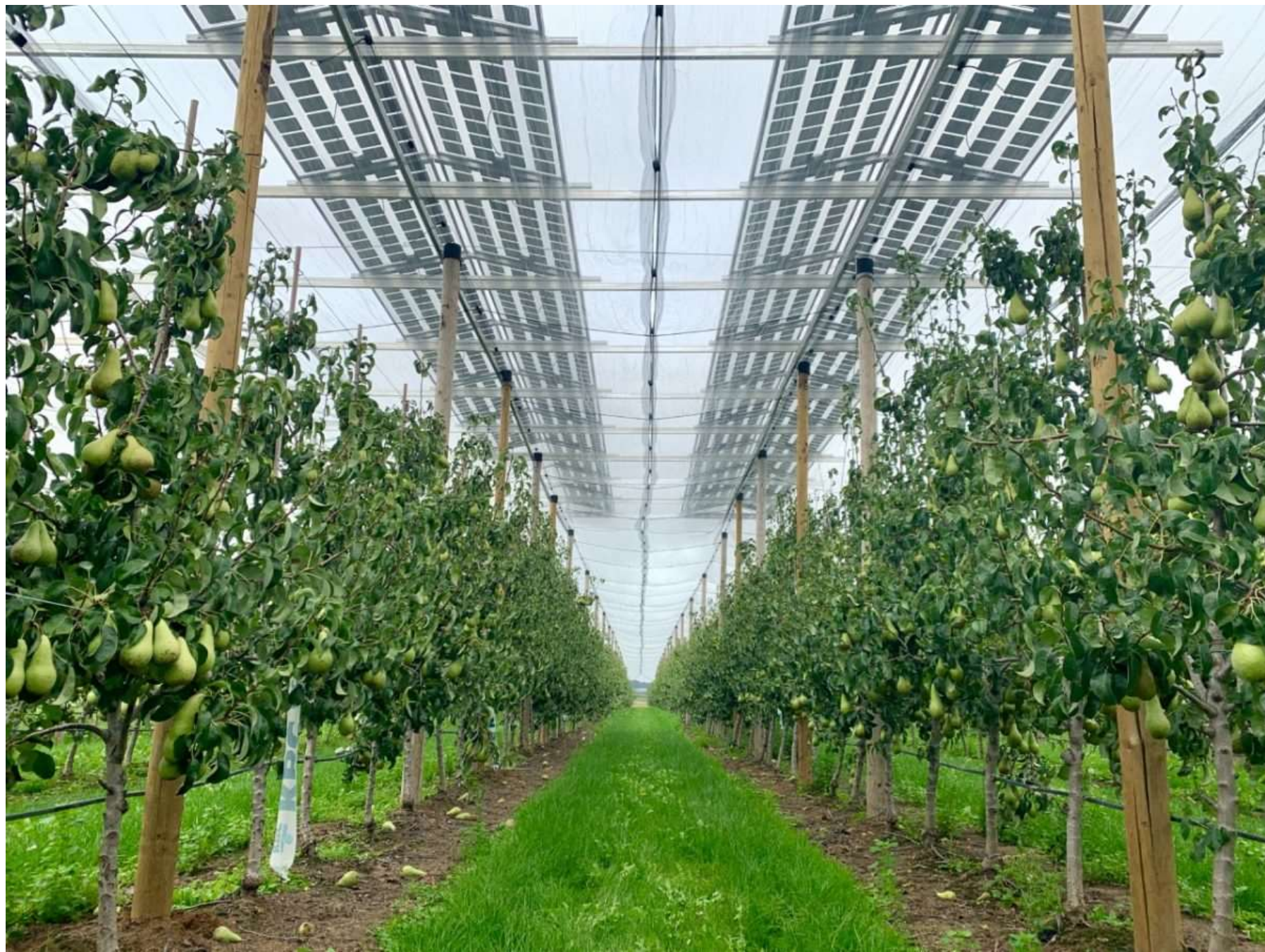
- Zemědělský robot sám o sobě mnoho nezmůže:
Potřebujete podpůrné systémy
Manipulace s materiálem
Vstupy na pole (osivo, hnojiva, atd.)
Výnosy z pole (zrno, balíky sena atd ...)
- Nezapomeňme na doplňování energie (palivo nebo dobití ...)
- Integrace s půdou
- Integrace s rostlinami
- Omezení
- **Lokalizace GNSS není dostatečně spolehlivá pro autonomní použití**
- Systém vnímání
- Bezpečnostní systém



Obtížně zajistíme práce jedním strojem

Elektrifikace

Agrovoltaika ?



1. PR

- Začala okolo roku 1760 ve Velké Británii
- Umocněna vynálezem parního stroje

2. PR

- Začala téměř století po první průmyslové revoluci
- Posun řemeslně orientované výroby k velkovýrobě
- Masová výroba v různých průmyslových odvětvích (ocelářství, ropný a elektrický průmysl)
- Vynález spalovacího motoru a žárovky

3. PR

- Známá také jako „Digitální revoluce“ odstartovala v roce 1960
- Zásadní vynález v podobě polovodičových čipů
- Osobní počítače a internet

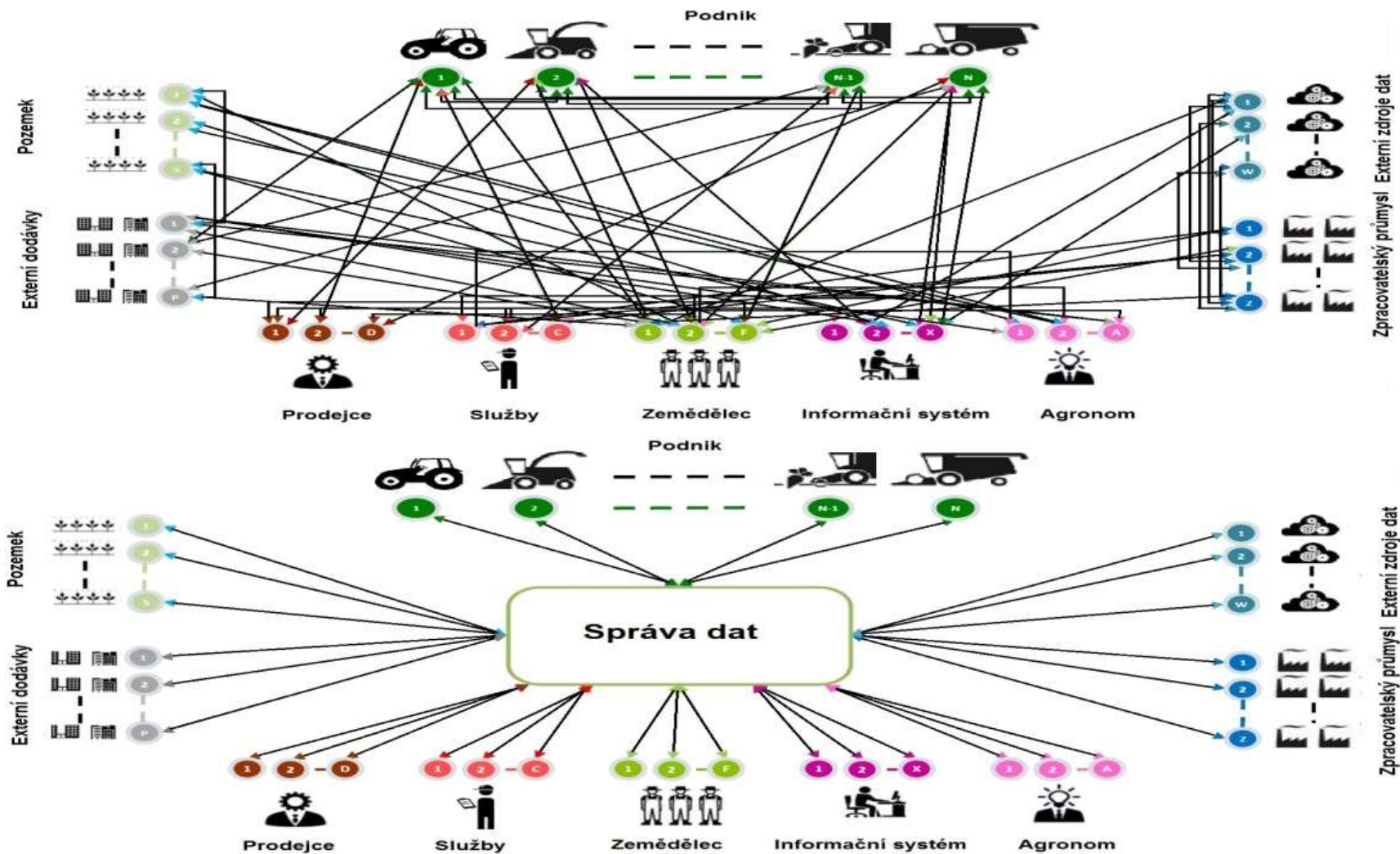
4. PR

- „Čtvrtá průmyslová revoluce“ založená na umělé inteligenci, strojovém učení, IoT, výpočetní technice, 3D tisku

Precizní zemědělství - měřítko pole, zóny

Smart Farming - individuální přístup k rostlinám, půdě

Zemědělství 4.0 - práce s daty a informacemi, robotika



Precizní zemědělství - měřítko pole, zóny

Smart Farming - individuální přístup k rostlinám, půdě

Zemědělství 4.0 - práce s daty a informacemi, robotika

Současnost



Budoucnost



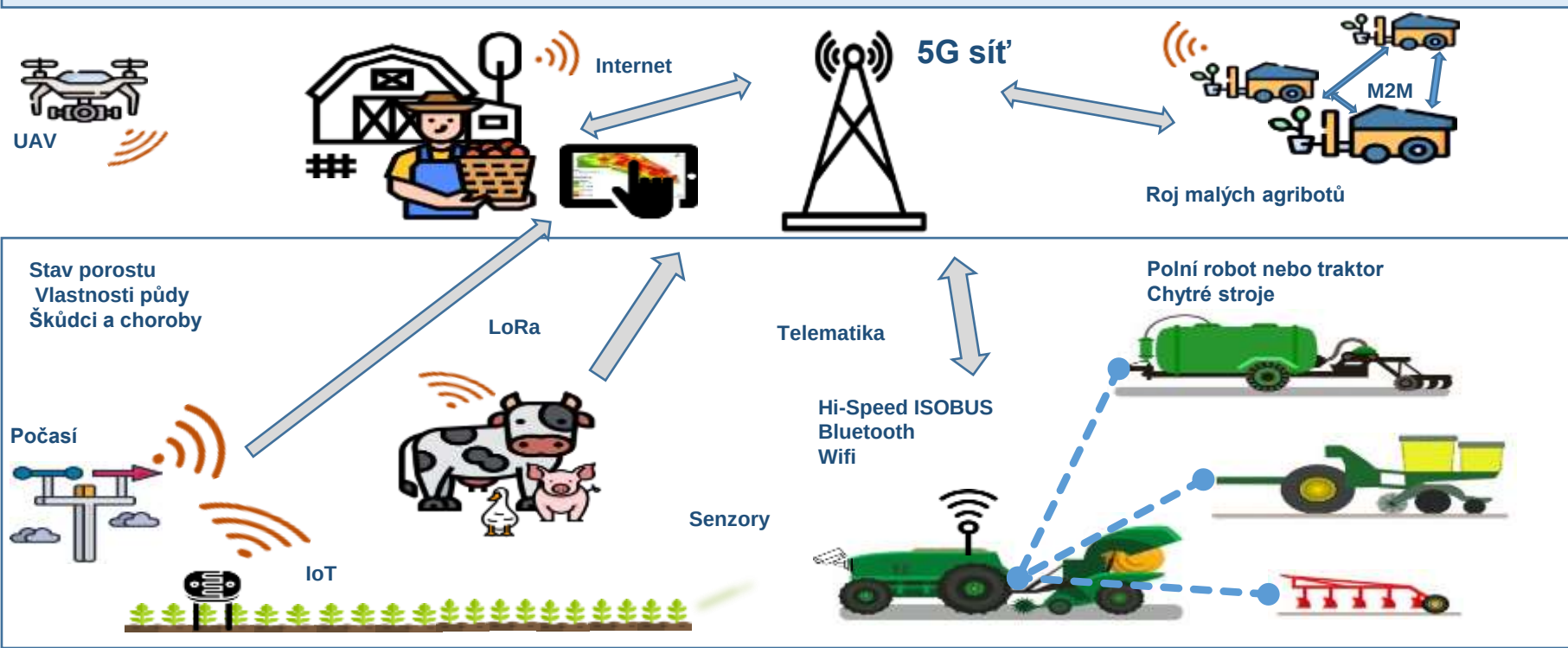
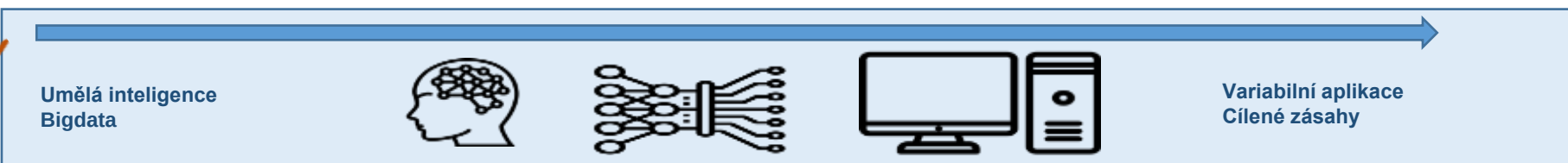
Precizní zemědělství - měřítko pole, zóny

Smart Farming - individuální přístup k rostlinám, půdě

Zemědělství 4.0 - práce s daty a informacemi, robotika



Dálkový průzkum Země
Satelity, GNSS



5G

Zrychlení přenosu dat

Rychlá reakce sítě na pokyn uživatele

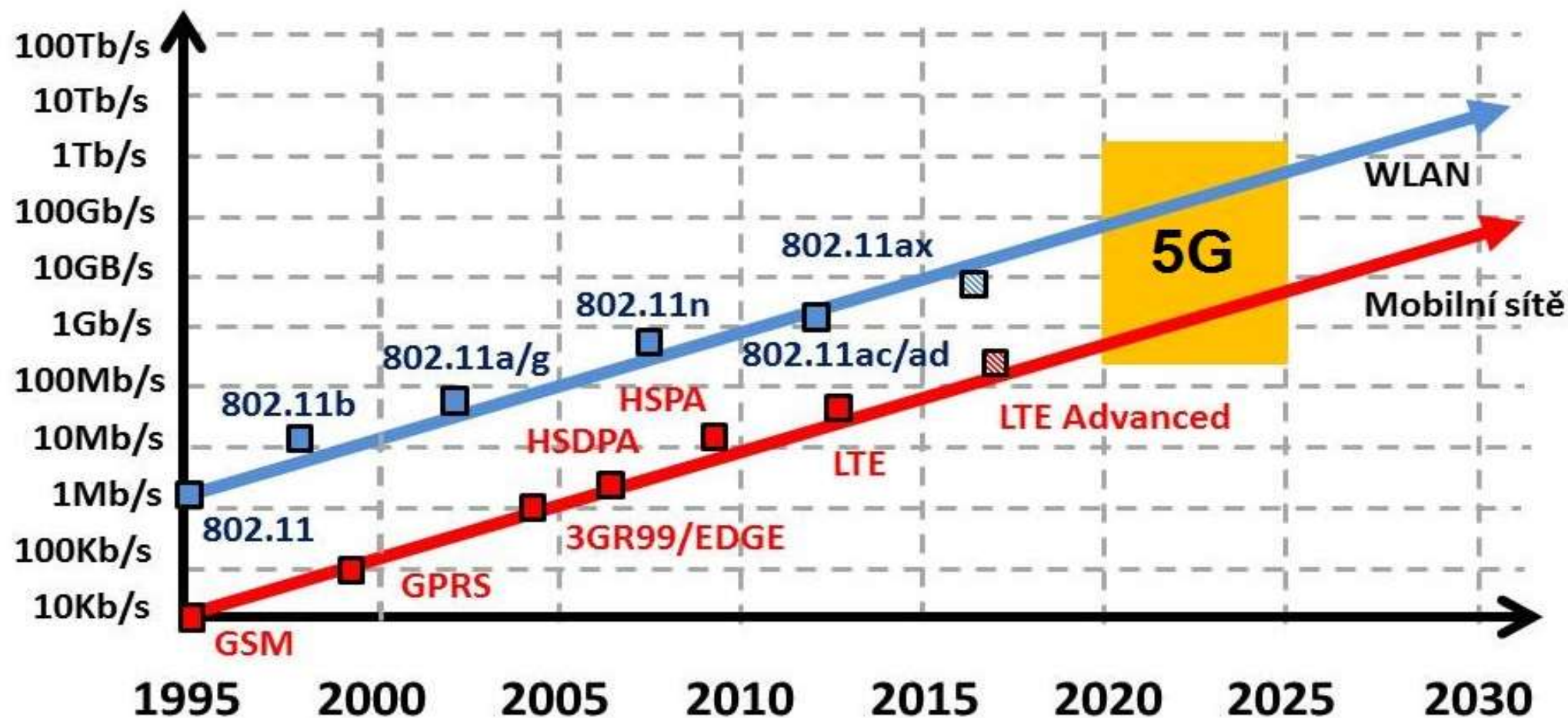
„popovídají si spolu stroje, auta

Vzájemná koordinace

Podpora IoT

Připojení k bezdrátovým senzorům

Autonomie





Česká zemědělská
univerzita v Praze

Aktuálně

Nový magisterský studijní program Precizní zemědělství

Zaměření:

- **Precizní zemědělství**
- **Trendy v zemědělské technice**
- **Elektronické řídicí prvky v zemědělství**
- **Polní robotika a autonomie**
- **Práce s daty**
- **Geoinformatika**
- **Bezpilotní prostředky**
-





DARPA SubT



K3 robot





ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

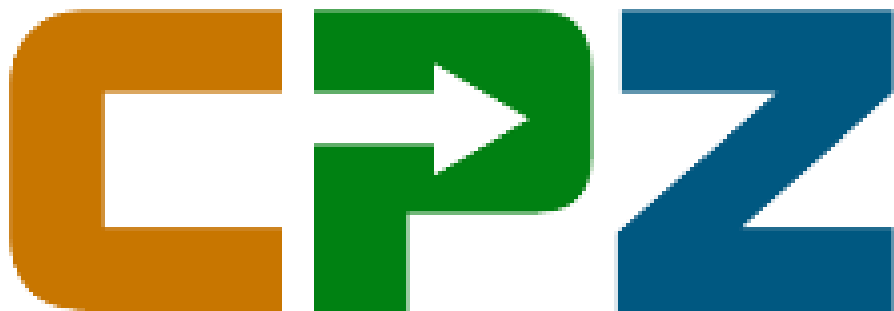
Centrum precizního zemědělství

Propojení výzkumu a vývoje s praxí a vzděláváním

Implementace výsledků z oblastí:

- precizního zemědělství
- moderních technologií
- robotiky

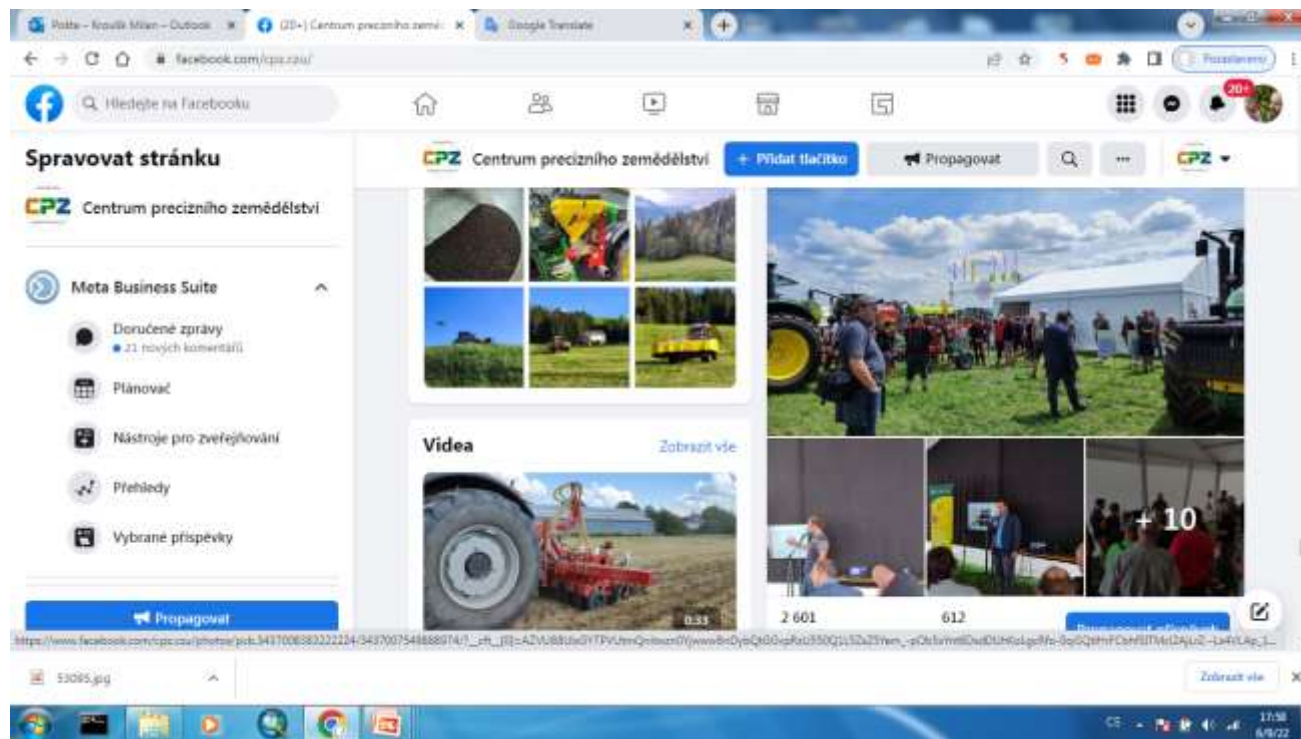




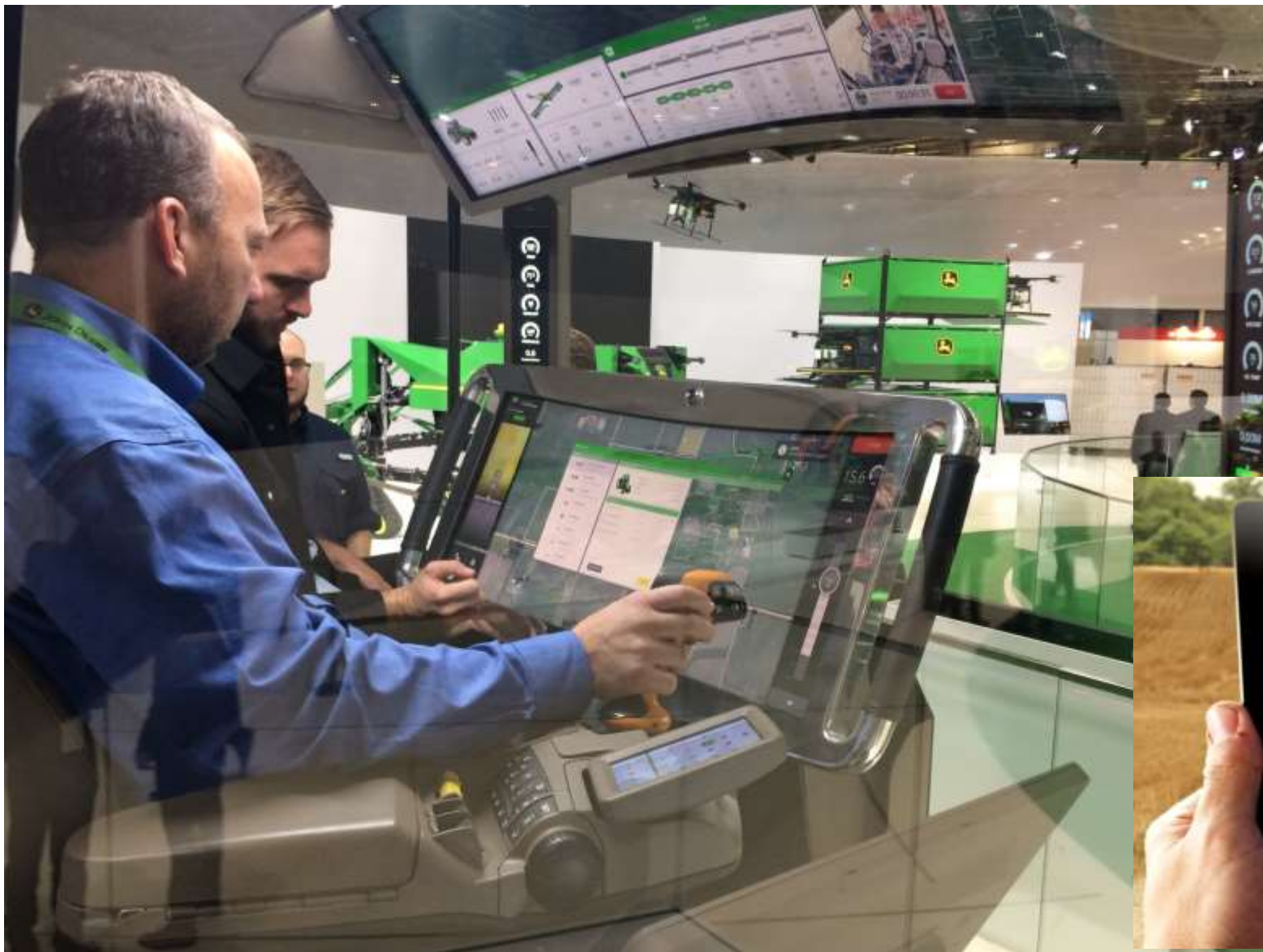
ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

<https://cpz.czu.cz>

- Internet
- Facebook
- Přednášky
- Publikace



- technologický pokrok otevírá stále větší sofistikovanější možnosti
- nastupující generace na moderní technologie slyší velmi dobře



www.SIUZ.cz



spolek
pro inovace
a udržitelné
zemědělství

www.SIUZ.cz

FB Ekoschéματα precizně, FB Moudrý vůl

polakova@siuz.cz

Tel: 737 114 748

O.Bačina AGROSSyn 1100 ha
FARMA CHMEL s.r.o. 800 ha
Agra Řisuty s.r.o. 2600 ha
LUPOFYT, s.r.o. 1850 ha
Farma Král – Pert Král 160 ha
O. Doležal Blatnice 220 ha
V. M. Šásek Rantířov 190 ha
DVP Agro s.r.o. 600 ha



AGROPROGRES Kateřinky s.r.o. 730 ha
Ing. J. Kovář Mankovice 1096 ha
AGROLA s.r.o. 1900 ha
VH Agroton 370 ha

Statek Bureš s.r.o. 180 ha
LABRIS s.r.o. 500 ha
ZD Dolní Újezd 7800 ha
ZOD Zálší 4100 ha
Oseva Agri Chrudim a.s. 5500 ha
Uniagris Pěnčín a.s. 1600 ha
ZD Unčovice 6031 ha
ROLS Lešany s.r.o. 4000 ha

Mechanizace

Motyka – pluh
Srp – sklízecí
mlátička

Energetika

Člověk – kůň
Kůň – traktor
Spalovací motor –
elektropohon?

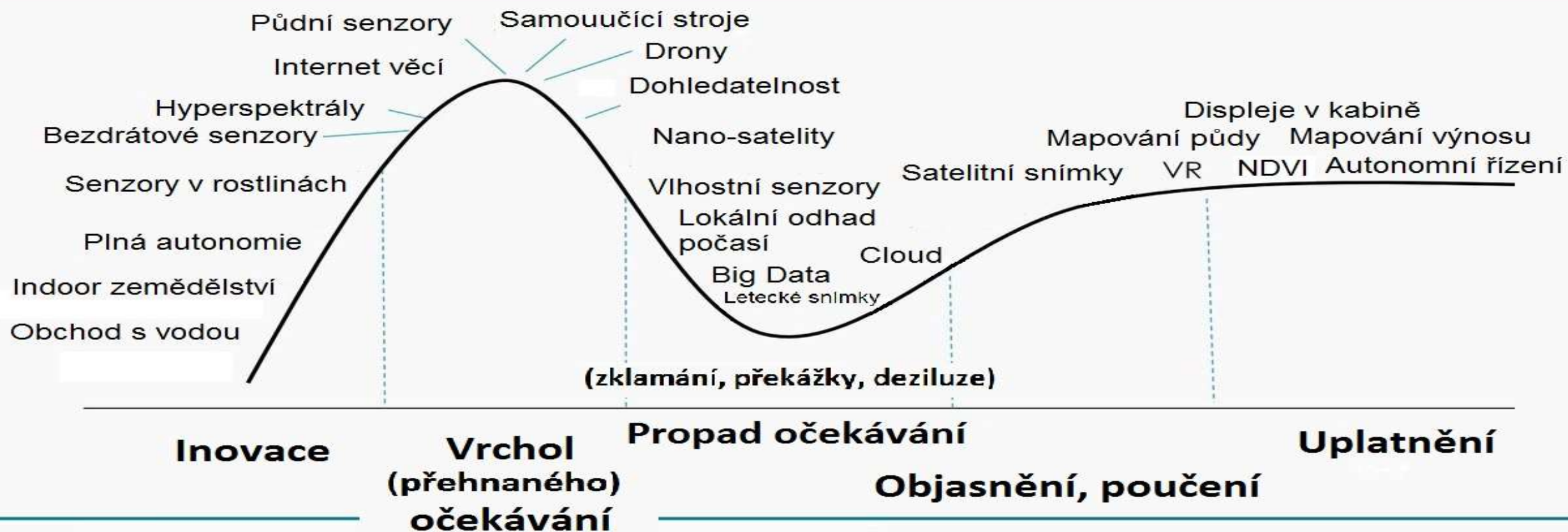
Automatizace

Kontrola vstupů
Robotika
Práce s
informacemi



Očekávání ve vývoji precizního zemědělství

Je to přesné? Chybí něco? Co má být vypuštěno?



(upravil Kroulík)

ryan.rakestraw@monsanto.com



Česká zemědělská
univerzita v Praze



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Děkuji za pozornost!

Milan Kroulík