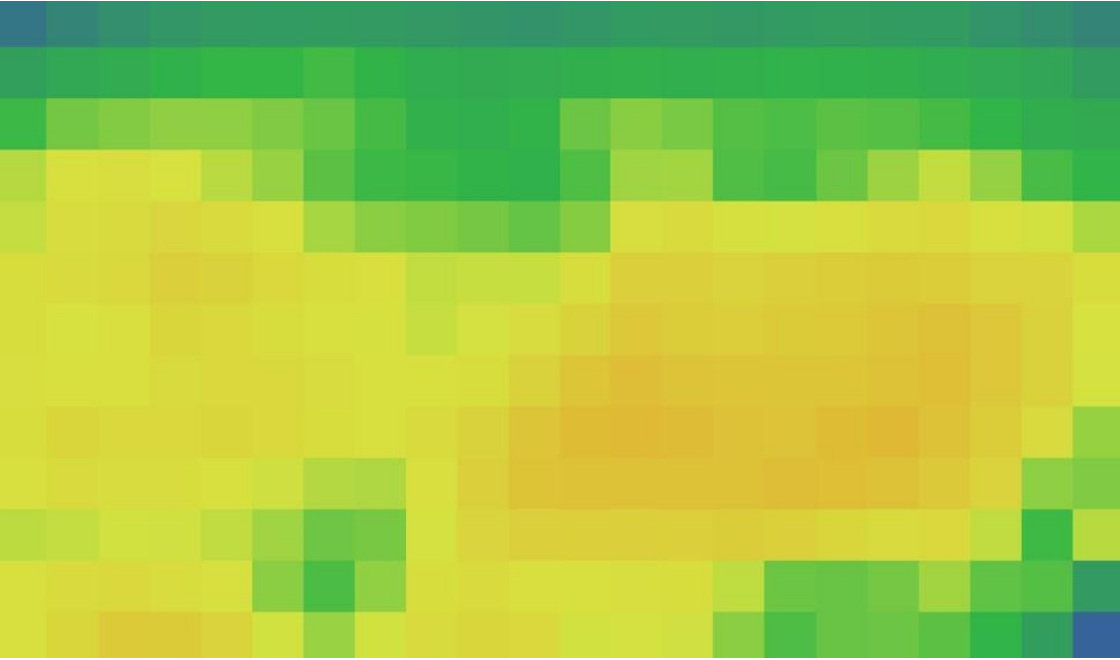


Metodika sběru a využití dat z pozemního a vzdáleného snímání půdních vlastností



Metodika

Jan Lukáš, Ondřej Holubík, Milan Kroulík, Pavel Svoboda, Patrik Vitek,
Ivana Raimanová, David Houdek

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Praha – Ruzyně, 2024

Metodika sběru a využití dat z pozemního
a vzdáleného snímání půdních vlastností



Metodika

Jan Lukáš, Ondřej Holubík, Milan Kroulík, Pavel Svoboda, Patrik Vítek,
Ivana Raimanová, David Houdek

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Praha – Ruzyně

2024

Dedikace

certifikovaná metodika je závazným výsledkem projektu QK21010130“ SMART FARMING - Variabilní profilová aplikace hnojiv do zóny růstu kořenů konvenčních plodin”, NAZV, MZe ČR. Výsledek byl spolufinancován z projektu institucionální podpory na rozvoj VÚRV, v.v.i.

Metodice bylo uděleno osvědčení Č.j. MZE-8021/2025-13123 o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací.

O uplatnění metodiky byla uzavřena smlouva s uživatelem Selgen, a.s. podle ustanovení § 1746 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb., občanského zákoníku.

Oponenti:

Ing. Jiří Souček, Ph.D.

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.

Ing. Zuzana Pšererová

Ministerstvo zemědělství ČR, Oddělení zemědělských vstupů

Kontakty na autory:

lukas@vurv.cz

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha,

2024

ISBN 978-80-7427-442-8

Náklad: 100 ks

© Jan Lukáš, Ondřej Holubík, Milan Kroulík, Pavel Svoboda, Patrik Vítek, Ivana Raimanová, David Houdek

Vydáno bez jazykové úpravy

OBSAH

- I.** Úvod
- II.** Cíl metodiky
- III.** Vlastní popis metodiky
Metody sběru dat, zpracování a vyhodnocení
 - A. Půdní mapy
 - B. Mapování geofyzikálními přístroji
 - C. Skenování platformou Veris
 - D. Rostlinné vzorky
 - E. Spektrální odrazivost a vegetační indexy
 - F. Distanční spektrální snímkování
- IV.** Srovnání novosti postupů
- V.** Popis uplatnění certifikované metodiky
- VI.** Ekonomické aspekty spojené s uplatněním metodiky
- VII.** Seznam použité literatury
- VIII.** Seznam publikací, které předcházely metodice

I. Úvod

Práce s informacemi, jejich sběr, zpracování a interpretace je pro podobu moderního zemědělství zcela zásadní. Zemědělství se celosvětově snaží vypořádat s výzvou optimálního využívání a ochrany omezených zdrojů pro zajištění nezbytného množství kvalitní produkce pro narůstající populaci v období klimatické změny. Optimalizace procesů zemědělských systémů tak, aby byly dlouhodobě udržitelné je spojeno s vyhodnocováním dat a doprovodných informací jejichž produkty slouží jako podklady pro další rozhodování. Intenzivním případem jsou praktické rozvahy ohledně strategie hnojení. Datové podklady lze čerpat i aktivně získávat různým způsobem včetně využití nových možností senzorové techniky, distančního monitoringu, tak tradičních přístupů založených na odběrech půdních či rostlinných vzorků s následnou laboratorní analýzou.

II. Cíl metodiky

Cílem metodiky je popsat způsoby, přednosti i omezení propojování dat z pozemního i distančního snímání ve vztahu k půdním vlastnostem. Metodika je určena pro zemědělskou praxi, dále může být využita v oblasti výzkumu, vzdělávání či zemědělských služeb.

III. Vlastní popis metodiky

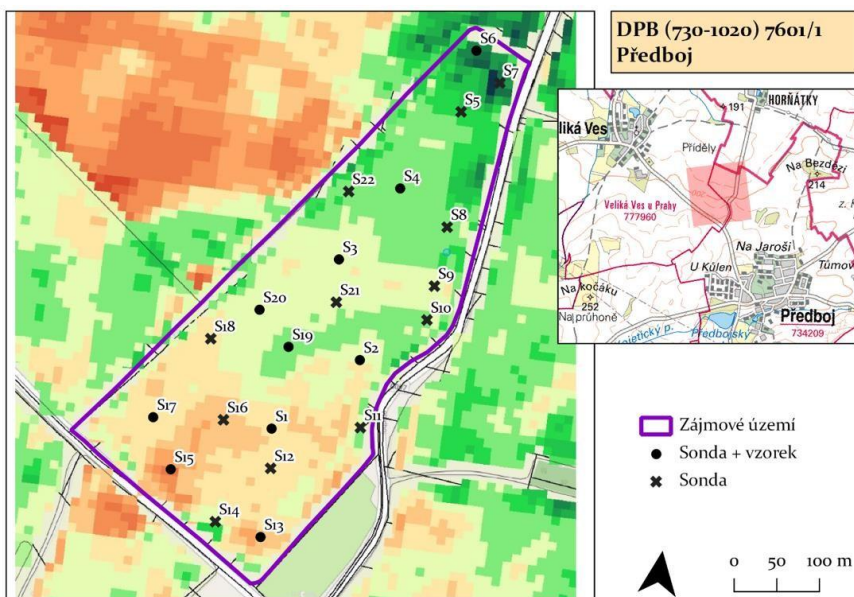
Metodika zahrnuje následující části:

Metody sběru dat, jejich zpracování a vyhodnocení

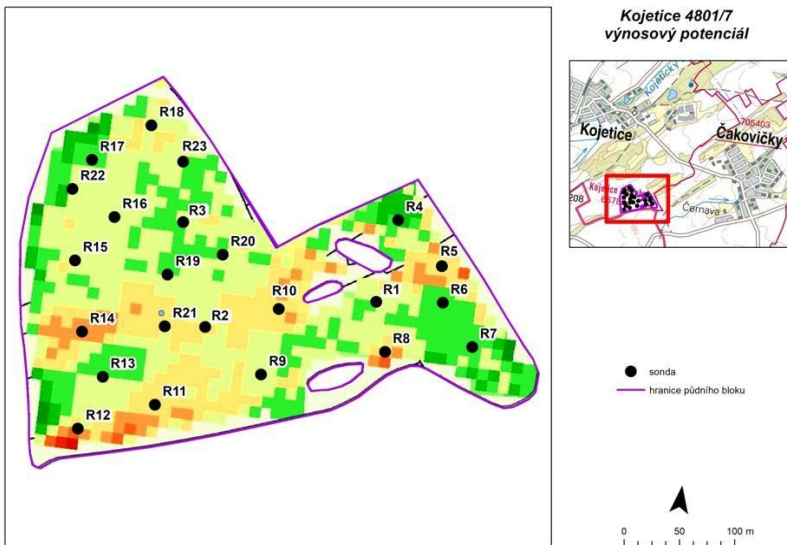
- A. Půdní průzkum
- B. Mapování geofyzikálními přístroji
- C. Skenování platformou Veris
- D. Rostlinné vzorky
- E. Spektrální odrazivost a vegetační indexy
- F. Distanční spektrální snímkování

A. Půdní průzkum

Realizace půdního průzkumu se provádí v nepravidelné síti, kdy jednotlivé body hodnocených půdních sond jsou voleny na základě výnosového potenciálu. V identifikovaných zónách jsou geolokalizovány odběrné body sloužící jak pro půdní, tak pro vzorkování rostlin (viz. Sekce D). Následují příklady ze dvou monitorovaných pozemků na lokalitách Předboj (Obr. 1) a Kojetice (Obr. 2) nám ukazují možné důsledky, které plynou z provedeního průzkumu půd.

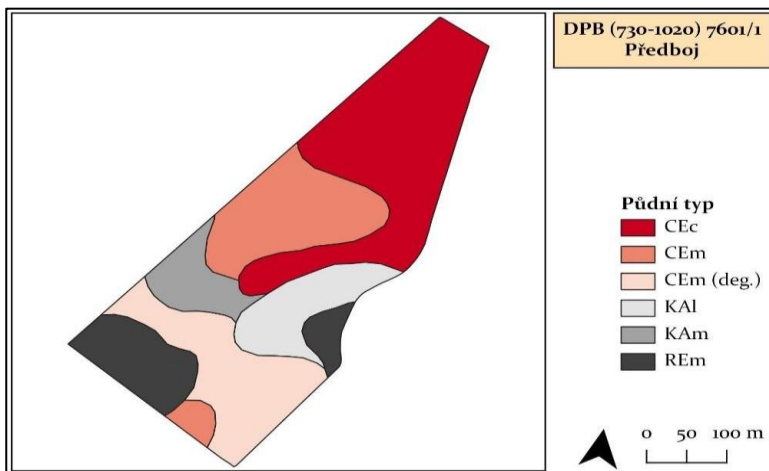


Obr. 1: Síť půdních sond na podkladě výnosového potenciálu - Předboj PB: 7601/1



Obr. 2: Síť půdních sond na podkladě výnosového potenciálu území - Kojetice

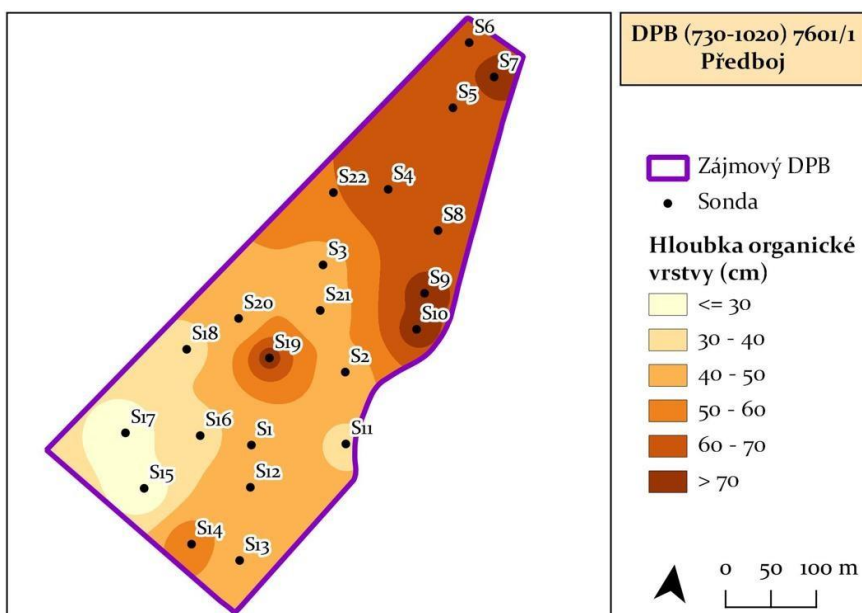
Výsledky půdního průzkumu vysvětlují celkovou variabilitu hodnoceného pozemku. Na příkladu hodnoceného pozemku Předboj (Obr. 3) je zřejmé, že se jedná o pozemek s relativně vysokou půdní variabilitu. Na ploše 13,98 ha se vyskytují hned 3 půdní typy vyvinuté na rozdílných půdních substrátech (Obr. 3).



Obr. 3: Půdně podkladová mapa pozemku PB 7601/1 Předboj

Zatímco v jižní části území se vyskytují půdy kambizemního typu (KAM), popř. nevyvinuté půdy regozemí (REm), vyvinuté na půdním substrátu rozpadu bulžníku, ve střední a severní části území se vyskytují hluboké černozemní půdy (CEc, CEm) vyvinuté na překryvu spraší a křídových sedimentů. Pro agronoma je podstatná informace týkající se hloubky svrchní humózní vrstvy (Obr. 4). Celková mocnost svrchních kulturních vrstev determinuje 2 zásadní poznání:

- 1) celkový objem vody, která může být v půdním profilu zadržena a může sloužit k doplnění vláhové potřeby rostlin
- 2) celkovou kationtovou výměnnou kapacitu, která určuje maximální dávku hnojiv, které je možné na místo aplikovat



Obr. 4: Hloubka svrchní kulturních vrstev na pozemku PB 7601/1 Předboj

Mocnost svrchních organických vrstev, je následně možné podpořit analýzou obsahu organického C a přístupných živin, tak jak na pozemku Předboj ukazují Tabulky 1 a 2.

Sonda	Horizont	Cox	Obsah humusu	Hodnocení zásoby humusu
		%	%	
S1	a	1,75	3,02	střední /vysoký
S1	b	1,74	3,00	střední /vysoký
S2	a	1,60	2,76	střední
S2	b	2,15	3,71	vysoký
S3	a	1,94	3,34	vysoký
S3	b	1,75	3,02	střední /vysoký
S4	a	2,66	4,59	vysoký
S4	b	2,72	4,69	vysoký
S6	a	3,01	5,19	velmi vysoký
S6	b	2,75	4,74	vysoký
S13	a	1,93	3,33	vysoký
S13	b	1,82	3,14	vysoký
S15	a	2,27	3,91	vysoký
S15	b	2,26	3,90	vysoký
S17	a	2,15	3,71	vysoký
S17	b	1,95	3,36	vysoký
S19	a	1,94	3,34	vysoký
S19	b	1,87	3,22	vysoký
S20	a	2,01	3,47	vysoký
S20	b	1,86	3,21	vysoký

Tab. 1: Výsledky základní chemických vlastností půdy na pozemku PB 7601/1 Předboj

Pozn.: a = 0-15 cm, b = 15-30 cm

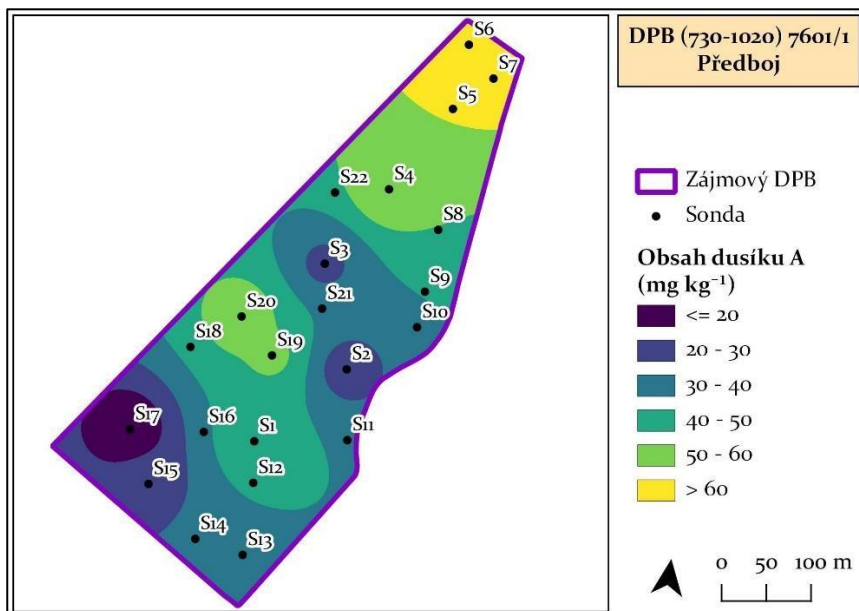
Pozn.: Vzorky byly upraveny a z jemnozeme (částice < 2 mm) podle ISO 11464 byl stanoven obsah oxidovatelného uhlíku (Cox) podle ISO/FDIS 14235, výměnná půdní reakce pH (KCl) podle ISO 10390, celkový N podle ČSN ISO 11261.

Obsah přístupných iontů (živin)									
Sonda	Horizont	Příst. Ca	Hodnocení obsahu Ca	Příst. Mg	Hodnocení obsahu Mg	Příst. K	Hodnocení obsahu K	Příst. P	Hodnocení obsahu P
		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg	
S1	a	2248	dobrý	155	vyhovující	264	dobrý	210	velmi vysoký
S1	b	2519	dobrý	175	dobrý	239	dobrý	220	velmi vysoký
S2	a	2347	dobrý	190	dobrý	378	vysoký	264	velmi vysoký
S2	b	2483	dobrý	194	dobrý	298	dobrý	339	velmi vysoký
S3	a	2331	dobrý	162	vyhovující/dobrý	191	dobrý	182	vysoký
S3	b	2785	dobrý	193	dobrý	197	dobrý	199	velmi vysoký
S4	a	5785	velmi vysoký	298	vysoký	247	dobrý	116	dobrý/vysoký
S4	b	5013	vysoký	263	vysoký	216	dobrý	170	vysoký
S6	a	9142	velmi vysoký	350	velmi vysoký	213	dobrý	344	velmi vysoký
S6	b	7325	velmi vysoký	304	vysoký	164	vyhovující	187	vysoký/velmi vysoký
S13	a	4073	vysoký	206	dobrý	205	dobrý	259	velmi vysoký
S13	b	4568	vysoký	213	dobrý	186	dobrý	252	velmi vysoký
S15	a	5063	vysoký	143	vyhovující	263	dobrý	187	vysoký/velmi vysoký
S15	b	4794	vysoký	137	vyhovující	217	dobrý	220	velmi vysoký
S17	a	2306	dobrý	186	dobrý	267	dobrý	256	velmi vysoký
S17	b	2164	dobrý	155	vyhovující	221	dobrý	180	vysoký
S19	a	2125	dobrý	147	vyhovující	224	dobrý	124	vysoký
S19	b	2897	dobrý	190	dobrý	179	dobrý	130	vysoký
S20	a	2022	dobrý	174	dobrý	297	dobrý	235	velmi vysoký
S20	b	2137	dobrý	181	dobrý	277	dobrý	191	vysoký

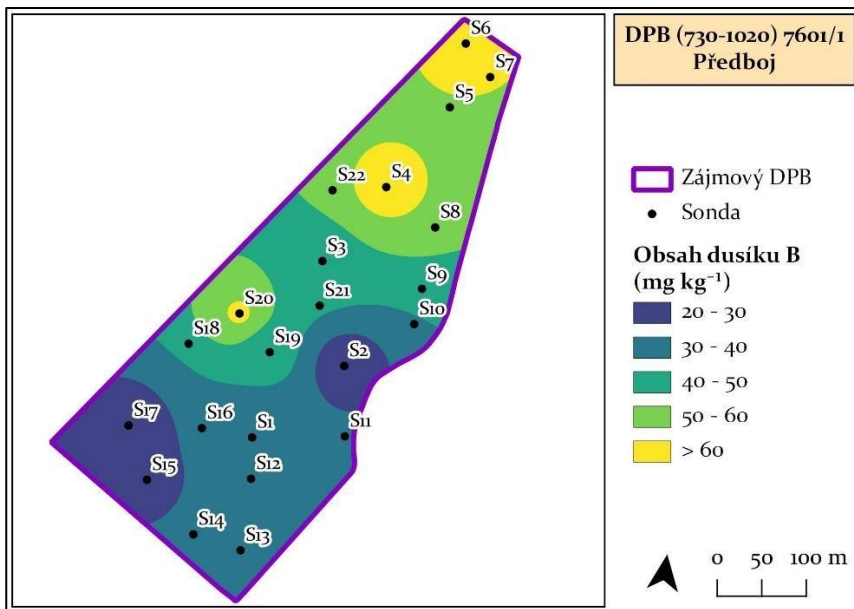
Tab. 2: Výsledky obsahu přístupných živin na pozemku PB 7601/1 Předboj

Výsledků obsahu organického C jsou pro rozhodnutí agronoma důležité zejména z pohledu dávkování živin do svrchních vrstev půdy. Na příkladu plochy Předboj (Tab. 1) je zřejmé, že nezávisle na rozdílném půdním typu a variabilní hloubce půdy, je obsah organické hmoty ve svrchních vrstvách půdy na velmi dobré úrovni. Tento fakt proto vede agronoma k rozhodnutí aplikovat plnou dávku napočítaných hnojiv. Nicméně s vědomím, že na místech mělkých půd bude výměna živin vysoce závislá na rozdílných vláhových poměrech. Celkovou aplikovanou dávkou živin je účelné vždy

korigovat o naměřený obsah přístupných živin, jak je ukázáno v tabulce 2. Z pohledu obsahu přístupných živin, lze konstatovat, že na hodnoceném území lokality Předboj není žádná z makroživin v deficitu. Doporučený agronomický zásah pro podzimní přípravu pšenice ozimé by měl být mírný, nebo žádný. Variabilní rozložení obsahu N_{min} ukazují obrázky 5-6.

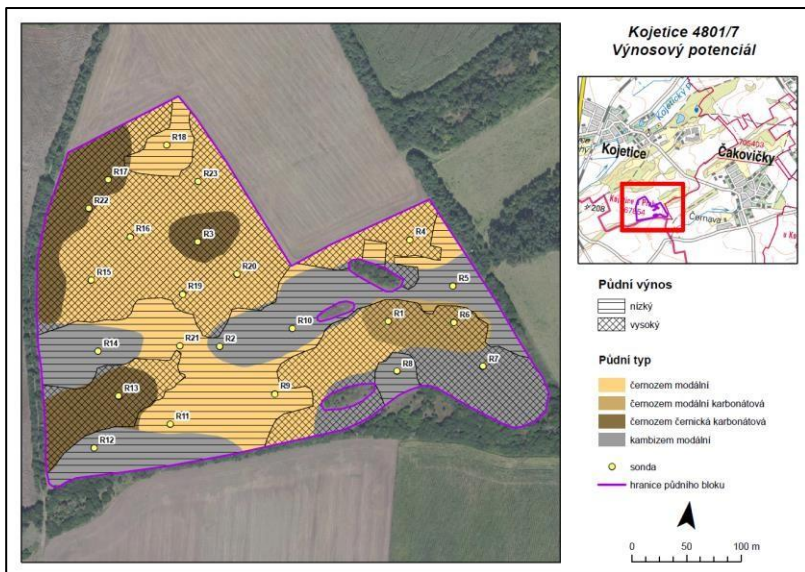


Obr. 5: Interpolační model pro přístupný N_{min}. - měřené hloubky A (0-30 cm) - PB 7601/1 Předboj



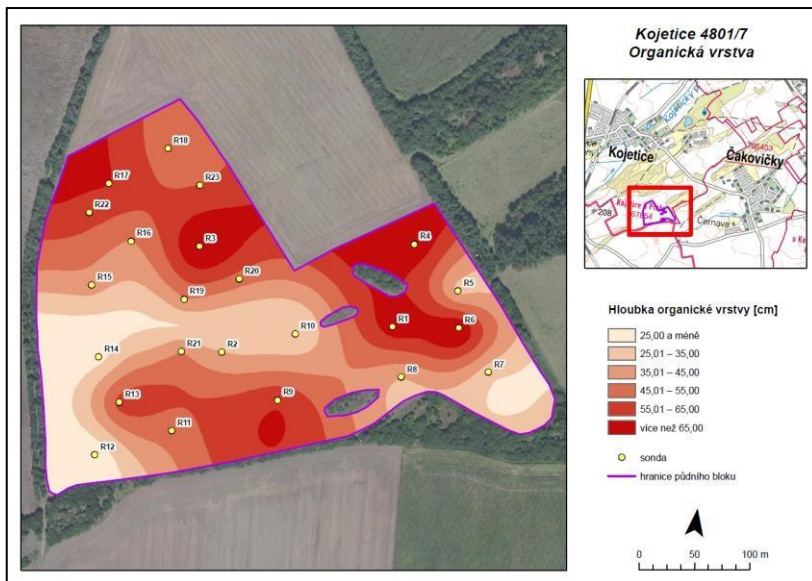
Obr. 6: InterpoláčnÍ modely pro pŕÍstupný Nmin. - měrenÉ hloubky B (30-60 cm) - PB 7601/1 Předboj

Další ukázkou kde má půdnÍ průzkum realizovaný na podkladech výnosového potenciálu územÍ své uplatnění je hodnocenÉ územÍ Kojetice. V Kojeticích bylo na ploše 9, 72 ha realizováno a vyhodnoceno celkem 23 vpichovaných půdních sond (Obr. 7). V rámci půdnÍho průzkumu byl detailně popsána mocnost půdnÍho profilu (Obr. 8), včetně subjektivního hodnocení kvality svrchní kulturní vrstvy, odhad skeletu a obsahu uhličitánů (CaCO₃).



Obr. 7: Půdně podkladová mapa pozemku Kojetice PB 4801/7ž

Realizace půdního průzkumu zároveň slouží, jako půdně podkladová mapa, která poměrně jednoznačně vysvětluje místa s nízkým, nebo naopak s vysokým výnosovým potenciálem. Na příkladu hodnocené lokality Kojetice je zřejmé, že hluboké půdy se vyskytují zejména v severní části lokality na místech, kde je klasifikována černozem karbonátová. Naopak jižní část území je byly vymezeny výchozy kambizemí a mělkých půd černozemního vidu (Obr. 7). Celková hloubka svrchních kulturních vrstev (Obr. 8) nám společně s obsahem organického C (Tab. 4), stanovenou kationtovou výměnou kapacitou půd (Tab. 5) a obsahem přístupných živin (Tab. 6) determinuje celkovou dávku možné aplikace hnojiv. Pro agronoma je zásadní, že výpočet maximální dávky hnojiv pro každou část území je hodnota, která je dlouhodobá a prakticky neměnná.



Obr. 8: Hloubka svrchní kulturních vrstev na pozemku Kojetice PB 4801/7x;

Na příkladu hodnocené lokality Kojetice je zřejmé, že na místech regozemních půd a mělkých černozemních půd je nízký výnosový potenciál určen nejen nízkou mocností, ale také sníženou kvalitou svrchních humózních vrstev půdy (Tab. 4). Doporučení pro agronoma je v tuto chvíli spíš daná místa vyčlenit z mapy zásobního hnojení a na tyto plochy aplikovat nižší dávku hnojiv. Vyšší dávka hnojiv by na těchto místech nebyla účelná a znamenala by možné ovlivnění spodních vod. Naopak místa, kde dosahuje mocnost svrchní kulturní vrstvy (Obr. 8) minimálně 60 cm je výhodné podpořit vyšší dávkou hnojiv. Tento zásah sice nevyřeší celkovou variabilitu území, ale může znamenat celkově vyšší výnos hlavní plodiny z plochy. Půdně podkladová mapa (Obr. 2) může zároveň sloužit k rozhodnutí, jaký typ hnojiv by měl na konkrétní místo aplikován. Na příkladu lokality Kojetice je zřejmé, že přítomnosti bazického půdního substrátu z období křídý (vymezení černozemě karbonátové a černozemě černické karbonátové, Obr. 7) přirozeně obohacuje půdy o vápník. Na této ploše lze hnojení Ca z dlouhodobého hlediska zcela vynechat. Bazický charakter půd zde zároveň do značné míry ovlivňuje i dostupnost aplikovaného

fosforu, který je v bazické prostředí velmi málo mobilní. Lze proto pro tyto části území doporučit časté hnojení organickým hnojivem s obsahem organicky vázaného fosforu.

Základní chemické složení											
Sonda	Horizont	Půdní typ	Cox	Obsah humusu	Hodnocení zásoby humusu	Ntot.	C/N	Příst. N (NO3)	Příst. N (NO3) ve 30 cm	Příst. N (NH4)	Příst. N (NH4) ve 30 cm
			%	%		%		mg/kg	kg/ha	mg/kg	kg/ha
R1	a	CExc'	1,69	2,91	střední	0,19	8,8	12,20	27,45	3,08	6,93
R2	a	KAm	1,42	2,45	střední	0,17	8,6	17,69	39,80	4,39	9,88
R3	a	CExc'	1,43	2,47	střední	0,17	8,4	10,20	22,95	2,53	5,69
R5	a	KAm	1,26	2,17	střední	0,13	9,6	19,62	44,15	2,33	5,24
R7	a	KAm	1,33	2,29	střední	0,16	8,3	12,38	27,86	2,55	5,74
R13	a	CEx	1,44	2,48	střední	0,17	8,5	6,66	14,99	2,61	5,87
R14	a	KAm	1,30	2,24	střední	0,16	8,1	8,57	19,28	3,19	7,18
R16	a	CEm	1,46	2,52	střední	0,17	8,7	9,56	21,51	3,61	8,12
R18	a	CEm	1,57	2,71	střední	0,20	8,0	9,98	22,46	5,44	12,24
R1	b	CExc'	1,52	2,62	střední	0,18	8,5	17,23	38,77	2,87	6,46
R2	b	KAm	1,81	3,12	vysoký	0,22	8,4	13,81	31,07	3,80	8,55
R3	b	CExc'	1,67	2,88	střední	0,20	8,5	6,95	15,64	2,54	5,72
R5	b	KAm	1,65	2,84	střední	0,19	8,9	26,36	59,31	3,30	7,43
R7	b	KAm	1,47	2,53	střední	0,17	8,6	11,02	24,80	3,23	7,27
R13	b	CEx	1,32	2,28	střední	0,17	7,9	7,50	16,88	2,54	5,72
R14	b	KAm	1,36	2,34	střední	0,16	8,3	8,79	19,78	8,62	19,40
R16	b	CEm	1,78	3,07	střední/vysoký	0,19	9,2	11,53	25,94	3,38	7,61
R18	b	CEm	1,61	2,78	střední	0,19	8,4	10,44	23,49	2,87	6,46

Tab. 4: Výsledky základní chemických vlastností půdy na pozemku PB 4801/7 Kojetice; a = 0-15 cm, b = 15-30 cm

Pozn.: Vzorky byly upraveny a z jemnozeme (částice < 2 mm) podle ISO 11464 byl stanoven obsah oxidovatelného uhlíku (Cox) podle ISO/FDIS 14235, výměnná půdní reakce pH (KCl) podle ISO 10390, celkový N podle ČSN ISO 11261.

Půdní reakce a sorpce							
Sonda	Horizont	Půdní typ	pH (H ₂ O)	pH (KCL)	Hodnocení půdní reakce	pot. (KVK)	Hodnocení T (KVK)
						mmol+/100 g	
R1	a	CExc'	6,98	6,30	slabě kyselá	20,63	vyšší střední
R2	a	KAm	5,79	4,71	kyselá	17,14	střední
R3	a	CExc'	7,82	7,08	neutrální	20,85	vyšší střední
R5	a	KAm	7,62	7,06	neutrální	19,19	vyšší střední
R7	a	KAm	7,80	7,17	neutrální	17,02	střední
R13	a	CEx	6,63	5,58	slabě kyselá	17,00	střední
R14	a	KAm	6,41	5,44	kyselá	17,00	střední
R16	a	CEm	6,82	6,05	slabě kyselá	17,75	vyšší střední
R18	a	CEm	7,81	7,13	neutrální	12,25	nízká

Tab. 5: Výsledky hodnocení pH a sorpčního komplexu na pozemku PB 4801/7 Kojetice ; a = 0-15 cm, b = 15-30 cm

Pozn.: kationtová výměnná kapacita (T CEC), resp. efektivní výměnná kapacita (ECEC) stanovena podle ISO 13536

Obsah přístupných iontů (živin)										
Sonda	Horizont	Půdní typ	Příst. Ca	Hodnocení obsahu Ca	Příst. Mg	Hodnocení obsahu Mg	Příst. K	Hodnocení obsahu K	Příst. P	Hodnocení obsahu P
			mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg	
R1	a	CExc'	3337	střední	305	vyšoký	152	vyhovující	25	nížký
R2	a	KAm	1682	vyhovující	404	velmi vysoký	120	vyhovující	77	vyhovující
R3	a	CExc'	6819	velmi vysoký	193	dobrý	170	vyhovující	38	nížký
R5	a	KAm	3826	střední	199	dobrý	87	nížký	123	vyšoký
R7	a	KAm	5520	velmi vysoký	252	vyhovující	155	vyhovující	119	vyšoký
R13	a	CEx	2119	dobrý	360	vyšoký	127	vyhovující	105	dobrý
R14	a	KAm	2111	dobrý	145	dobrý	100	nížký	103	dobrý
R16	a	CEm	2971	dobrý	260	vyhovující	126	vyhovující	76	vyhovující
R18	a	CEm	5468	velmi vysoký	268	vyšoký	110	vyhovující	64	vyhovující
R1	b	CExc'	3420	střední	428	velmi vysoký	142	vyhovující	25	nížký
R2	b	KAm	1745	vyhovující	405	velmi vysoký	118	vyhovující	84	dobrý
R3	b	CExc'	5941	velmi vysoký	192	dobrý	184	dobrý	39	nížký
R5	b	KAm	4251	střední	274	vyšoký	94	nížký	139	vyšoký
R7	b	KAm	5475	velmi vysoký	263	dobrý	174	dobrý	124	vyšoký
R13	b	CEx	2377	dobrý	358	velmi vysoký	142	vyhovující	91	dobrý
R14	b	KAm	2717	dobrý	178	dobrý	115	vyhovující	98	dobrý
R16	b	CEm	2589	dobrý	393	velmi vysoký	134	vyhovující	71	vyhovující
R18	b	CEm	4479	vyšoký	324	vyšoký	120	vyhovující	60	vyhovující

Tab. 6: Výsledky obsahu přístupných živin na pozemku PB 4801/7 Kojetice; a = 0-15 cm, b = 15-30 cm

Pozn.: přístupné formy živin byly stanoveny z výluhu Mehlich III. (P, K, Mg, Ca) (Mehlich, 1984), hodnocení půdních vlastností bylo provedeno podle publikace Sánka et Materna (2004)

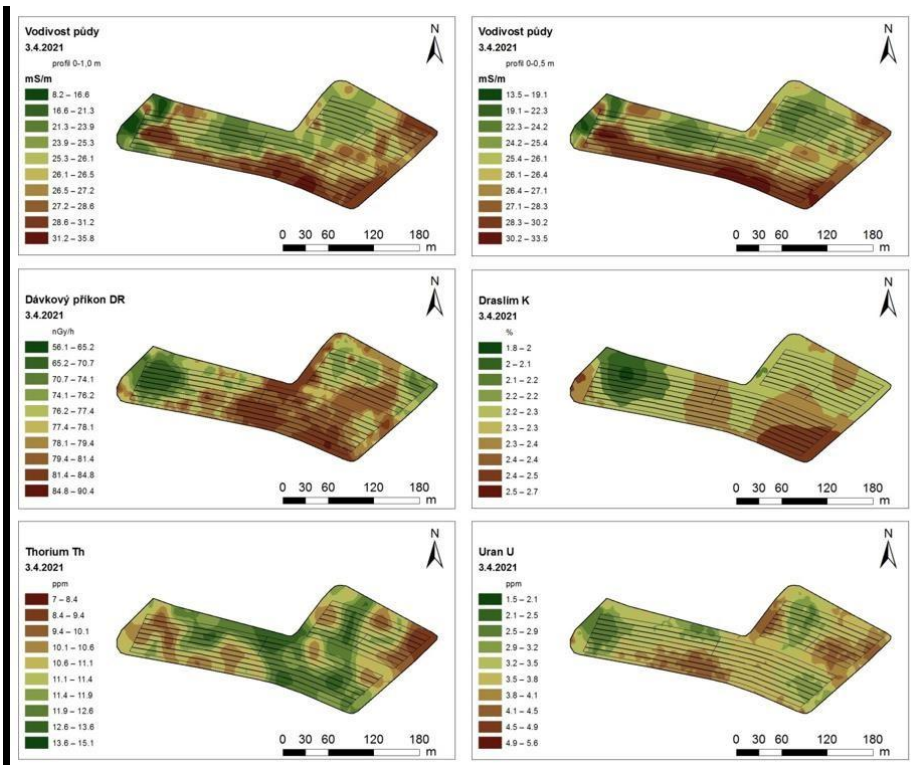
Pro agronoma je zásadní, že půdní průzkum, který může vysvětlovat variabilitu výnosových hladin na pozemku je pro něj trvalou hodnotou, která se v čase významně nemění. Navíc určení celkové hloubky svrchních kulturních vrstev má pro agronoma zásadní informaci s ohledem na celkovou zásobu vody na hodnoceném území a celkovou výměnu živin, která určuje maximální aplikační dávku hnojiv.

B. Mapování geofyzikálními přístroji

Pro nastupující technologie, nejen v zemědělství, je sběr informací klíčovou záležitostí a ve stavu techniky jsou omezené možnosti sběru dat o půdě, které by vedly k širšímu uplatnění lokálně cílených zásahů.

Na pozemcích vybraných pro monitorování bylo provedeno měření a hodnocení variability půdních podmínek s využitím soupravy, která je osazena geofyzikálními přístroji. Na předním závěsu čtyřkolky je nasazen gamaspektrometr GScar. Gamaspektrometr reaguje na přirozenou aktivitu izotopů v půdě. Výstupy z gamaspektrometru jsou potom koncentrace radionuklidů v půdě, konkrétně draslík, uran a thorium. Čtvrtým parametrem je dále hodnota celkového příkonu. Jedním z těchto izotopů je tedy draslík, emitovaný ze všech forem, včetně dostupného rostlinami. Například Castrignanò a kol. (2012) shledali významnou korelaci mezi dostupnou formou draslíku a výstupem z gama senzoru. Tato informace tak může poskytnout podklady pro doporučené variabilní dávky hnojiva, případně odhalit rozdíly v jeho násobenosti. Druhým senzorem, který je tažen na dřevěných saních je přístroj pro měření elektrické vodivosti půdy EM38-MK2. Měření vodivosti půdy je geoelektrická metoda, kdy se zjišťuje schopnost půdy vést elektrický proud. Elektrická vodivost půdy je ukazatel, který lze využít k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí. Sensory využívají elektrického obvodu k měření schopnosti půdy vodit, případně akumulovat, elektrický náboj. V případě, že jsou používány tyto senzory, stává se půda součástí elektrického obvodu a lokální změny půdních vlastností významně ovlivňují signál, který je následně ukládán do měřicí ústředny.

Hodnoty elektrické vodivosti výrazně korelují s půdními vlastnostmi, které mají vazbu na výnos, a do jisté míry může vysvětlit variabilitu výnosu. Jedná se zejména o zrnitostní složení, kationtovou výměnnou kapacitu, obsah organické hmoty, hloubku půdního profilu, pH, vodní kapacitu a další. Data ze senzorů vodivosti půdy jsou často využívána při návrhu tzv. management zón pro variabilní vstupy.



Obr. 9: Výstupy z geofyzikálních přístrojů, které byly získány během jarního odběru.

C. Skenování platformou Veris

Jedná se o analytickou platformu taženou po pozemku za traktorem nebo jiným stojem vybaveným tzv. tříbodovým závěsem. Platforma je vybavena třemi typy senzorů pro snímání vlastností pozemků při samotném přejezdu. Je možné stanovit obsah organické hmoty, kationtovou výměnnou kapacitu a pH. Zaznamenávaná data jsou automaticky ukládána do obslužné aplikace v terminálu v kabině tažného prostředku. Následně dochází ke stažení hrubých dat, odeslání ke přes cloudové úložiště výrobce platformy k následnému zpracování do podoby mapových podkladů.

Pro korekci hrubých dat je nutné odebrat na předmětných pozemcích směsné půdní vzorky v místech s extrémními hodnotami. Tato místa jsou označena po dokončení skenování přímo v obslužné aplikaci. Půdní vzorky jsou následně odebrány a odeslány ke zpracování v laboratoři. Pro stanovení pH byla laboratoří použita metoda výměnného pH (CaCl_2) potenciometricky. Pro stanovení obsahu organické hmoty byla použita metoda dle metodiky ZOL Postoloprtý porovnaná s metodou podle Tjurina, JPP – Analýza půd III. Kationtová výměnná kapacita byla laboratoří stanovena pomocí součtové metody.

Měření pH pomocí analytické platformy Veris MSP 3 probíhá pomocí iontově selektivních antimonových elektrod osazených na měřicím zařízení. Výsledky jsou zaznamenávány jako průměr dvou na sobě nezávislých elektrod, což eliminuje možnost chyby a výpadku. Zároveň je ke každému odebranému vzorku zaznamenána GPS pozice. Odebírací hlava každých 10 sekund při pojezdu nabere vzorek zeminy, ta je následně mechanickým ramenem přesunuta k elektrodám, kde dojde k samotnému měření. Následně je mechanické rameno posunuto níže k odběru dalšího vzorku a dojde k automatickému ostříku elektrod vodou umístěnou v nádrži na platformě. Elektrody jsou tak připraveny pro další měření. Před samotným započítáním měření na pozemku je nutné zkalibrovat elektrody pomocí pH pufru o hodnotě pH4 a pH7 touto kalibrací provede automaticky obsluhu zařízení aplikace v terminálu.

Měření obsahu organické hmoty pomocí analytické platformy Veris MSP 3 je zajištěno pomocí optického senzoru umístěného ve střední části platformy. Senzor se skládá s několika částí přední kotouče sloužící k odstraňování posklizňových zbytků jsou následovány kotouči pro proříznutí povrchu půdy do požadované hloubky a následuje samotná optická jednotka. Ta se skládá z kovového tělesa osazeného safírovým sklíčkem. Přes toto sklíčko jsou vysílány diodou světelné paprsky LED 660nm a NIR LED 960nm. Odražené světlo je poté přijímáno fotodiodou a převáděno na modulované napětí, a data jsou přenášena do obslužné aplikace v terminálu přístroje. Senzor se pohybuje v hloubce 5–7 cm pod povrchem půdy

a kontinuálně po celou dobu jízdy v půdě měří hodnoty. Před měřením na pozemku se provede pomocí kalibračního bloku kalibrace na světlé i tmavé straně bloku a za využití obslužné aplikace se jednotka uvede do požadovaných parametrů.

Kationtová výměnná kapacita je analytickou platformou Veris MSP 3 měřena nepřímo pomocí elektrické vodivosti půdy. Využívá se zde principu, kdy menší jílové částice vedou více elektrického proudu, než částice větší jako jsou částice hlinité a písčité. Pro zjištění elektrické vodivosti půdy je platforma osazena sadou šesti kovových disků pohybujících se v půdě v hloubce 2,5 – 5 cm. Jeden pár disků elektrický proud vysílá a další dva páry měří změnu napětí. Dva páry měří změnu v hloubce 0 – 30 cm a dva páry měří hlubší vrstvu půdy 0–90 cm. Před samotným měřením je provádí kalibrace pomocí kalibrační sady a pomocí postupu v obslužné aplikaci.

Výsledky měření jsou shrnuty obr. 10.

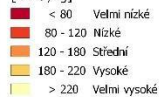
Mapa KVK [mmol/kg]

Pozemek : Kojetice 4801/7
Výměra pozemku [ha]: 10



Legenda

Kationtová výměnná kapacita [mmol/kg]



Plošné zastoupení tříd KVK



Leading Farmers CZ, a.s. 2023

Podklíčová data :
Orpěstvo ČR
© ČÚZK, 2023

Mapa organické hmoty [% humusu]

Pozemek : Kojetice 4801/7
Výměra pozemku [ha]: 10



Legenda

Obsah organické hmoty [%]



Plošné zastoupení tříd org. hmoty



Leading Farmers CZ, a.s. 2023

Podklíčová data :
Orpěstvo ČR
© ČÚZK, 2023





Pozemek : Kojetice 4801/7
Výměra pozemku [ha]: 10



Legenda

- Hranice pozemku
- < 4.5 Extra kyselá
- 4.5 - 5.0 Silně kyselá
- 5.0 - 5.5 Kyselá
- 5.5 - 6.5 Slabě kyselá
- 6.5 - 7.2 Neutrální
- 7.2 - 7.7 Alkalická
- > 7.7 Silně alkalická

Plošné zastoupení tříd pH



LEADING FARMERS
© Leading Farmers CZ, a.s., 2023

Obr. 10 Výstupy z měření pomocí platformy Veris na lokalitě Kojetice

D. Rostlinné vzorky

Vývoj porostu podstatné sledovat v časové řadě v klíčových vývojových fázích v bodech geopozicovaných na základě map výnosového potenciálu v termínech :

1) odnožování (BBCH23-25)

V době odnožování se odebírají celé rostliny. Stanovuje se hmotnost rostlin, počet rostlin na m² a obsah základních živin - N (příp. P, K).

2) konec metání až začátek kvetení (BBCH 59-61)

V době metání se odebírá 2x 15 praporcových listů z plochy 1 m² kolem odběrového bodu. V praporcových listech se stanovuje obsah N (%) a obsah chlorofylu A a B (mg. g⁻¹ listu). Oba parametry jsou využity nejen pro hodnocení stavu porostu na začátku tvorby zrna, ale současně pro tvorbu korelačních vztahů s vybranými vegetačními indexy získanými z multispektrálních snímků z dálkového průzkumu. Na stanovišti Předboj byla vzhledem k odlišným vláhovým

podmínkám daným půdním profilem stanovena též hodnota diskriminace ^{13}C .

3) sklizeň (BBCH 89)

V době sklizně jsou odebírány snopky pro hodnocení základní výnosové charakteristiky – výnos zrna (t/ha), sklizňový index HI, HTS (g), příp. obsah N (%) v zru a slámě.

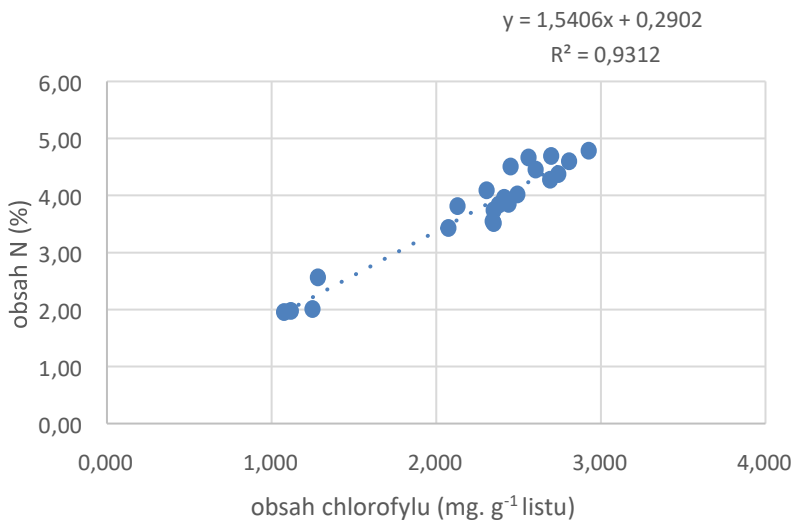
Obsah celkového dusíku v sušině (mg N.g-1 listu) byl stanoven spektrofotometricky v mineralizovaném vzorku (dle Kjeldala) na automatickém analyzátoru Skalar San Plus System (Breda, Nizozemí).

Princip: Vzorek se mineralizuje za mokra koncentrovanou kyselinou sírovou za přítomnosti katalyzátoru (Se). Obsah chlorofylu ve zmražených vzorcích (mg.g-1 listu) byl stanoven spektrofotometricky upravenou metodou č. 942.04 dle AOAC (1990). Extrakce se provádí vroucím 80% etanolem do úplného odbarvení listů.

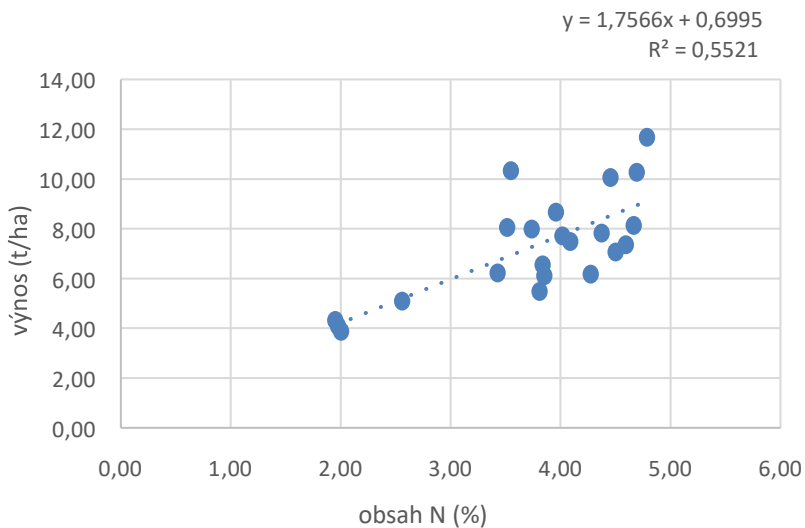
Výsledky vzorkování shrnuje Tabulka 7., regresní vztahy pak grafy na obrázcích 9-10.

Fáze odnožování 05.04.2023			Fáze začátek kvetení 07.06.2023				Sklizeň 18.07.2023		
N (%)	P (%)	K (%)	Chlorofyl A+B (mg/g)	N (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{13}\text{C}$	Výnos (t/ha)	HI	HTS (g)
4,92	0,546	3,83	2,074	3,43	-27,83	20,40	6,23	0,54	39,96
4,88	0,569	3,95	2,440	3,85	-28,14	20,72	6,11	0,52	40,32
4,63	0,549	3,44	2,381	3,84	-28,19	20,78	6,55	0,46	33,91
5,06	0,544	3,82	2,603	4,45	-29,55	22,21	10,06	0,48	41,36
4,97	0,538	4,02	2,350	3,74	-27,06	19,59	7,99	0,54	43,73
5,25	0,549	3,47	2,344	3,55	-28,10	20,68	10,33	0,53	44,10
5,46	0,555	3,75	2,927	4,79	-29,15	21,79	11,67	0,52	40,84
5,25	0,548	3,76	2,699	4,69	-28,70	21,31	10,27	0,46	34,03
4,91	0,565	3,62	2,452	4,50	-29,16	21,80	7,07	0,47	33,79
5,05	0,569	4,23	2,742	4,37	-29,09	21,72	7,83	0,51	37,03
4,77	0,579	3,90	2,693	4,27	-27,49	20,04	6,18	0,49	37,61
5,04	0,507	3,39	2,494	4,02	-28,23	20,81	7,71	0,56	37,63
4,76	0,541	3,31	2,349	3,52	-28,24	20,83	8,05	0,54	40,64
5,15	0,461	3,60	2,414	3,96	-28,37	20,96	8,66	0,55	34,30
3,97	0,509	3,18	1,249	2,00	-26,61	19,12	3,87	0,55	37,26
4,35	0,551	3,58	1,281	2,56	-27,05	19,58	5,09	0,48	35,20
3,89	0,552	3,22	1,076	1,95	-26,15	18,64	4,31	0,53	36,84
3,68	0,550	3,10	1,117	1,97	-27,15	19,69	4,09	0,55	37,75
4,87	0,566	3,54	2,561	4,67	-29,09	21,72	8,13	0,52	38,19
4,78	0,563	3,44	2,129	3,81	-28,04	20,62	5,48	0,50	38,29
5,01	0,550	3,57	2,306	4,09	-28,70	21,32	7,48	0,48	36,43
5,05	0,519	3,38	2,806	4,59	-29,63	22,29	7,36	0,55	40,74

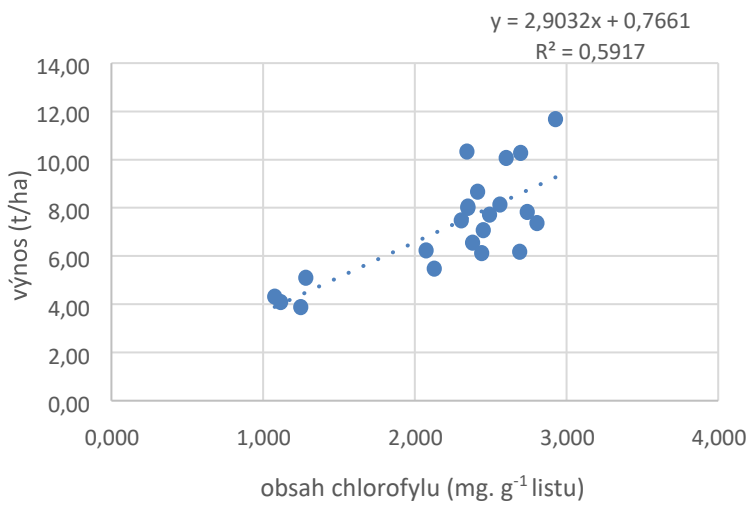
Tab. 7 Ukázka výsledků vzorkování na lokalitě Předboj



Obr. 8 Regrese mezi množstvím chlorofylu a obsahem N



Obr. 9 Regresní vztah mezi obsahem N (osa x) s výnosem (osa y)



Obr. 10 Regresní vztah mezi obsahem chlorofylu (osa x) s výnosem (osa y)

E. Spektrální odrazivost a vegetační indexy

Metody získávání spektrálních dat mohou pocházet ze tří zdrojů s ohledem na vzdálenost senzoru od snímaného porostu a/ kontaktní, b/ proximální, c/ dálkové (dálkového průzkumu Země-DPZ) snímání. Výhodou snímání pomocí prostředků DPZ je získání plošné informace o porostu. Optimální platformou, při potřebě okamžité opakované informace (časová řada), je bezpilotní technika pohybující se v nízké výšce nad povrchem porostu (AGL) do 120m. Jakkoliv je dostupnost ze satelitních platform Sentinel 2 dnes již plně komfortní co do kvality a dostupnosti, bezpilotní platformy eliminují komplexně problematiku kontaminace scény oblačností a jsou z hlediska pořizovací cen i provozních nákladů na minimální úrovni. Vstupní surové spektrální informace jsou zpracovávány do podoby tzv. vegetačních indexů, které představují číselný údaj vypočtený na základě definovaných vztahů odrazivosti jednotlivých složek elektromagnetického záření získaných senzorem technikou. Tento číselný údaj vyjadřuje aktuální fyziologický stav porostů zrcadlící zároveň půdní poměry a je spojený s proměnlivostí zastoupení rostlinných barviv a vodního provozu rostlin. Vegetační indexy jsou využívány jako metrika pro rozhodování spojených s monitoringem heterogenity porostu, v tomto metodickém případě v kontextu výživy rostlin v návaznosti na geolokalizaci této informace. V této metodice jsou komunikovány ve vztahu k půdním vlastnostem a výživovém stavu rostlin.

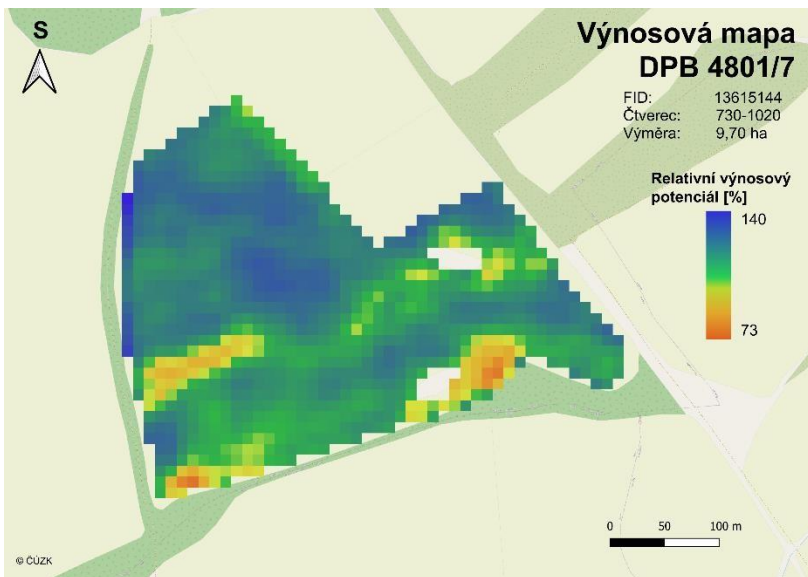
Změna v zastoupení rostlinných pigmentů, resp. vodního provozu rostliny se projevuje změnou poměru odrazivosti v oblasti NIR a červené části spektra zaznamenané senzorem technikou. Analýza spojená se znalostmi spektrálního chování vegetace ve vztahu k fyziologii rostlin umožňuje interpretovat prostorovou a časovou heterogenitu změn sledovaného porostu, resp. půdních poměrů. Vegetační indexy jsou vypočítávány pomocí jednoduchých aritmetických operací s využitím dvou či více spektrálních pásem. Nejčastěji používaným indexem zemědělské praxi je NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; $(R_{790}-R_{670})/(R_{790}+R_{670})$). NDVI dává do poměru hodnoty odrazivosti v červeném a blízkém

infračerveném spektru. Pro řidší porosty je používán index SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index; $(1.5 * (NIR - R)) / (NIR + R + 0.5)$). S vyhodnocování výsledků souvisí problematika prostorového rozlišení vstupních dat. Zatímco volně dostupné družicové snímky poskytují v současnosti informace v prostorovém rozlišení v řádech metrů (Sentinel-2: 10 m), senzory adjustované na bezpilotních prostředcích dosahují úrovně rozlišení centimetrů až milimetrů. Volbu prostorového rozlišení je potřebné optimalizovat s ohledem na schopnost získat kvalitní a konzistentní data za daný časový úsek a následnou kapacitu pro zpracování a vyhodnocení dat.

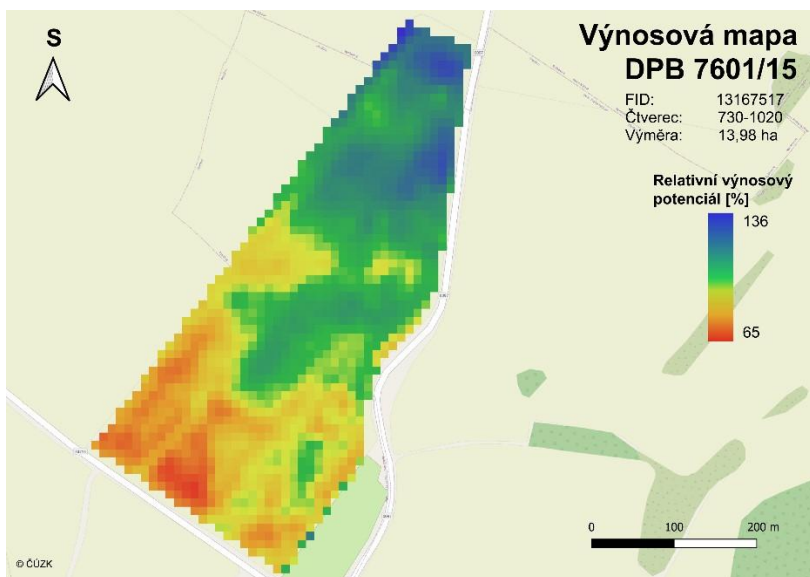
Stanovení výnosového potenciálu

Stanovení relativního výnosového potenciálu je možné provést z analýzou víceleté řady satelitních dat platformy Sentinel 2 podle metodiky zpracované Lukas et al. (2018) a Kumhálová et al. 2018, 2017. Proces vychází z analýzy heterogenity porostů monitorovaných pozemků v červnu/červenci z výpočtu vegetačního indexu EVI za posledních 8 let. Enhanced Vegetation Index (EVI) redukuje atmosférické vlivy implementací odrazivosti modrého pásma do normalizované kalkulace, což koresponduje se strukturálními změnami porostu při vyšší citlivosti k plně zapojenému porostu.

EVI vykazuje vyšší citlivost na změny v podílu zelené vegetace při vyšší úrovni nadzemní biomasy. Pro výpočet jsou vybírány scény, kdy jsou projevy prostorové variability porostů většinou nejvýraznější, s minimální oblačností a aplikaci radiometrických a atmosférických korekcí. Pro zpracování snímků ze Sentinel 2 je aplikován algoritmus sen2cor. Z výsledného datasetu je vypočtena střední hodnota. Původní prostorové rozlišení 10 m pro Sentinel je pomocí prostorových interpolací přepočteno na výsledných 5 m na pixel. Pro monitorované pozemky jsou detailní mapy výnosového potenciálu na obrázcích 11 a 12.



Obr. 11 Výnosová mapa pro lokalitu Kojetice



Obr. 12 Výnosová mapa pro lokalitu Předboj

Bezpilotní prostředky (UAV–Unmanned Aerial Vehicle) jsou poloautonomní zařízení z hlediska jejich řízení, plánování misí a operability. V praxi se setkáváme s multikoptéry, křídly nebo hybridním řešením VTOL (Vertical Take-Off and Landing). Data takto získaná se propojují s údaji shromážděnými dalšími metodami popsanými v této metodice. K monitoringu z UAV se využívá pasivních senzorů kamer, další části metodiky bude specificky komunikován sběr a zpracování dat z RGB a multispektrálních senzor

Prvním úkonem sběru prostorových dat pomocí bezpilotních prostředků je osobní prohlídka zájmového polního pozemku. Při ní je zhodnocen stav a parametry pole – svažitost, přítomnost potenciálních překážek jako je například elektrické vedení, vysoké stromy či ochranná pásma. Nezbytným předpokladem jsou veškerá potřebná povolení k letu. S výhodou lze využít informace z portálů [Mapy.cz](#), [geoportál ČUZK](#), [Droneview](#) od [ŘLP](#) nebo [LPIS](#).

Nejčastěji je zájmové území snímáno RGB a multispektrální kamerou. RGB kamery jsou mimořádně vhodné pro instantní pro vizuální kontrolu. RGB sensory snímají obraz ve viditelném světelném spektru, podobně jako lidské oko. Vytvářejí plnobarevné obrazy s červeným, zeleným a modrým kanálem. Multispektrální kamery zachycují světlo ve více pásmech, včetně těch mimo viditelné spektrum, jako je infračervené. Mohou mít dvě nebo více samostatných pásem, z nichž každé poskytuje jedinečné informace. Samotné snímání (mise) se plánuje přímo v ovladači daného UAV. Do ovladače se importuje geometrické zakreslení pole, tzv. polygon z [LPIS](#) se v rámci přípravy manuálně zakreslí. Optimalizace parametrů mise dronu v je důležité pro zajištění kvalitního sběru dat pro následnou analýzu.

Optimální výška snímání (AGL) závisí na požadovaném pozemním rozlišení a typu použitého senzoru. Vyšší AGL může zachytit větší plochu na úkor prostorového rozlišení. Přední překrytí se týká procenta překrytí snímků podél dráhy letu, zatímco boční překrytí je překrytí mezi sousedními letovými liniemi. Vyšší překryv zajišťuje více redundantních dat, což pomáhá při vytváření přesných map a modelů. Obvyklé hodnoty jsou 75-85 % pro překrytí i boční

překrytí. Vzdálenost vzorkování od země (GSD) představuje vzdálenost mezi středy pixelů na úrovni země. Menší hodnoty GSD vedou k vyššímu prostorovému rozlišení, ale mohou vyžadovat létání v nižších výškách. Rychlost letu ovlivňuje dobu potřebnou k pokrytí oblasti a může ovlivnit kvalitu obrazu. Pro pořízení vysoce kvalitních snímků se obecně doporučuje střední konstantní rychlost. Letové mise je nutné realizovat za vhodných povětrnostních podmínek, tj. vyhnout se silnému větru, dešti nebo nepříznivému počasí, které může ovlivnit stabilitu dronu a kvalitu sběru dat, kterou ovlivňuje je funkční kvalita GNSS systému, který musí poskytovat přesné údaje o poloze, což je kritické pro správné georeferencování a zarovnání snímků. Po nastavení všech parametrů se provede odhad délky mise a počtu pořízených snímků.

Před každým letem dronu je nutné provést důkladnou předletovou kontrolu, zkontrolovat fyzický stav dronu, baterie, připojení i funkčnosti dálkového ovladače. Je potřeba ověřit sílu signálu GPS a kalibraci kompasu dále otestovat senzory, kamery a funkčnost stabilizátoru.

Pro zpřesnění polohy dronu je vhodné využívat RTK (Real-Time Kinematic) až na centimetrovou úroveň v reálném čase s využitím korekčních služeb sítě referenčních míst ČÚZK pod názvem CZEPOS. V průběhu mise je nezbytný neustálý vizuální kontakt s UAV. V případě nenadálé situace je povinen misi přerušit. Dále je povinen hlídat stav baterie. Ty jsou sice nastavené tak, aby se dron při poklesu napětí pod určitou mez vrátil na místo vzlet, nicméně se stále jedná pouze o techniku, která se může chovat nestandardně. Snímky jsou průběžně ukládány na SD kartu umístěnou přímo v dronu.

Po návratu z terénu nastává fáze zpracování dat. Snímky jsou staženy z SD karty do počítače a uloženy do předem strukturovaných složek. Efektivní správa dat snímků z UAV zahrnuje vytvoření uspořádané struktury souborů s konzistentním pojmenováním, využití metadat pro další informace, zajištění zálohování a zabezpečení dat. Měla by být prováděna kontrola kvality s cílem vyloučit duplicity nebo nerelevantní snímky.

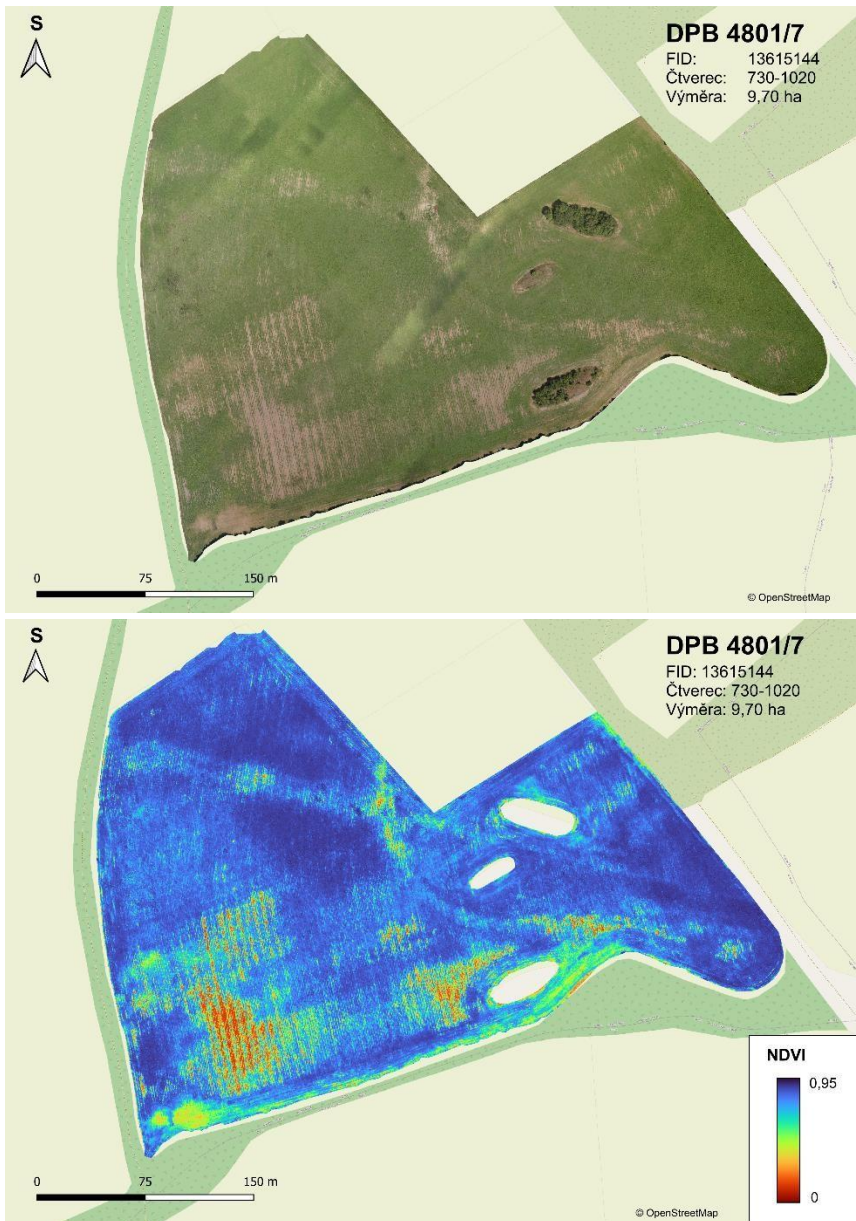
Jednotlivé snímky je potřeba spojit do jedné mosaiky. K tomu slouží např. software DJI Terra, Pix4D Fields nebo WEBODM. Vytvoří se nový projekt, do kterého se naimportují veškeré pořízené snímky. SW umí rozlišit jednotlivá pásma od sebe a bude vytvářet pro každé pásmo vlastní mosaiku.

Celý proces zautomatizovaný včetně radiometrické korekce. Uživatel nastavuje jen kvalitu požadovaného výstupu případně korekce pro vyrovnání obrazových vad.

Výsledné mosaiky jsou uloženy jako geoTiff pro následující zpracování či výpočty vegetačních indexů. Práce s rastry probíhá ve specializovaných GIS programech jako je například QGIS nebo pomocí skriptů napsaných v jazyce R s možností výpočtů přednastavených či uživatelsky definovaných vegetačních indexů. Např.:

- SR (Simple Ratio) NIR/R
- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
 $(\text{NIR} - R)/(\text{NIR} + R)$
- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)
 $(1.5 * (\text{NIR} - R))/(\text{NIR} + R + 0.5)$
- EVI (Enhanced Vegetation Index)
 $2.5 * (\text{NIR} - R)/(\text{NIR} + 6 * R - 7.5 * B + 1)$
- NDRE (Normalized Difference Red Edge Index)
 $(\text{NIR} - \text{RE})/(\text{NIR} + \text{RE})$
- ExG (Excess Green Index)
 $2 * g - r - b$
- ExR (Excess Red Index)
 $1.4(g - b)$
- ExG-ExR difference of ExG and ExR

Výsledné RGB a NDVI ortofotomosaiky jsou po dvojicích z lokality z Kojetice a Předboj na obrázcích 13 a 14.

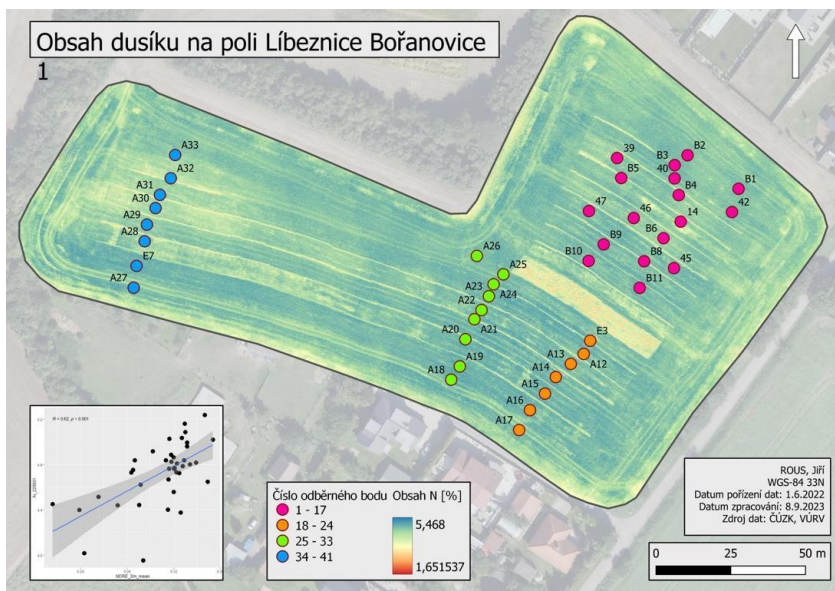


Obr. 13 RGB ortofotomosaika (nahore) a NDVI index (dole) z lokality Kojetice

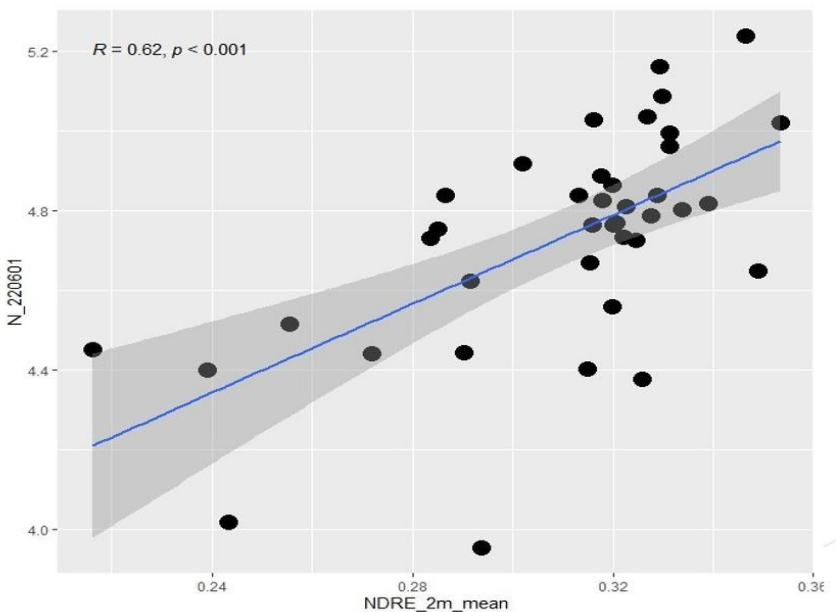


Obr. 14 RGB ortofotomosaika (nahore) a NDVI index (dole) z lokality Předboj

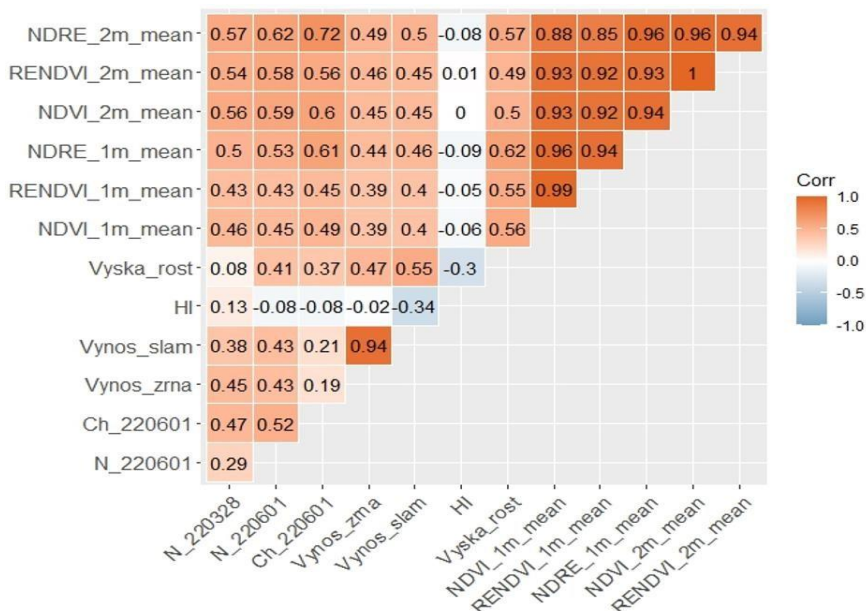
Podstatnou roli při interpretaci informací z dálkového průzkumu hraje jejich kritické vyhodnocení v kontextu zjištěných z pozemního vzorkování. Na obrázku 14 z lokality v Bořanovicích (Obr. 15 a 16) je patrné do jaké míry zjištěné hodnoty obsahu dusíku korelují s vegetačním indexem NDRE. O tom, jak korelují jednotlivé měřené proměnné (chlorofyl, N, výnos) ve vztahu k různým vegetačním indexům vypovídá korelační matice na obrázku č. 17.



Obr. 15 Lokalita Předboj zobrazená pomocí vegetačnímu indexu NDRE včetně identifikace míst bodových odběrů rostlinných vzorků, které byly včetně identifikace z hlediska obsahu chlorofylu, N, výnosu zrna i slámy



Obr. 16 Regresní vztah vegetačnímu indexu k obsahu dusíku v rostlinách



Obr. 17 Korelační matice výnosu, obsahu chlorofylu ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ listu) a N (%) k různým vegetačním indexům

IV. Srovnání novosti postupů

Metoda je originální z hlediska kombinace využití tradičních vzorkovacích a analytických nástrojů spolu s novými možnostmi založenými na senzorové technice a dálkovém průzkumu. Reaguje na potřebu operativního a opakovatelného hodnocení porostů. Umožňuje sledovat časoprostorovou dynamiku spojenou se změnami porostů v průběhu zrání v jednotlivých fenofázích od setí až po sklizeň, odezvy na stres vyvolaný abiotickými faktory (hnojení, voda/sucho, mráz, vítr atd.), biotickými stresory včetně vlivu ročníku a dopad prováděných opatření typu hnojení/přihnojování. Předkládaný přístup kombinuje různé informace o fyziologickém stavu rostlin detekován senzorovou technikou nesenou různými platformami, s bodovými informacemi na základě vzorkování půdy i rostlin. Z této komplexní informace vázané na časosběrný charakter dat je možné operativně či strategicky vyhodnocovat podstatné vlastnosti pozemku z hlediska vlastností porostu i stavu půdy. Implementace těchto postupů umožní vytvořit prostor pro pokročilé zpracování a vyhodnocování dat prostředky umělé inteligence, které bude možné na takto sbírané informace aplikovat, stejně tak ukazuje i způsob zástupnosti různých metod při absenci konkrétního datového zdroje.

V. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika může najde uplatnění v zemědělské praxi, ve službách zaměřených na poskytování podpory při sběru a analýze dat, v širší zkušební, testovací i výzkumné praxi, která aktivně s datovými zdroji pracuje. Integrací nových senzorových přístupů a fúzování dat přispěje k digitalizaci celého odvětví. Své uplatnění může metodika najít uplatnění ve státní správě (UKZUZ). Metodika může být rovněž využita v rámci programů středoškolského, vysokoškolského a postgraduálního vzdělávání při výuce studentů.

VI. Ekonomické aspekty spojené s uplatněním metodiky

Použití metodického přístupu založeného na kombinaci dat ze senzorové techniky z různých platforem v propojení s tradičním vzorkováním a laboratorní analýzou vzorků přispěje k větší míře efektivity v nakládání se zdroji, které budou moci být vynakládány po rozvaze založené na datových informacích. Ekonomická rozvaha je spojena s diverzifikací datových zdrojů, kdy některé základní jsou v současnosti disponibilní bezúplatně s vysokou přidanou hodnotou. Toto se týká zejména využití informací ze satelitní multispektrální platformy Sentinel 2, která poskytuje dostatečnou časovou řadu pro vytvoření map výnosových potenciálů. Nákupem a pořízením základní bezpilotní techniky s RGB senzorem (30 000 Kč vč. DPH), lépe však multispektrálním senzorem (100 000 Kč vč. DPH) a software pro práci s daty z bezpilotních a satelitních platforem, který je volně dostupný (QGIS, R, WEBODM) nebo může být provozován v režimu ročních licenčních poplatků

Pix4Dfields, DJI Terra v řádu 10000-30000 tis. Kč vč. DPH). Celkové náklady na tento metodický přístup jsou přizpůsobitelné konkrétním možnostem uživatele, přičemž i tzv. low cost varianty přinášejí v základu vysokou přidanou hodnotu, která je více závislá na know how o zpracování dat více než na přímých investičních nákladech. Více než hardwarové či softwarové limity se jeví v současnosti kritické personální nároky, které je možné kalkulovat jak v ročních osobních nákladech (600tis/člověk) nebo formou služeb (nižší 10ky tisíc Kč). Datově podložený přístup je časově i pracovní méně náročný na čas, přičemž může přinášet jak okamžité úspory, tak zejména dlouhodobé benefity jak finančního, tak nefinančního rázu v podobě ochrany přírodních zdrojů na úrovni půdy, vody, biodiverzity, kvality i kvantity produkce.

VII. Seznam použité literatury

AOAC, (1990). Spectrophotometric method for total chlorophyll a and b components. In: Official methods of analysis: Chlorophyll in plants. 62 - 63.

Berni J., Jose A., Zarco-Tejada P., Suárez L. & Fereres E. (2009). Thermal and Narrow- band Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*. 47: 722–738.

Brant V., Kroulík M., Zábranský P., Škeříková M., & Pivec J. (2015). Nižší výsevky a zonální aplikace hnojiv při pěstování obilnin jako základ precizního zemědělství. *AGROjournal*. 2(4): 58–61.

Castrignanò A., Wong M.T.F., Stelluti M., De Benedetto D., Sollitto D. (2012): Use of EMI, gamma-ray emission and GPS height as multi-sensor data for soil characterisation. *Geoderma* 175-176, 78–89.

Damaška, J., Voplakal, K. (1981): Ukazatelé fosforečného režimu půd v závislosti na intenzitě hnojení. *Rostliná výroba* 27, 1981, 5, 503-509

Gamon J., Serrano L. & Surfus J. S. (1997). The Photochemical Reflectance Index: An Optical Indicator of Photosynthetic Radiation Use Efficiency across Species, Functional Types, and Nutrient Levels. *Oecologia*, 112: 492–501.

Haboudane D., Miller J., Tremblay N., Zarco-Tejada P. & Dextraze L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81: 416-426.

Kroulík M., Brant V., Zábranský P. & Škeříková M. (2017). Využití provozních dat strojů pro efektivní plánování. Sborník z konference Hluk. s. 158–162.

Kumhálová J., Novák P., Madaras M. (2018). Monitoring Oats and Winter Wheat Within-Field Spatial Variability by Satellite Images. *Scientia Agriculturae Bohemica* 49 (2), 127-135.

Kumhálová J., Matějková Š. (2017). Yield variability prediction by remote sensing sensors with different spatial resolution. *International Agrophysics* 31 (2), 195-202.

Lukas V., Novák J., Neudert L., Paulová N., Širůček P. (2018). Metody analýzy a interpretace půdních vlastností pro tvorbu aplikačních map v precizním zemědělství. *Úroda* 66 (12), 319-324.

Lukas V., Neudert L., Kren J. (2009). Mapping of soil conditions in precision agriculture. *Acta Agrophysica* 13(2), 393-405.

Lukas V., Ryant P., Neudert L., Dryšlová T., Gnip P. & Smutný V. (2011). Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství. *Metodika pro praxi. Mendelova univerzita v Brně, Brno.* 33 s.

Mehlich, A. (1984). Communications in Soil Science and Plant Analysis Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant 37–41. doi:10.1167/iavs.11-7364

Rondeaux G., Steven M. & Baret F. (1996). Optimization of soiladjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55: 95–107.

Sáňka, M., Materna, J. (2004). Indikátory kvality zemědělských a lesních půd. *Planeta – MŽP Praha*, 11, 1-84.

Scotford I. M. & Miller P. c. H. (2005). Applications of Spectral Reflectance Techniques in Northern European cereal Production: A Review. *Biosystems Engineering*, 90(3): 235–250.

Trávník a kol. (2012). Metodický návod pro hnojení plodin. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Sekce úřední kontroly. Brno, 26 s. ISBN 978-80-7401-024-8.

Wolfert S., Ge L., Verdouw c. & Bogaardt M. J. (2017). Big data in SmartFarming—a review. *Agricultural Systems*, 153: 69–80.

VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M., Zábranský, P., Sova, J., & Lukáš, J. (2017). Využití termometrie v rostlinné výrobě. *Mechanizace zemědělství*, 65 (5): 68–71.

Holubík O., Heřmanovská D. 2022. SMART FARMING - Využití detailního průzkumu půdy k precizní aplikaci hnojiv. *Informační listy* (43) 2022, s. 42-45.

Lukáš J. (2021). Zpracování a interpretace dat v digitálním zemědělství, organizace webináře pro zemědělskou praxi, ČTPZ, 10.11.2021.

Lukáš J., Kroulík M. & Křížová K. (2020). PŘÍRUČKA PRECIZNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ PRO PRAXI. Publikace vyšla za podpory MZE ČR při České technologické platformě pro zemědělství, 64 s.

Svoboda P., Haberle J., Raimanová I., Lukáš J., Rous J., Moulík M., Jacko K., Holubík O. 2023. Možnosti využití systému profilové aplikace hnojiv pro zlepšení růstu rostlin. *Úroda* 12/2023, vědecká příloha časopisu s.347-354. ISSN 0139-6013.

Zelazny W. & Lukas J. (2020). Drought Stress Detection in Juvenile Oilseed Rape Using Hyperspectral Imaging with a Focus on Spectra Variability. *Remote Sens*, 12(20): 3462.

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Praha -Ruzyně
2024