



TH - Program na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního
vývoje EPSILON

Podprogram 3 - životní prostředí

Projekt TH02030133: Zemědělský systém hospodaření integrující efektivní
využití živin plodinami a ochranu vod před plošnými zdroji znečištění

Mapy výnosového potenciálu v oblasti dolního Pojizeří
Soubor specializovaných map s odborným obsahem (N-map)



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha-Ruzyně
Mendelova universita v Brně

Prosinec 2019

Autoři

¹Ing. Jan Haberle, CSc.

²Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

¹Ing. Pavel Svoboda

¹Ing. Jan Lukáš, Ph.D.

¹RNDr. Ivana Raimanová, Ph.D.

¹Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Odbor systému hospodaření na půdě, Odbor ochrany plodin a zdraví rostlin

Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně

²Mendelova univerzita v Brně

Ústav agrosystémů a bioklimatologie

Zemědělská 1, 613 00 Brno

Jména oponentů a názvy jejich organizací:

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D., ČZU Praha

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství ČR, Odbor rostlinných komodit

Soubor specializovaných map je výsledkem řešení projektu TAČR EPSILON TH02030133

"Zemědělský systém hospodaření integrující efektivní využití živin plodinami a ochranu vod před plošnými zdroji znečištění". Při zpracování byla využita některá půdní, vegetační a UAV data získaná v rámci řešení projektu MZE-RO0418 (15%).

ISBN 978-80-7427-323-0

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

© Mendelova univerzita, Brno

Mapy výnosového potenciálu v oblasti dolního Pojizeří

Specializovaná mapa (soubor map) s odborným obsahem zobrazuje relativní výnosový potenciál pozemků v oblasti dolního Pojizeří, obhospodařovaných zemědělským podnikem Farma Sojovice - Ing. Krucká, Předměřická. a.s. a dalšími podniky. Mapy identifikují zóny s odlišnou produktivitou v rámci jednotlivých pozemků. Mapy jsou výsledkem analýzy a vyhodnocení časových řad družicových multispektrálních snímků Landsat a Sentinel z průběhu vegetačního období plodin za posledních 8 let (2012-2019). Vztah údajů ze satelitních snímků, výnosů plodin a půdních podmínek byl potvrzen na základě údajů z vybraných pozemků v dané oblasti. Zóny s nízkým relativním výnosovým potenciálem indikují vysokou zranitelnost suchem a současně i riziko průsaku vody s nitráty mimo kořenovou zónu s dopady na využití dusíku z hnojiv. Postup tvorby mapy na základě dat dálkového průzkumu představuje alternativu ke zpracování výnosových map v případě nedostupnosti záznamů ze sklizně plodin. Výsledné mapy slouží pro návrh lokálně cílené agrotechniky plodin, jako je např. variabilní aplikace hnojiv nebo prostorově diferencovaná závlaha a fertigace.

Map of relative yield potential for lower Pojizeří region

A specialized map (a set of maps) shows the relative yield potential of fields in the lower Jizera river area managed by Farma Sojovice - Ing. Krucká, Předměřická, a.s. and other farms. The maps identify the zones with the different level of productivity within the individual fields. The maps are the result of analysis and evaluation of the time series of satellite multispectral images of Landsat and Sentinel-2 over the course of the growing season of crops over the last 8 years (2012-2019). The relationships between satellite imagery, crop yields and soil conditions were confirmed with data from several fields in the area. Zones with a low relative yield potential also indicate poor use of nitrogen from fertilizers, vulnerability to drought stress, and the increased risk of water percolation and nitrate leaching out of root zone. The mapping process based on remote sensing data is an alternative to yield map processing in the event that crop harvest records are unavailable. The resulting maps serve for the design of locally targeted crop agronomic measures, such as variable fertilizer application or spatially variable irrigation and fertigation.

I. Popis specializované mapy

Specializace mapy

Předkládaná mapa (soubor specializovaných map) s odborným obsahem se zaměřuje na identifikaci prostorové variability produkčního potenciálu v rámci jednotlivých pozemků v zájmové oblasti dolního toku Jizery (obr. 1). Tato oblast v blízkosti toku řeky Jizery je využívána pro pěstování zavlažovaných zelenin, raných brambor a dalších plodin. Identifikace oblastí, zón s odlišnou produkční schopností (výnosem), v důsledku variability především půdních podmínek, je nezbytnou podmínkou pro úspěšné uplatnění postupů precizního zemědělství (PA). PA optimalizuje agrotechnické zásahy pro jednotlivé části pozemků, tzv. management zóny, s ohledem na jejich podmínky (např. Duffková et al. 2019a, Lukas et al. 2018b, Kroulík et al. 2016, 2018). Při vymezení těchto management zón se vychází z prostorové identifikace částí pozemků s odlišným výnosem, většinou z víceletých výnosových map (Jelínek et al. 2019, Lukas et al. 2018a,b, Brom et al. 2018). Systematický sběr výnosových záznamů sklízecí technikou je ale v zemědělských podnicích ojedinělý, a samotné zpracování dat z výnosoměru pro spolehlivé využití výnosové mapy vyžaduje pokročilé postupy filtrace odlehklých a chybných hodnot (Řezník et al. 2019). Pro přesnější dlouhodobé nastavení hnojení se v systému PA pozemním terénním průzkumem zjišťují údaje o agrochemických, méně často i pedologických vlastnostech pozemku (např. Lukas et al. 2009, 2018b). Tento pracovní náročný a nákladný průzkum je však reálné v praxi provádět jen v gridu stovek metrů.

V případě využití satelitních dat (dálkového průzkumu Země, DPZ) je základním principem hodnocení analýza nevyrovnanosti porostů ve vybraných částech vegetačního období na základě vegetačních indexů a kvantifikace vůči průměrné hodnotě pozemku v daném termínu sledování. Postup identifikuje výnosově podprůměrné nebo nadprůměrné oblasti/plochy na pozemcích ve více ročnících. Toto stanovení lze provést pro jakékoli území pokryté dostatečným počtem bezoblačných družicových snímků a digitálním zmapováním hranic pozemků (např. Registr zemědělské půdy LPIS) doplněné o základní agronomickou evidenci pěstovaných plodin. V případě dostupnosti výnosových map lze procentuální rozpětí relativního výnosového potenciálu korigovat o reálně zmapované výnosy na daném území (Jelínek et al. 2019, Lukas et al. 2018a, Kumhálová et al. 2018, Kumhálová, Matějková 2017). Dálkový průzkum Země (DPZ) také umožňuje monitorovat a ověřit modelování agroekosystému pro maximalizaci produkce se současnou minimalizací environmentálních rizik. Intenzivní závlahové zemědělství se z pohledu těchto rizik dostává do popředí zájmu nejen u nás, vzhledem k vysoké spotřebě čím dále omezenějších zdrojů vody a vysoké potřebě agrochemikálií spojených s rizikem vyplavení nutrientů a pesticidů do vodních toků a podzemních vod (Cameira, Mota 2017). Závlaha představuje celosvětově asi 70% spotřeby vody. Společenský tlak na lepší hospodaření se zdroji a snížení dopadů zemědělství na životní prostředí vede podnikatele v zemědělství k hledání inovativních postupů, jako je využití UAV a analýzy satelitních dat, které by těmto dopadům pomohly předcházet bez významného snížení produkce nebo kvality plodin (Piedelobo et al. 2018, Alvino, Marino 2017, Vuolo et al. 2015, Hedley 2015).

Při tvorbě specializovaných map pro danou oblast byl použit inovativní postup vymezení produkčních zón na základě prostorové analýzy časové řady multispektrálních družicových dat (Lukas et al. 2018a, Kumhálová et al. 2018, 2017). Vymezení zón relativního výnosového potenciálu vychází z analýzy víceleté řady (8 let) družicových dat. Jedná se o alternativu pro

případy absence dat z mapování výnosů při sklizni plodin, ať z důvodu nedostupnosti dostatečného technického vybavení, anebo pro plodiny, jejichž měření výnosu při sklizni není rozšířeno (silážní kukuřice, píce, okopaniny, zeleniny). V zájmové oblasti převažuje pěstování zavlažovaných raných brambor a zelenin; do osevních sledů jsou nepravidelně zařazovány nezavlažované obilniny, převážně ozimá pšenice, v menší míře cukrovka nebo hrách aj. plodiny (Haberle et al. 2019, 2018a, Klír et al. 2017). Brambory se bez závlahy v této oblasti prakticky nepěstují.

Relativní výnosový potenciál byl vypočten jako procentuální vyjádření dosažené produktivity na daném místě vůči průměrné hodnotě za celý pozemek, jednotlivě pro sledované vegetační období s následným zprůměrováním za časovou řadu dat. Vzhledem ke specifickému charakteru hospodaření v dané oblasti byly použity snímky z června a července, kdy se podle údajů z monitoringu pozemků výrazně projevují rozdíly v růstu, olistění a projevech nedostatku vody a živin způsobené prostorovou variabilitou půdy (Haberle et al. 2018a,b).

Předchozí analýza vztahu růstu, výšky rostlin, výnosu, výnosových znaků a obsahu živin k prostorově variabilním půdním podmínkám na několika pozemcích v dané oblasti prokázala silný vztah u nezavlažovaných plodin, v menší míře i u zavlažovaných brambor. U zavlažovaných zelenin existují faktory, které stírají vliv prostorové variability a tím komplikují interpretaci leteckých a satelitních snímků. Je to především postupný výsev či výsadba v rozmezí několika týdnů pro plynulou sklizeň a dodávku na trh, pěstování v záhonech s pásy půdy bez rostlin, nepravidelné pěstování více druhů na jednom pozemku ve stejnou dobu a pěstování až tří druhů plodin (včetně meziploidy) za rok. Projevy variability půdních podmínek také více či méně maskuje dodávka vody závlahou.

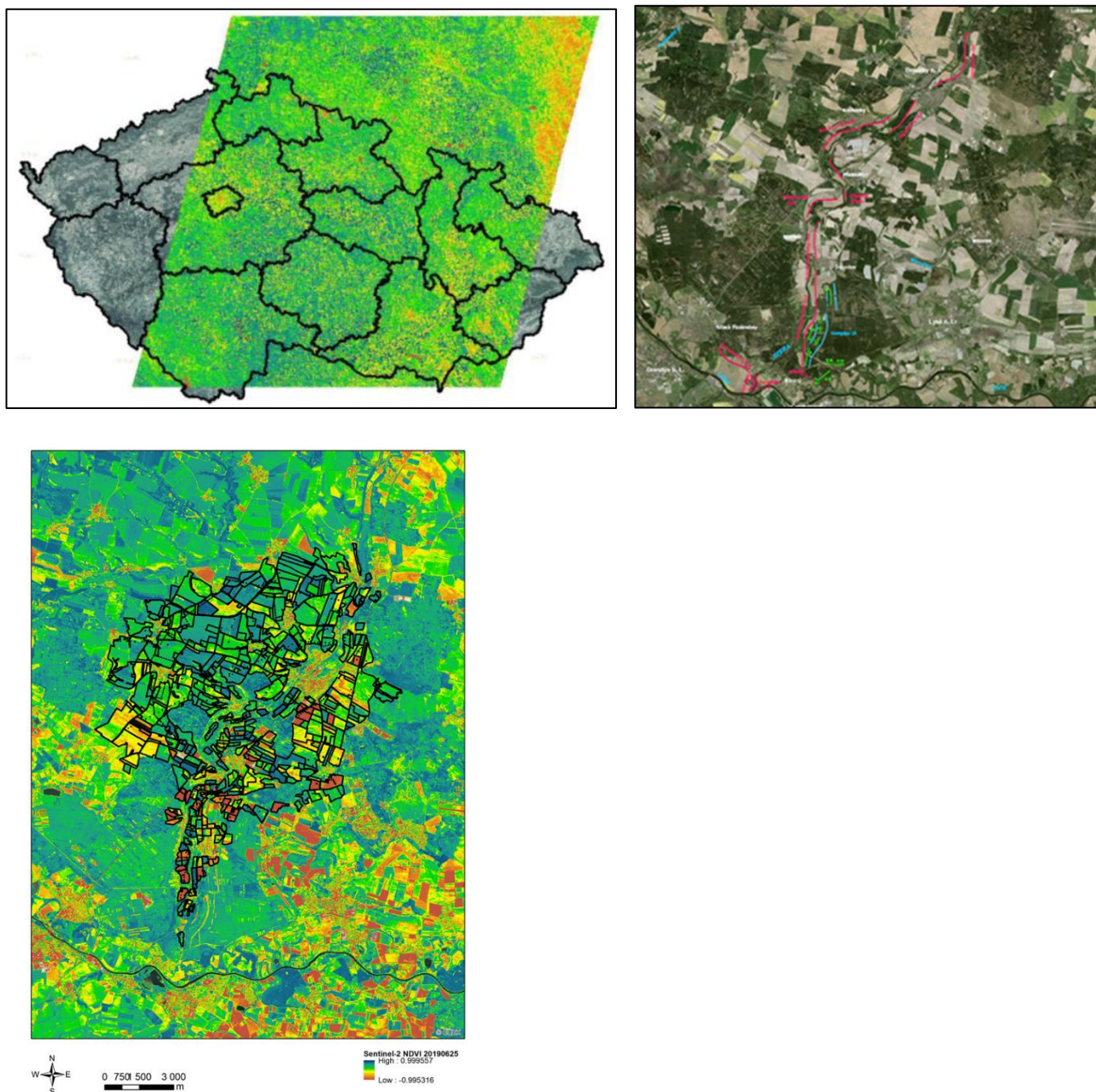
Hlavním zdrojem prostorové variability výnosů v této oblasti jsou rozdíly ve vodní kapacitě půdy dané zrnitostním složením (včetně obsahu skeletu). Zrnitostní složení, podíl jílu a písku, také souvisí s obsahem organické hmoty, přístupných živin a s kyselostí půdy. Přitom výrazný vliv na růst a dopady nízkých srážek má nejen ornice, ale i půdní vlastnosti (vodní kapacita) podorničních vrstev. Projevy nedostatku vody tak lze využít pro mapování půdních podmínek v ornici i podornici na základě leteckých snímků a snímkování pomocí dronů (Haberle et al. 2018 a,b, Lukáš et al. 2019, Duffková et al. 2012). Využití UAV je nákladné a omezuje se, v případě dronů, spíše na jednotlivé pozemky. Získání desítek a stovek snímků pozemků/porostů opakovaně v průběhu vegetace umožňují satelity (Lukas et al. 2018, Kumhálová et al. 2018, Křížová, Kumhálová 2017, Jones et al. 2010).

Zdrojová data

Základním vstupem pro výpočet relativního výnosového potenciálu v mapové podobě jsou družicové multispektrální snímky, hranice pozemků v digitální vektorové podobě doplněné o záznamy z agronomické evidence zemědělského podniku.

Družicová obrazová data umožňují zachycení rozsáhlého území v krátkém časovém intervalu s vysokou periodicitou, která je vhodná pro zachycení dynamiky přírodních jevů. Díky svým vlastnostem a bezplatnou dostupností je jedním z nejčastěji využívaných zdrojů družicových dat pro precizní zemědělství program NASA a USGS (USA) Landsat. Ten představuje ucelenou řadu družicových misí zaměřených na multispektrální a termální průzkum povrchu naší planety (Lukas et al. 2018). Prostorové rozlišení multispektrálního skeneru je 30m / pixel. Všechny scény pořízené družicemi Landsat jsou standardizované – družice přelétají nad zeměkouli po 232 drahách, šířka záběru snímacího zařízení je 183 kilometrů. Obrazová data v podobě jednotlivých scén jsou dostupná po registraci na stránkách USGS

(earthexplorer.usgs.gov), velikost jedné scény se všemi spektrálními pásmy je zhruba 2 GB. Družicové snímky jsou dodávány po základním geometrickém zpracování (Level 1). Pro digitální analýzu obrazu je vyžadováno předzpracování na straně uživatele, zahrnující radiometrické a atmosférické korekce. I když plán návratu družice Landsat na určité místo na Zemi je znám (perioda 16 dní, pro oblasti s překryvem scén 8 dní), je obvyklé, že se v průběhu vegetačního období nepodaří, vzhledem k častému výskytu oblačnosti, pořídit v daný termín použitelný snímek. Lukas et al. (2018) dále uvádí, že v roce 2015 byla v rámci programu Evropské kosmické agentury ESA Copernicus vypuštěna družice Sentinel 2A (obr. 1), která tematicky navazuje na misi Landsat. Pořizuje multispektrální obrazová data ve 13 pásmech s prostorovým rozlišením 10, 20 a 60 metrů v závislosti na vlnové délce o celkové šířce záběru 290 km. Konfigurace spektrálních pásem umožňuje výpočet vegetačních indexů v oblasti red-edge. V roce 2017 byla doplněna družice Sentinel 2B, časové rozlišení tandemu družic bude 5 dní (pro oblast rovníku, pro naši zeměpisnou šířku je 3-4 dny).



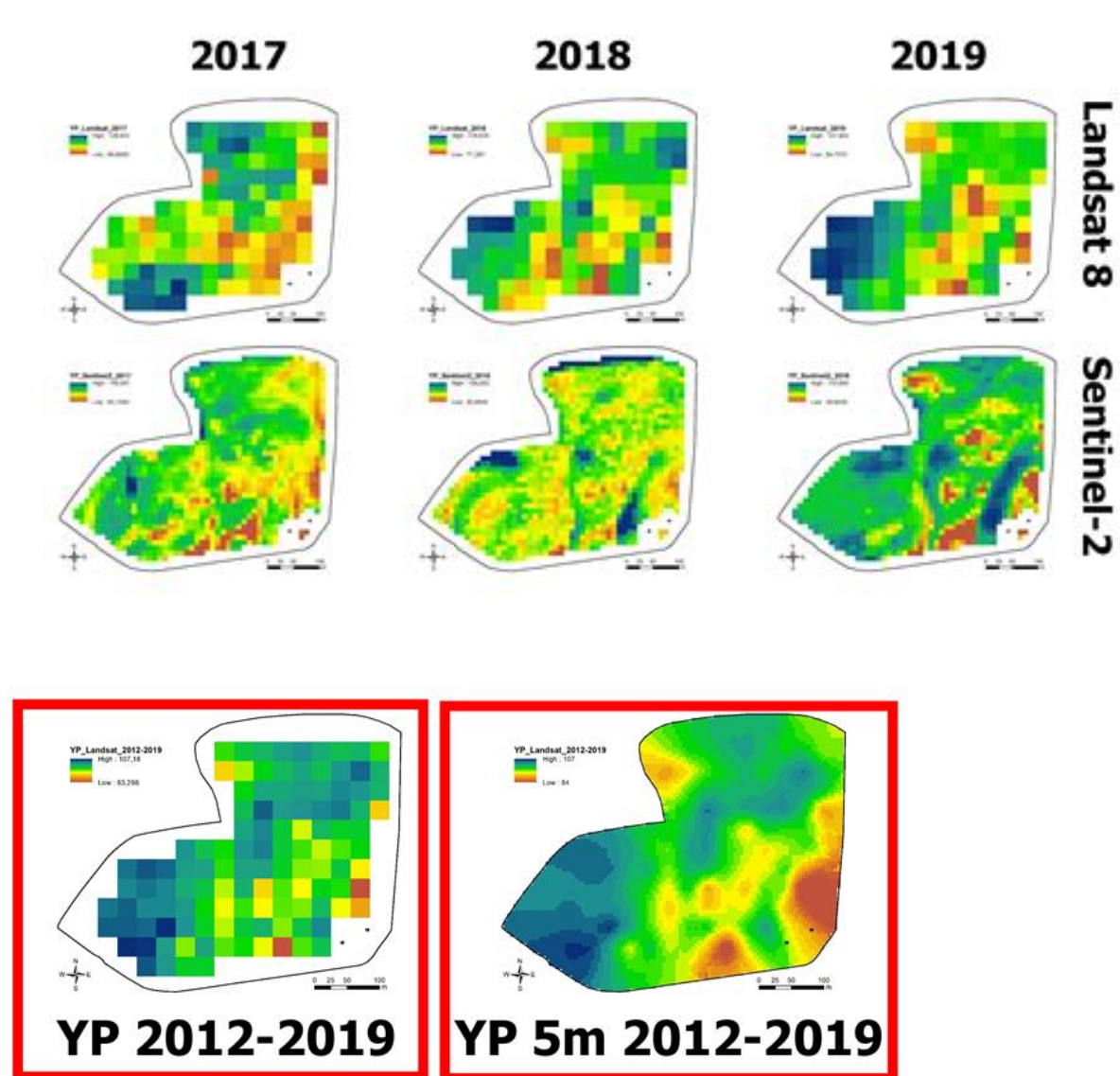
Obr. 1 Překryv scény Sentinel 2A nad územím ČR a družicový snímek zájmové oblasti s vyznačením řad studní VD Káraný (Progeo, s.r.o, nahore), detail zachycení heterogenity pozemků pomocí NDVI (dole).

Podkladem pro vymezení hranic obhospodařovaných pozemků jsou záznamy z Registru zemědělské půdy LPIS. Pokud zemědělské podniky vedou v rámci Portálu farmáře tzv. zemědělské parcely, je využit tento datový zdroj s identifikací pěstovaných plodin v daném roce (po exportu do formátu shp). V ostatních případech jsou použity hranice dílů půdních bloků (DPB) ve formátu shapefile z veřejně dostupného exportu z LPIS (<http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/>).

Popis výpočtu map relativního výnosového potenciálu

Podrobný popis výpočtu uvádí Lukas et al. (2018). Výpočet vychází z analýzy nevyrovnanosti porostů jednotlivých pozemků z vegetačního indexu EVI za posledních 8 let. Vegetační indexy jsou využívány pro zvýraznění vegetační složky v obraze, zároveň redukuje množství vstupních spektrálních pásem do jediné veličiny. Nejčastěji používaným vegetačním indexem při hodnocení vegetace je NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), který je spočítán z odrazivosti v červeném (R) a blízké infračerveném (NIR) pásmu elektromagnetického záření. *Enhanced Vegetation Index* (EVI) redukuje atmosférické vlivy implementací odrazivosti modrého pásma do normalizované kalkulace. NDVI je více ovlivněno obsahem chlorofylu a saturuje při vysokém množství nadzemní biomasy porostu, zatímco EVI odpovídá ve větší míře strukturním změnám porostu a vykazuje vyšší citlivost při plném zapojení porostu. Ve výsledku vykazuje EVI vyšší citlivost na změny v podílu zelené vegetace při vyšší úrovni nadzemní biomasy. Pro výpočet jsou vybírány scény z měsíců červen a červenec, kdy jsou projevy prostorové variability porostů většinou nejvýraznější, s minimální oblačností a aplikací radiometrických a atmosférických korekcí. Z důvodu nezbytné eliminace všech rušivých jevů v obraze je aplikována maska oblačnosti (klasifikace scény) pro vyfiltrování husté i řídké oblačnosti, stínů oblačnosti, oparu a dalších nežádoucích jevů. Příslušná maska je součástí dat zpracování snímků na úrovni L2A, v případě snímků Landsat zpracovaných algoritmem CFmask, u Sentinel-2 se pak jedná o výsledky zpracování algoritmu sen2cor.

Z takto připraveného souboru scén je následně vypočtena relativní hodnota pro danou scénu a pozemek a následně střední hodnota napříč všemi připravenými scénami. Původní prostorové rozlišení (30 m pro Landsat, 10 m pro Sentinel-2) je pomocí metod prostorových interpolací vyhlazeno na výsledných 5 m na pixel. S ohledem na prostorové rozlišení vstupních dat nelze kvůli nedostatečnému počtu pixelů provést výpočet pro plochy menší než 5 ha. Výpočet také zahrnuje eliminaci okrajových ploch, které mohou být u pozemků v blízkosti lesních porostů zakryty korunami stromů. Vymezení ploch je dáno hranicemi vedenými v databázi LPIS a nekoresponduje vždy s jednotlivými plodinami; v případě pěstování více plodin na jednom dílu půdních bloků (DPB) je třeba dodat zpřesňující geometrii hranic jednotlivých plodin či ji manuálně upravit.



Obr. 2 Porovnání výpočtu relativního výnosového potenciálu za vybraný pozemek v Kochánkách (Předměřická a.s) na základě snímků s prostorovým rozlišením 30 m (Landsat 8) a 5m (Sentinel-2) v posledních třech letech (2017-2019) a průměrný relativní výnos za roky 2012-2019.

Charakteristika zájmového území, přírodní a výrobní podmínky

Soubor specializovaných map byl zpracován pro pozemky, na kterých hospodaří podniky Předměřická a.s., rodinná Farma Sojovice (Ing. Krucká). Jde o oblast dolního Pojizeří, mezi obcemi Sojovice až Benátky n. Jizerou (obr. 1). Výpočet relativního výnosu (RY) byl proveden pro širší oblast a další podniky v zájmové oblasti (obr. 1); tyto mapy jsou k dispozici u Ing. V. Lukase z Mendelovi university. Zájmové plochy se nacházejí v jižní části okresu Mladá Boleslav, pozemky leží v nadmořské výšce 180-260 metrů. Předměřická a.s. hospodaří na výměře 2090 ha zemědělské půdy, a je zaměřena na rostlinnou výrobu, bez živočišné výroby. S dlouholetou tradicí jsou zde pěstovány rané brambory, zelenina (cibule svazečka, mrkev, salát, celer, kedlubny, ředkvička, v menší míře brokolice, česnek, kořenová a kadeřavá petržel, kopr),

a od roku 2015 také jahody. Z klasické polní výroby je zde zastoupena nezavlažovaná potravinářská pšenice a cukrová řepa, hrách a další plodiny. K zmírnění vláhového deficitu se na zhruba polovině pozemků používá závlaha. Dlouhodobý průměr dešťových srážek je 546 mm, z toho za vegetaci 335 mm, průměrná teplota je okolo 7,2°C. Podnik vlastní Certifikáty IPZ (Integrovaný systém zemědělské produkce) a GLOBALgap (GAP – Good Agricultural Practice).

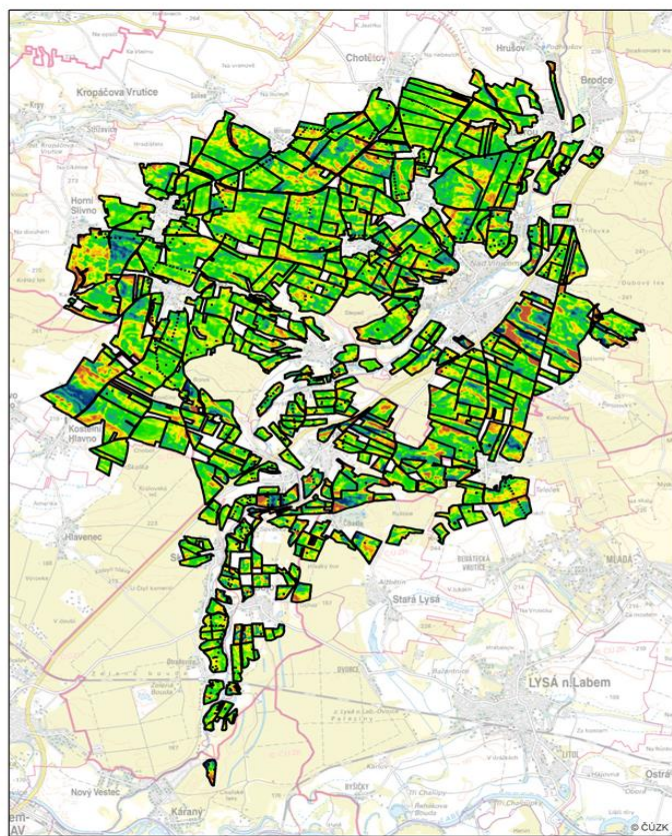
Farma Sojovice (Ing. Renata Krucká) se nachází v katastru obce Sojovice, hospodaří na výměře 129 ha a zaměřuje se na pěstování brambor pod závlahou a nezavlažované potravinářské pšenice. Přírodní podmínky jsou podobné jako v případě Předměřická a.s., která v katastru Sojovic také hospodaří. Klimatický region oblasti je teplý mírně suchý (T2), průměrný úhrn srážek se pohybuje okolo 530 mm a průměrná roční teplota okolo 7,4 °C. Průměrná nadmořská výška pozemků je 230 m n.m., v rozmezí od 180 m n.m. do 260 m n.m.

V Sojovicích jsou půdním typem regozemě (BPEJ 2.21.10) a fluvizemě (2.56.00), v Předměřicích, Tuřicích, Benátkách a dalších obcích zájmového regionu k nim přistupují i luvizemě (2.16.02), kambizemě (2.25.01) a hnědozemě (2.13.10). Vyskytují se zde lehké půdy a střední půdy, s často písčitým nebo štěrkovitým podložím. Pozemky jsou vesměs rovinaté, místy mírně svažité. Celé zájmové území spadá do oblasti vymezené jako zranitelné nitráty.

Na čtyřech vybraných pozemcích obou podniků byl prováděn terénní průzkum půdy a porostů (obr. 6-7, 8-9). Například na pozemku v Kochánkách (15,6 ha, 1,22°) byl sled plodin od r. 2015 ozimá pšenice, cukrovka, hrách na zrno, pšenice, pšenice. Na pozemcích v Sojovicích (5,8 ha, 20,8 ha a 10,1 ha, 0,87° -1,60°) se střídá pouze pšenice ozimá se zavlažovanými bramborami. Pro tuto práci byla použita vegetační sledování v roce 2017-2018, další údaje, které potvrzují prezentované výsledky, byly získány v roce 2019 (Duffková et al. 2019b).

Zájmové území zahrnuje zdrojovou oblast vodárny v Káraném, zprovoznění v r. 1914), která zabezpečuje okolo 26% pitné vody pro Prahu a okolí. Podzemní pitná voda je získávána (kromě umělé infiltrace a několika artéských studní) ze zdrojů břehové infiltrace, přes 600 studní v sedmi řadách v celkové délce 30 km podél řeky Jizery, od Sojovic po Benátky n. Jizerou (obr. 1). Studně se nacházejí ve vzdálenosti 200–300 m od řeky Jizery, voda přirozeně prosakuje skrz okolní písky a tak se čistí. Údolí Jizery je vyplněno pleistocéními (kvartérními) fluvialními a deluvialními sedimenty (Kadlecová a kol. 2016, 2018). Podle výsledků řešení projektu QJ 1320213 (Bruthans et al. 2018, Klír et al. 2017) je v čerpané vodě v různém podílu zastoupena voda z Jizery a zemědělských pozemků v bližším i širším zázemí studní, která má vyšší obsah nitrátů. Jedním ze zdrojů nitrátů je lokálně zvýšený průsak a nižší využití dusíku (v důsledku nižších výnosů a vyplavení) v lokalitách se zvýšenou infiltrační schopností pro vodu. Současné jsou tyto půdy ze stejných důvodů často postiženy suchem (Haberle et al. 2018a,b, Klír, Haberle 2017, Klír et al. 2018).

Na základě terénního výzkumu a snímkování z UAV a leteckých snímků jsme prokázali těsný vztah půdních podmínek, především zrnitostního složení a vodní kapacity, zásoby dostupné vody, k projevům sucha na porostech (vegetační indexy, růst, výška rostlin, hloubka kořenů, obsah živin, výnos, diskriminace ¹³C) (Haberle et al. 2020, Haberle et al. 2018a,b, Svoboda et al. 2017, 2018a, b, Raimanová et al. 2016). Vlastní koncept identifikace ploch se zvýšenou infiltrační schopností je založen na monitoringu a hodnocení dopadů vodního stresu na porost (Lukáš et al. 2019, Duffková et al. 2012, Brom et al. 2017). Dopady stresu na porosty plodin jsou na pozemcích v zájmové oblasti velmi výrazné, extrémně suché a teplé podmínky řady posledních ročníků poskytly vhodné podmínky pro identifikaci těchto zón u nezavlažovaných plodin (obr. 4), ale díky interakci s dostupností živin a fyzikálními vlastnostmi půdy, i u zavlažovaných brambor a dalších plodin.



Obr. 3 Mapa půdních bloků se zemědělskými kulturami v zájmové oblasti a vymezení zón relativního výnosu.



Obr. 4 Projevy dopadu variability půdních podmínek na prosychání porostů plodin v suchých letech

Vymezení zón s odlišným relativním výnosem v Předměřické a.s.

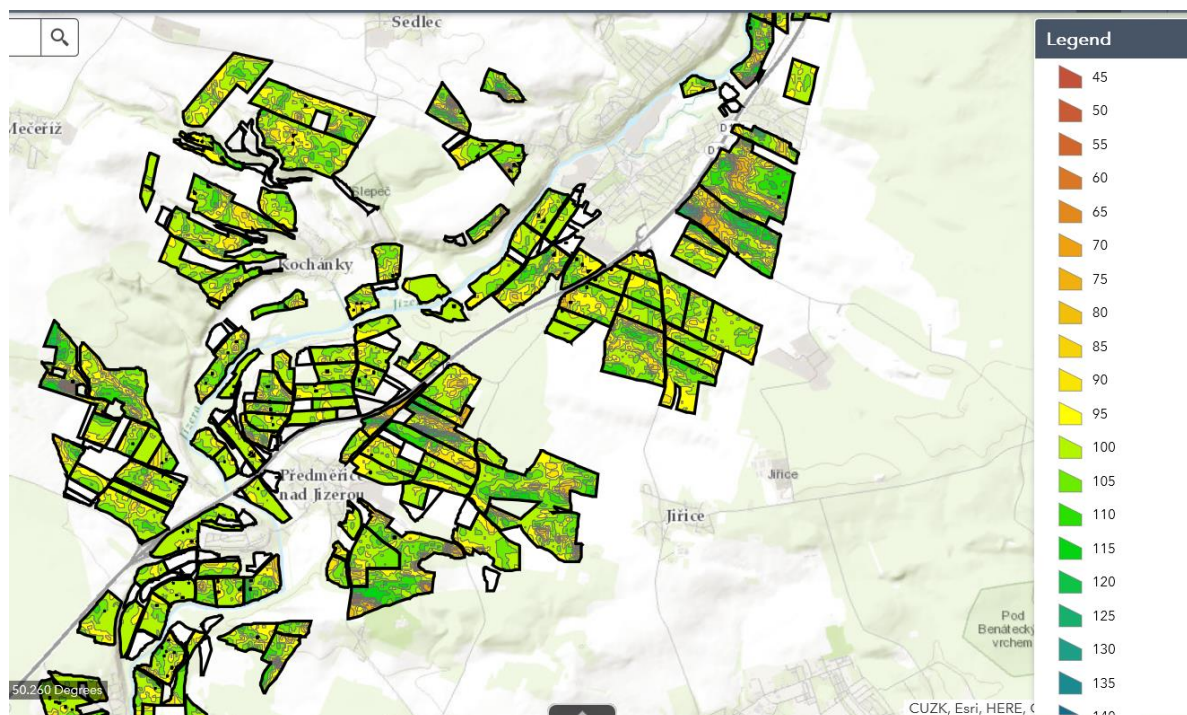
Vymezení zón relativního výnosového potenciálu bylo provedeno pro 176 dílů půdních bloků (DPB) s ornou půdou o výměře nad 5 ha obhospodařované zemědělským podnikem Předměřická a.s., ID 9274). Celkem bylo hodnoceno 99 DPB, o celkové výměře 1486 ha; relativní výnosový potenciál se pohyboval od 45 % do 150 %. Přehled hodnocených pozemků (DPB) a procentuální zastoupení jednotlivých kategorií relativního výnosového potenciálu je uvedeno v tab. 1. Souhrnná mapa produkčních zón je znázorněna na obr. 3 a 5. Všechny mapy DPB větších než 8 ha jsou uvedeny v příloze (Relativní výnosy.pdf).

Tab. 2 Procentuální zastoupení kategorií relativního výnosového potenciálu na jednotlivých pozemcích

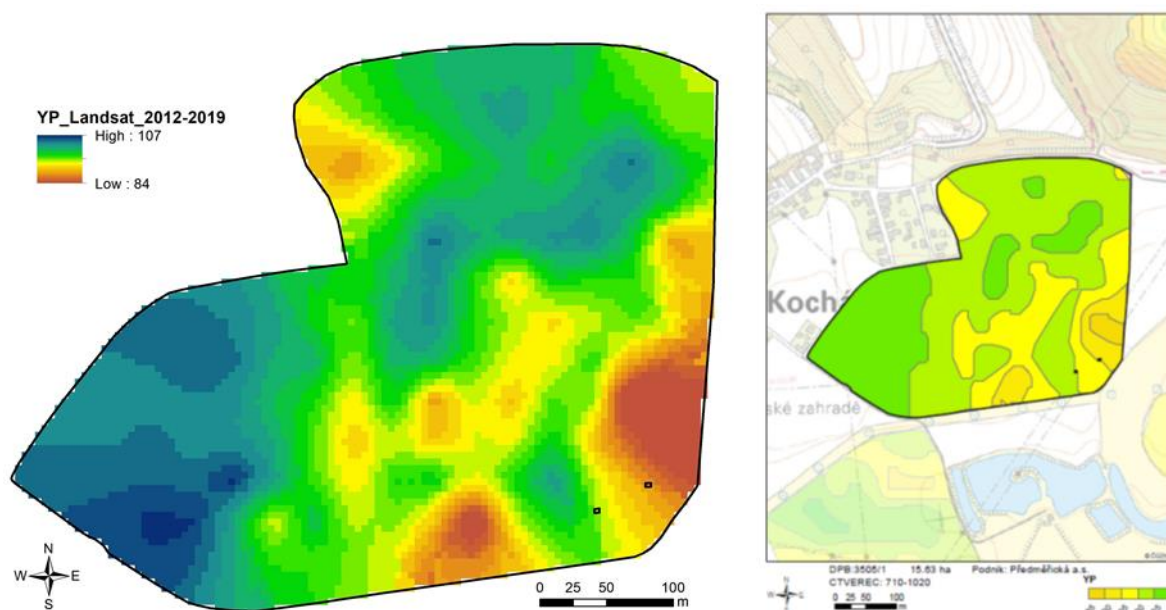
ZKOD_DP	ha	45-50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140-145
0601/11	12,45								0,5	0,8	14,7	47,3	34,2	3,3						
0601/12	12,48								0,9	5,2	19,4	55,2	19,2	0,2						
0601/7	12,94								0,8	1,4	23,4	54,4	18,4	2,4						
0601/8	6,85								3,9	18,2	2,3	21,5	14,1	15,2	5,7	1,4				
0601/9	24,23									2,3	15,1	7,8	12,4	0,7	0,3					
0701/10	9,97						0,9	2,6	2,9	9,7	2,4	39,3	26,0							
0701/11	9,97								3,8	4,7	19,1	51,6	21,2	0,2						
0701/14	19,84								0,9	3,8	38,4	22,6	25,3	9,9						
1403/10	8,58	0,2	1,4	1,2	1,1	1,0	1,3	1,9	4,6	5,7	9,8	26,5	33,3	1,3	3,4					
1501/3	9,81									2,8	4,4	27,3	23,2	6,3						
1503/1	6,42										2,6	9,9	6,5							
1602/1	19,71						0,5	4,2	5,1	4,7	27,8	34,2	22,3	1,4						
1602/11	8,19										21,5	72,4	6,4							
1602/12	11,40					0,4	0,3	0,1	0,9	2,7	19,3	5,9	26,6	0,2						
1602/13	10,28									3,2	35,0	24,6	33,3	4,5						
1602/9	38,88					0,2	0,5	1,5	5,2	1,1	16,9	31,2	2,4	12,4	1,7					
1603	8,31									4,3	36,5	34,8	22,8	3,5						
1802/11	87,81	1,6	0,2	1,0	0,2	0,2	0,7	2,1	2,3	4,7	14,3	33,3	27,4	11,6	2,9	0,2				
2401/1	9,39					1,8	1,8	2,7	2,9	3,5	12,6	39,4	35,3	0,2						
2501/4	24,71							0,7	1,8	8,5	26,5	3,5	21,1	1,9	0,5					
2503/11	11,75									2,3	2,6	52,4	21,8	3,6						
2503/12	7,78										2,8	64,7	14,5							
2503/8	13,76									0,8	24,3	6,6	14,4							
2505/2	6,96					0,8	2,7	4,9	4,5	5,3	17,4	23,8	19,9	18,5	2,2					
3301/1	12,43	0,2	1,2	1,3	1,3	1,1	1,2	2,8	5,3	7,5	11,3	3,5	20,0	9,8	5,4	1,2				
3401/3	9,71									13,1	19,4	36,8	3,7							
3501/4	9,62										1,6	89,4								
3505/1	15,53								1,2	4,9	21,9	46,0	26,4							
3601/19	7,83									0,6	28,9	56,5	14,6							
3601/22	8,93									7,6	22,7	52,7	17,5							
3601/9	7,81									1,9	26,8	43,2	28,7	0,2						
3603/4	7,91									8,6	39,5	28,6	2,7	2,7						
3701/27	19,12					1,2	4,8	7,2	8,7	17,3	17,7	15,2	8,0	8,7	5,0	2,6	1,3	0,9	2,3	
3701/28	17,17						1,5	9,9	19,5	17,9	6,2	18,2	21,7	5,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	
3701/29	8,78						0,1	0,8	0,2	4,3	87,6	7,8	0,2							
3701/30	19,51						1,3	4,2	11,5	25,7	39,3	17,4	0,9							
3701/31	7,57					1,4	7,7	4,1	5,8	9,5	18,4	13,8	25,6	5,1	0,2					
3701/8	9,01								3,2	25,1	43,7	27,4	0,5							
3801/4	23,83				0,2	0,6	0,5	2,4	7,4	16,7	53,2	19,5								
3802/11	20,88						1,2	3,5	4,5	9,9	39,3	39,7	1,8	0,5	0,6					

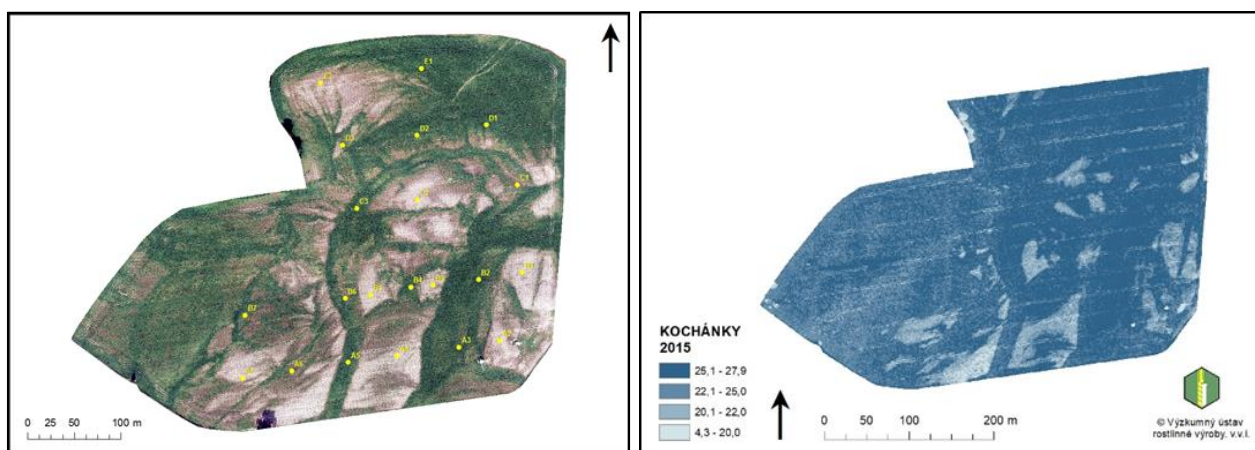
Nmap – Specializovaná mapa s odborným obsahem

3802/13	6,08				0,6	0,4	0,2	5,4	8,2	31,2	27,7	21,8	5,8			
3802/19	57,35	0,2	0,4	0,8	2,6	4,7	6,4	4,7	5,3	11,7	18,8	23,4	14,5	6,7	0,5	
3803/5	6,20									6,8	77,0	16,3				
4402/1	12,13								4,9	23,8	48,8	21,6	1,4			
4407/11	42,99							0,3	6,5	22,4	41,2	26,2	3,5			
4503/8	6,43							3,7	9,5	1,5	24,7	44,2	7,9			
4601/10	10,48								1,0	29,6	42,7	26,3	0,5			
4601/14	8,59								2,4	24,0	57,5	16,1				
4601/8	8,63								1,5	12,9	63,9	21,8				
4603/12	10,32							0,5	4,5	1,6	42,3	41,2	0,9			
4701/10	12,93							0,2	14,4	2,8	44,3	2,4				
4701/8	10,91								0,2	31,6	53,2	14,9				
4705/5	7,08									1,8	84,6	4,7				
4706/1	7,55						27,9	1,3	15,3	9,5	7,5	6,1	9,6	1,9	3,1	0,5
4801/5	7,82							0,1	16,9	24,2	28,1	3,4	0,7			
5401/28	26,91							2,6	13,1	23,4	29,2	25,7	6,9	0,4		
5401/39	27,26								5,8	19,4	44,6	28,1	2,8			
5401/47	37,28					0,1	1,4	6,4	23,1	41,2	22,3	4,5	0,9			
5401/5	9,73								7,3	47,7	16,7	15,8	12,5			
5401/51	29,69								4,2	29,0	44,7	19,7	2,4			
5602/12	10,30				0,5	1,8	3,3	7,6	18,8	32,2	26,9	9,7	1,0			
5602/13	6,19							2,3	1,4	22,7	24,3	34,2	6,1	0,9		
5604/1	16,63						2,8	3,6	5,4	23,8	31,2	26,6	7,3			
5607/2	6,55								9,2	29,5	44,8	16,5				
5705/8	6,60								7,6	22,5	51,3	18,8				
5706/4	6,99							0,9	0,2	16,1	62,7	2,9	0,5			
5706/8	6,26				0,9	2,9	2,9	4,1	22,4	23,2	18,6	15,9	7,8	1,8	0,2	
5707/1	8,86									24,3	72,9	4,0				
5801/3	15,80		0,3	1,8	4,7	7,4	9,6	17,4	7,8	7,1	12,2	22,5	9,4	0,9		
5801/5	12,41				1,4	5,6	5,8	8,7	13,5	24,4	21,5	8,8	5,8	5,7		
5808/6	10,16								18,8	78,9	3,1					
5902/8	10,64					0,4	2,2	6,7	15,4	23,9	28,9	23,0	0,4			
6501/1	12,22								18,8	8,0	1,9					
6501/5	14,33								8,0	21,1	34,3	36,3	0,4			
6605/3	33,15							2,4	6,8	21,3	31,6	23,6	13,6	0,6		
6701/13	22,88								1,6	23,7	48,8	23,8	2,9			
6701/15	6,10									0,4	95,8	3,7	0,9			
6701/29	17,20							0,5	5,6	20,0	48,3	23,8	2,2			
6805/3	18,99								1,9	8,0	82,2	8,0				
6807/2	7,24							1,1	6,3	23,2	35,6	32,8	1,2			
6904/2	8,14							2,8	4,6	2,3	7,2	9,7	11,5	8,2	0,5	
6905/5	9,19									3,9	94,5	2,4				
6905/7	10,16									15,2	67,6	17,2				
7601/1	24,34	1,5	0,9	1,1	1,3	1,7	1,2	1,4	5,8	11,1	16,9	15,4	12,6	11,3	16,1	3,1
7601/2	7,53										1,6	98,0	0,3	0,6		
7601/21	7,52									6,4	32,3	32,9	28,0	0,4		
7601/27	8,62							1,7	7,4	23,6	41,7	1,4	11,5	3,8		
7601/30	7,94									7,7	29,3	3,6	28,9	3,3		
7601/47	7,30							9,2	16,5	15,4	27,2	2,5	8,9	2,4		
7907	8,71									13,7	78,5	7,7				
8302/6	11,40								0,1	24,6	66,7	8,8				
8302/7	8,44								1,1	23,5	33,8	21,8	9,2	2,2		
8303/2	10,06								1,4	1,9	69,5	14,1	3,9	1,0		
8303/4	9,10							2,0	12,8	9,8	4,6	29,9	4,9			
9301/10	9,18								5,3	13,4	58,8	23,6				
9404/1	16,79	0,5	1,0	1,0	0,8	0,8	1,3	4,3	6,6	7,9	11,3	17,4	21,4	17,2	9,3	0,1
9404/4	14,63							0,2	7,4	11,5	1,6	31,8	36,5	2,5		
9502/10	44,84				0,9	3,0	3,5	6,4	9,5	9,9	11,7	14,4	11,2	14,7	1,3	4,5
9502/7	10,83								6,4	14,9	14,3	22,7	24,9	9,3	3,4	3,7
9502/8	57,90					1,1	2,8	5,0	7,7	1,2	12,0	13,7	17,9	23,9	5,9	0,3

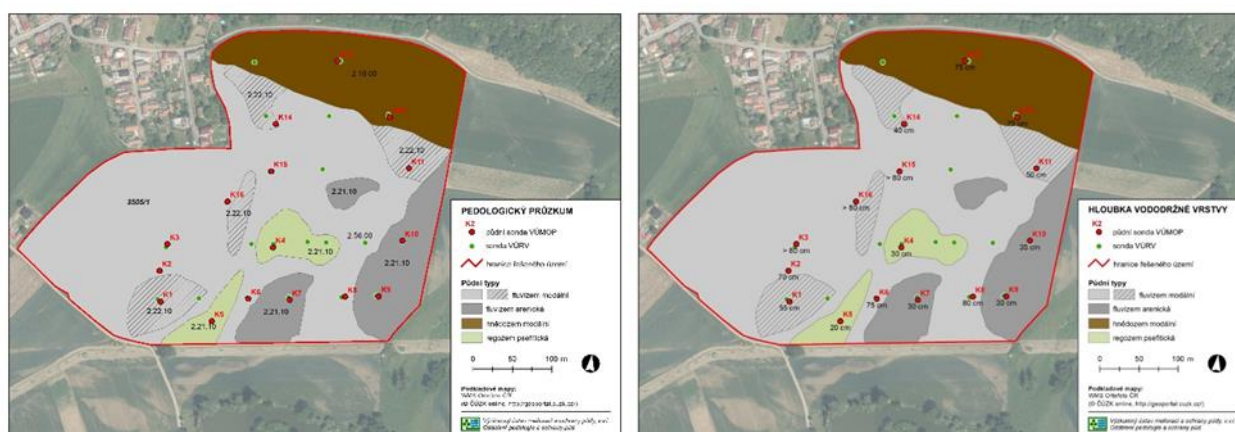


Obr. 5 Mapa rozložení relativního výnosového potenciálu na pozemcích Předměřické a.s. (Sojovice, Tuřice, Předměřice n.J., Kochánky, Kačov, Benátky n.J.)





Obr. 6 Průměrná hodnota relativního výnosu za roky 2012-2019 a mapa rel. výnosu (třídy výnosu) na pozemku v Kochánkách (DPB 3505/1) (nahore). Dole - vodní kapacita půdy (PVK, % obj.) do hloubky 90 cm a RGB snímek s označením odběrových bodů (Haberle et al. 2018a).



Obr. 7 Mapy pozemku v Kochánkách na základě pedologického výzkumu (VÚMOP 2017-18).

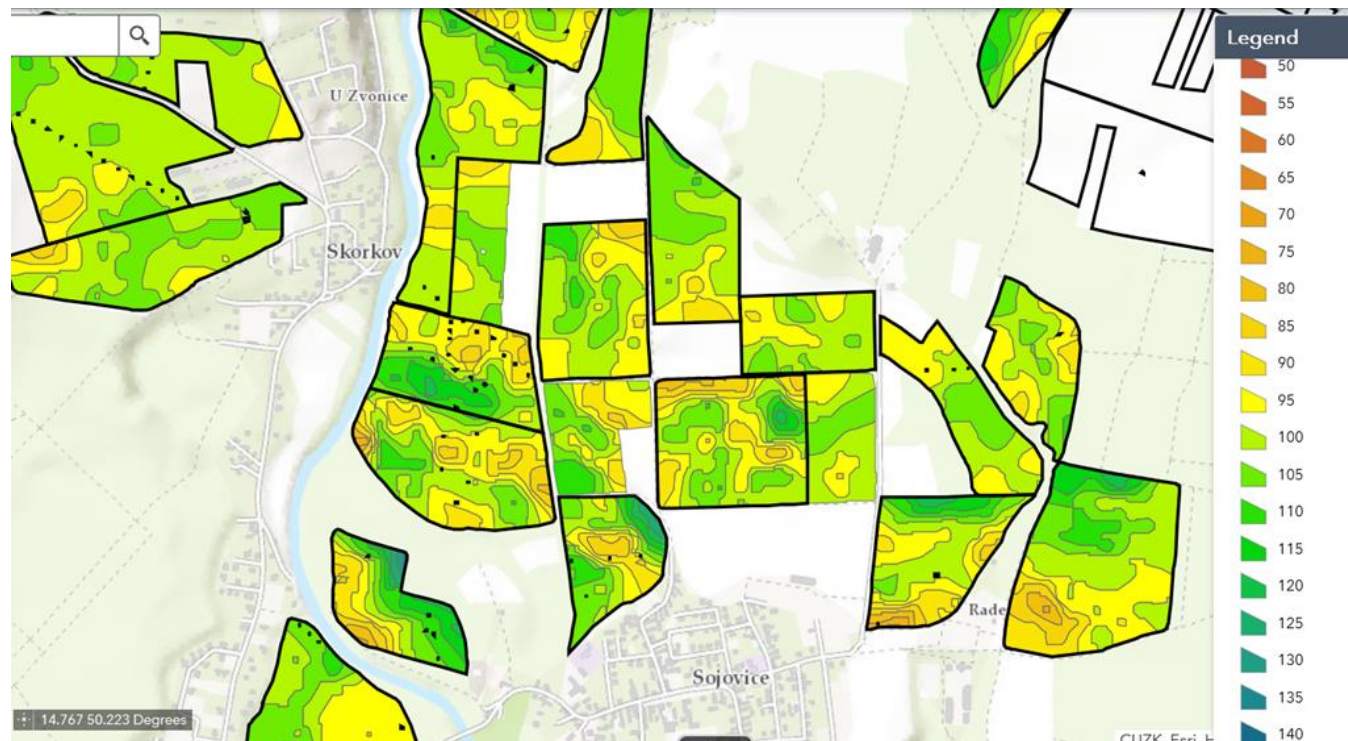
Na obr. č. 6 je mapa relativního výnosu a vodní kapacity půdy do hloubky 90 cm na DPB 3501/01 v Kochánkách. Tato mapa byla vytvořena na základě vztahu PVK vrstev ornice a podorničí, indexu z leteckých a UAV snímků a výnosu plodin, zjišťovaných terénním monitoringem v gridu odběrových bodů, podobně jako u pozemků v Sojovicích (Haberle et al. 2018a,b, 2017). Výsledky hodnoty diskriminace ^{13}C rostlin jasně prokázaly, že snížení výnosů na zónách s nízkou vodní kapacitou byly v důsledku sucha. Porovnání prostorové variability indikované na základě satelitních snímků a vyhodnocením detailních snímků z UAV ukazuje shodu a současně i zóny, kde rozlišení satelitních snímků neumožňuje postihnout variabilitu v rozmezí několika málo metrů a menší. Podobně i pedologický průzkum, i v relativně hustém gridu (obr. 7) a s ohledem na vizuální hodnocení porostu, nedokáže detailně postihnout variabilitu půdy. Údaje získané ze satelitu zřetelně indikují zranitelné zóny, na které je potřeba zaměřit pozornost z hlediska managementu dusíku a rizika sucha.

Vymezení zón s odlišným relativním výnosem v Sojovicích

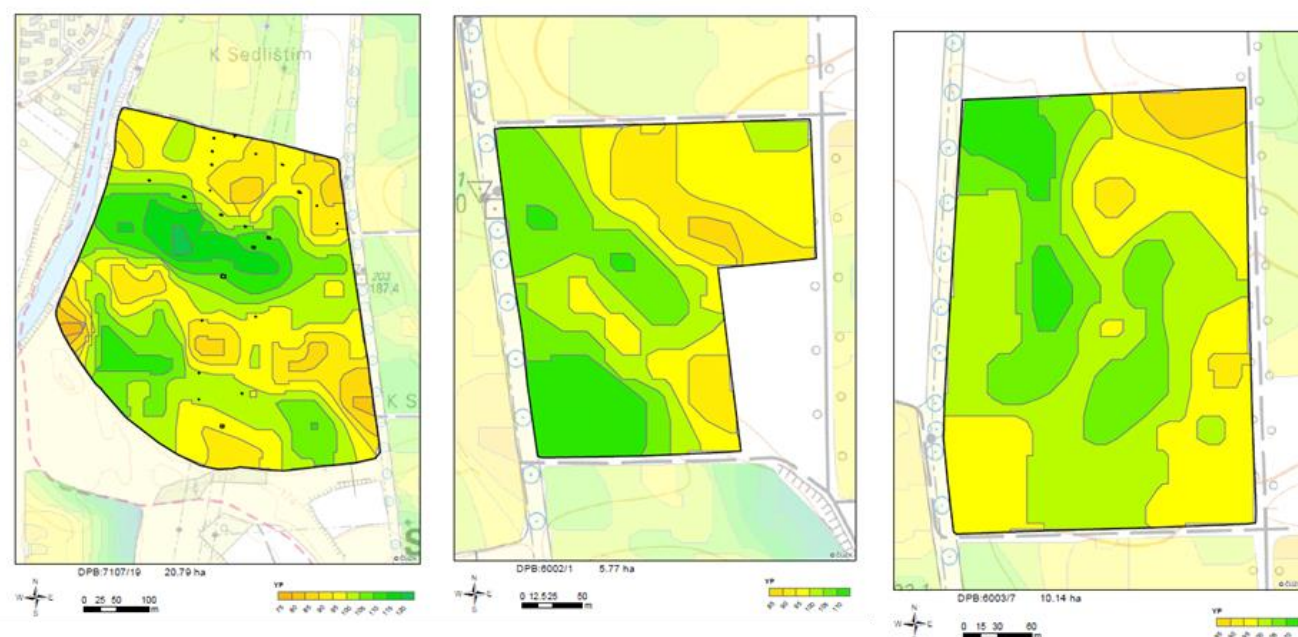
Vymezení zón relativního výnosového potenciálu bylo provedeno pro 7 dílů půdních bloků (DPB) s ornou půdou o výměře nad 5 ha, celkem na 70,3 ha, obhospodařované rodinou farmou Sojovice (Ing. Renata Krucká, ID uživatele 9355). DPB 7107/19 byl dělen na dva hony, kde se většinou střídaly zavlažované brambory a ozimá pšenice. Relativní výnosový potenciál se pohyboval od 80 do 130 %. Přehled hodnocených pozemků (DPB) a procentuální zastoupení jednotlivých kategorií relativního výnosového potenciálu je uvedeno v tab. 2. Souhrnná mapa produkčních zón je znázorněná na obr. 8-9, podrobné mapové zobrazení pro jednotlivé pozemky je součástí mapové přílohy.

Tab. 2 Zastoupení kategorií relativního výnosového potenciálu na jednotlivých pozemcích (v%)

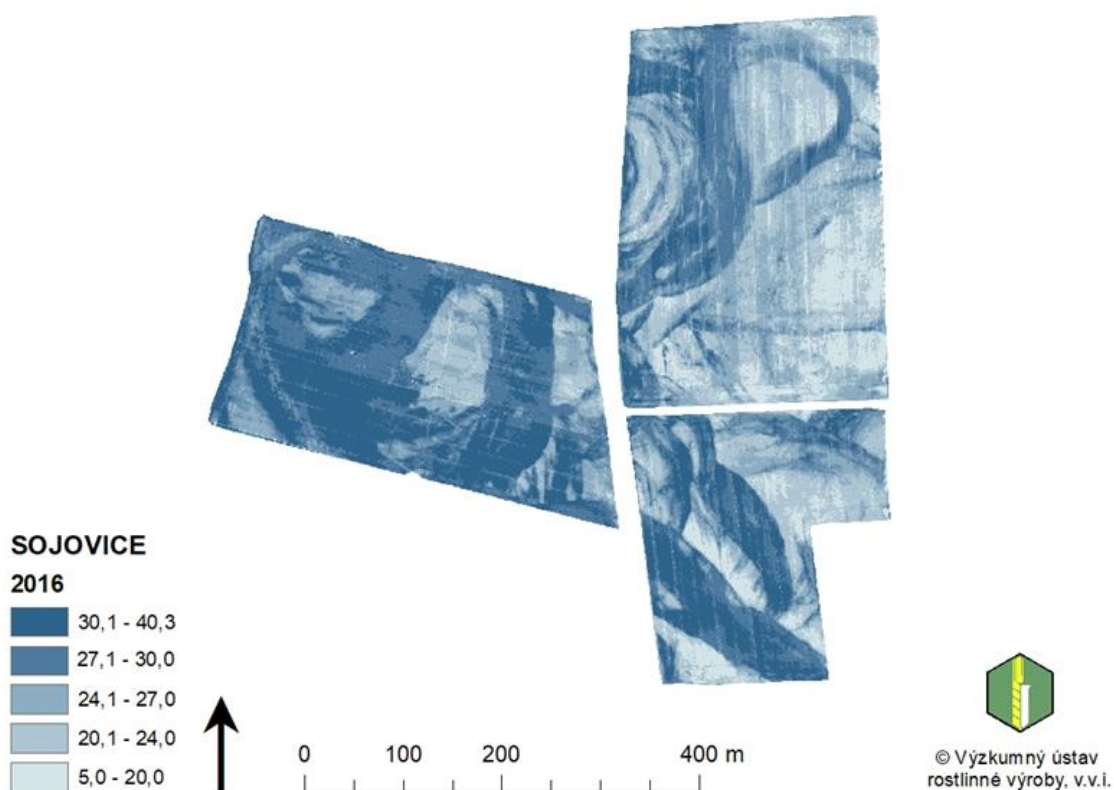
ZKOD DPB	ha	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
5002/5	6,51									8,2	3,5	37,6	22,5	1,4						
6001/5	11,70							2,0	6,4	12,2	21,9	31,3	21,6	3,2	1,9	0,6				
6003/7	10,07								3,1	4,7	29,6	36,7	19,8	6,8	1,0					
6004/13	6,35									0,9	27,0	57,1	15,0							
6004/3	8,54									8,3	15,4	39,8	34,7	1,8						
6109/1	6,50							6,4	12,0	12,7	21,2	29,3	9,6		3,2	3,3	3,8	0,1		
7107/19	20,68							0,9	7,9	33,6	25,9	26,3	5,8							



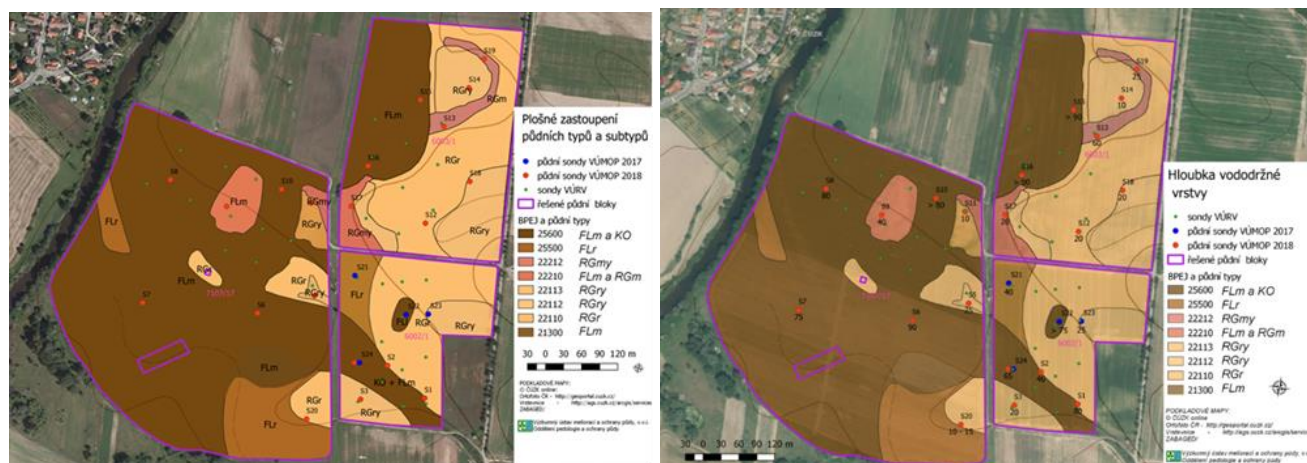
Obr. 8 Mapa rozložení relativního výnosového potenciálu na pozemcích na sever od Sojovic



Obr. 9 Mapa rel. výnosu na třech monitorovaných pozemcích v Sojovicích (DPB 6002/1, 7107/19 a 6003/7).



Obr. 10 Mapa vodní kapacity půdy (PVK, % obj.) do hloubky 90 cm na třech monitorovaných pozemcích v Sojovicích (DPB 6002/1, 7107/19 a 6003/7). Pro DPB 7107/19 (pravidelně rozdělovaný mezi pšenici a brambory) byla vypočtena PVK pouze pro severní část (obr. 8, 10).



Obr. 11 Mapy pozemků v Sojovicích na základě pedologického výzkumu (VÚMOP 2017-18).

Na obr. č. 9 je mapa relativních výnosů vytvořená s pomocí satelitních snímků a na obr. 10 mapa vodní kapacity půdy do hloubky 90 cm u tří vybraných pozemků v katastru Sojovic. Tyto mapy byly vytvořeny na základě vztahu vodní kapacity vrstev ornice a podorniči (vypočtených pomocí pedotransferových funkcí ze zrnitostního složení půdy), indexu vypočteného z leteckých a UAV RGB snímků a růstových a výnosových znaků plodin pěstovaných na těchto pozemcích, pšenice a brambor, zjišťovaných terénním monitoringem v gridu odběrových bodů (Haberle et al. 2018a,b, 2017). Hodnoty diskriminace ^{13}C rostlin, které průkazně korelovaly s vodní kapacitou a dopady sucha na výnosy, prokázaly, že snížení výnosů na zónách s nízkou vodní kapacitou byly v důsledku sucha. Pro porovnání jsou prezentovány i pedologické mapy uvedených pozemků, s uvedením odběrových bodů, při jejichž umístění se přihlíželo k projevům sucha z leteckých snímků (obr. 11).

Porovnání map získaných třemi různými postupy ukazuje rámcovou shodu zón s nízkým RY a oblastí s malou schopností zadržet vodu. Slabší shoda je u DPB 6003/7, kde se většinou pěstovalo více odrůd zavlažovaných brambor, které se sklízely v průběhu až několika měsíců, a na pozemku se projevuje i vliv stékání vody na západní straně. Hlavní problém v dané oblasti představuje rozlišení satelitních snímků, protože ve zdejších podmínkách jsou přechody mezi zónami s výrazně odlišnými podmínkami často velmi ostré, v rozmezí jednoho metru i méně (obr. 6), ale satelitní snímky „průměrují“ porost z větší plochy. Naproti tomu snímky z UAV rozlišují rozdíly porostu v řádu centimetrů. Porovnání map vytvořených ze satelitních a UAV nebo leteckých snímků názorně ukazuje, kde rozlišení satelitních snímků bylo příliš nízké pro postižení drobné prostorové variability. I přes tento handicap vymezují satelitní snímky uspokojivě zóny s odlišným relativním výnosem. S postupným zpřístupňováním satelitních dat s lepším rozlišením, bude výpočet relativních výnosů v podobných podmínkách daleko přesnější.

II. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Nový přínos mapy (novost)

Předkládaný soubor map představuje inovativní postup vymezení produkčních zón kvantifikací odchylky od průměru pozemku na základě prostorové analýzy časové řady multispektrálních družicových dat. Toto stanovení lze provést pro jakékoli území pokryté

dostatečným počtem bezoblačných družicových snímků a digitálním zmapováním hranic pozemků (např. LPIS) včetně základní agronomické evidence o pěstovaných plodinách. Metodický přístup využívá nové možnosti, které představuje zpřístupnění satelitních map v relativně vysokém rozlišení. Tento postup nebyl v dané oblasti dosud využit; podobné mapy byly zpracovány pro zemědělské družstvo Kojčice, hospodařící ve výrazně odlišných půdně-klimatických i výrobních podmínkách Vysočiny (Lukas et al. 2018). Porovnání produkčních zón s odlišným relativním výnosem a údajů o růstu a výnosu získaných terénním šetřením na vybraných pozemcích/DPB zájmové oblasti potvrdilo, že použitý postup lze využít i ve specifických stanovištních a výrobních podmínkách podniků zaměřených na zavlažované zeleniny a rané brambory.

Zohlednění variability půdních podmínek v rámci jednotlivých pozemků, ve formě produkčních zón, je základním předpokladem pro úspěšné uplatnění postupů precizního zemědělství. Dnešní technické prostředky GIS a strojové vybavení pro zemědělskou činnost umožňují přizpůsobit agrotechniku lokálním podmínkám stanoviště, klíčové je ale určení intenzity pěstebních zásahů pro jednotlivé části pozemků. Běžný způsob identifikace produkčních zón vychází z identifikace podprůměrně a nadprůměrně výnosných částí pozemků z víceletých výnosových map. Ucelený sběr výnosových záznamů sklízecí technikou je ale v zemědělských podnicích spíše výjimečný; spolehlivé vyhodnocení dat z výnosoměrů a odstranění chyb není triviální a vyžaduje sofistikované postupy. Prezentovaný postup poskytuje pěstitelům údaje, ke kterým většinou neměli dosud přístup.

Uplatnění mapy

Předkládané mapy prostorové variability relativního výnosového potenciálu vytvořené na základě víceletých družicových dat ohraničují zóny, kde plodiny reagují odlišně na různé podmínky prostředí, především spojené s vlivem nedostatku vody. Mapy integrují podmínky v řadě let, takže zahrnují nejen vliv sucha, ale i dalších faktorů. Vstupními daty jsou multispektrální družicové snímky doplněné o hranice pozemků a jejich popisné informace. Mapy tak nahrazují technicky náročné mapování výnosu při sklizni, které se v dané oblasti zaměřené na zavlažované zeleniny a rané brambory ani neprovádí, stejně jako se zatím neuplatňují postupy precizního zemědělství. Společenský tlak na racionální hospodaření a šetření s vodou v krajině a ochranu životního prostředí si již nyní vynucuje nové přístupy a inovaci agrotechnických postupů. Detailní sledování obsahu vody a nitrátového N v půdě, růstu a výnosu jasně prokázalo, že v zónách s nižším výnosem není N z hnojiv efektivně využit, a výsledný reziduální dusík ve formě nitrátů podléhá vyplavení do vod.

Mapy tak například umožňují porovnat další údaje z hospodaření na daných pozemcích, vegetační pozorování porostů různých plodin v letech s odlišným průběhem počasí. Pro interpretaci rozdílů relativního výnosu jednotlivých částí porostů bude vhodné se přednostně zaměřit na problémové pozemky nebo jejich části. Důležité je doplnit údaje o agrochemických a pedologických vlastnostech nejen ornice, ale i v podornici. Dalším důvodem místně nižších výnosů může být eroze, která se projevuje na těchto lehkých půdách již malém sklonu, a další faktory vyvolané kombinací agrotechniky a lokálních podmínek, například utužení půdy s následným lokálním zamokřením.

Na základě map a dalších údajů může zkušený agronom přizpůsobit systém pěstování, s využitím alespoň některých postupů precizního zemědělství. Přínosem bude efektivnější výroba, kvalitnější produkce a menší zatížení prostředí.

Příklad využití specializované mapy při lokálně cíleném hospodaření na orné půdě

Z mapy relativního výnosového potenciálu v Kochánkách v porovnání s odběrem a exportem dusíku ve sklizeném zrně lze vypočítat, že z paušální dávky 160 kg N/ha k ozimé pšenici je u zón s relativním výnosem (RY) nad 110 % export N v zrně nejčastěji 130-190 kg N/ha, zatímco u zón s RY pod 90 % se export N pohybuje od 60-160 kg N/ha. Těmto rozdílům je nutné přizpůsobit dávky a termíny hnojení. Pro přihnojování porostů během vegetace je vhodné rozložení výnosového potenciálu doplnit o aktuální hodnocení stavu porostů z dálkového průzkumu nebo senzorového měření. V případě sucha, v zónách s nízkým počtem klasů a nízké LAI, které současně vykazují nižší RY, je třeba snížit dávku produkčního hnojení i případné zásahy chemické ochrany, na těchto plochách také nemá smysl na jaře aplikovat morforegulatory na zkrácení stébla. Vzhledem ke korelaci RY a výživného stavu půd je vhodné upravit i dávky hnojiv a vápnění. Vzhledem k dominantnímu vlivu sucha v důsledku zrnitostního složení půdy mohou mapy sloužit pro vytipování vhodných ploch pro zlepšení půdy pomocí melioračních hmot (bentonit, sádrovec, lignit) a pro zvýšený input organické hmoty (například pelety ze slámy a separátu). Mapy indikují i možnost úpravy hustoty porostu, výsevního množství a prostředků chemické ochrany. V současnosti nevyužívaná, ale v podmínkách lehkých propustných půd s nižší vodní kapacitou bude, zvláště u mělce kořenících zelenin a raných brambor, efektivním opatřením prostorově variabilní závlaha. Z postupů stanovení optimální závlahové dávky je zřejmé, že v některých místech by mohlo být závlahové množství větší, jinde je nadměrná a vede k průsaku mimo kořenovou zónu a riziku vyplavení živin.

Mapy zpracované v souřadnicovém systému JSTK byly předány uživatelům pozemků (Předměřická, a.s., Ing. Renata Krucká) a umístěny na stránkách <https://www.vurv.cz>.

III. Seznam použité literatury

- Alvino A., Marino S. 2017: Remote Sensing for Irrigation of Horticultural Crops. Review. Horticulturae 40 (3). Doi:10.3390/horticulturae3020040
- Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R. 2018: Factors controlling nitrate concentration in space and time in wells distributed along an aquifer/river interface (Káraný, Czechia). Hydrogeology Journal, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1854-7>
- Cameira M.R., Mota M. 2017: Nitrogen related diffuse pollution from horticulture production – mitigation practices and assessment strategies. Horticulturae 3, 25. DOI:10.3390/horticulturae3010025
- Duffková R., Lukas V., Fučík P., Marval Š. 2019: Může precizní zemědělství zvýšit účinnost dusíkatých hnojiv? Úroda 67 (12), 18-22.
- Duffková R., Brom J., Žížala D., Zemek F., Procházka J., Nováková E., Zajíček A., Kvítek T. 2012: Určení infiltračních oblastí pomocí vodního stresu vegetace na základě dálkového průzkumu Země a pozemních měření. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i., Praha: 64 s. ISBN: 978-80-87361-15-3
- Hedley C. 2015: The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. Journal of the Science of Food and Agriculture 95, 12-19.
- Jelínek Z., Starý K., Kumhálová J. 2019: Assessment of production zones modelling accuracy based on satellite imaging and yield measurement of selected agriculture plot. Agronomy Research 17 (2), 447-455.
- Jones H. G., Vaughan R. A. 2010. Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications. Oxford University Press, Oxford; New York, oCLC: ocn500822994.

- Kadlecová R., Gvoždík L., Grundloch J. 2016: Hydrogeologická mapa území mezi Předměřicemi nad Jizerou a Sojovicemi. Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-916-5.
- Kadlecová R., Bruthans J., Grundloch J., Gvoždík L., Haberle J., Klír J., Kůrková I., Milický M., Růžek P., Herčík L. 2018: Kvartérní sedimenty, podzemní voda a zemědělství. Čes. geol. služba, Praha, 85 s.
- Klír J., Haberle J., Růžek P., Šimon T., Svoboda P. 2018. Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i.: 44 s. ISBN 978-80-7427-273-8
- Klír J., Haberle J. 2017. Snížení rizika ztrát dusíku z půdy v zelinářské výrobě. Zahradnictví 16 (5): 60 - 62.
- Klír J. a kol. 2017. „Inovace systémů zemědělského hospodaření v prostředí kvartérních sedimentů, jejich ověření a aplikace v ochranných pásmech vodních zdrojů“ Závěrečná zpráva řešení projektu QJ1320213, VÚRV, v.v.i., Praha-Ruzyně, 67 s.
- Kroulík M., Brant V., Dlouhý M. 2018: Optické senzory a přesné navigace. Zemědělec 27 (37), 22 – 23.
- Kroulík M., Brant V., Chyba J., Zábranský P., Škeříková M. 2016: Aplikace dusíkatých hnojiv z pohledu variability pozemku. Mechanizace zemědělství 66 (5), 58-61.
- Křížová K., Kumhálová J. 2017: Comparison of selected remote sensing sensors for crop yield variability estimation. Agronomy Research 15 (4), s. 1636-1645.
- 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.
- Piedelobo L., Damián O-T., Del Pozo, Susana & Hernandez, David & Ballesteros, Rocio & Moreno, Miguel & Molina, Jose-Luis & González-Aguilera, Diego. (2018). HidroMap: A New Tool for Irrigation Monitoring and Management Using Free Satellite Imagery. ISPRS International Journal of Geo-Information. 7. 220. 10.3390/ijgi7060220.
- Raimanová I., Svoboda P., Kurešová G., Haberle J. 2016: The effect of different post-anthesis water supply on the carbon isotope discrimination of winter wheat grain. Plant, Soil & Environment 62 (7), 329-334.
- Řezník T., Pavelka T., Herman L., Leitgeb Š., Lukas V., Širůček P. 2019: Deployment and Verifications of the Spatial Filtering of Data Measured by Field Harvesters and Methods of Their Interpolation: Czech Cereal Fields between 2014 and 2018. Sensors 19 (22). URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/22/4879>
- Vuolo F., Essl L., Atzberger C. 2015: Costs and benefits of satellite-based tools for irrigation management. Front. Environ. Sci. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00052>

IV. Seznam odborných podkladů předcházejících mapě

- Brom J., Nedbal V., Duffková, R., Fučík, P., Křováková K. 2017: Identifikace kritických zdrojových lokalit pro oblast Kojčice. Soubor specializovaných map s odborným obsahem. 28 s.
- Duffková a kol. 2019. Průběžná zpráva o řešení projektu TH02030133: Zemědělský systém hospodaření integrující efektivní využití živin plodinami a ochranu vod před plošnými zdroji znečištění. VÚMOP 2019
- Haberle J., Lukáš J., Sova J., Svoboda P., Raimanová I. 2020: Vliv nedostatku vody na teplotu porostu ozimé pšenice. Úroda 68 (1) (v tisku).

- Haberle J., Svoboda P., Šimon T., Kurešová G., Henzlová B., Klír J. 2019: Distribution of Mineral Nitrogen in Soil in Relation to Risk of Nitrate Leaching in Farms with Irrigated Vegetables and early potatoes. J. of Horticultural Research 10.2478/johr-2018-0015.
- Haberle J., Svoboda P., Lukáš J., Duffková R. 2018a: Identifikace kritických zdrojových lokalit pro oblast Kochánek a Sojovic. Soubor specializovaných map s odborným obsahem. VÚRV, v.v.i.
- Haberle J., Svoboda P., Šimon T., Lukáš J., Křížová K., Madaras M. 2018b: Plant growth indicates soil spatial variability related to water shortage and nitrate leaching vulnerability: In: 20th Nitrogen Workshop – Coupling C-N-P-S cycles“, Rennes, Fr, červen 2018, 2 s..
- Lukas V., Neudert L., Duffková R., Fučík P., Mezera J. 2018: Mapa výnosového potenciálu pro Zemědělské družstvo Kojčice. Specializovaná mapa s odborným obsahem. Mendelova Univerzita.
- Lukáš J. Haberle J., Chrpová J., Madaras M., Kroulik M., Brandt V, Sova J. 2019: Metodika detekce vodního stresu polních plodin termokamerovým systémem. Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i.
- Svoboda P., Kurešová G., Raimanová I., Haberle J. 2018: Root depth of field crops and vegetables in the Czech Republic. In: 15th ESA Congress, Ženeva, srpen 2018, 2 s. (CD)
- Svoboda P., Kurešová G., Neumannová A., Haberle J. 2017: Riziko vyplavení nitrátů u zelenin a plodin s různou hloubkou kořenů. Úroda 65 (12), 4 s. (CD).
- Svoboda P., Haberle J., Kurešová G. 2018: Hloubka kořenů polních plodin a zelenin a stanovení závlahové hloubky. In: „Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2018“ Zvolen, září 2018, 8 s (CD).
- Svoboda P., Kurešová G., Raimanová I., Haberle J. 2018: Root depth of field crops and vegetables in the Czech Republic. In: 15th ESA Congress, Ženeva, srpen 2018, 2 s.

V. Mapová příloha

Mapy výnosové potenciálu vybraných pozemků nad 10 ha v zájmové oblasti jsou v příloženém souboru pdf.

Mapy výnosového potenciálu v oblasti dolního Pojizeří

Soubor specializovaných map s odborným obsahem (N-map)

Autoři

¹Ing Jan Haberle, CSc. (haberle@vurv.cz)

²Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

¹Ing. Pavel Svoboda

¹Ing. Jan Lukáš, Ph.D.

¹RNDr. Ivana Raimanová, Ph.D.

¹Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha-Ruzyně

²Mendelova universita v Brně

Prosinec 2019