

Využití bezpilotních prostředků v precizním zemědělství

Václav Ždímal¹, Vojtěch Lukáš²

Ústav aplikované a krajinné ekologie, Agronomická fakulta, MENDELU¹

Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, MENDELU²

Abstrakt: Pro efektivní hospodaření na zemědělské půdě je nezbytná podrobná znalost vlastností jednotlivých půdních bloků. Ty jsou v našich podmínkách nevyrovnané a vyžadují diferencované hnojení a aplikaci chemických přípravků na ochranu rostlin. Tyto požadavky řeší tzv. precizní zemědělství, které umožňuje provádět cílené operace přizpůsobené lokálním podmínkám stanoviště a potřebám rostlin. Přesnosti, s kterými zde pracujeme, se pohybují od centimetru (RTK systémy pro přesné setí) po metry (výnosové záznamy sklízecí mlátičky). Jednou z možností zjišťování variability půdy a porostů je použití bezpilotních prostředků s multispektrálními senzory pro jejich operativnost a flexibilitu. Takto koncipovaný monitoring poskytuje aktuální informace o stavu porostů prostřednictvím vegetačních indexů. Na jejich základě lze rozhodnout o cílené aplikaci agrochemických látek.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, precizní zemědělství, bezpilotní prostředek.

Úvod

Současným vývojovým trendem v zemědělství je orientace na snižování nákladů a uplatnění postupů, které přinášejí ekologický přínos v porovnání s konvenčním (tradičním) hospodařením. Jedna z cest jak toho dosáhnout spočívá v podchycení a respektování různorodosti prostředí v rámci pozemků a následné vhodné reakci lokálně cíleným zásahem. Tradičně je zemědělská půda obhospodařována uniformně - nejmenší jednotkou agronomického rozhodování je hon, který je považován za homogenní prostředí, a na základě průměrné hodnoty z této plochy je volena intenzita pěstitelských zásahů. Lokálně specifický přístup v precizním zemědělství zohledňuje rozdílné podmínky v rámci jednotlivých pozemků a přizpůsobuje pěstitelské vstupy (např. aplikace agrochemikálií) konkrétním podmínkám daného stanoviště. Tyto postupy přinášejí ekonomické přínosy v podobě zefektivnění agrotechnických zásahů a optimálního využívání produkčního potenciálu půdy při snížení zátěže životního prostředí nadměrným užíváním agrochemických prostředků. Pro tyto účely je využívána celá řada moderních technologií, jako jsou globální navigační satelitní systémy (GNSS), geografické informační systémy (GIS), komunikační a informační technologie (ICT) a nejrůznější senzorové systémy.

Nezbytným předpokladem pro lokálně cílené hospodaření je znalost heterogenity pozemků. Pro získání těchto informací lze využít celé řady postupů, které většinou vycházejí z laboratorních analýz odebraných vzorků půdy nebo rostlinného materiálu. Perspektivní se jeví uplatnění senzorových měření, ať v podobě pozemního (proximal sensing) nebo dálkového průzkumu (remote sensing).

Používané technologie

Technologie používané v precizním zemědělství byly původně používány v rozdílných oborech lidské činnosti, odkud si také přinesly své charakteristiky. Nejpresnější techniky byly převzaty z geodézie. Při zaměření pozemku totální stanicí může přesnost dosáhnout při měření vzdálenosti dosáhnout 1 mm + 1 ppm, při použití geodetického systému GPS může přesnost dosáhnout 5 mm + 2 ppm základnice. Samozřejmě záleží na typu použitého přístroje, ale přesnost se pohybuje v milimetrech a centimetrech. Při použití ručního GPS přijímače, který může být používán i při určování polohy strojů, lze dosáhnout v reálném čase přesnosti měření 60 - 100 cm, postprocessingem 50 - 90 cm a při fázovém diferenčním měření 1 cm + 2 ppm. Tyto údaje platí pro přijímač CMT ALTO-G12. U přijímače CMT March II-E je

přesnost měření v reálném čase 1 - 5 cm, postprocessingem 120 - 250 cm a při fázovém diferenčním měření 2 cm + 2 ppm. To znamená, že pokud pro určení polohy strojů budeme uvažovat s měřením v reálném čase, dosažená přesnost dosahuje v prvním případě méně než metr, ve druhém do 5 metrů. S podobnou přesností můžeme počítat při použití GPS u sklízecí mlátičky.

Pokud použijeme ruční GPS např. firmy GARMIN, přesnost je lepší než 15 m a 1-5 metrů při použití DGPS. Tato kategorie přístrojů se v precizním zemědělství ovšem používá výjimečně.

Podklady dálkového průzkumu mají také rozdílnou přesnost. Ve výjimečných můžeme dosáhnout velikosti pixelu 10 centimetrů. Při použití snímkování používáme velikost pixelu 0,5 metru. Při použití družicových snímků je u družice IKONOS rozlišení v panchromatickém módu 1 m v multispektrálním 4 m. Družice Landsat 7 má geometrické rozlišení v sedmi standardních spektrálních pásmech 30 m, v pan-chromatickém pásmu 15 m. Jak je vidět, použité rozlišení může být značně proměnlivé, záleží na přesnosti, kterou požadujeme, na ceně, kterou jsme schopni zaplatit a na množství dat, které budeme zpracovávat.

Další oblastí, která se projevuje v precizním zemědělství, jsou technické parametry strojů. Šířka lišty u sklízecí mlátičky se pohybuje v rozmezí 3,6 až 7 metrů a záleží na seřízení stroje, záběr postřikovače je od 12 do 42 metrů.

Pro precizní zemědělství jsou nezbytné informace o půdě. Informace o půdě jsou získávány hlavně z půdních vzorků. Vzhledem k vysokým cenám za rozbor je snaha, aby velikost lokality jednoho vzorku byla co největší, v hektarech případně větší. Další informace lze získat z kontrol úrodnosti půd nebo z údajů podle kterých vznikaly mapy BPEJ.

Spektrální vlastnosti rostlin a porostů

Rostliny vykazují specifickou odrazivost v jednotlivých pásmech elektromagnetického záření. Modrá a červená část záření je v převážné většině spotřebovávány při procesu fotosyntézy, část zeleného spektra je odrážena (proto se nám rostliny jeví jako zelené). V blízké infračerveném spektru (NIR) je většina záření odrážena. NIR je pro lidské oko neviditelné, pro jeho záznam je nutné speciální detekční zařízení. Zjednodušeně lze říci, že odrazivost ve viditelném záření podává informaci o stavu fotosyntetického aparátu, zatímco v NIR o množství biomasy. Na tzv. multispektrálním snímku, který zahrnuje všechna tato pásma, se pak vegetace bude v modré a červené části jevit jako velmi tmavá až černá, v zeleném šedá a v NIR bude světlá až bílá. Takto je popsána zdravá vegetace, rostliny trpící stresem (nebo stárnoucí) vykazují změny odrazivosti – přibývá odrazivost v červeném spektru (rostliny žloutnou) a naopak se snižuje odrazivost v NIR. Principu porovnávání odrazivosti v jednotlivých spektrech je určujícím rysem většiny přístrojů používaných k hodnocení stavu porostů. Senzorové měření dokáže poměrně spolehlivě detekovat porostní rozdíly (nedostatečná výživa, vodní stres, napadení rostlin), obvykle ale není schopno určit přesnou příčinu identifikovaného stresu.

V rámci výzkumu na Agronomické fakultě Mendelovy univerzity v Brně jsou ověřovány postupy leteckého a bezpilotního průzkumu pro hodnocení stavu vegetace. V rámci tohoto ověřování jsou využívány technologie multispektrálního, termálního a hyperspektrálního snímkování povrchu půdy a porostů zemědělských plodin, převážně obilnin. Z obrazových dat jsou vypočteny vegetační indexy, které jsou následně porovnávány s pozemním stanovením vegetačních parametrů, jako je výživný stav, hustota porostu, množství nadzemní biomasy, obsah chlorofylu, apod.

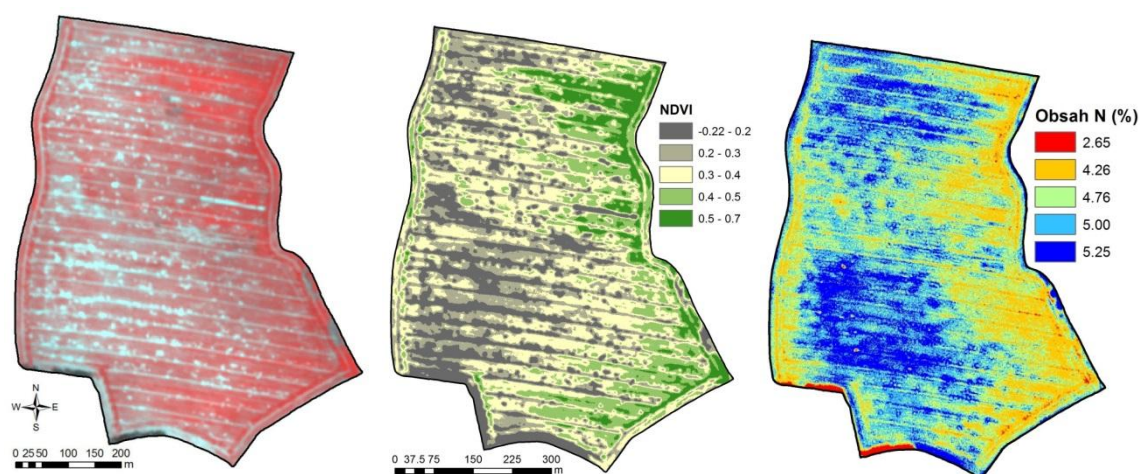
Při dálkovém průzkumu je využíváno již popisovaného způsobu měření odrazivosti porostů a jeho kvantifikace v podobě tzv. vegetačních indexů. Jedním z nejčastěji používaným vegetačním indexem je Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI - Normalized

Difference Vegetation Index), který hodnotí porost poměrem odrazivosti v červeném a NIR spektru. Kombinuje oba významné parametry – stav rostlin a množství biomasy na jednotce plochy. Zároveň umožňuje odlišení vegetace od ostatních objektů (půda, zástavba, voda). Původně byl vyvinutý pro stanovení dynamických vegetačních dějů globálního charakteru ze širokopásmových satelitních snímků. Normovaný výpočet na rozdíl od jednoduchých poměrových indexů umožňuje redukovat některé rušivé prvky v obraze, jako jsou rozdíly v osvětlení snímání scény, stíny a vlivy atmosféry, neboť jejich působení je v rozdílných pásmech odrazivosti zpravidla stejné. Pro porovnávání rozdílných termínů snímání je ale nutné použít radiometrické korekce pro standardizaci světelných podmínek.

Rovnice pro výpočet NDVI ze širokopásmových senzorů (Rouse *et al.*, 1974):

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (R_{NIR}, R_{Red} - \text{odrazivost v blízké infračerveném a červeném pásmu})$$

Při snímání vyspělejšími úzkopásmovými senzory je NDVI vypočteno jen z vybraných pásem určitých vlnových délek (např. R_{800} a R_{670}). Výsledky polního experimentu s ozimou pšenicí a jarním ječmenem na Mendelově univerzitě v Brně ukázaly, že vyšší hodnoty NDVI indikují větší množství biomasy, hmotnost rostlin, vyšší počet rostlin na m^2 , počet odnoží na rostlinu a lepší výživný stav (vyšší obsah chlorofylu), které se následně projeví na dosažení vyššího výnosu plodin (Křen *et al.*, 2009).



Obr. 1 Multispektrální snímek porostu pšenice ozimé z leteckého snímání v průběhu vegetačního období 2010 na 38 ha pozemku v nepravých barvách (vlevo), klasifikovaný NDVI snímek (uprostřed) a predikce obsahu dusíku v rostlinách (vpravo) (Lukas *et al.*, 2011). Snížená koncentrace dusíku u vyšších hodnot NDVI ukazuje na zředovací efekt rostlin.

Perspektivním indexem pro vyhodnocení výživného stavu rostlin, a tím pádem také stanovení podkladů pro variabilní aplikaci hnojiv, je red edge index (také jako **REIP** – red edge inflection point nebo **REP** – red edge position), který udává vlnovou délku inflexního bodu spektrální křivky v tzv. „red edge“ oblasti. Pozice tohoto bodu se zpravidla pohybuje v oblasti 680 – 750 nm, přičemž vlnová délka REIP souvisí s parametry porostu. Zvýšení koncentrace chlorofylu v rostlinách nebo zvýšení biomasy způsobuje jeho posun do vyšších vlnových délek. Pozitivní vlastností REIP je nižší citlivost k rušivým faktorům, jako jsou odražené záření od půdního pozadí a atmosférické vlivy, a zároveň vysoká citlivost k požadovaným porostním charakteristikám (obsah chlorofylu a hustota porostu). Na rozdíl od NDVI nedochází k nasycení při vyšších hodnotách LAI. Na druhou stranu pro stanovení REIP je zapotřebí úzce-pásmové senzorové techniky v podobě hyperspektrálních skenerů nebo kamer.

Rozvoj DPZ v precizním zemědělství za posledních 20 let a současný přehled technologií popisuje např. Mulla (2013). Pro další vývoj by podle autora měla být pozornost směřována na čtyři oblasti: 1. spektrální a chemometrické analytické metody, neboť prostorové a spektrální rozlišení senzorových systémů se pro účely precizního zemědělství zdá být dostačující; 2. vývoj senzorů pro přímé stanovení deficitu živin bez nutnosti kalibračních odběrů rostlin; 3. hledání pokročilých spektrálních indexů, které umožní stanovení porostních parametrů (např. LAI, biomasa, atd.) a odlišení stresových příznaků (stres suchem, deficit dusíku, zaplevelení nebo napadení škodlivými organismy); 4. kombinaci historických družicových snímků s nízkým a středním rozlišením a ambulantní dálkový průzkum s vysokým prostorovým rozlišením pro zlepšení podpory rozhodování v precizním zemědělství.

Bezpilotní průzkum v precizním zemědělství

Bezpilotnímu průzkumu je v zemědělství přisuzován stále větší význam. V současnosti jsou vyvíjeny postupy zpřesnění georeferenciace snímků (Gómez-Candón *et al.*, 2014), radiometrických korekcí obrazových dat (Kelcey and Lucieer, 2012) nebo postupech pro implementaci tohoto průzkumu pro jednotlivé pěstební zásahy v precizním zemědělství, jako je identifikace stresových projevů rostlin (Zarco-Tejada *et al.*, 2009; Bellvert *et al.*, 2014) nebo např. zaplevelení porostu v raných stádiích růstu (Torres-Sánchez *et al.*, 2013). Současně probíhá vývoj hyperspektrálních senzorů pro UAV (Lucieer *et al.*, 2014).

Nejen pokročilé senzorové systémy s vysokým spektrálním rozlišením, jako v případě hyperspektrálních kamer, mohou poskytnout užitečné informace o stavu porostu. Bendig *et al.* (2014) vytvořili z výsledků bezpilotního RGB snímkování digitální model povrchu, který sloužil pro stanovení výšky rostlin jarního ječmene a následně pro odhad nadzemní biomasy. Množství nadzemní rostlinné hmoty je jedním z parametrů, který významně ovlivňuje výnos plodin. Jeho celoplošné sledování je ale značně náročné

Závěry

Lokálně cílené hospodaření je považováno za jeden z klíčových směrů pro dosažení trvale udržitelného zemědělství, neboť optimalizuje využívání materiálových vstupů s ohledem na heterogenitu pozemků a snižuje tak nadměrné využívání agrochemických látek. Z tohoto pohledu tak představuje soulad ekonomické efektivity rostlinné produkce a šetrného hospodaření v krajině. Na druhou stranu vyžaduje informace na mnohem vyšší prostorové úrovni než doposud prováděné postupy. DPZ je vhodným zdrojem informací o prostorové variabilitě půdy a porostů, využitelným pro plánování agrotechnických zásahů. Vysoký potenciál lze očekávat u dálkově pilotovaného průzkumu, který představuje alternativu pro ambulantní monitoring menšího území, v našich podmínkách typicky obhospodařovaná plocha zemědělského podniku.

Použitá literatura:

- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P.J., Girona, J., Fereres, E., 2014. Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture* 15, 361-376.
- Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S., Bareth, G., 2014. Estimating Biomass of Barley Using Crop Surface Models (CSMs) Derived from UAV-Based RGB Imaging. *Remote Sensing* 6, 10395-10412.
- Gómez-Candón, D., Castro, A.I., López-Granados, F., 2014. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture* 15, 44-56.
- Háková, M., 1999. Konkurence letecké fotogrammetrie? *Geoinfo*, L. 6, s. 16-17.

- Kelcey, J., Lucieer, A., 2012. Sensor Correction of a 6-Band Multispectral Imaging Sensor for UAV Remote Sensing. *Remote Sensing* 4, 1462-1493.
- Křen, J., Lukas, V., Svobodová, I., Dryšlová, T., Míša, P., Neudert, L., 2009. Possibilities of cereal canopy assessment by using the NDVI. In: van Henten, E.J., Goense, D., Lokhorst, C. (Eds.), *Precision agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp. 151-158.
- Lucieer, A., Malenovský, Z., Veness, T., Wallace, L., 2014. HyperUAS—Imaging Spectroscopy from a Multicopter Unmanned Aircraft System. *Journal of Field Robotics* 31, 571-590.
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J., 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství. *Metodika pro praxi*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, p. 36.
- Mulla, D.J., 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114, 358-371.
- Rouse, J.W., H., H.R., A., S.J., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. Texas A and M University, College Station.
- Řeřicha, J., 1999. NASA původně projekt zamítla. *Geoinfo*, L. 6, s. 4-9.
- Šmoldas, R. a Horáková, B., 1999. Precision farming. *Geoinfo*, č. 2, s. 14-17.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., De Castro, A.I., Peña-Barragán, J.M., 2013. Configuration and Specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Early Site Specific Weed Management. *PLoS ONE* 8, e58210.
- Zarco-Tejada, P.J., Berni, J.A.J., Suárez, L., Sepulcre-Cantó, G., Morales, F., Miller, J.R., 2009. Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. *Remote Sensing of Environment* 113, 1262-1275.

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumných projektů NAZV QI111A133 „Zlepšení využití odrůdového potenciálu obilnin na základě časové a prostorové analýzy spektrálních charakteristik porostů“ a TAČR TA04021389 „Vývoj systému pro variabilní dávkování pesticidů a hnojiv na základě senzorového monitoringu porostních podmínek“.