

Využití UAV technologie pro získávání dat v precizním zemědělství na příkladu ploch s cukrovou řepou

USING OF THE UAV TECHNOLOGY FOR DATA MONITORING
IN PRECISION AGRICULTURE WITH EXAMPLE OF SUGAR BEET

Vilém Pechanec, Aleš Vávra, Ivo Machar – Univerzita Palackého v Olomouci

Precizní zemědělství je jedním z nejdůležitějších směrů vývoje primární zemědělské výroby, a to zejména ve vyspělých zemích (1). Jeho podstata spočívá v individuálním přístupu k určité části obdělávané plochy v závislosti na její lokální rozdílnosti (2). Rozvoj tohoto moderního přístupu je doprovázen využitím informačních technologií distančního monitoringu krajiny – systémů pro pořizování leteckých snímků zemského povrchu v kombinaci s přesným polohovým určením monitorované plochy (3). Jednou z možností distančního monitoringu zemědělských ploch je UAV technologie (*Unmanned Aerial Vehicle*) – tzv. bezpilotní letecké systémy. Pomocí bezpilotních nosičů fotokamer je možné pořizovat vysoce kvalitní a georeferencované snímky osevních ploch konkrétních druhů rostlin, které lze následně dobře analyzovat (4). Z analyzovaných snímků lze pak určit např. informace o půdních typech, obsahu živin v půdě, půdní vlhkosti, topografických indexech povrchu a informace o aktuálním zdravotním stavu pěstovaných rostlin či předpokládaných výnosech (5). Metody precizního zemědělství mohou být velmi perspektivní i pro pěstování cukrové řepy (6, 7).

Cílem tohoto článku je ukázat možnosti a výhody využití UAV technologie v precizním zemědělství na příkladu mapování prostorové variability zemědělských ploch s cukrovou řepou v České republice.

Distanční monitoring v precizním zemědělství

Metody distančního monitoringu zemědělských půd a polních plodin se dnes velmi dynamicky vyvíjí, zejména díky dostupnosti dat a jejich pokročilým analýzám (8). Základním principem distančních metod je využití schopnosti zemského povrchu odrážet, pohlcovat a vyzařovat elektromagnetické sluneční záření (9). Množství sluneční energie odražené z jednotlivých typů povrchů (půda, vegetace, vodní plochy, zástavba atd.) je obvykle vyjádřeno jako procentický poměr energie, která dopadla a odrazila se z jednotlivých povrchů zpět do prostoru. Hodnota odrazivosti každého objektu v teoretickém rozmezí 0–100 % nabývá své specifické hodnoty pro každou část elektromagnetického spektra zvlášť.

Pro zachycení a měření množství odražené energie byly v distančních metodách vyvinuty speciální digitální senzory. Ty se rozlišují zejména podle šířky elektromagnetického spektra, které jsou schopny měřit. Spektrální senzory (kamery) mohou být umístěny na nejrůznějších nosičích – počínaje satelity přes letadla až po letecké bezpilotní modely (10).

Pro monitoring a sledování zemědělských plodin se využívají jak snímky ve viditelné části spektra, tak multispektrální a hyperspektrální snímky. V případě tvorby časových řad pořizovaných snímků lze mluvit o datech multitemporálních (11). Snímky pořizené ve viditelné části spektra jsou využívány např. k stanovení hranic zemědělských pozemků nebo hranic mezi jednotlivými parcelami pěstovaných plodin, k zjištění výměry parcel nebo k předběžnému odhadu výnosů. Získávání těchto informací vychází z kombinace snímků s velmi vysokým rozlišením a statistických metod, navíc s možností ověření v doplňkovém pozemním průzkumu (12).

Analýza senzorem zaznamenaných údajů odrazivosti je založena na konstrukci tzv. spektrálních křivek odrazivosti. Srovnání hodnot spektrálních křivek napříč libovolným rozsahem vlnových délek umožňuje identifikovat např. typ povrchu či jeho určité vlastnosti. V oboru precizního zemědělství se spektrální křivky odrazivosti používají především ke zjišťování úrodnosti půdy a produkce zemědělských plodin, dále k sledování zdravotního stavu a míry fyzického poškození vegetace a k monitorování důsledků agrotechnických zásahů na zemědělských pozemcích (13). U kulturních plodin se tato metoda uplatňuje například pro obiloviny, řepku olejku, brambory, kukuřici a v neposlední řadě pro cukrovou řepu (14).

Obr. 1. ukazuje rozdílné spektrální křivky zdravé a stresem ovlivněné cukrovky. V grafu představuje osa x vlnovou délku světla, ve kterém byl obraz pořizen, na ose y jsou vyneseny hodnoty reflektance – podílu mezi množstvím dopadnutého a odraženého záření na sledovaném objektu. Je možné si povšimnout zejména odlišného tvaru spektrální křivky v hodnotách kolem 450–550 nm, tedy v oblasti červeného spektra viditelného světla. Tento úsek křivky indikuje vliv stresu na porost cukrovky, který se projevuje žloutnutím listů, což vede ke změně odrazivosti povrchu listů (15).

Právě tato oblast spektra na přechodu červeného a blízkého infračerveného spektra bývá dnes v praxi precizního zemědělství nejčastěji analyzována pomocí tzv. vegetačních indexů. Vegetační index je matematický algoritmus, kalkulující odrazivosti v definovaných spektrech (16). Mezi hlavní kalkulované vegetační indexy patří NDVI (normalizovaný diferenční vegetační index) a DMP (index produkce suché hmoty) (17).

Kromě získávání prostorové informace o zemědělských plodinách je možné i určení kvalitativních parametrů vegetačního porostu. Velký potenciál zde mají snímky multispektrální a hyperspektrální (18). Např. použití hyperspektrálních snímků pro klasifikaci plodin a jejich vztahu s půdními vlastnostmi je

popsáno ve studii (19). Aplikace hyperspektrálních snímků polních plodin v simulačních růstových modelech poskytuje možnost kvantitativní předpovědi výnosů. Výnos plodin odráží prostorové změny biotických faktorů (např. plevelů a patogenů – viz 20) i abiotických faktorů (dostupnosti živin a vody, hloubky půdy – viz 21). Některé intervaly vlnových délek spektra či jejich kombinace jsou citlivé k vegetačnímu krytu a mohou výnos plodin dobře indikovat.

Využití UAV technologie na příkladu ploch s cukrovou řepou

Bezpilotní letecký systém (UAV) tvoří letadlo bez posádky, které je dálkově řízeno nebo létá samostatně pomocí navigačních automatizovaných systémů a nese digitální záznamové zařízení (22). Autoři tohoto článku se zabývají krajinně-ekologickými aplikacemi UAV technologie Drone PIXY (obr. 2.), která byla původně uvažována pro inovace distančních monitorovacích metod v ochraně přírody a krajiny (23). Tuto UAV technologii představuje pomalu letící a rádiem ovládaný model motorového padákového kluzáku, který je primárně určen pro geovědní aplikace zahrnující dálkový průzkum Země z ultra nízkých výšek (50–500 m). Letecký model zkonstruovala a vyrobila pro vědecké účely francouzská společnost Philae Concept se sídlem v Orange. Technologie umožňuje pořízení klasických i digitálních snímků včetně videozáznamu. Maximální nosnost zařízení dovoluje osadit bezpilotní nosič několika senzory současně. UAV technologie je vybavena pohonnou jednotkou Zenoah 290 o výkonu 2,6 HP. Maximální hmotnost užitečného zatížení činí 6 kg. Provoz zařízení nevyžaduje speciální licenci, z pohledu legislativy v ČR je chápáno jako běžný letecký model.

Pro ovládání UAV technologie slouží pozemní stanice s malým LCD monitorem, který zobrazuje veškerá data ze snímáčího zařízení. Pomocí této funkce (tzv. live view) je možné po dobu celého letu pozorovat detaily v zájmovém území. Mimoto je pozemní stanice vybavena tzv. cinch výstupem, ke kterému lze připojit LCD brýle pro lepší kontrolu při snímání. Informační panel pozemní stanice zobrazuje veškeré potřebné technické údaje o aktuální sestavě UAV technologie (model + snímáčí zařízení): aktuální výšku letu, stav baterií pro napájení, délku letu atd. Pozemní stanice je propojena s PC. Díky zabudovanému GPS modulu sleduje pozemní stanice aktuální geodetickou polohu UAV technologie a provádí navigaci nad konkrétně zvoleným zájmovým územím. Hlavní devizou snímáčího věže je využití dvouosé gyrostabilizace, jež zajišťuje stálou zvolenou polohu kamery vůči zemskému povrchu.

Senzor PIXY Vision je vybaven modulem konstantní letové hladiny, přičemž údaje o aktuální výšce přebírá modul z barometru. Dodržení stejné výšky snímků nad terénem usnadňuje zachovat měřítko všech pořízených snímků zájmového území (závislé na zvolené ohniskové vzdálenosti kamery a dalších parametrech). Snímky lze pořizovat v oblasti viditelného spektra i v infračervené oblasti spektra. K pořízení snímků v infračerveném pásmu je využívána multispektrální kamera ADC Tetracam, která je schopna zaznamenávat vlnové délky až do hodnoty 1,1 μm (24).

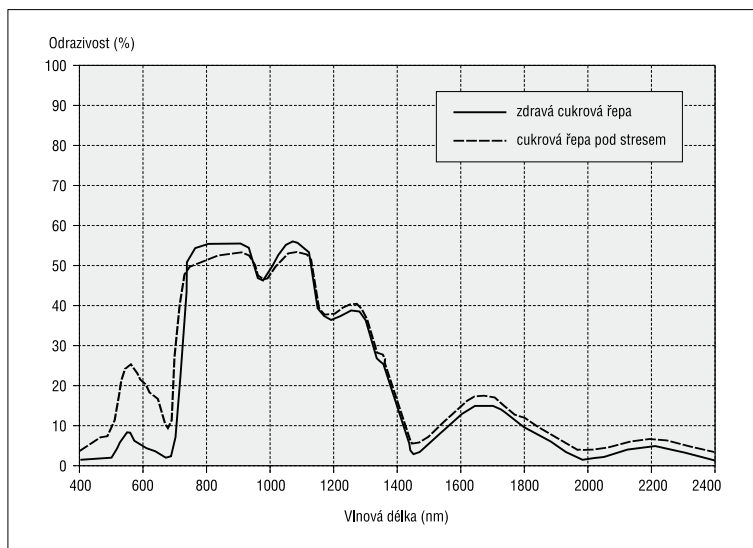
Příklad snímku plochy s cukrovou řepou, pořízeného multispektrální kamerou umístěnou na UAV technologii Drone PIXY, je na obr. 3. Obrázek je vykreslen v nepravých barvách jako výchozí materiál pro následnou analýzu (výpočet vegetačního indexu). V obrázku napravo jsou uvedeny vypočítané hodnoty vegetačního indexu NDVI. Hodnoty tohoto indexu u plochy s cukrovou řepou se na snímku pohybují v rozmezí 0,0 až 1,0. Vyšší hodnoty indexu jsou relevantní pro zelenou vegetaci a nízké hodnoty indexu charakterizují ostatní odrazivé povrchy (půda). Hustý porost cukrovky je identifikován hodnotami blízkými se 1,0. Zdravý porost cukrovky pohltí takřka veškeré viditelné světlo a odráží velkou část světla blízkého infračervené oblasti spektra. U nezdravé vegetace nebo řídké vegetace je naopak odraženo méně blízkého infračerveného a více viditelného světla.

Diskuse a závěr

UAV technologie se v precizním zemědělství uplatňuje stále častěji (25). Interpretací a analýzou snímků pořízených UAV technologií lze dosáhnout stejně kvalitních výsledků jako u finančně velmi nákladného satelitního snímání (26). Při snímání pomocí UAV jsou samozřejmě velmi důležité kamery. Bezpilotní letouny jsou obvykle schopny nést klasické digitální fotokamery, nikoliv velké kamery měřičské s ohledem na jejich hmotnost a rozměry. Problém kalibrace snímků pořízených UAV technologií (tyto snímky postrádají body vnitřní orientace) řeší vybavení UAV technologie navigačními systémy (27). Ty slouží nejen k řízení letu, ale i k přesné lokalizaci získaných dat pomocí UAV fotogrammetrie (28). Pokud je nosič UAV vybaven spektrální kamerou, může poskytovat snímky multispektrální, jež jsou velmi vhodné v aplikacích určených pro precizní zemědělství (29).

Prostor pro aplikace UAV technologie nabízí právě pěstování cukrové řepy v precizním zemědělství (30), jak ukazuje i tento článek. Bezpilotní nosič s multispektrální kamerou se stává sofistikovaným nástrojem a oproti pilotovaným nebo satelitním systémům nabízí množstvím výhod, mezi něž patří kromě

Obr. 1. Rozdílné spektrální křivky zdravé a stresem ovlivněné cukrovky (zdroj: upraveno podle Steven et al., 2003)



výrazně nižší pořizovací ceny i vyšší operabilita, podrobnější měřítko snímku, větší prostorové rozlišení atd. Využití UAV technologie si zachovává výhody distančního monitorování povrchu Země a odstraňuje nevýhody snímání prostřednictvím satelitů či pilotovaných letadel, navíc s možností opakovaných letů kdykoliv dle potřeby v hospodářsky požadovaných termínech (31).

Při přesné aplikaci vede precizní hospodaření k ekonomicky i ekologicky šetrnému hospodaření. Využití moderních technologií, pokud jsou dobře zvládnuty, přináší v precizním zemědělství úspory a zvyšuje efektivitu práce. Autoři tohoto článku doufají, že k dalšímu rozvoji technologií v precizním zemědělství částečně přispěje i tento článek.

Souhrn

Cílem článku je upozornit na možnost perspektivního využití UAV technologie v oblasti precizního zemědělství na příkladu cukrové řepy. Precizní zemědělství je vázáno na využití moderní techniky pro získávání distančních informací o prostorové a časové distribuci přírodních podmínek, jež mají vliv na výnosy zemědělské produkce. Dostupnost GPS zařízení je dnes již na úrovni běžného zařízení, ale v oblasti pořízení aktuálních snímků zemského povrchu je situace složitější. Jednou z dynamicky rozvíjejících se možností distančního monitoringu zemědělských ploch je využití UAV technologie, která při stejném (a mnohdy i vyšším) prostorovém rozlišení získaného obrazu nabízí výrazně levnější provozní i investiční náklady než technologie satelitního a pilotovaného leteckého snímkování. Přínosem UAV je také vysoká flexibilita bezpilotních letounů, které umožňují např. start a přistání na omezeném prostoru. Letouny jsou značně odolné vůči povětrnostním podmínkám. Pomocí těchto zařízení je možné pořizovat snímky osevních ploch konkrétních rostlin, které lze následně analyzovat. Ze snímků lze pak určit např. informace o půdních typech, obsahu živin v půdě, půdní vlhkosti, topografických indexech povrchu, ale i o aktuálním zdravotním stavu pěstovaných rostlin či předpokládaných výnosech.

Klíčová slova: cukrová řepa, distanční průzkum Země, precizní zemědělství, spektrální odrazivost, UAV technologie.

Literatura

- STAFFORD, J. V.: Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76, 2000 (3), s. 267–275.
- KOCHA, B.; KHOSLAA, R.: The Role of Precision Agriculture in Cropping Systems. *J. Crop Production*, 9, 2003 (1–2), s. 361–381.
- PÉREZ-RUIZ, M. ET AL.: Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles. *Precision Agriculture*, 12, 2011 (5), s. 639–652.
- ADAMCHUK, V. I. ET AL.: On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44, 2004 (1), s. 71–91.
- ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N.: Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 2002 (2–3), s. 113–132.
- GRIEPENTROG, H. W. ET AL.: Seed Mapping of Sugar Beet. *Precision Agriculture*, 6, 2005 (2), s. 157–165
- MAHLEIN, A. K. ET AL.: Spectral signatures of sugar beet leaves for the detection and differentiation of diseases, *Precision Agriculture*, 11, 2010 (2), s. 413–431
- KUMHÁLOVÁ, J.: *Využití GIS v precizním zemědělství*. Brno, 2010, 120 s. Disertační práce na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně.

- ZHAO, Y. ET AL.: Multi-scale effect on landscape pattern analysis using satellite data with a range of spatial resolutions. *Journal of Landscape Ecology*, 4, 2011 (2), s. 62–72.
- MIRIJOVSKY, J.; VAVRA, A.: UAV photogrammetry in fluvial geomorphology. In *SGEM2012 Conference Proceedings*. SGEM, 2012, s. 909–916.
- DENTE, L. ET AL.: Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2008 (4), s. 1395–1407.
- MIDDLETON, E. ET AL.: Forecasting corn yield with imaging spectroscopy. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International*. IEEE, 2010, s. 1819–1822.
- LELONG, C. C.; PINET, P. C.; POILVÉ, H.: Hyperspectral imaging and stress mapping in agriculture: a case study on wheat in Beauce (France). *Remote Sensing of Environment*, 66, 1998 (2), s. 179–191.
- MCBRATNEY, A. ET AL.: Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 2005 (1), s. 7–23.
- STEVEN, M. D. ET AL.: Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, 88, 2003 (4), s. 412–422.
- LAUDIEN, R.; BARETH, G.; DOLUSCHITZ, R.: Comparison of remote sensing based analysis of crop diseases by using high resolution multispectral and hyperspectral data—case study: Rhizoctonia solani in sugar beet. In *Proc. 12th Int. Conf. on Geoinformatics- Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic*. 2004, s. 670–676.
- SEELAN, S. K. ET AL.: Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88, 2003 (1), s. 157–169.
- LAN, B.: The Establishment of Agriculture Information System Based on GIS and GPS. *Information and Business Intelligence. Communications in Computer and Information Science*, 268, 2012, s. 506–511
- THENKABAIL, P. S.; SMITH, R. B.; DE PAUW, E.: Hyperspectral vegetation indices and their relationship with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 71, 2000 (2), s. 158–182.
- OKAMOTO, H. ET AL.: Plant classification for weed detection using hyperspectral imaging with wavelet analysis. *Weed Biology and Management*, 7, 2007 (1), s. 31–37.
- MCBRATNEY, A. A.; PRINGLE, M. J.: Estimating Average and Proportional Variograms of Soil Properties and Their Potential Use in Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 1, 1999 (2), s. 125–152.
- GRENZDÖRFFER, G.; ENGEL, A.; TEICHERT, B.: The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31, 2008 (B3), s. 1207–1214.
- PECHANEC, V.: GIS v ochraně přírody. In MACHAR I., DROBILOVÁ L. (eds.): *Ochrana přírody a krajiny v ČR*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, s. 738–750.
- HERWITZ, S. ET AL.: Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44, 2004 (1), s. 49–61.
- BERNI, J. ET AL.: Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 2008 (B7), s. 1309–1314.
- SWAIN, K.; THOMSON, S.; JAYASURIYA, H.: Adoption of an unmanned helicopter for low-altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*, 53, 2010 (1), s. 21–25.
- HUNT, E. ET AL.: Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles. In *ASPRS Pecora 17 Conference Proceeding, Bethesda, MD*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 12, 2008, s. 2012–2017.

28. LIU, P.; CHEN, X.; YANG, L.: An approach of system calibration for UAV photogrammetry. In *International Conference on Optical Instruments and Technology (OIT2011)*. International Society for Optics and Photonics, 2011, 82000 M.
29. MAALOUY, J. ET AL.: Application of 2D correlation spectroscopy and outer product analysis to infrared spectra of sugar beets. *Vibrational Spectroscopy*, 36, 2004 (2), s. 279–285.
30. ROGGO, Y.; DUPONCHEL, L.; HUVENNE, J. P.: Quality Evaluation of Sugar Beet (*Beta vulgaris*) by Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52, 2004 (5), s. 1055–1065.
31. ŠIMEK, P.; VANĚK, J.; JAROLÍMEK, J.: Information and communication technologies and multifunctional agri-food systems in the Czech Republic. *Plant, Soil and Environment*, 54, 2008 (12), s. 547–551.

Pechanec V., Vávra A., Machar I.: Using of the UAV Technology for Data Monitoring in Precision Agriculture with Example of Sugar Beet

The paper describes a new trend in the field of precision agriculture – UAV technology. Precision farming is often associated with the use of modern technology for obtaining information about spatial distribution of natural conditions which affect the yields of agricultural production. GPS technology is commonly available these days but its use for taking current pictures of the earth's surface is somewhat difficult. One of the rapidly emerging means of distance monitoring of agricultural areas is the UAV (Unmanned Aerial Vehicle); this technology offers cheaper operation and higher spatial resolution of the image compared to satellite and aerial photography. Another advantage of the UAVs is their high flexibility which allows them to takeoff from and land in confined areas. The UAVs are also resistant to weather conditions. Use of UAVs makes it possible to take images of specific areas of specific crops, which can later be computer analyzed. The images can help determine information regarding soil types, soil nutrient, soil moisture, topographic indices of the surface and also the current state of health of the crops or yield estimation.

Key words: precision agriculture, remote sensing, spectral reflectance, sugar beet, UAV technology.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Ivo Machar, Ph. D., Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, Žižkovo nám. 5, 771 40 Olomouc, Česká republika, e-mail: ivo.machar@upol.cz

Obr. 2. UAV technologie Drone PIXY (zdroj: vlastní)



Obr. 3. Multispektrální snímek polní plochy s řepou cukrovou pořízený z UAV technologie Drone PIXY (zdroj: vlastní)

