

Využitie bezpilotných lietajúcich prostriedkov a diaľkového prieskumu Zeme v precíznom poľnohospodárstve

Kenderessy, P.: Using Unmanned Aerial Vehicles and Remote Sensing in Precision Agriculture. *Životné prostredie*, 2020, 54, 2, p. 67–72.

The development of modern information technologies and their application in various economical sectors had big impact on agricultural segment as well. Agrotechnical measures are already routinely carried out using autonomously navigated agricultural machinery. The basic condition for their effective deployment is a detailed knowledge of soil properties and field crops condition. One of the progressive approaches to obtaining such data, is the use of modern information and communication technologies, which offer opportunities to increase the efficiency of agricultural commodity production, while minimizing functional costs and inputs such as agrochemicals, fertilizers, irrigation needs, etc. "Internet of things" and the dynamic development of monitoring devices (such as drones), wireless sensors and their networks can lead to valuable yet cost-effective applications, especially in precision agriculture.

Key words: UAV, remote sensing, , precision agriculture

Prebiehajúca klimatická zmena prináša neustále nové výzvy, ktoré môžu ovplyvniť viaceré hospodárske odvetvia vrátane poľnohospodárstva. Podľa Svetovej organizácie pre výživu a poľnohospodárstvo (FAO) bude musieť svetová populácia nájsť nové riešenia na zvýšenie produkcie potravín o 70 % do roku 2050 (Mitchell a kol., 2017). Adaptácia na dopady klimatickej krízy a s tým spojené zabezpečenie dostupnosti potravín a udržateľnosť poľnohospodárskej produkcie predstavuje výzvu, ktorá vyžaduje celý komplex riešení v rôznych segmentoch hospodárstva. Jedným z takýchto riešení je aj segment precízneho poľnohospodárstva, ktoré okrem iného kladie dôraz na variabilitu a rôznorodosť poľnohospodárskych pozemkov a parciel. Aj keď pri prvom pohľade sa môžu jednotlivé parcely monokultúr zdať pomerne uniformné, pri detailnej analýze môžeme identifikovať pomerne významnú variabilitu podmienenú samotnými prírodnými podmienkami ako pôdne typy, georeliéf alebo lokálnym premnožením škodcov, nerovnomernou aplikáciou živín, prejazdmi poľnej techniky a pod. Cieľom precízneho poľnohospodárstva je v tomto zmysle podrobne zmonitorovať/analyzovať pozemok ako celok a následne použiť také technológie, ktoré zaistia precíznu a cieleňú aplikáciu všetkých potrebných postupov. Najzásadnejším predpokladom je získanie čo najväčšieho množstva informácií o danom pozemku. Hlavnou výhodou takéhoto prístupu je samozrejme vyššia efektivita a nižšie náklady. Taktiež je potrebné zdôrazniť, že takéto postupy sú omnoho citlivejšie a šetrnejšie k prírodným zdrojom (voda a pôda), ktoré predstavujú základný výrobný prostriedok v poľnohospodárstve.

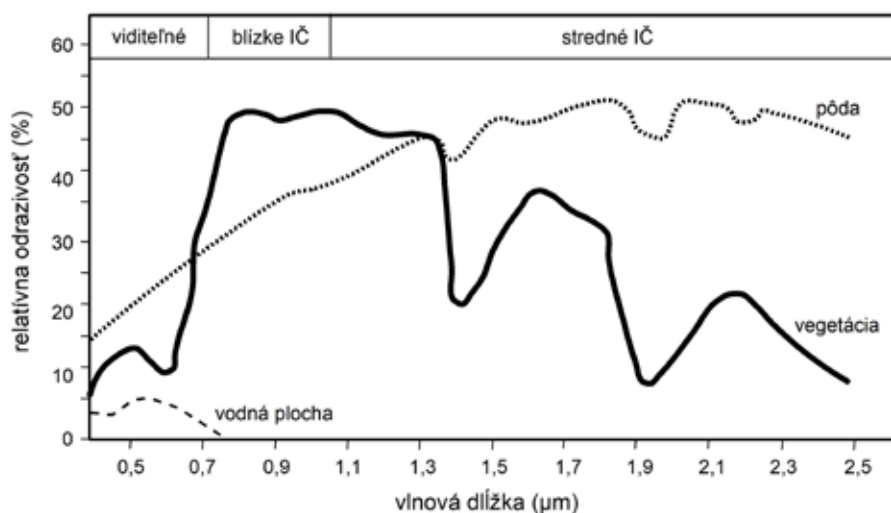
Klasifikácia dronov, legislatíva a prevádzka

Bezpilotné lietajúce zariadenia definujeme ako akékoľvek zariadenia schopné letu bez ľudskej posádky na palube, ktorá takéto zariadenie riadi – pilotuje. Môžu mať rôzny tvar, veľkosť aj typ pohonu. Vo všeobecnosti ich najčastejšie poznáme pod pojmom dron. V odborných kruhoch sú však zaužívané pomenovania vychádzajúce z anglického prekladu skratiek – UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*, bezpilotné lietajúce zariadenie), RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Vehicle*, diaľkovo ovládané lietajúce zariadenie) alebo UAS (*Unmanned Aerial System*, bezpilotný lietajúci systém). Bezpilotné lietajúce zariadenia treba v prvom rade chápať ako nosiče záznamových zariadení pre zber dát. Pod záznamovými zariadeniami sa rozumejú rôzne typy optických kamier a fotoaparátov, termo-, multi- a hyperspektrálne kamery, laserové scanery (LIDAR), analyzátory plynov a mnohé ďalšie senzory (Sládek, Rusnák, 2013). Dáta získane pomocou UAV technológií môžu byť charakterizované rôznym spektrálnym, priestorovým a časovým rozlíšením. Výber vhodného senzora a údajov podmieňuje typ ich aplikácie. Napr. termálne snímky sú najlepšie využiteľné na detekciu obsahu vody, pokiaľ multi a hyperspektrálne údaje sa najčastejšie využívajú pri detekcii poškodenia rastlín a rastlinného stresu.

Základná klasifikácia dronov, od ktorej sa odvíjajú aj podmienky ich prevádzky, je na základe ich vzletovej hmotnosti na nasledovné triedy: C0 (do 250 g), C1 (od 250 g do 900 g), C2 (od 900 g do 4 kg), C3 (od 4 kg do 25 kg a s rozmerom menej ako 3 m) a C4 (od 4 kg do 25 kg) (obr. 1). Podmienky prevádzky bezpilotných zariadení na území Slovenskej republiky upravuje Dopravný úrad SR, ako orgán



Obr. 1. (UAV) kategórie C2 s integrovanou multispektrálnou kamerou. Zdroj: mica-sense.com



Obr. 2. Príklady kriviek relatívnej spektrálnej odrazivosti rôznych typov povrchu. Zdroj: P. Kenderessy

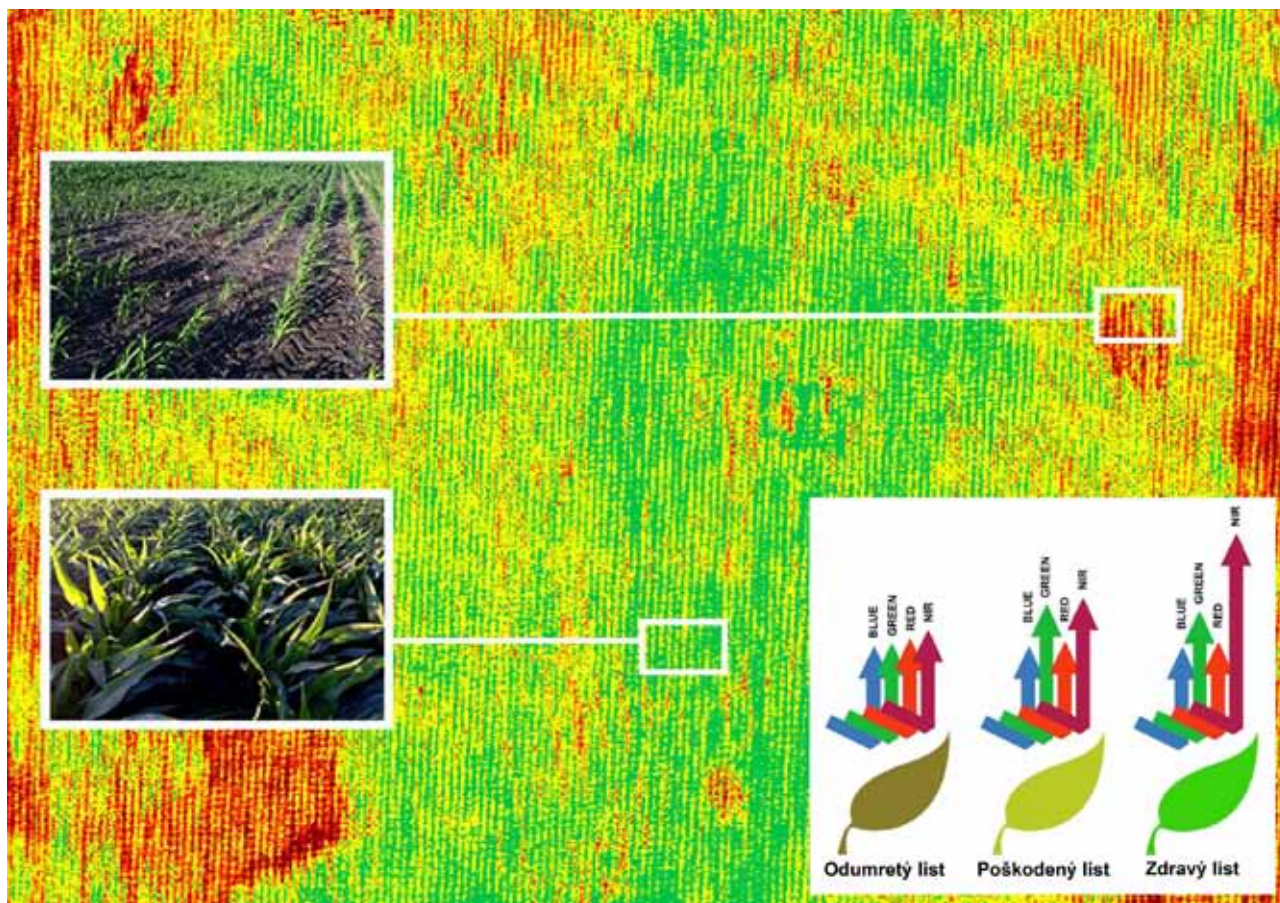
štátnej správy príslušný podľa § 7 ods. 2 zákona č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon), na základe rozhodnutia č. 2/2019 zo dňa 14. 11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky. Pre najpoužívanejšie kategórie dronov v triedach C0, C1, C2, C3 platia základné pravidlá, na základe ktorých sa obmedzuje prelietavanie nad zhromaždiskami ľudí a husto osídlenými oblasťami, lieta sa iba za dobrej viditeľnosti, maximálne na vzdialenosť 1000 m (horizontálne) pri udržiavaní priameho vizuálneho kontaktu s bezpilotným lietadlom. V riadenom okrsku letiska (CTR, Control Zone) sa môže lietať maximálne

do výšky 30 m nad zemským povrchom a 3,7 km pre C0 až C2 resp. 5,7 km pre C3 a C4 od referenčného bodu letiska. Vykonávanie špeciálnych alebo komerčných činností podlieha povoleniu Dopravného úradu SR na vykonávanie leteckých prác.

Monitoring poľných plodín a vegetačného pokryvu

Rast poľných plodín, alebo odhad ich úrod možno monitorovať rôznymi metódami. Jedna z nedeštruktívnych metód je využitie spektrálnej odrazivosti skúmaného porastu. Zásadnú úlohu v interpretácii stavu porastov v rastlinnej výrobe zohráva tzv. spektrálna krivka odrazivosti, ktorá vyjadruje spektrálny prejav skúmaných povrchov, v tomto prípade porastov. Krivky spektrálneho prejavu majú pre daný typ povrchu typický priebeh (obr. 2). Akékoľvek odchýlky od tohto štandardného priebehu môžu naznačovať rôzne anomálie spôsobené vplyvom biotických alebo abiotických faktorov. Priebeh spektrálnej krivky môže ovplyvňovať tak fyzikálny stav skúmaného porastu (napr. obsah vody), ako aj jeho chemické zloženie (napr. obsah živín).

Priebeh spektrálnej krivky tiež spravidla naznačuje aktuálny stav porastov, ktorý sa môže meniť, pričom tento stav nemusí byť rozpoznateľný bežným vizuálnym pozorovaním ľudským okom. Na správne pochopenie a interpretáciu spektrálnej krivky odrazivosti zohráva dôležitú úlohu tiež geometria povrchu porastu (výška rastlín, počet a rozmiestnenie listov, farba listov a tiež veľkosť a postavenie listov), ktorá môže byť do značnej miery ovplyvnená práve stresovými faktormi. Je tiež dôležité brať do úvahy, že rôzne odrody poľnohospodárskych plodín môžu mať odlišné spektrálne vlastnosti založené na rôznom vplyve stresu a na ich odolnosti voči nemu. Pri využití reflexných vlastností vegetácie sa využívajú tzv. pomerové koeficienty, alebo spektrálne indexy. Každý z indexov hodnotí určité vlastnosti porastu. Tieto sú dané vlnovou dĺžkou

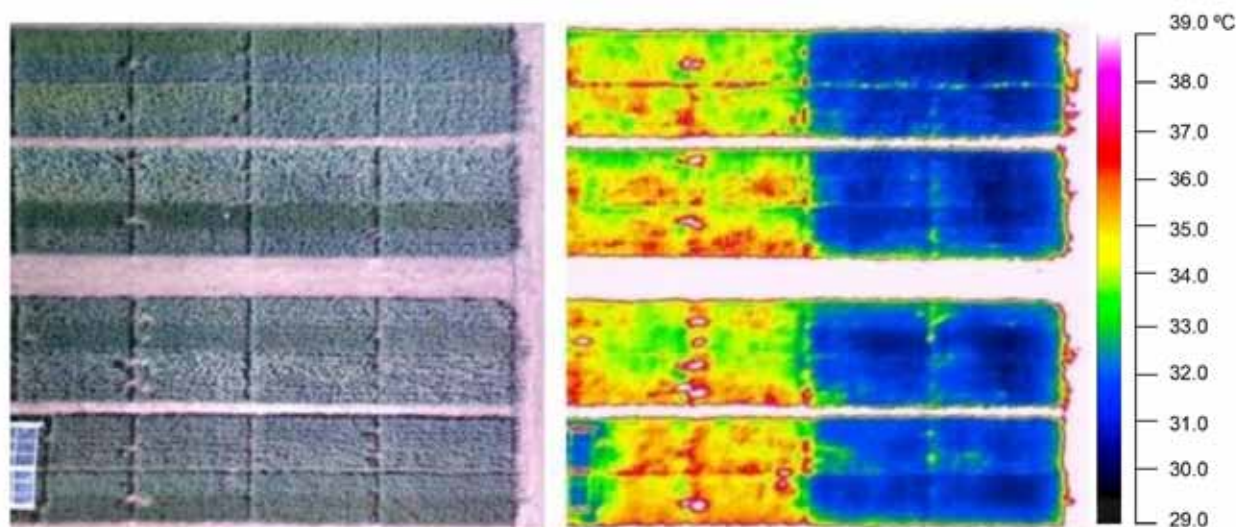


Obr. 3. Schéma zmeny pomeru jednotlivých spektier odrazeného žiarenia pri zdravej a poškodenej vegetácii a využitie tohto princípu pri hodnotení zdravotného stavu porastu kukurice na základe indexu NDVI. Zdroj: P. Kenderessy; micasense.com

a rozsahom všetkých pásiem, ktoré vstupujú do výpočtu. Spracovateľ sa musí rozhodnúť, ktorý index vyberie a použije. Tu treba zobrať do úvahy, že každý index je vhodný pre iné hodnotenie vlastností porastu. Rovnako dôležitú úlohu zohrávajú aj unikátne vlastnosti stanovišťa, na ktorom sú porasty hodnotené. Do výslednej interpretácie by sa mali teda zahrnúť aj všetky vonkajšie vplyvy, ktoré môžu vplývať na výsledky výpočtov. Z tohto dôvodu nie je vhodné prísne zrovnávať výsledky výpočtov rovnakého indexu, ktorý bol zistený na rôznych pozemkoch. Z unikátnych vlastností každého pozemku, alebo plodín vyplýva aj cieľené využitie indexu. Hoci je jeden index vhodný na výpočet vlastností určitých plodín, nemusí byť ale vhodný na určenie vlastností iných porastov, resp. plodín. Toto isté platí aj pri výpočtoch v rôznych fenologických fázach vývoja porastu. V skorších fázach vývoja môže v poraste presvitať pôda, čo môže výsledky výpočtu ovplyvniť. Vždy teda závisí na skúsenostiach a zvážení spracovateľa, ktorý index použije.

Najznámejší a najviac odskúšaný vegetačný index je normalizovaný diferenčný vegetačný index (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*), ktorý vyjadruje množstvo a vitalitu vegetácie na zemskom povrchu. Prvý raz

bol publikovaný v roku 1974 autormi Rouse a kol. s cieľom monitorovať trávne porasty v oblasti Veľkých prérií v USA. Tento index pracuje so spektrálnymi pásmami RED (červené viditeľné pásmo) a NIR (blízke infračervené pásmo). Veľkosť NDVI indexu zodpovedá fotosynthetickej aktivite vegetácie. Časť slnečného žiarenia dopadajúceho na objekt sa odrazí a iná časť je zasa objektom absorbovaná. Chlorofyl obsiahnutý v listoch rastlín silno absorbuje viditeľnú časť slnečného žiarenia, ktoré sa využíva pri fotosyntéze. Naproti tomu bunková štruktúra listov silno odráža blízke infračervené žiarenie. Čím viac listov teda plodina má, tým viac viditeľného žiarenia je absorbovaného a blízkeho infračerveného zasa odrazeného. V konečnom dôsledku je tento fakt dobrým ukazovateľom množstva a kondície vegetácie (obr. 3). Výsledkom výpočtu NDVI indexu je hodnota od -1 do +1. Index NDVI sa pri suchozemskej vegetácii zvyšuje v závislosti od hustoty vegetácie od hodnoty +0,15 (holá pôda) až po +1 (veľmi hustá vegetácia). Na druhej strane, vodné plochy majú negatívne hodnoty indexu NDVI a obľavy majú hodnoty indexu NDVI okolo 0. Index je veľmi rozšírený v rôznych odboroch pri rôznych účeloch hodnotenia. Veľmi jednoducho poskytuje predstavu o zdravotnom stave rastlín a náraste biomasy, ale aj štruktúre porastu.



Obr. 4. Príklad experimentálnej plochy pre výskum dopadov rastlinného sucha na vitalitu porastu ozimnej pšenice. Zdroj: Pix4D.com. V ľavej časti – snímka plochy vo viditeľnom spektre; v pravej časti – v oblasti infračerveného (termálneho) spektra. Plocha je rozdelená na časť s umelo indukovaným stresom a časť s optimálnym stavom.

Monitoring dopadov sucha

Vysoké teploty predstavujú environmentálny faktor, ktorého význam rastie s prehľbujúcimi sa globálnymi zmenami klímy. Dostupnosť vody počas rastového cyklu plodiny je hlavným faktorom ovplyvňujúcim výnos, kvalitu a ziskovosť poľnohospodárskej výroby. Vodný deficit sa môže prejavovať krátkodobým i dlhodobým nedostatkom zrážok, aj zníženou hladinou spodnej vody. V oblastiach s variabilitou podnebia je monitorovanie teploty rastlín kľúčové pre zaisťovanie zdravotného stavu plodín. Teplota ovplyvňuje pravdepodobne všetky fyziologické procesy prebiehajúce v rastlinách. Teplotný stres je často spojený s vodným stresom, pretože sucho je zvyčajne sprevádzané vysokými teplotami, ktoré zvyšujú transpiráciu a urýchľujú proces dehydratácie. Najdôležitejším obranným mechanizmom chrániacim pred negatívnym účinkom vysokých teplôt prostredia na fotosyntetické procesy v rastlinách je transpirácia. Pri intenzívnej transpirácii klesá teplota listov aj o niekoľko stupňov nižšie voči teplote prostredia. Prieduchy tak zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri udržiavaní optimálnej teploty listov. Súčasný postup hodnotenia rastlinného stresu s využitím UAV technológií sú prirodzene zamerané na detekciu fyziologického vodného stresu prostredníctvom indikátorov ako je vodivosť prieduchov a vodný potenciál na úrovni listov. Tieto indikátory úzko korelujú s normalizovanými indexmi na báze teploty povrchu listu. Najčastejšie používanými indexmi sú napr. index vodného stresu (CWSI, *Crop Water Stress Index*), hodnoty indexu sa pohybujú v rozmedzí 0 až 1, pričom hodnoty blížiac sa k 1 súvisia s vyššou úrovňou stresu. Tzv.

IG koeficient vyjadrujúci pomer predýchaného CO_2 a vodnej pary priamo úmerne narastá s priepustnosťou prieduchov. Pre účel monitoringu povrchovej teploty rastlín sa využívajú multispektrálne alebo termálne senzory, ktoré snímajú povrch v oblasti infračerveného spektra v rozpätí vlnových dĺžok od 5 do 12 μm , čo predstavuje stredné až dlhovlnné infračervené žiarenie (SWIR, *short-wavelength infrared*; LWIR, *long-wavelength infrared*).

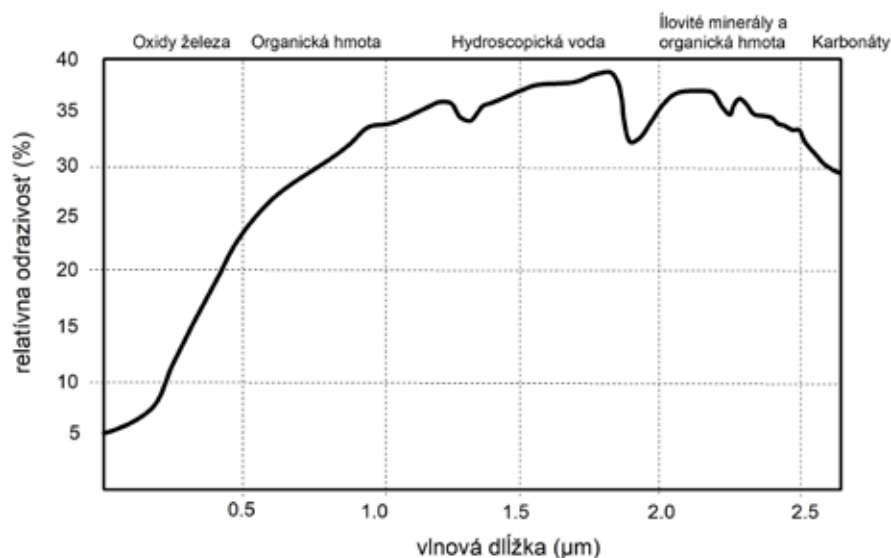
Rýchla detekcia a kvantifikácia charakteristík odolnosti proti stresu, ako aj rýchla detekcia a kvantifikácia povrchovej variability sú nevyhnutné pre návrh obhospodarovania poľných plodín. Tieto údaje možno použiť na výber a vymedzenie druhov a odrôd plodín, ktoré sú rezistentnejšie voči dopadom sucha, kvantifikáciu a priestorovú distribúciu závlah a rôzne ďalšie aplikácie.

Monitoring vybraných pôdných parametrov

Variabilita pôdných vlastností predstavuje ďalší z rady faktorov, ktoré podmieňujú produkciu plodín. Ako už bolo spomenuté, diaľkový prieskum Zeme vo všeobecnosti využíva analýzu interakcie medzi dopadajúcim elektromagnetickým žiarením a cieľovým objektom záujmu, ktorým je v danom prípade pôda. Miera interakcie medzi žiarením a pôdou závisí na vlastnostiach žiarenia, ako aj na pôdných vlastnostiach a charakteristikách snímaného povrchu. Spôsob ich vzájomnej interakcie potom ovplyvňuje pohltenie, priepustnosť, odraz a rozptyl žiarenia. Takto modifikované žiarenie (znížené odrazivosťou) je následne zachytávané pomocou senzorov. Vo väzbe na typ senzorov je meraná rôzna časť elektromagnetického spektra. Merané

pôdne spektrum je výsledkom kombinácie vnútorného spektrálneho správania rôznych pôdnych zložiek, ktoré rôzne interagujú s dopadajúcim žiarením. Žiarenie, ktoré je odrazené pôdou v rôznych vlnových dĺžkach v závislosti od spektrálneho správania častíc pôdy, je reprezentované pôdnou spektrálnou krivkou, prípadne zjednodušené pôdnym spektrom. Pre tento účel sa najčastejšie používajú hyperspektrálne senzory, ktoré dokážu zachytiť širšiu škálu elektromagnetického žiarenia v rozmedzí od 0,4 do 2,5 μm . Výsledná podoba pôdneho spektra, rovnako tak i naše vnímanie pôdy, je prejavom interakcie slnečného žiarenia s pôdnym materiálom. Všetky tieto interakcie zahŕňajú procesy rozptylu a absorpcie (Ben-Dor et al., 1999). Pôda tak má svoje špecifické spektrum odlišiteľné od ďalších typov povrchov ako je vegetácia, vodné plochy či umelé povrchy a vyznačuje sa svojou špecifickou spektrálnou charakteristikou, ktorá závisí od celej rady pôdnych komponentov. Všetky substancie v pôdnej matici, ktoré majú vplyv na spektrálne prejavy pôdy pomenovávame ako tzv. chromofory. Chromofory predstavujú chemické alebo fyzikálne substancie, ktoré významne ovplyvňujú tvar a charakter výslednej spektrálnej krivky (obr. 5).

Chromofory, ktoré sú aktívne pri absorpcii energie (napr. chlorofyl) alebo jej emisii (napr. fluorescencia) v konkrétnych vlnových dĺžkach nazývame chemické chromofory. V pôdach môžeme vyčleniť zhruba tri hlavné skupiny chemických chromoforov: minerály (hlavne ílové a oxidy železa), organický materiál (živý či dekomponovaný) a vodu vo všetkých fázach. Vo viditeľnom spektre sú hlavnými absorbentmi v pôde organický materiál a železo, pričom voda a íly sú hlavnými absorbentmi v infračervenej oblasti spektra (Žížala a kol., 2016). Odraz svetla od pôdneho povrchu závisí aj na rade



Obr. 5. Vplyv rôznych typov pôdnych chromoforov na priebeh spektrálnej krivky. Zdroj: P. Kenderessy



Obr. 6. Príklad bezpilotného lietajúceho prostriedku (UAV) používaného na aplikáciu agrochemických ochranných prostriedkov. Zdroj: dji.com

fyzikálnych parametrov vzťahujúcich sa k indexu lomu. Za fyzikálne chromofory považujeme parametre, ktoré ovplyvňujú pôdne spektrum v zmysle zmeny v indexe lomu svetla (*Refractive Index*) v závislosti na médiu obklopujúcom pôdne častice, a ktoré súčasne nespôsobujú zmeny pozícií špecifických chemických absorpcií. Medzi základné fyzikálne chromofory možno potom zaradiť vlhkosť, mechanické zloženie pôdy – veľkosť a tvar pôdnych častíc, resp. pôdnych agregátov, a drsnosť povrchu (Ben-Dor, Demat, 2015). Tieto parametre fyzikálneho chromoforu

spôsobujú zmeny v priebehu spektrálnej krivky v zmysle ovplyvnenia jej tvaru (celková odrazivosť a posun výškovvej úrovne krivky) a intenzity jej lokálnych prepádov. Dôležitým parametrom, s ohľadom na zmenu indexu lomu, je aj geometria snímania a vplyv miestnych a časovo výrazne premenlivých podmienok (vlhkosť, drsnosť povrchu), ktoré je potrebné zohľadniť pri plánovaní leteckých spektrálnych kampaní.

Letecké hyperspektrálne dáta sú vhodným zdrojom údajov pre kvantifikáciu pôdných vlastností vrchnej vrstvy pôdy, tak pre monitoring a klasifikáciu poľnohospodárskych pozemkov. Z doterajších výsledkov výskumu vyplýva aj celá rada obmedzení ich využívania. Kľúčovou požiadavkou pre ich úspešné využitie sú hlavne vysoké nároky na kvalitu obstarania a spracovania dát. Týka sa to hlavne snímokovania za vyhovujúcich podmienok s vhodne nastavenou geometriou letu a precízne prevedenými korekciami obrazových dát. Dôležitý vplyv na úspešnosť má aj obmedzenie pôsobenia fyzikálnych faktorov na pôdne spektrum (najmä drsnosť povrchu a vlhkosť) vrátane vegetácie. Prezentovaný prístup môže byť aplikovaný výhradne na holé pôdy. Priame sledovanie je tak obmedzené na obdobie s minimálnym pokryvom pôdy vegetáciou či rastlinnými zvyškami.

Aplikácia ochranných prostriedkov

Okrem monitorovania stavu poľných plodín a prírodných podmienok sa v poslednej dobe UAV systémy presadzujú aj v oblasti aplikácie ochranných prostriedkov. Táto technológia bola prvýkrát použitá v 80. rokoch v Japonsku pri aplikácii pesticídov pomocou bezpilotných vrtulníkov. Najmodernejšie UAV systémy môžu prepravovať veľké nádrže s objemom 10 až 15 litrov. Rýchlosť vypúšťania kvapaliny sa môže pohybovať okolo 2 až 5 litrov za minútu. Pri takomto nastavení a optimálnych podmienkach dokáže UAV systém aplikovať postreky za jednu hodinu na ploche približne 10 hektárov (Sylvester, 2018). Je však dôležité pripomenúť, že samotnej aplikácii musí predchádzať dôkladné monitorovanie stavu poľnohospodárskych pozemkov aby sa dosiahlo čo najefektívnejšie a cielené použitie agrochemikálií. Takto kombinovaný prístup môže zaručiť nie len znižovanie množstva použitých agrochemikálií, ale zároveň tak prispieva k minimalizácii negatívnych dopadov na životné prostredie. Na Slovensku je aplikácia agrochemických prostriedkov pomocou UAV zariadení regulovaná rozhodnutím Dopravného úradu SR č. 1/2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky. Na základe tohto rozhodnutia bezpilotné lietadlo nesmie byť použité na rozprašovanie chemických látok alebo na zhadzovanie predmetov z bezpilotného lietadla; to neplatí, ak ide o vykonanie leteckých prác, vykonanie letu bezpilotným lietadlom na základe súhlasu podľa čl. 8 ods. 1 písm. b) a pri plnení úloh pod-

ľa čl. 1 ods. 4. Letecké práce možno vykonať len diaľkovo riadeným lietadlom na základe povolenia Dopravného úradu SR vydaného podľa osobitného predpisu.

* * *

Moderné poľnohospodárstvo založené na efektívite využitia prírodných zdrojov a zároveň šetrnosti k životnému prostrediu sa nemôže zaobiť bez využitia progresívnych metód a postupov založených na informačných technológiách. Údaje diaľkového prieskumu Zeme môžu priniesť komplexné informácie o rozsiahlych územiach a zároveň minimalizovať náklady na získanie takýchto informácií konvenčným spôsobom. Aj napriek určitým legislatívnym obmedzeniam, slabej ekonomickej výkonnosti poľnohospodárskeho sektora a nedostatočnej výskumno-vývojovej báze má nasadenie UAV systémov a diaľkového prieskumu Zeme v podmienkach Slovenska veľkú perspektívu. Najčastejšie aplikácie sa týkajú hlavne posudzovania stavu poľných plodín s využitím vegetačných indexov a tvorby aplikačných máp pre potreby navádzania presných agrotechnických zariadení. Využitie hyperspektrálnych dát je zatiaľ zriedkavé. Je to dané hlavne tým, že spracovanie a vyhodnotenie hyperspektrálnych dát pre účely mapovania pôdných vlastností je ešte pomerne mladou disciplínou, ktorá vyžaduje ďalší vývoj a taktiež pomerne vysoké obstarávacie ceny hyperspektrálnych senzorov.

Príspevok vznikol s podporou Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV na projekt č. 2/0078/18 Výskum biokultúrnych hodnôt krajiny.

Literatúra

- Ben-Dor, E., Irons, J., R., Epema, G.F.: Soil Reflectance. In: Rencz, A., N., Ryerson, A., R. (eds.): Remote Sensing for the Earth Sciences. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 1999, 3, p. 111 – 188.
- Ben-Dor, E., Dematté, J., A., M.: Remote Sensing of Soil in the Optical Domains. In: Thenkabail, P., S. (ed.): Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing. Boca Raton: CRC Press, 2015, p. 733 – 787.
- Mitchell, C., Hunter, R., Smith, G., Schipanski, M., E., Atwood, L., W., Mortensen, D., A.: Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience*, 2017, 67, 4, p. 386 – 391.
- Sládek, J., Rusnák, M.: Nízkonákladové mikro-UAV technológie v geografii (nová metóda zberu priestorových dát). *Geografický časopis*, 2013, 65, 3, s. 269 – 285.
- Sylvester, G.: E-agriculture in action: Drones for agriculture. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union, 2018, 211 p.
- Žížala, D., Krása, J., Báčová, M., Zelenková, K., Laburda, T., Novotný, I.: Monitoring erozného poškodení púd v ČR nástroji diaľkového průzkumu Země. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., 2016, 156 s.

Mgr. Pavol Kenderessy, PhD., *pavol.kenderessy@savba.sk*
Ústav krajinej ekológie SAV, Štefánikova 3, P. O. Box 254, 814 99 Bratislava