Využití bezpilotních prostředků v zemědělství dokončení

Interpretace shromážděných dat z použitých senzorů je spojená s obrazovou analýzou. Ta umožňuje kvantifikovat jevy, které mají jak kvalitativní (úroveň zdraví, výživy a zralosti rostlin), tak kvantitativní (počty rostlin, velikost plochy, výšku rostlin, teplota) povahu.

RGB fotoaparát představuje asi nejjednodušší aplikaci pro bezpilotní prostředky. Jedná se o snímkování ve viditelném spektru a výstupem je klasická fotografie. Fotografie pořízené klasickým fotoaparátem nejsou vhodné pouze jako náhledy nebo pro propagační účely. Své opodstatnění nalézají také ve výzkumné činnosti a praktických úkonech. Jako prvotní aplikace se nabízí hodnocení variability pozemků, která je sice viditelná pouhým okem, nicméně pohled z výšky umožní s fotografií dále pracovat. Získáme tak významnou vrstvu do skladby informací o pozemcích. Výsledné snímky můžeme také zpětně využít při návrhu odběrové sítě.

Obr 1 – Snímek chmelnice, která byla poškozena během silné vichřice, dokládá rozsah škod *Foto Milan Kroulík*

Zjišťování škod v porostu

V zemědělství se také často setkáváme s případy, kdy je potřeba sledovat nebo kvantifikovat míru poškození v důsledku nepříznivých povětrnostních vlivů, dopadů hospodaření na utužení nebo erozi půdy, případně poškození zvěří.

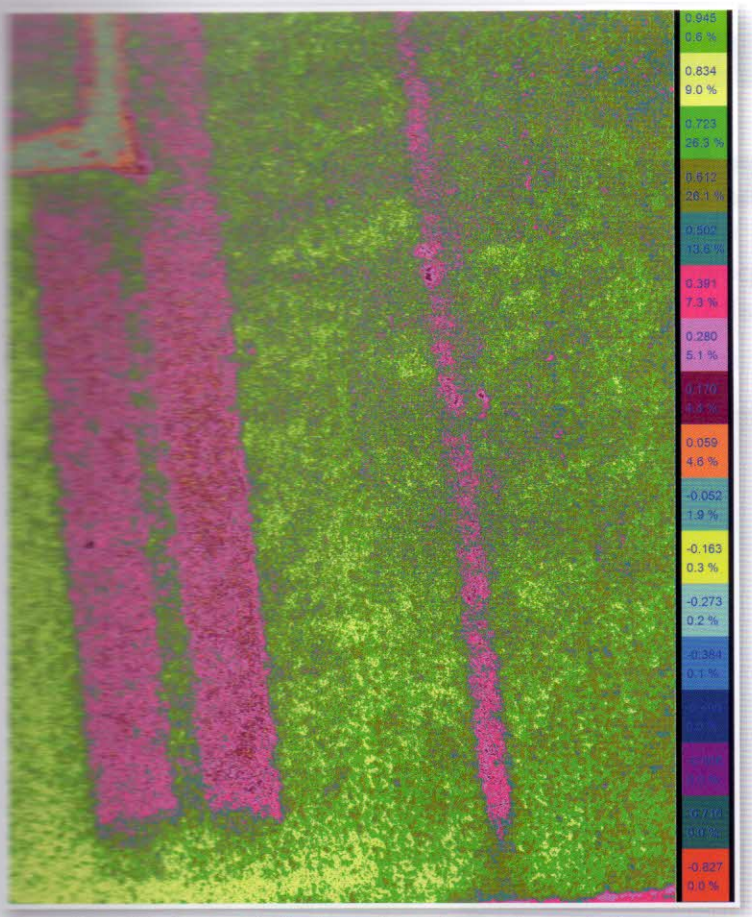
Zajímavou oblastí využití klasického fotoaparátu je oblast stereoskopie. Pokud zájmové území nasnímáme v letovém režimu s vysokým stupněm překrytí, výškopisný vjem získáme spojením snímků do jedné vrstvy. Tímto postupem vytvoříme velmi podrobné, detailní modely terénu s měřítkem v řádu milimetrů nebo centimetrů. Dostáváme se tak na měřítko, kdy můžeme sledovat jednotlivé rostliny, kolejové stopy, hrudovitost, erozní rýhy a podobně. Na dvojici obrázků můžeme porovnat snímek zájmové oblasti a výškopisný model shodného území pořízený složením snímků s vysokým stupněm překrytí. Na výsledném modelu jsou patrné řádky kukuřice v časné fázi růstu, trsy brambor, které zaplevelují založený porost a také stopy po mechanizaci.

Jak bylo představeno výše, spektrální a teplotní chování rostlin a půdy se s vlnovými délkami mění. Dozrávající porost, případně porost stresovaný vnějšími vlivy, vykazuje odlišnosti oproti zdravému porostu. Tyto změny lze velmi dobře identifikovat z termogramů, snímků interpretovaných v nepravých barvách, případně indexů, které kombinují ve vzorci rozdílné hodnoty odrazivosti v příslušných vlnových délkách. Index vyjadřuje stav porostu jedním konkrétním číslem. Na obrázku 3 je ukázka vybrané části pozemku, kde bylo nekvalitně provedeno ošetření porostu řepky. Index SAVI dokládá rozdíly ve zdravotním stavu porostu. Vyšší hodnota indexu vyznačuje zdravější porost. Porost napadený hlízenkou vykazuje nižší aktivitu, se kterou klesá i hodnota vegetačního indexu.

Vegetační indexy

Struktura a fyziologie porostu či jednotlivých rostlin ovlivňují jejich spektrální odrazivost, tedy množství odraženého záření. Snímky zobrazené ve viditelné části spektra (RGB) nám zpravidla neřeknou nic o tom, co se aktuálně děje ve sledovaném porostu. K tomu, abychom zjistili požadovanou informaci (obsah vody, chlorofylu, vodní stres...), je potřeba využít kombinace jednotlivých spektrálních pásem v předem definovaném tvaru. Takovýmto kombinacím pásem se říká spektrální či vegetační indexy. Každý z indexů má svůj účel použití. Širokopásmové indexy využívají pásma z multispektrálních kamer a závisejí především na spektrálním rozlišení snímku. Spektrální indexy zpravidla obsahují kombina-

Obr 2 – Porost poničený divokými prasaty *Foto Milan Kroulík*



Obr 3 – Porost řepky s neošetřeným pruhem významně napadeným hlízenkou. Snímek byl pořízen multispektrální kamerou a rozdíly v aktivitě porostu byly vyjádřeny indexem SAVI *Foto Milan Kroulík*

ci pásem, kde můžeme detekovat vysokou odrazivost (pásma GREEN a NIR), či pásma, kde dochází k absorpci elektromagnetického záření (pásmo RED). Chceme-li detekovat vodní stres rostlin, je možné použít index vlhkostního stresu (moisture stress index), který je založen na kombinaci pásem NIR a SWIR. Velmi oblíbeným spektrálním indexem je normalizovaný diferenční vegetační index, který je kombinací pásem NIR a RED. Tento index se zaměřuje na strukturu a zdravotní stav rostlin. Pomocí hyperspektrálních senzorů, kde jsou k dispozici desítky či stovky spektrálních pásem, je možné se zaměřit na taková pásma, která nám přesně charakterizují požadovaný stav, např. red edge pásmo – nárůst odrazivosti v intervalu vlnových délek 0,68–0,76 μm. V současné době jsou v moderních programech pro zpracování obrazových dat již spektrální indexy předdefinované, a proto není složité si vybrat a spočítat takový index, který potřebujeme.

Rostliny a voda

Sledování teploty rostlin je úzce spjato s vodou. Voda v rostlině prostupuje variabilním prostředím rostlinných pletiv. Její transport je založen na fyzikálních principech difuze, hromadného toku a osmózy. Zároveň platí, že rychlost transportu se mění v závislosti na genotypu a jeho adaptabilitě, typu půdy a povětrnostních podmínkách. Proto hovoříme o komplexnu pohybu vody v systému půda – rostlina – atmosféra. Při měření teplotních změn porostu hrají všechny tři prvky systému velmi důležitou a specifickou roli a jsou ovlivněny silou „vazby" vody (tzv. vodním potenciálem prostředí – rozdíl mezi vodním potenciálem vody v nasycené půdě (–0,3 MPa) a mezi atmosférou (–95 MPa) je hnací silou pohybu vody skrze rostlinu).

Voda v rostlině zprostředkovává distribuci živiny a signálních molekul od kořenů do listů. V pletivech listů dochází k přeměně skupenství: z tekuté formy se voda z parenchymatických a dalších buněk (např. pokožkových) odpařuje do vnitřního prostoru listu a průduchy se dostává ven. Tomuto procesu se říká transpirace na rozdíl od evaporace (výpar vody z povrchu půdy). Dohromady těmto procesům ztrát vody z půdy a rostliny říkáme evapotranspirační ztráty vody (obr. 4). Na úrovni rostliny je transpirace genotypově specifická – tj. různé odrůdy ztrácí/využívají vodu v čase rozdílně v závislosti na podmínkách prostředí. S ohledem na vysoké hodnoty měrného výparného tepla vody (energie potřebná na oddělení molekul vody z kapalné do plynné fáze) jsou rostliny schopny i v extrémních podmínkách udržet teplotní optimum svých pletiv. Pokud tedy rostlina transpiruje, vypařená voda odvádí také teplo zevnitř a z povrchu listů a ochlazuje je pod úroveň okolí. Nedostatek vody v půdě snižuje transpiraci (průduchy se zavírají, signalizace, redistribuce vody mezi xylémem a floémem), a tím zvýší teplotu porostu. A tuto teplotní diferenci mezi kontrolní a stresovanou odrůdou můžeme změřit.

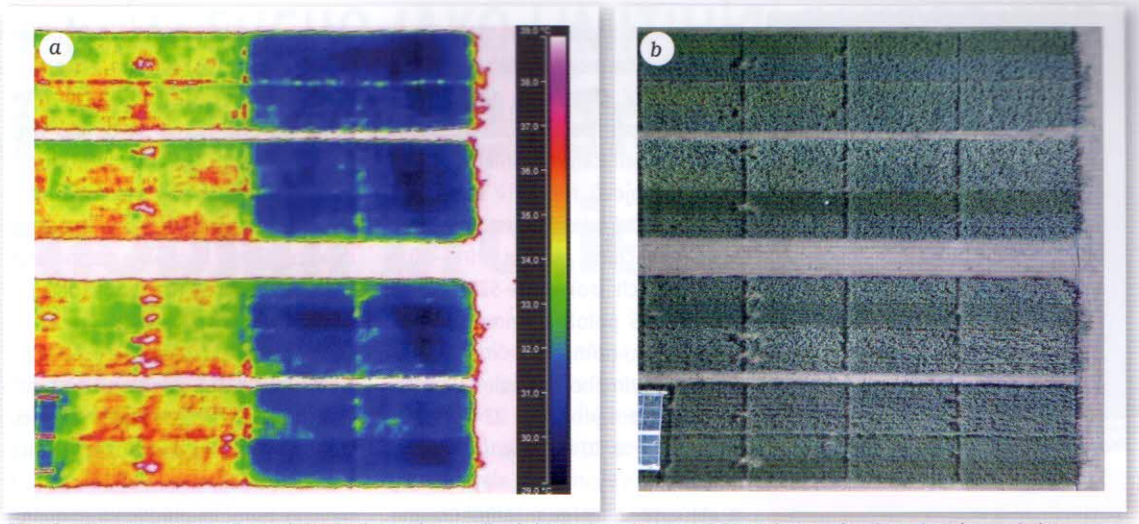
Obr. 4 – Zjednodušený model toku energie a vody

Obr. 5 – Porost pšenice postižený suchem v roce 2015

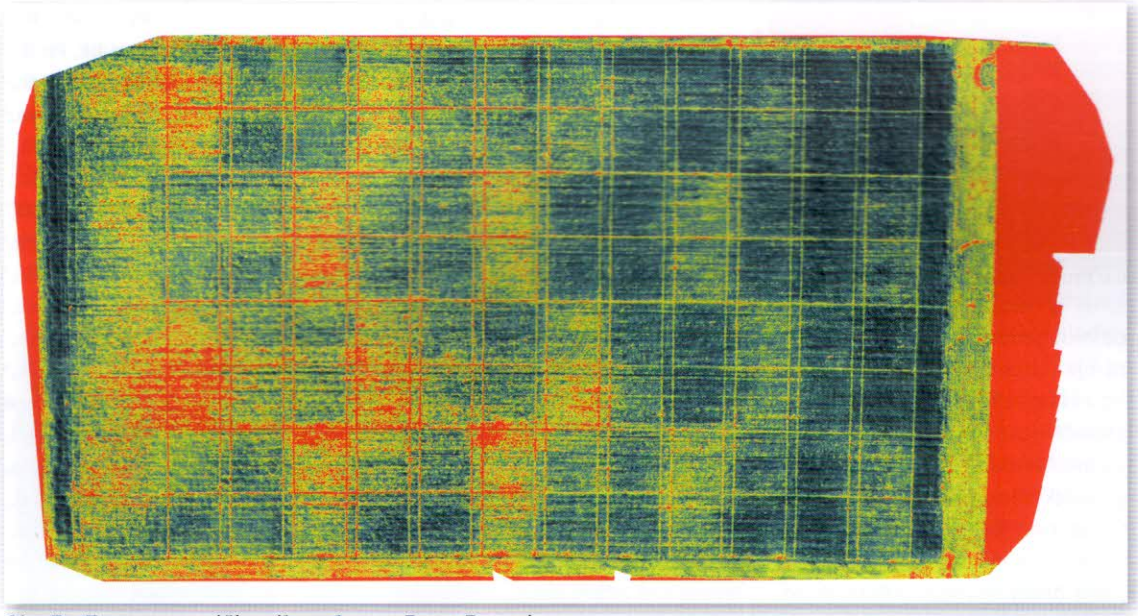
Chladnější teplota porostu je v pozitivní korelaci k výnosu v horkých a sušších oblastech a v negativní korelaci k obsahu vody v pletivech. Ve šlechtitelském procesu se touto cestou selektují genotypy schopné vysoké transpirace a výměny plynů, což indikuje lepší schopnost extrahovat vodu z půdního profilu (vyšší zásobení vodou – vyšší transpirace – nižší teplota listů).

Příklady využití zobrazení

Na třech příkladech termálního a RGB zobrazení stavu polních porostů ukážeme aplikace, ze kte-



Obr. 6 – Termogramy pokusných ploch s ozimou pšenicí (a) v kontrastu s RGB zobrazením (b) pokusů s vodním stresem. Modrá (chladnější) část porostu byla zavlažována, žluté až červené (teplejší)plochy jsou stresovaný porost nebo holá půda (např. místa po odběrech rostlin a pěšinky). Rostliny s dostatkem vláhy vykazovaly v průměru o 4 °C nižší teplotu oproti stresovaným porostům



Obr. 7 – Termogram výživového pokusu v Praze-Ruzyni

rých získáváme důležité informace o vodním stavu rostlin, výživě a odrůdových rozdílech. Pro snímání stavu pokusných odrůd bylo využito snímání termokamerou Wiris, pro dokumentaci situace zároveň RGB kamerou Panasonic GH4. Lety byly plánovány softwarem UgCS a data byla zpracována a analyzována programy Pix4D, CorePlayer, Thermoformat, ImigeJ a statistickým softwarem R.

Sucho a voda

Dostupnost vody pro plodiny a jejich odolnost vůči nedostatku v průběhu růstu ovlivňují celkový výnos, kvalitu a rentabilitu polní produkce v podmínkách měnícího se klimatu (obr. 5). Rostliny postižené stresem sucha uzavírají průduchy, snižuje se transpirace, která ochlazuje porost, a teplota povrchu listů se zvyšuje (viz výše). Rychlá detekce a kvantifikace prvků odrůdové odolnosti vůči stresu a plošné variability nedostatku vláhy jsou důležité pro management polních plodin. Údaje mohou být využity pro výběr a delimitaci druhů a odrůd plodin v rámci podniků, pro precizní zemědělství, zpřesnění vláhové potřeby v závlahách apod.

Na obrázku 6 je snímek pokusné plochy (1500 m²), kde jsou testovány linie ozimé pšenice s odlišnou velikostí kořenového systému, která by měla ovlivňovat toleranci k suchu. Stres je indukován zakrýváním, optimální obsah vody se udržuje kapkovou závlahou.

Výživa rostlin

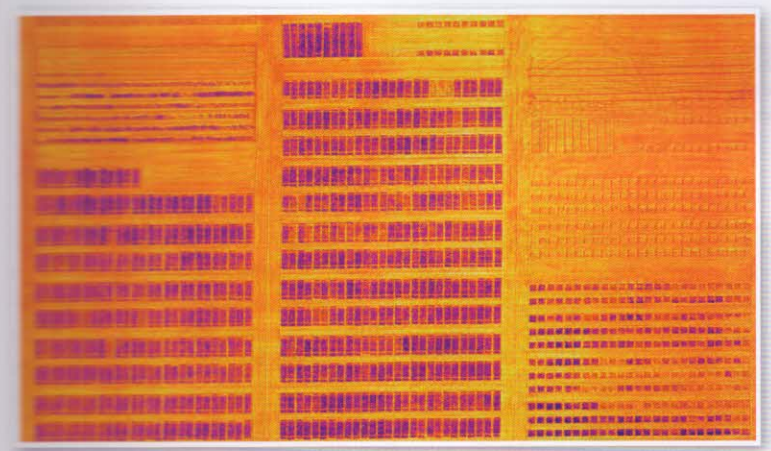
Dlouhodobé pokusy (DLP) s výživou rostlin probíhají ve VÚRV nepřetržitě od roku 1955 (pokus v Praze-Ruzyni), v následujících letech byly zakládány další pokusy na pokusných stanicích po celé ČR. Podstatou pokusů je zejména sledování vlivu minerálního a organického hnojení, předplodiny nebo zpracování půdy na výnos plodin, kvalitu produkce a stav půd.

Rozdílná zásoba živin se projevuje na stavu porostů, a to rozdílnou hustotou, množstvím pigmentů, posunem fenofází, změnou odolnosti vůči stresovým faktorům apod. Tyto projevy lze detekovat v různých částech spektra pomocí bezpilotních prostředků (UAV) a poznatky pak uplatnit při interpretaci prostorové variability porostů na polích.

Předběžné výsledky dat nasnímaných z UAV platformy v oblasti RGB a infračerveného spektra ukazují, že tento způsob průběžného hodnocení výživového stavu rostlin ve velkoplošném měřítku umožní v budoucnosti vhodně doplnit stávající analytické nástroje pro zjištění fyziologického, výživového a zdravotního stavu porostů. Předmětem dalšího výzkumu bude vývoj a integrace pozemních dat do modelů,

Obr. 8 – Dlouhodobé pokusy s výživou rostlin

Obr. 9 – Spektrum testovaných odrůd v Praze-Ruzyni



Obr. 10 – Termogram odrůdových pokusů v Praze-Ruzyni

které umožní data rychle interpretovat a umožnit rozhodování o dalších opatřeních s ohledem na další situační a ekonomické parametry.

Odrůdy a šlechtění

Proces šlechtění na cílové vlastnosti nových odrůd obilnin je časově náročný s ohledem na potřebu charakterizovat velké množství potenciálních genových zdrojů. Genetické zdroje drobnosemenných obilnin jsou testovány v tříletých školkách základního hodnocení (ŠZH) podle platné Metodiky práce s kolekcemi genetických zdrojů (GZ). Hodnocené GZ zahrnují pšenici ozimou a jarní, ozimý ječmen, obě formy tritikale, plané druhy Hordeae a škálu minoritních plodin.

Dostupnost moderních technologií v podobě termografického snímkování z UAV platformy nabízí nové možnosti při popisu GZ, rozšíření spektra klasifikátorů, z hlediska teplotních projevů rostlin v souvislosti s transpirační odezvou rostlin.

Ve vegetačním období 2015–2016 je v polních pokusech–ŠZH vyseto celkem 325 položek ozimé pšenice, 82 položek ozimého ječmene a 60 položek ozimého tritikale. V rámci jarních forem je vyseto 224 genotypů pšenice a 10 genotypů tritikale. V řádkových výsevech a na parcelách o velikosti 2 m² je v rámci obnovy kolekce, z důvodu malého množství osiva uloženého ve skladu GB, regenerováno 33 položek ozimých forem a 99 položek jarních forem.

Pro snímání teplotního stavu pokusných odrůd byla použita termokamera Wiris nesená UAV platformou DJI S-900. Let byl předprogramován pomocí UGCS Ground Station. Data byla zpracována a analyzována programem CorePlayer, Thermoformat a Pix4D.

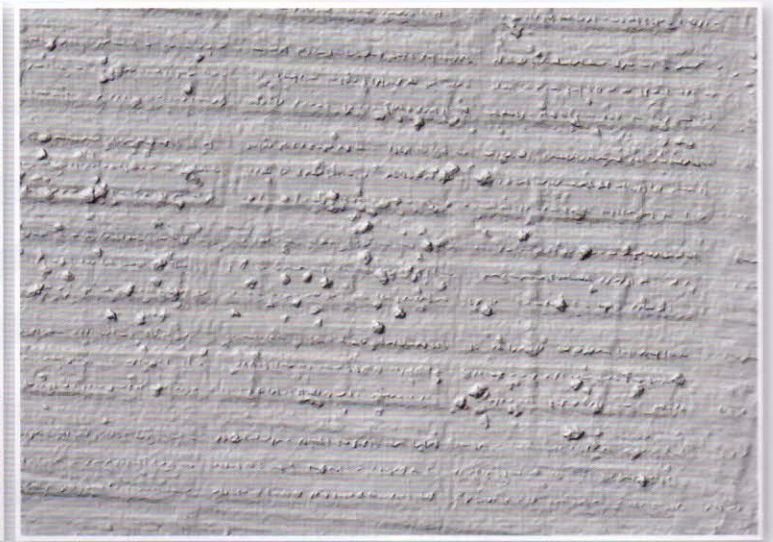
Předběžná analýza dat ukazuje užitečnost tohoto přístupu pro proces šlechtění a fenotypování, kdy odrůdy vykazují specifické projevy a významné rozdíly v oblastech viditelného i infračerveného záření.

Další možné využití v budoucnosti

Bezpilotní letouny mají vysoký potenciál pro odběr biologických vzorků ze vzduchu, detekci šíření plevelů a hmyzu, nebo monitoring pohybu zvěře a ptactva. Během autonomních přeletů dochází k odběrům celé řadu nebezpečných patogenů rostlin do biologických pastí. Podobný způsob odběru vzorků by mohl v budoucnu přispět k určení míry rizika infekce, šíření chorob a napomáhat k efektivnějšímu rozhodování o použití vhodných účinných látek. Letouny by mohly rovněž převzít úkoly jako umísťování atraktantů pro přilákání přirozených nepřátel škůdců, případně kapsle s přirozenými nepřáteli škůdců. ✻

Podpořeno projektem TRIO č. FV10213 (Ministerstvo průmyslu a obchodu).

Ing. Jan Lukáš, Ph.D.,[1]
Petr Lněnička,[4]
doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.,[2]
Mgr. Jitka Kumhálová, Ph.D.,[2]
Ing. Jan Sova,[3]
RNDr. Mikuláš Madaras, Ph.D.,[1]
Ing. Jan Haberle, CSc.,[1]
Ing. Milan Urban, DiS,[1]
Ing. Jiří Hermuth,[1]
Ing. Zdeněk Nesvadba, Ph.D.,[1]
Ing. Michaela Friedlová,[1]
Ing. Radek Pražan, Ph.D.,[5]
Ing. Jiří Souček, Ph.D.,[5]
[1]Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i,
[2]Česká zemědělská univerzita,
[3]Workswell, s. r. o.,
[4]Vertical Images, s. r. o.,
[5]Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.
Foto autoři



Obr. 11 – Využití stereoskopie. Snímky ukazují řádky kukuřice v časné fázi růstu, trsy brambor, které zaplevelují založený porost a také stopy po mechanizaci