**Bezpilotní technika v zemědělství**



Publikace vychází za podpory Ministerstva zemědělství ČR při České technologické platformě pro zemědělství

Zpracoval: Ing. Jan Lukáš, Ph.D.

S rozvojem a dostupností technologií spojených s metodami snímání zemského povrchu pomocí satelitních snímků s vysokým prostorovým rozlišením se pro rostlinnou produkci otevírají zároveň nové možnosti pro lokální operativní monitorování a sběr dat z malé vzdušné výšky, které rozvíjejí a naplňují koncept integrované produkce a precizního zemědělství. Atraktivní alternativou jsou bezpilotní prostředky, které nabízejí rychlou, včasnou a levnou detekci problémů v oblastech růstu, výživy, ochrany rostlin, agrotechnických zásahů, kontroly a hodnocení opatření kvantitativního i kvalitativního charakteru.

Zemědělská produkce, a rostlinná zvláště, je mimořádně citlivá na abiotické i biotické podmínky prostředí a agrotechnickým zásahům. V řízení zemědělské výroby je strategické rozhodování a časování zásahů s ohledem na proměnlivost přírodního prostředí (počasí), polní heterogenitu (půda, voda, živiny, odrůdy, choroby, škůdci) a fluktuaci trhu (ceny komodit, dotace, země dělská politika) klíčové a rozhoduje o krátkodobé efektivitě i dlouhodo bé ekonomické prosperitě. Jakýkoliv nástroj, který umožní včas podchytit dynamiku těchto procesů a účinně s nimi v kontextu přírodních a ekonomických podmínek pracovat, při nese zemědělci přidanou hodnotu v podobě optimalizace nákladů, zisku a pozitivních externalit spoje ných s kvalitou produkce a ochranou životního prostředí. Jedním z nejslib nějších nástrojů jsou v současné době bezpilotní prostředky, které předsta vují novou technickou platformu pro senzory potřebné pro sběr dat v zemědělství. Oproti tradičním pilotním platformám (letadla, helikoptéry) disponují řadou předností: bezpeč nost, opakovatelnost, nízké operační i pořizovací náklady, menší omezení spojené s meteorologickými podmín kami (bezpilotní prostředky létají pod mraky). Souběžná dostupnost všech těchto výhod je však závislá na velikosti a typu bezpilotních pro středků, výběru použitých senzorů, cíle letecké kampaně a legislativních omezení.

CALIMAGES

Plně vybavená hexakoptéra osazená senzorovou technikou v podobě termokamery, šestikanálové multispektrální kamery a přehledové RGB kamery, které jsou připevněny na podvěsu (gimbálu) zajišťujícím trojosou stabilitu a snímání v požadovaném úhlu a orientaci

Dálkový průzkum Země v zemědělství

Jedním z limitujících faktorů ovlivňují cích komerční využití precizního země dělství jsou náklady spojené s odebrá ním a analýzou půdních či rostlinných vzorků. Takové vzorky by měly zajistit dostatečné pokrytí zkoumaného po zemku a zároveň poskytnout infor maci o aktuálním stavu půdy či rostlin. S rozvojem technologií využívajících bezkontaktní snímání se tak otevírá cesta, jak snížit náklady na získání po žadovaných informací. Rozhodnutí, jaký druh vstupních informací použít, záleží jak na technických parametrech samotného senzoru, tak i na nákla dech pořízení sledované informace, či na účelu použití. Mezi technické para metry pořízeného snímku, od kterých

se odvíjí i účel využití, patří především prostorové, spektrální, časové či radio metrické rozlišení.

Mezi velmi oblíbené zdroje dat patří snímky z družice Landsat, které lze v současné době stáhnout z webové aplikace zdarma. Benefitem těchto multispektrálních snímků je několik spektrálních pásem (od viditelné části spektra přes NIR, SWIR až po termální pásmo). Nevýhodou těchto snímků je prostorové rozlišení 30 m/pixel a časové rozlišení – opakovatelnost 16 dní. Snímky z družice Landsat jsou vhodné především na zachycení variability po rostu či odhad výnosu. Snímky s velmi vysokým prostorovým rozlišením poskytují např. družice QuickBird či WorldView 2. Prostorové rozlišení

Pilot s operátorem při přípravě snímkování pomocí softwaru umožňujícího velkoplošný sběr dat programováním trasy na základě GPS souřadnic

Okamžitá kontrola termogramu z termokamery pro okamžité vyhodnocení aktuálního stavu snímaného porostu

a jiným uživatelem aktivovaných omezených, rezervovaných a vyhrazených vzdušných prostorech (s výjimkou, kdy ÚCL povolí jinak). Dále nelze překročit ochranná pásma podél nadzemních dopravních staveb, inženýrských sítí, telekomunikačních sítí, uvnitř zvláš tě chráněných území, v okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obra nu státu (s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL na základě předchozího souhlasu příslušného správního orgánu nebo oprávněné osoby).

Přeprava nebezpečných látek nebo zařízení (kromě provozních náplní) a shazování předmětů za letu (kromě leteckých veřejných vystoupení a soutěží) nejsou povoleny.

aplikací napříč širokým spektrem oborů jsou legislativní pravidla nutností pro bezpečný a bezproblémový letecký provoz.

Dva typy senzorů

Senzorovou techniku lze rozdělit do dvou kategorií na pasivní a aktivní senzory. Pasivní senzory zaznamená vají/měří přirozené záření odražené nebo emitované rostlinami. Aktivní senzory samy emitují záření a násled ně zaznamenávají/měří frakci odraže nou od rostlin.

Doplněk X také definuje horizontální minimální povolenou vzdálenost bez pilotního prostředku při vzletu a při stání od osob (kromě pilota) na 50 m, od osob, prostředků nebo staveb za letu na 100 m a přiblížení k hustě osídlenému prostoru za letu na 150 m (s výjimkou, kdy ÚCL povolí jinak). Součástí Doplňku X je rozdělení bez pilotních letadel podle maximální vzletové hmotnosti a účelu použití (re kreační, výdělečné, experimentální, výzkumné). Jednotlivé kategorie se liší v tom, zda je povinná evidence leta dla, pilota, přezkoušení žadatelů před vydáním povolení k létání, povolení k provozování leteckých prací a čin ností pro vlastní potřebu a označení ID štítkem. To vše je poté v působnosti ÚCL. Dále Doplněk X řeší povinnost a výši povinného pojištění.

V době zvyšujícího se zájmu o bez pilotní prostředky a vyvíjení nových

skutečnost pomocí přisvícení měřené plochy pomocí vysoce svítivých diod. Druhou možností, vhodnou i pro bez pilotní prostředky, je měření intenzity dopadajícího světla. Pomocí tohoto doplňkového měření a kalibrace snímků předejdeme rozdílům v odrazivosti sledovaného prostředí. V některých případech Ize rovněž využít kalibrač ní desky se známou reflektací, které umístíme do blízkosti zájmového úze mí. Tyto desky se fotí souběžně se zá jmovou plochou a slouží následně pro kalibraci snímku.

Optické senzory jsou blízké způso bu vnímání lidského oka. Fungují na principu záznamu/měření různého množství světla odraženého od povrchu ve specifických spektrálních pás mech (RGB). Optické senzory mohou mít různé množství pásem o speci fické šířce. Podle počtu spektrálních pásem se rozlišují optické senzory na panchromatické (jedno široké pásmo, multispektrální (tři až deset pásem) a hyperspektrální (desítky až stovky úzkých spektrálních pásem).

Z uvedeného přehledu senzorů v ta bulce 2 představují optické senzory pro výzkum a praktické použití vysoký potenciál. Vhodným výběrem senzoru, resp. vlnových délek, získáme

Pasivní senzory

Pasivní senzory měří záření ve vidi telném (0,4 0,7 μm) a infračerveném telném (0,4 0,7 μm) a infračerveném spektru (0,7 14 μm). Optické senzory jsou závislé na slunečním záření, z če hož vyplývají i omezení spojená s pro měnlivostí atmosférických jevů (mra ky, mlha, kouř). Rozdílné výsledky mohou přinést také časové rozestupy mezi snímkováním. Pozemní optické senzory dnes mají možnost řešit tuto

se projeví na poměru pohlcené a od ražené energie. Především odrazivost červené složky se zvyšuje a výsledek je žloutnutí listů (kombinace zelené a červené).

Pokud se posouváme do oblasti blíz kého infračerveného záření (near IR, NIR), okolo vlnové délky 0,7 μm, začne u zdravé vegetace odrazivost výrazně narůstat. V rozsahu vlnových délek od 0,7 μm do 1,3 μm listy rostlin odrazí 40 až 50 % dopadající energie. Vět šina zbývající energie je propuštěna, protože v této oblasti je absorpce mi nimální (menší než 5 %). Odrazivost v tomto pásmu je dána především rozdílnou vnitřní strukturou listů. Protože struktura listů je mezi druhy rostlin velmi variabilní, měření odrazi vosti v této oblasti nám často dovoluje rozlišit rostlinné druhy, i když ve vidi telném spektru vypadají stejně. Rov něž se v blízkém infračerveném záření významně projeví stres rostlin. Pokles v odrazivosti je pozorován v zó nách vlnových délek 1,4, 1,9 a 2,7 μm, protože v těch je energie silně absor bována vodou v listech. S odvoláním na tuto skutečnost je uvedené pásmo nazýváno pásmo vodní absorpce. Vrchol odrazivosti se nachází v oblasti 1,6 μm a 2,2 μm.

Tvar křivky odrazivosti energie je je dinečný pro sledovaný objekt, je však ovlivňován i jeho stavem nebo kondi cí. Pro křivky zdravé vegetace jsou ty pické vrcholky a sedla. Chlorofyl silně absorbuje záření v oblasti spektra od 0,45 μm do 0,67 μm (modrá a červená barva), ale zelenou barvu silně odráží. Pokud je vegetace stresována, obsah chlorofylu se snižuje.

.

Křivka odrazivosti půdy vykazuje mnohem méně výkyvů. Mezi faktory, které mají dopad na půdní odrazivost, patří vlhkost půdy, zrnitostní složení, drsnost povrchu, oxidy železa a orga nická hmota. Například vyšší vlhkost v půdě sníží její odrazivost. Stejně jako u vegetace je tento jev nejvýraznější

Nevýhodou je spektrální rozlišení, které čítá pouze pásma viditelné části spektra a NIR pásmo. Snímání stejné ho místa se opakuje zpravidla za 1 7 dní. Tyto snímky jsou komerční. Nevý hodou družicových snímků je závislost na oblačnosti a jejich využitelnost je tedy v podmínkách České republiky značně omezená. Výhodou družico vých snímků je možnost aplikace na velkých půdních blocích.

Potřebujeme li snímat pouze část po zemku nebo malou plochu a účel sní mání je velmi specifický (detekce plevelů, přítomnost chorob), je vhodné použít bezpilotní prostředek s přísluš ným senzorem. Prostorové rozlišení snímků z bezpilotního prostředku se pohybuje od několika centimetrů a je závislé na výšce stroje nad povrchem. Časové rozlišení je pak závislé na po třebách zadavatele.

Co je potřeba pro létání aneb UAV

Populární termín dron má původ ve vojenské terminologii. V civilním sek toru je prosazován název z anglické ho označení unmanned aerial vehicle (UAV), tedy bezpilotní prostředek, bezpilotní letadlo (UA) nebo bezpilotní systém (UAS). Úředním jazykem se jedná o "...systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbyt ného k umožnění letu jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypouštění a návrat...".

Vybírat budeme mezi bezpilotním prostředkem s křídly (letadlo), nebo multikoptérou (má 4 8 vrtulí, žádná křídla).

Pevné křídlo je vynikající pro snímání velkých ploch během jednoho letu, pokud je užitečný náklad lehký a je k dispozici dostatek místa na vzlet a přistání. Naopak multirotorové le tadlo je vhodné do míst s omezenými vzletovými a přistávacími možnostmi, při požadavku na snímaní menších ploch nebo při potřebě vysokého roz lišení snímků, kde se používají těžší senzory či více senzorů současně. Kromě samotného bezpilotního pro středku je k ovládání potřeba řídicí radiostanice (raději dvě – druhá může kontrolovat ovládaní kamery), zdroj energie (akumulátory), gimbál (sta

Nutností je software pro plánování a provedení letu (např. UgCS, Mission Planner) s počítačem, nebo tabletem. Důležitou součástí jsou nyní i padáko vé záchranné systémy. Pro zpracování dat ze senzorů pro mapové účely, konstrukci 3D modelů krajiny či tvorbu vegetačních inde xů (např. NVDI) je potřebné vlastnit a ovládat specializovaný software (na příklad Pix4D) či software pro obrazo vou analýzu (SigmaScan, CorePlayer, ImageJ).

S bezpilotním systémem není možné létat bez registrace, pilotní certifikace a povolení k leteckým pracím, resp. leteckým pracím pro vlastní potřebu. Získání patřičných registrací a povole ní je v současnosti proces časově (3 6 měsíců) i finančně náročný (10 20 tis. Kč). Více informací je k dispozici na webu Úřadu pro civilní letectví: www. caa.cz/letadla bez pilota na palube. Nezbytností je pojištění na škody vůči třetím osobám (povinné pojištění), je možné si též sjednat pojištění nese ných předmětů či havarijní pojištění (více například www.apbl.cz/cz/po jisteni informace). Neméně důležité je zajištění kvalitního školení obsluhy a následný servis, který zajistí bezpeč ný provoz bezpilotního prostředku.

že lety lze provádět pouze na vzdá lenost omezenou přímým vizuálním kontaktem pilota s bezpilotním pro středkem (bez pomocných vizuálních pomůcek, prakticky 200 500 m), a to tak, aby pilot mohl správně vyhodno covat dohlednost, překážky a okolní letecký provoz.

Let s bezpilotním prostředkem smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. Let bezpilotním prostředkem není možno provádět kdekoliv. Pokud ÚCL nepovolí jinak, Ize létat ve vzdušném prostoru třídy G (do 300 m nad povr chem země), v letištní provozní zóně neřízeného letiště ATZ (kružnice od středu letiště o poloměru 5,5 km) pouze při splnění podmínek stano vených provozovatelem letiště a na základě koordinace s letištní letovou informační službou (AFIS), v řízeném okrsku letiště (CTR, MCTR) do vzdále nosti ohraničené kružnicí o poloměru 5,5 km od středu letiště a do výšky 100 m nad povrchem země (v ostatních případech jsou vyžadována povolení stanoviště řízení letového provozu, koordinace řízení letového provozu a provozovatele letiště, povolení ÚCL v závislosti na tom, kde se bezpilot ní prostředek v prostoru CTR, MCTR konkrétně nachází a zda jsou prová děny letecké práce).

v pásmu absorpce vody okolo 1,4, 1,9 a 2,7 μm. Vlhkost půdy úzce souvisí se zrnitostním složením. Hrubá písčitá půda je obvykle odvodněna a výsled kem je nižší vlhkost a relativně vyso ká odrazivost. Jemná struktura bez přirozené drenáže bude mít nízkou odrazivost. Při absenci vody však bude půda samotná vykazovat opačné vý sledky. Hrubší textura půdy se bude jevit tmavší než jemná textura.

Pro záznam infračerveného záření jsou v oblastech 8 až 14 μm používá ny termokamery, kterým věnujeme v tomto článku zvýšený prostor s ohle dem na jejich používání v našich poku sech a prezentované příklady.

Aktivní senzory

Jako zajímavá a perspektivní oblast využití bezpilotních prostředků se uka zuje jejich nasazení při tvorbě modelů terénu. Vrstevnicové modely často nevyhovují speciálním aplikacím, kdy potřebujeme znát velice přesně reliéf zájmového území. Kromě představené spektroskopie se uplatňuje laserové měření povrchu Země známé pod po jmem LIDAR. Obrázek na předchozí straně ukazuje scénu zachycenou 3D skenerem z pozemního měření. Ze signálu je vymodelován pohyb osob nebo překážky v okolí senzoru. Díky uvedenému měření můžeme kromě modelu terénu popisovat habitus rost lin a jejich zapojení.

Termální snímání a termokamery Termokamera jako měřicí přístroj za znamenává intenzitu tepelného záře ní vyzařovaného z povrchu měřených objektů. Na základě změřené intenzi ty vyzařování a zadaných parametrů je pak termokamera schopna výpo čtem stanovit rozložení povrchové teploty. Výstupem z měření termoka merou je tzv. termogram (nesprávně též termovizní snímek, termosnímek apod.). To je obdoba fotografie, tj. digitálního snímku, kdy ale jednotlivé pixely nenesou informaci o naměře ném jasu, nýbrž o povrchové teplotě snímaných objektů.

Skutečnost, že intenzita tepelného záření roste s povrchovou teplotou, je možné využít právě při bezdotykovém měření teploty. První skutečně použi měření teploty. První skutečně použi telné přístroje, které toho byly schop ny, byly zkonstruovány okolo roku 1900. Jednalo se o tzv. pyrometry, kte ré byly schopny bezdotykově stanovit průměrnou povrchovou teplotu v urči té (menší či větší) oblasti a našly využití především v hutnickém průmyslu. Moderní termokamery využívají ob razové senzory a jsou schopny změřit povrchovou teplotu v 640 x 512 i více bodech. Tento údaj zároveň udává rozlišení výsledného termogramu.

Čím větší je rozlišení termogramu, tím větší prostorové rozlišení lze při měře ní povrchové teploty získat.

Z hlediska principu konstrukce jsou termokamery velmi podobné klasic kým fotoaparátům. Tím hlavním roz dílem je optický senzor, resp. detektor (nejčastěji tzv. mikrobolometr nebo alternativně některý z kvantových detektorů jako např. InGaAs) a použi tá optika, která musí být z materiálu propustného pro daný rozsah vlno vých délek. Detektor infračerveného záření převádí dopadající tepelné záření na elektrický signál, který je digitalizován a pak dále zpracováván. Vedle optiky se jedná o nejdůležitěj ší součást termokamery a jeho kon strukce a princip funkce podstatným způsobem ovlivňuje parametry ter mokamery.

Nejčastěji používané termokamery snímají tepelné záření ve vlnovém

pásmu přibližně 8 až 14 μm. Jako senzor záření je pak použit již zmiňo vaný mikrobolometr a materiál, z ně hož je konstruována optika, je ger manium. Termokamery, které pracují v tomto vlnovém pásmu, se označují jako LWIR (Long Wave InfraRed). V rámci našich experimentů byla vy užita právě tato LWIR termokamera Workswell WIRIS.

Při měření teploty s pomocí termo kamery je třeba vždy pamatovat na to, že termokamerou není přímo měřena (skutečná) absolutní teplo ta povrchu. Absolutní teplota může být termokamerou (a to více či méně přesně) výpočtem stanovena až po zadání tzv. parametrů měření, tj. emisivity (materiálová vlastnost), od ražené zdánlivé teploty (vliv vyzařo vání okolních objektů), vzdálenosti, atmosférické vlhkosti a atmosférické teploty. Přičemž pro měření blízkých těles (ve vzdálenosti několika málo metrů) a nízké teploty atmosféry se vliv atmosféry uplatňuje poměr ně málo a podstatné je především správné nastavení emisivity a zdánli vé odražené teploty.

Termokamery jsou mimořádně citlivá měřicí zařízení, kdy nejmodernějších modelů schopnost změřit nejmen ší teplotní rozdíly dosahuje hodnot 0,03 °C 0,015 °C.

Precizní zemědělství intenzivně využívá data z dálkového průzkumu země (DPZ) nebo též distanční data. DPZ zahrnuje soubor technik, které umožňují získávání informací o objektech a jevech na zemském povrchu bez potřeby jakéhokoliv kontaktu s nimi. Takto je například umožněno provádění různých analýz opakovaně právě proto, že celý proces probíhá v nedestruktivním módu. V posledních letech se tyto metody dostávají do stále širšího povědomí veřejnosti, neboť jejich využití je s postupným vývojem technologií jednoduché, přesné a ekonomicky dostupné. Obecně lze problematiku DPZ rozdělit na dvě oblasti. Podstatou první je sběr dat ve formě obrazových dat. Ta jsou získávána pomocí senzorů, které zaznamenávají intenzitu elektromagnetického záření v různých intervalech vlnových délek s různou šířkou konkrétních pásem. Senzory jsou neseny různými typy platforem, nejčastěji se dnes jedná o satelity, letadla či bezpilotní prostředky. Analýza a interpretace obrazových dat ve formě snímku či scény pak tvoří druhou oblast DPZ. Analogové snímky, jakožto výsledek snímání konvenčními metodami, se dnes používají jen zřídka. Naprostá většina snímků dnes již vzniká ve formě digitálních obrazů.

Pro práci s distančními daty je v první řadě nezbytné pochopit fyzikální podstatu DPZ. Ta vychází z faktu, že každý objekt či jev na zemském povrchu o sobě vydává informace pomocí tzv. *silových polí*. Ta obsahují celou řadu charakteristik, které mohou být zaznamenávány a kvantifikovány. Elektromagnetické záření (EMZ) je jednou z forem silového pole a je pokládáno za základního zdroj informací v oblasti DPZ. Rozsah vlnových délek a frekvencí EMZ je bezmála 20 řádů. Tento rozsah vytváří spektrum, které se dělí na další subsystémy, přičemž nejčastěji využívanými oblastmi jsou viditelné (400 až 700 nm) a infračervené záření (0.72 až 25000 nm).



Ke správné interpretaci dat je nezbytné znát charakter změn EMZ při jeho interakcích s různými typy prostředí. Elektromagnetická vlna je po kontaktu s povrchem buď pohlcena nebo odražena ve formě tzv. sekundární vlny. V problematice DPZ je nejčastěji analyzován komponent odraženého záření, které je charakterizováno tzv. spektrální odrazivostí. Ta dává do poměru množství odraženého a množství dopadajícího záření a v souvislosti s konkrétními vlnovými délkami určuje pro jednotlivé skupiny povrchů jejich tzv. spektrální chování. Spektrální chování vegetace je typické skokovým nárůstem odrazivosti v blízké infračervené části spektra (NIR). Na snímcích ve viditelné oblasti spektra (400 700nm) odráží vegetace v průměru kolem 20 % dopadajícího záření, zatímco v blízké infračervené části 3x více. Nízká odrazivost viditelné části spektra je způsobena vysokou absorbancí chlorofylem. Proto se vegetace jeví lidskému oku jako zelená (pohlcování EMZ chlorofylem je nejintenzivnější v modré a červené oblasti viditelného záření a méně intenzivní v zelené části kolem 550 nm). V oblasti kolem 700 800 nm dochází k výraznému nárůstu odrazivosti a v blízké infračervené části spektra 700 – 1300 nm je tato odrazivost formována především uspořádáním buněk těch částí rostlin, které jsou nejvíce vystaveny dopadajícímu slunečnímu záření – tedy odrazivostí listů. V oblasti spektra 1300 – 3000 nm je odrazivost vegetace formována především množstvím vody obsažené v rostlinných pletivech (vyšší obsah vody snižuje odrazivost). Tato oblast je tedy vysoce citlivá pro práci s vegetačními indexy při vodních deficiencích vyvolaných suchými periodami.

Odrazivost vegetačního krytu ovlivňuje jak fenologické fáze rostlin, tak biotické a abiotické stresové faktory, které vyvolávají snížení odrazivosti v oblasti NIR a nárůstu v červené části spektra. Tyto změny jsou spojeny s posuny v obsahů a poměrů zastoupení jednotlivých rostlinných pigmentů. Jelikož ke změně dochází nejdříve v infračervené části spektra, je možná včasná detekce stresových faktorů.

Snímání a následná analýza spojená se znalostmi spektrálního chování vegetačního povrchu umožňuje studovat různé charakteristiky vegetačního pokryvu.

Výpočet spektrálních neboli vegetačních indexů (VI) z georeferencovaných snímků DPZ je jednou z metod, která pomáhá naplňovat koncept PZ. Jedná se o skupinu aritmetických operací, které s využitím dvou či více spektrálních pásem umožňují zvýraznit určité vlastnosti zkoumané vegetace, jako například celkové množství a kvalita fotosyntetizujícího materiálu nebo stres z nedostatku vody v rostlině. Vzhledem k tomu, že se jedná o nedestruktivní přístup, umožňují tyto indexy sledování stavu porostu opakovaně v průběhu celé vegetační sezóny. Mohou tak být využity k predikci výnosu zkoumaného pozemku či sledování jeho zdravotního stavu. Informace, které lze pomocí VI vyčíst, jsou díky GPS souřadnicím vždy vztaženy ke konkrétnímu místu na zemském povrchu. Lze tak stanovit plochy, kde je třeba přizpůsobit zemědělský management k zajištění optimálních podmínek pro růst zemědělských plodin. Nejběžněji používaným indexem je v současné době NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), přičemž vztah pro jeho výpočet byl stanoven již v roce 1973. NDVI dává do poměru hodnoty odrazivosti v červeném a blízkém infračerveném spektru EMZ a indikuje tak stav a hustotu zkoumané vegetace. Ve vědecké literatuře je však v současnosti popsána řada dalších indexů a s vývojem technologií vznikají nové. Výzkum v oblasti DPZ a PZ umožňuje přesněji určit vlnové délky, které nejlépe odrážejí vybrané vlastnosti vegetace. Pro řidší porosty byl například vyvinut index SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) a následně OSAVI (Optimalized Soil Adjusted Vegetation Index). Tyto indexy potlačují příspěvek pixelů reprezentujících půdní povrch, proto jsou vhodné pro hodnocení porostů širokořádkových plodin, jako je kukuřice nebo cukrová řepa. Stres z nedostatku vody indikuje například MSI (Moisture Stress Index). Pokud se obsah vody zvyšuje, zvyšuje se i absorpce ve vlnových délkách kolem 1599 nm, zatímco absorpce kolem 819 nm zůstává nezměněna a slouží tedy jako srovnávací hladina. MSI nachází využití v rámci různých analýz, mezi něž patří stresová analýza, předpověď produktivity, analýza ohrožení požárem nebo také studie fyziologie ekosystému.

S možností aplikace výsledků do praxe také velmi úzce souvisí problematika prostorového rozlišení vstupních dat. Prostorové rozlišení snímku je definováno velikostí pixelu, tedy základní jednotky digitálních obrazových dat. Obecně platí, že družicové snímky mají nižší prostorové rozlišení než snímky pořizované pomoc senzorů nesených bezpilotními prostředky. Při výběru zdroje dat je proto vždy třeba zvážit, zda je dané prostorové rozlišení dostačují pro konkrétní analýzu. Zatímco volně dostupné družicové snímky poskytují informace v prostorovém rozlišení v řádech metrů (Landsat: 30 m; Sentinel 2: 10 m), senzory bezpilotních prostředků dosahují řádu centimetrů. Družicové snímky jsou tak předně využívány k hodnocení větších ploch, ať už se jedná o analýzy změny land use ve vybrané oblasti či hodnocení porostu rozsáhlejších zemědělských pozemků. 30 m prostorové rozlišení snímků družice Landsat 7 bylo dostačující pro predikci výnosu 11.5 ha pokusného pozemku, ovšem studií zabývajících se problematikou dostatečného prostorového rozlišení lze najít celou řadu. Data s jemnějším prostorovým rozlišením pak mohou být využívána k mnohem přesnějším analýzám, jako je například identifikace konkrétní plodiny či detekce zdravotního stavu porostu. Níže je ilustrován pozemek nedaleko obce Sojovice s rozlohou necelých 25 ha, snímaný v téměř totožný termín dvěma typy senzorů. Vypočtený index NDVI představuje množství biomasy na pozemku.

Precizní zemědělství si mj. klade za cíl s pomocí moderních technologií vhodně směřovat agronomický management a tím snižovat finanční a environmentální zátěž současné zemědělské produkce. VI jsou dnes již běžně používaným nástrojem, který poskytuje prostorově vztaženou informaci o konkrétním pozemku. V souvislosti s technologickým rozvojem a obecnými snahami o zpřístupnění těchto metod širší veřejnosti v podobně open source dat a SW, stává se využití VI k hodnocení porostu víceméně běžnou praxí. Kromě zajištění vysokých výnosů zemědělských plodin s sebou tento trend nese i pozitivní vliv na životní prostředí. Je tak mj. zajišťována prostorově cílená aplikace hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, což se pozitivne odráží i v oblasti ekonomické.

Použitá literatura je k nahlédnutí u autora práce.