

MULTISPECTRAL IMAGES OF CEREAL CROPS

MULTISPEKTRÁLNÍ SNÍMKOVÁNÍ POROSTU OBILNIN

Coufalová O., Lukas V., Křen J..

Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: coufalova@vukrom.cz, xlukas0@mendelu.cz, kren@mendelu.cz

ABSTRACT

Passive sensors are currently used in precision agriculture to detect crop spectral characteristics by recording specific wavelengths of electromagnetic radiation reflected by the crop. Acquired image should be considered as end result of growth conditions the crop has been exposed to and a number of factors acting during the process of sensing as well. Interpretation of remote sensing data is a challenging task. This paper deals with processing of digital images of cereal crops acquired by the multispectral camera DUNCANTECH 3100. The utilization of spectral reflectance targets (with calibrated reflectance of 10, 25, 50, and 70 %) in preprocessing and the usage of Empiric Line Method for radiometric corrections are described. Further, it shows the knowledge gained during postprocessing of calibrated images, and the usage of vegetation indices for crop change detection.

Key words: cereals, crop spectral characteristics, spectral reflectance target, ELM, radiometric corrections, vegetation index

ABSTRAKT

V precizním zemědělství jsou pro zjišťování spektrálních charakteristik porostu nejčastěji používány tzv. pasivní senzory, které zaznamenávají odraženou světelnou energii od porostu ve specifických vlnových délkách elektromagnetického spektra. Snímek pořízený pomocí senzorů je třeba považovat za výsledek působení celého komplexu podmínek, kterým byl porost plodiny v daném období vystaven, a faktorů, které na něj v okamžiku snímkování působí. To komplikuje interpretaci takto získaných dat. Tento příspěvek je zaměřen na problematiku zpracování digitálních snímků porostu obilnin pořízených multispektrální kamerou DUNCANTECH 3100. Popisuje proces předběžného zpracování snímků pomocí spektrálních kalibračních terčů s definovanou odrazivostí (10, 25, 50 a 70 %) a použití metody ELM (Empiric Line Method) pro radiometrické korekce. Dále uvádí poznatky získané při následném zpracování korigovaných snímků, využití vegetačních indexů k detekci změn stavu porostu.

Klíčová slova: obilniny, spektrální charakteristiky porostu, spektrální kalibrační terč, ELM, radiometrické korekce, vegetační index

ÚVOD

Dálkové snímání představuje proces získávání informací o objektu z určité vzdálenosti bez kontaktu s ním. Pro zjednodušení lze dálkové snímání vysvětlit na principu, jakým funguje náš zrak. Díváme-li se na určitý objekt, naše oči vnímají světlo od něj odražené a mozek pak tuto informaci interpretuje. Naše oči jsou tedy senzorem a mozek lze přirovnat k počítači, který dává smysl tomu, co bylo zjištěno. Základním výstupem dálkového snímání je fotografie nebo digitální snímek objektu. Ale dálkové snímání v sobě skrývá daleko více, než pouhé dívání se na objekty. Využívá nástroje, jejichž pomocí můžeme měřit vlastnosti objektů, které jsou lidským okem nepostřehnutelné.

Elektromagnetická energie

Všechny objekty včetně rostlin a půdy vyzařují anebo odrážejí energii ve formě elektromagnetického záření. Nejběžnějším zdrojem elektromagnetické energie je Slunce. Energie vyzářená Sluncem putuje vesmírem a dopadá na zemský povrch, kde je buď rozptýlena, pohlcena, či odražena nebo objektem prochází. Část energie, která není rozptýlena nebo absorbována atmosférou, je absorbována objekty na zemském povrchu a poté je vyslána zpět do atmosféry v podobě termální energie. Jiná část energie může projít beze změny nebo být objekty odražena zpět k měřicímu senzoru.

Senzory využívané pro dálkové snímání měří odraženou energii ve specifických vlnových délkách elektromagnetického spektra. To umožňuje zjistit vlnové délky, které objekt pohltí. Když víme, které vlnové délky jsou porostem odraženy nebo absorbovány, můžeme odhadnout účinnost využití dostupné světelné energie pro fotosyntézu. Tento proces může také pomoci rozpoznat, kdy rostliny nefungují optimálně.

Viditelné a blízké infračervené záření

Pro dálkové snímání jsou v zemědělství nejpoužívanější vlnové délky v rozsahu 400 až 1500 nanometrů.

Část elektromagnetického spektra viditelná lidským okem je nazývána viditelné záření (VIS), sahá od 400 do 700 nm. Existují tři primární barvy, které může objekt ve viditelném spektru odrážet, a to modrá, zelená a červená. Primární barvy nelze vytvořit kombinací žádných jiných barev, naopak jejich kombinací vznikají tzv. přechodné barvy. Fialová barva vzniká kombinací odražené červené a modré, azurová vzniká kombinací zelené a modré, žlutá barva vzniká kombinací červené a zelené. Absorpcí všech barev vznikne černá. Pokud není pohlcena žádná barva, potom vidíme bílou.

Oblast infračerveného spektra sahá od 700 do 14 000 nm a je pro lidské oko již nepostřehnutelná. Nejbližší viditelnému spektru se nachází oblast označována jako blízké infračervené záření (NIR, od 700 do 1100nm) a krátkovlnné infračervené spektrum (SWIR, od 1100 do 3000 nm). Tyto oblasti infračerveného spektra mají velice podobné vlastnosti jako viditelné světlo. Primárním zdrojem tohoto záření je samozřejmě Slunce.

Spektrální chování vegetace

Zelené rostliny reagují odlišně na sluneční záření právě v infračervené části světelného spektra, jehož vlnové délky jsou příliš dlouhé na to, aby rostlině dodaly energii pro fotosyntézu. Proto rostlina neabsorbuje z tohoto světla téměř nic a odráží ho do prostoru. Dálkové snímání využívá poznatků o této důležité vlastnosti zelených rostlin.

Tzv. spektrální chování vegetace se vyznačuje výrazným nárůstem odrazivosti v blízké infračervené části spektra (NIR). V této části světelného spektra dosahuje odrazivost hodnot kolem 60 %, oproti průměrným 20 % dopadajícího záření odraženého ve viditelné části spektra (VIS). Záření ve viditelné části spektra je výrazně pohlcováno především chlorofylem. Chlorofyl absorbuje světlo nejvíce v modré a červené části viditelného záření. Zelené světlo pohlcuje velice těžko, proto je odráženo a rostliny se nám jeví jako zelené. NIR prochází chlorofylem beze změny. Rychlý nárůst odražené energie hned za hranicí červené barvy v místě přechodu do NIR je nazýván „red edge“. Pozice red edge není neměnná. V průběhu zrání rostliny absorbuje chlorofyl nepatrně delší vlnové délky v pásmu červeného světla, čímž se změní red edge. Změna pozice red edge se nazývá red shift.

Stres

Rostlina během svého života trpí různým druhem stresu, například, sucho, nemoci, plevele, poškození hmyzem a tak dále. Tento stres samozřejmě způsobuje fyziologické změny v rostlině. Rostliny trpící stresem odráží světlo jinak, než stejné rostliny ve stejné růstové fázi, které žádným stresem netrpí. Příkladem takové fyziologické změny může být chloróza listů (barevné změny na listu). Žluté zbarvení je důsledkem rozkladu chlorofylu. Rostlina odráží méně v zeleném a více v červeném spektru. Všechny systémy jsou založeny na předpokladu, že pokud rostlina nebo skupina rostlin roste odlišně od ostatních, lze tyto rozdíly zjistit. Pro správnou interpretaci a identifikaci zdravotního stavu rostlin a stresových faktorů, které na ně působí, je třeba znát vazby mezi různými spektrálními projevy rostlin.

Vegetační indexy

Obraz odrazivosti v určité vlnové délce bude mít daleko větší vypovídací hodnotu, pokud je kombinován s odrazivostí při jiné vlnové délce. Tímto způsobem získáme tzv. vegetační index, který zvýrazní určité vlastnosti objektu na snímku. Nejběžnějším indexem je dozajista normalizovaný vegetační index (NDVI), vypočítaný pomocí rovnice: $NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$. Jiné vegetační indexy lze vypočítat pomocí jiných vlnových délek a jejich kombinací různými způsoby. Specifické poměry odraženého světla mohou být využity ke zdůraznění určitých problémů, jako je nedostatek živin, stresy plodin, vláhové problémy, problémy s plevele a napadení škůdci a chorobami.

Senzory

Senzory pro dálkové snímání fungují podobně jako naše oči. Jsou citlivé na obrazy a vlastnosti odraženého světla. Hlavním rozdílem mezi těmito senzory a lidským zrakem je rozsah vlnových délek, které jsou schopny zaznamenat. Tyto přístroje nazýváme pasivní senzory, protože snímají energii pocházející z vnějšího zdroje. Data pořizovaná z několika

vlnových délek se nazývají multispektrální. Když se současně měří data z desítek nebo stovek pásem, hovoříme o nich jako o hyperspektrálních.

Hyperspektrální skenery umožňují pořizovat data v mnoha velmi úzkých vlnových pásmech v širokém rozsahu vlnových délek. Nicméně, dokáží to s mnohem větším počtem senzorů. Multispektrální senzory měří energii ve specifických, strategicky umístěných částech elektromagnetického spektra. Většina senzorů používaných při dálkovém snímání pořizuje data ze tří nebo čtyř pásem. Běžný senzor se skládá ze tří nebo čtyř sensorových mřížek, z nichž každá měří rozdílnou vlnovou délku ve stejnou dobu. Každý senzor je tvořen mříží dílčích senzorů (představujících jeden pixel) zjišťujících množství světla, které na něj naráží, a uchovávajících tuto informaci v digitální podobě. Snímky mohou být v počítači jak uloženy a zpracovávány, tak analyzovány a vylepšovány.

Data

Digitální snímky jsou redukovány na čísla. Celý snímek je tvořen z řad a sloupců čísel, která odpovídají vlastnostem vyzářené energie (světlost, barva, frekvence a vlnová délka), a pozici pixelu (tak nazýváme nejmenší bod tvořící snímek). Uložené digitální číslo (DN) každého pixelu (nejmenší jednotky informace) představuje odraženou energii z konkrétního místa na zemi.

Prostorové rozlišení

Prostorové rozlišení obrazu je definováno jako oblast, která může být rozlišena jedním elementem obrázku (pixelem). Velikost pixelu by měla odpovídat způsobu využití. Optimální prostorové rozlišení pro použití v zemědělství lze stanovit podle šířky nářadí, které je používáno, nebo na základě parametrů nejmenšího objektu, který má být identifikován.

Známe čtyři druhy rozlišení, které ovlivňují přesnost a využitelnost senzorů:

Prostorové rozlišení popisuje schopnost senzoru identifikovat nejmenší detail v rámci snímku. Vzdálenost mezi rozeznatelnými obrazci nebo objekty na snímku, které lze oddělit od jiných, se vyjadřuje v metrech.

Spektrální rozlišení je citlivost senzoru s jakou odpovídá na specifický rozsah frekvencí. Frekvence, ve které je senzor schopen snímat, velmi často nezahrnuje pouze oblast viditelného spektra, ale zasahuje i do dalších vlnových délek lidským okem nepostřehnutelných. Voda a vegetace mohou být identifikovány pomocí toho, jaké vlnové délky odrážejí. Senzor musí být schopen zjistit tyto vlnové délky, aby mohl rozlišit jednotlivé objekty.

Radiometrické rozlišení je také nazýváno kontrast. Popisuje schopnost měřit intenzitu signálu nebo světlost objektů. Čím citlivější je senzor na světlost objektu v porovnání s okolím, tím menší objekt může být zjištěn a identifikován.

Časové rozlišení je perioda času, který uběhne mezi uložením obrazu a následujícího snímku toho samého objektu na stejné lokalitě. Čím častěji je senzor schopen návratu

na stejnou lokalitu, tím větší je časové rozlišení. Několik pozorování v čase dokáže zachytit změny a variace na pozorovaném objektu. Veliké časové rozlišení je důležité v období rychlého růstu rostlin, kdy je třeba provádět rozhodnutí, která ovlivní budoucí výnos.

Zpracování obrazu

Jakmile jsou surová data získána, musí být zpracována do použitelných informací. Digitální snímky jsou upravovány pomocí speciálního softwaru (např. Erdas Imagine, ENVI). Zpracování digitálních dat představuje upravení nejrůznějších zkreslení původních dat. Pokaždé, když jsou data upravována na jeden typ zkreslení, může dojít k dalšímu zkreslení v jiném parametru. Změny prováděné s naměřenými daty představují dvě hlavní operace: předběžné zpracování a následné zpracování.

Předběžné zpracování snímků

Předběžné zpracování snímků zahrnuje radiometrické a geometrické korekce.

Radiometrické korekce pracují s originálním snímkem. Jejich účelem je korekce zkreslení snímků na hodnoty světlosti objektu na zemském povrchu, které byly způsobeny buď kalibrací senzoru nebo problémy s fungováním přístroje.

Geometrické korekce se provádějí proto, aby se opravily nepřesnosti mezi souřadnicemi polohy jednotlivých částí obrázku v datech snímku a skutečnými souřadnicemi v reálu. Rozeznáváme několik druhů GK:

Systémové korekce používají tzv. referenční bod pro každý pixel jako je například využití GPS systému. Přesnost korekce se liší v závislosti na přesnosti určení pozice.

Precizní korekce používají kontrolní body umístěné na zemi, které mají přesně definovanou polohu, umožňují zjistit chyby v lokalizaci jednotlivých složek snímku. Existuje několik matematických modelů, které dokáží odhadnout aktuální pozici každého jednotlivého elementu tvořícího snímek na základě jeho vzdálenosti od kontrolního bodu.

Terénní korekce je podobná precizní korekci s tím rozdílem, že využívá nejen zeměpisnou délku a šířku, ale i třetí rozměr, kterým je výška. Tato data jsou porovnávána s kontrolním bodem v terénu a na základě porovnání jsou upravena zkreslení terénu. Deformace reliéfu na snímku se zvětšuje se vzdáleností daného objektu od středu snímku. Tomuto procesu se také říká ortokorekce nebo ortorektifikace.

Následné zpracování snímků

Tento proces, s použitím patřičného softwaru zlepšuje kvalitu scény a pomáhá v interpretaci dat. Práce se snímky běžně zahrnuje proces vylepšení snímku, klasifikaci a detekci změn.

Vylepšení snímku představuje techniky pro zvýraznění kontrastů, prostorové filtrování a otáčení.

Zvýraznění kontrastu změní rozložení a rozsah digitálních čísel náležících ke každému pixelu na snímku. To je často potřeba ke zdůraznění detailů, které by bylo jinak velice těžké postřehnout pouhým okem.

Prostorové filtrování zahrnuje použití algoritmů, kterým se říká filtry, aby se buď zdůraznila nebo naopak potlačila světlost. Vysoce propustné filtry zlepšují detaily na okrajích snímku. Filtry s nízkou propustností zjemní snímek a redukují šumy.

Klasifikace obrazu seřazuje pixely buď do tříd nebo kategorií. Proces klasifikace může být automatický nebo řízený.

Automatická klasifikace snímku je počítačem řešený proces, kdy jsou jednotlivé pixely na základě své hodnoty v několika spektrálních pásmech přiřazeny do shluků, které jsou statisticky rozdílné. Vlastnosti výsledného shluku mohou být zvýrazněny použitím barvy nebo jiných značek v následně vytvořené mapě shluků. Výsledná mapa nemusí nezbytně souhlasit s objekty, které zajímají uživatele.

Řízená klasifikace je mnohem obsáhlejší procedura, která vyžaduje zkušeného analytika, který rozezná a uspořádá pixely do tříd a kategorií dle předmětu zájmu uživatele. Vyzdvihne několik vzorků pixelů se stejnými vlastnostmi na snímku, kterým se říká trénovací plochy. Identifikuje tato místa vlastní návštěvou v terénu a provede pozorování v terénu s využitím minulých zkušeností a dovedností. Zbylé pixely jsou poté přiřazeny k daným trénovacím plochám pomocí statistických metod.

Detekce změn je proces, v němž jsou porovnávány dva snímky stejné lokality pořízené v jiném datu. Jsou měřeny jakékoliv změny ve fyzickém tvaru, umístění nebo spektrálních vlastnostech objektů na snímku. Je vytvořen třetí snímek, který ukazuje změny mezi prvním a druhým snímkem. Jedná se o automatický proces, kdy jsou porovnávány hodnoty každého jednotlivého pixelu v každém frekvenčním pásmu. Počítačová analýza má nejlepší výsledky, pokud je kombinována se znalostmi a zkušenostmi analyzátora při interpretaci změn na snímku.

MATERIÁL A METODIKA

Pro řešení projektu byl založen polyfaktoriální maloparcelní polní pokus s ozimou pšenicí (odřůda Cubus) v lokalitě Kroměříž (49° 17' severní šířky, 17° 22' východní délky, 235 m nad mořem) – výrobní oblast řepařská, půdní typ černozem luvická, půdní druh – půda hlinitá (42 % jílnatých částic), průměrná roční teplota 8,7 °C, roční suma srážek 559 mm. Měření byla prováděna na devíti kontrastních variantách s rozdílnou úrovní výživy dusíkem a výší výsevku (Tab. 1):

Tab. 1 Varianty polyfaktoriálního pokusu

Varinata	Výsevek	Hnojení dusíkem [kg N.ha-1]
1	2,0 MKS	40 kg na podzim před setím
2	2,0 MKS	40 kg na podzim, 40 kg regenerační, 40 kg produkční + Retacel
3	2,0 MKS	40 kg na podzim, 60 kg regenerační, 60 kg produkční
4	3,5 MKS	40 kg na podzim před setím
5	3,5 MKS	40 kg na podzim, 40 kg regenerační, 40 kg produkční + Retacel
6	3,5 MKS	40 kg na podzim, 60 kg regenerační, 60 kg produkční
7	5,0 MKS	40 kg na podzim před setím
8	5,0 MKS	40 kg na podzim, 40 kg regenerační, 40 kg produkční + Retacel
9	5,0 MKS	40 kg na podzim, 60 kg regenerační, 60 kg produkční

Každá varianta byla založena v šesti opakováních, z nichž dvě opakování byla vyčleněna pro odběry vzorků k rozborům struktury a výživného stavu porostu. Zbylé čtyři varianty byly určeny ke sklizni, přičemž na jedné se snímkovalo ve všech vybraných růstových fázích. Na parcele určené pro odběr vzorků v daném termínu byla před začátkem snímkování vyznačena plocha o rozměrech 0,5 x 0,5 m, ze které byly po skončení snímkování odebírány vzorky rostlin, dělené na osm dílčích opakování, a vzorky půdy z hloubek 0 - 30 a 30 - 60 cm pro stanovení obsahu N_{\min} (N-NO₃ a N-NH₄).

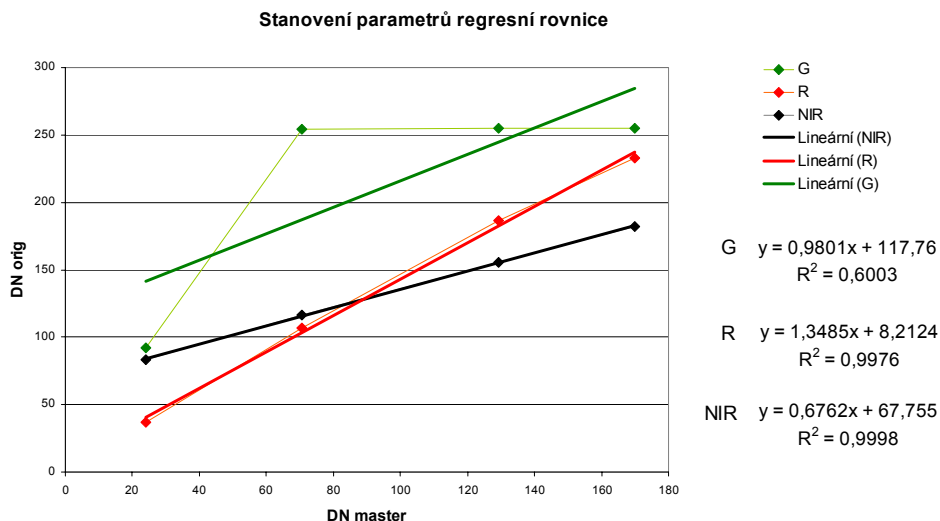
Snímkování bylo prováděno přibližně ve 14ti denních intervalech v závislosti na růstové fázi rostlin (v DC 22-25, DC 30-31, DC 55, DC 65 a DC 87) multispektrální kamerou DuncanTech MS3100 (Obr. 1) se spektrálním rozsahem 500 – 900 nm vyhotovující snímky v zelené (G 500 – 600 nm), červené (R 600 – 700 nm) a blízké infračervené (NIR 700 – 900 nm) oblasti světelného záření. Na kameře byl nasazen objektiv Sigma AF 14 mm / 2.8 EX, se kterým bylo dosaženo záběru 25° x 19°. Toto zařízení bylo umístěno na pojízdné konstrukci ve výšce 5,5 m nad zemí, což odpovídá záběru 2,5 x 1,9 m a geometrickému rozlišení snímků necelých 2 mm na pixel.

Obr. 1 Fotografie multispektrální kamery na pojízdné konstrukci a detail kamery



Součástí každé snímané scény byly optické standardy s přesně definovanou odrazivostí nutné pro další zpracování snímků metodou Empirical Line Method (ELM). Tato metoda normalizuje snímky vyhotovené za rozdílných světelných podmínkách, aby bylo možné provést vzájemné porovnávání. Pro výpočet ELM metody je nutné, aby ve snímané scéně byly minimálně dva objekty se známou odrazivostí (pokud možno kontrastní) ve všech snímaných spektrálních kanálech. Tyto objekty by měly mít tak zvaný lambertianský povrch, nebo-li všesměrovou odrazivost. Větší množství kontrastních objektů zpřesňuje vlastní výpočet a stanovení korekčních parametrů. V našem případě byly použity spektrální etalony Zenith Ultrawhite Reflectance Standard od firmy SphereOptics (SRN) s přesně definovanou odrazivostí 10 %, 25 %, 50 % a 70 %.

Graf 1. Stanovení parametrů regresní rovnice



Metoda ELM upravuje snímky pomocí lineární regrese. Parametry regresní rovnice (a,b) jsou zjištěny pro jednotlivé spektrální kanály snímku (G, R, NIR) z lineárního vztahu průměrných DN jednotlivých etalonů na originálním snímku (DN_{orig}) a definovaného odrazu pixelu etalonů (DN_{master}) (viz Graf 1). Hodnoty DN_{master} jsou stanoveny z procentuální odrazivosti etalonů vztažené k rozsahu DN 8 bitového snímku (rozsah DN 0 – 255). Každý pixel snímku je přepočten dle vztahu:

$$DN_{kor} = a * DN_{orig} + b$$

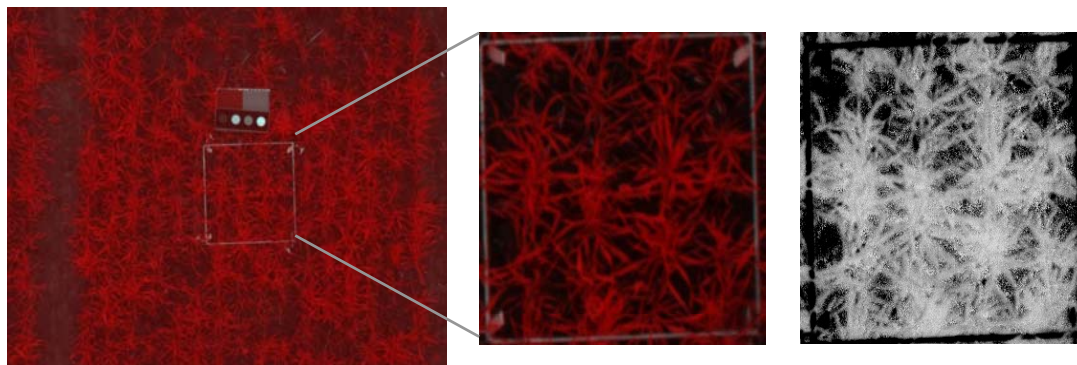
kde DN_{kor} - digitální hodnota pixelu (DN – digital number) výsledného zkorigovaného snímku
 DN_{orig} - digitální hodnota pixelu vstupního (originálního) snímku

Z takto upravených snímků byl následně pomocí programu Erdas Imagine 8.7 vypočítán normalizovaný vegetační index (NDVI) podle vztahu $NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$. Index NDVI nabývá hodnot od -1 do 1. Pro vegetaci se pohybuje v rozmezí od nuly do +1, protože odrazivost vegetace v blízkém infračerveném spektru (NIR) je vždy vyšší než v červené vlnové délce (RED). Čím větší množství zelené vegetace je na snímku, tím vyšší hodnotu NDVI dostaneme.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Na korigovaných snímcích byla stanovena hodnota vegetačního indexu (NDVI) určující množství biomasy na jednotku plochy (Obr. 2). Výsledná hodnota NDVI je tvořena kombinací dvou jevů: fyziologického stavu porostu (obsah chlorofylu, aktivita fotosyntetického aparátu) a strukturního stavu porostu (počet rostlin na jednotku plochy, počet listů – pater, hmotnost rostlin, atd.).

Obr. 2 Originální snímek v nepravých barvách (NIR-R-R), výřez snímku po korekci metodou ELM, snímek NDVI



Při porovnání vybraných variant 4 a 6 s rozdílnou úrovní hnojení a výší výsevku bylo konstatováno, že se hodnota NDVI v průběhu vegetačního období zvyšovala spolu s nárůstem

biomasy. Vliv vyšších dávek dusíku se projevoval kladně zejména v raných fázích růstu, kdy jsme zaznamenali vyšší hodnoty NDVI u variant s vyšší dávkou dusíku (Tab. 2).

Tab. 2 Porovnání hodnot NDVI u kontrastních variant

Termín snímkování	Fáze DC	Varianta	NDVI
27.4.2006	25	4	0,815
		6	0,836
11.5.2006	31	4	0,950
		6	0,924
21.6.2006	65	4	0,978
		6	0,961

ZÁVĚR

Díky dálkovému snímání jsme schopni rozlišit variabilitu porostu, která ovlivňuje výnos plodiny, ještě v průběhu vegetačního období, takže máme možnost provést opatření vedoucí ke zlepšení výnosu plodiny na sledované lokalitě. Rozdíly v odrazivosti mezi pleveli a kulturními rostlinami mohou být použity k identifikaci oblastí, které vyžadují specifickou ochranu proti plevelům. Data získaná dálkovým snímáním představují také nástroj pro vyhodnocení zdravotního stavu plodin. Díky tomu, že používané senzory jsou schopny měřit odrazivost porostu nejen ve viditelném, ale i v blízkém infračerveném spektru, kde se kvalitativní změny projeví dříve, jsme schopni identifikovat stres rostlin způsobený například nedostatkem vláhy, nedostatečnou výživou, utužením půdy, rozvojem nemocí, či napadení škůdci. Za tímto účelem bylo definováno množství vegetačních indexů, které kombinací odrazivosti porostu v různých pásmech světelného spektra charakterizují stav porostu.

Příspěvek je součástí řešení projektu GAČR (521/05/2299) „ Zefektivnění metod hodnocení stavu a struktury porostu obilnin“ a výzkumného záměru MSM 2532885901 „Optimalizace faktorů trvalé udržitelnosti rostlinné produkce na základě vývoje geneticko-šlechtitelských, diagnostických a rozhodovacích metod“ řešených firmou Agrotest fyto, s.r.o.

LITERATURA

Broge N. H. (2003): Prediction of Green Canopy Area Index and Canopy Chlorophyll Density of homogenous canopies from measurements of spectral reflectance in the visible and near-infrared domain. PhD. thesis. Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum, Denmark, 199 pp.

Campbell J.B. (2002): Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, New York, USA, 621 pp.

Canadian Space Agency: Fundamentals of Remote Sensing.

[http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/learn_e.html]

- Clark R. N., King T.V.V., Ager C., Swayze G.A. (1995): Initial Vegetation Species and Senescence/Stress Indicator in the San Luis Valley, Colorado Using Imaging Spectrometer Data. Proceedings: Summitville Forum '95. Colorado Geological Survey Special Publication 38: 64-69.
- Daly P. (2001): Remote sensing for crop assesment. Franklin Conservation District, 9 pp.
- Dobrovolný, P. (1998): Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně, Katedra geografie, 210 s.
- Elechi C. (1987): Introduction to the physics and techniques of remote sensing. John Wiley & Sons, New York, USA, 541 pp.
- Fitzgerald G. J. (2000): Hyperspectral Remote Sensing Systems and Analysis. USDA-ARS, Shafter, California, USA [<http://webpages.acs.ttu.edu/smaas/asa2000/fitzgerald.hmt>]
- Franzen D., (1999): Site Specific Farming. What is Site Specific Farming? Specific Farming 1176 (1).
- Godwin R.J., Taylor J.C., Wood G.A., Bradley R.I., Welsh J.P., Richards T., Blackmore B.S., Carver M.J., Knight S., Welti B. (2002): "Precision Farming" of Cereal Crops: A Five-year Experiment to Develop Management Guidelines. Project Report No. 267, United Kingdom, 43 pp.
- Christensen L. K. (2004): NPK Deficiencies Discrimination by use of Spectral and Spatial Response. PhD. thesis. The Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Agricultural Sciences, Copenhagen, Denmark, 42 pp.
- Jorgensen R. N. (2002): Study on Line Imaging Spectroscopy as a Tool for Nitrogen Diagnostics in Precision Farming. Ph. D. – thesis at The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, 95 pp.
- Leica Geosystems (2003): Imagine Spectral Analysis - User Guide. Atlanta, 236 pp.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W. (1987): Remote sensing and image interpretation. 3rd edition John Wiley & Sons, New York, USA. 750 pp.
- Lilienthal H. (2003): Entwicklung eines bodengestützten Fernerkundungssystems für die Landwirtschaft. FAL Braunschweig, 170 str.
- Schlemmer M., Hatfield J., Rundquist D.C. (2002): Remote Sensing: Photographic vs. Non-Photographic Systems. Site Specific Management Guidelines. South Dakota State University, SSMG-16, 4 pp.