

GEOtest, a.s.
Šmahova 1244/112, 627 00 Brno
IČ: 46344942 DIČ: CZ46344942

tel.: **548 125 111**
fax: **545 217 979**
e-mail: **info@geotest.cz**

Geologické a sanační práce pro ochranu životního prostředí, geotechnický a hydrogeologický průzkum

Číslo a název zakázky: **16 0327 Etiopie – holistický management Arba Minch**
Objednatel: Česká rozvojová agentura, Nerudova 3, 118 50 Praha 1
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

Aktivita 1.3

Participativní tvorba inovativního plánu managementu přírodních zdrojů (rozpracovaná verze za rok 2016)

Odpovědný řešitel: **Mgr. Jan Oprchal**, projektový manažer, geoinformatik
Zpracoval: **Mgr. Jan Bartoň**, hydrogeolog, oborový manažer
Mgr. Jiří Hladík, geoinformatik
Cristina Medina Solano, geoinformatik
Prověřil: **Ing. Jaromír Novák**, projektový manažer

RNDr. Lubomír Klímeck, MBA

člen představenstva

Brno, leden 2017

OBSAH

1. Úvod a základní charakteristika oblasti	4
2. Snímek družice WorldView-3	5
3. Vegetační indexy	6
3.1 Metody hodnocení zdraví vegetace	6
3.2 Ortogonální vegetační indexy.....	7
3.3 Poměrové vegetační indexy.....	7
3.4 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	8
3.5 VCI (Vegetation Condition Index).....	10
3.6 TCI (Temperature Condition Index).....	10
3.7 WSVI (Water Supplying Vegetation Index)	11
3.8 PDI (Perpendicular drought index).....	11
3.9 TVDI (Temperature-Vegetation Dryness Index)	13
3.10 VTCI (Vegetation Temperature Condition Index)	14
3.11 SADI (Comprehensive Index for Assessment of Agro-drought Severity).....	14
3.12 NDWI (Normalized Difference Water Index).....	14
3.13 NMDI (Normalized Multi-band Drought Index).....	15
3.14 Wetness.....	15
4. Komentář k běžícím aktivitám.....	16
5. Příklady z probíhajícího zpracování	16
6. Reference	20

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Údaje o zakoupeném snímku WorldView-3	5
---	---

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Fig. 1: Odrazivost zelené vegetace (A), suché půdy (B) a usychající vegetace (C)</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 2: Odrazivost zdravého a strádajícího stromu s výpočtem NDVI.</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 3: NIR-RED bodový graf a PDI.....</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 4: Definice indexu TVDI.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 5: Území určené pro rehabilitaci, kombinace pásem 5, 3, 2, (Red, Green, Blue).</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 6: Území určené pro rehabilitaci, kombinace pásem 8, 7, 6 (NIR2, NIR1, Red Edge) ...</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 7: Území určené pro rehabilitaci, kombinace pásem 7, 6, 5 (NIR1, RedEdge, Red).....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 5: Území určené pro rehabilitaci v kombinaci pásem 8, 4, 1 (NIR2, Yellow, Coastal)...</i>	<i>19</i>

1. Úvod a základní charakteristika oblasti

Aktivita vychází z předcházejících aktivit 1.1 a 1.2. Jedná se o soubor aktivit pro multioborově zaměřený tým řešitelů společně s etiopskými partnery z etiopských institucí, jehož cílem je vypracování inovativního plánu managementu přírodních zdrojů pro celé povodí řeky Kurpayo.

Aktivita běží od června roku 2016 až do listopadu 2017. Výsledky poslouží pro tvorbu územního plánu a metodiky pro rehabilitaci krajiny a zavedení managementu krajiny v souladu s principy holistického multioborového managementu přírodních zdrojů a „climate smart agriculture“.

Klíčovým nástrojem pro seznámení se s přírodními podmínkami panujícími v projektové oblasti je mimo terénní průzkum a komunikaci s etiopskými partnery dálkový průzkum Země. Doposud bylo v rámci předchozí Aktivity 1.2 pracováno s těmito daty:

- Multispektrální satelitní snímek WorldView-3 od DigitalGlobe
- Snímky Landsat 5 až LANDSAT 8 TM od USGS (NASA), řada let 1985 - 2015
- Digitální model terénu Aster Digital Elevation Model (pixel = 30 m) od USGS
- Půdní mapa z globálního modelu SoilGrids
- Klimatická data – dlouhodobé řady dat srážek a teplot z Ethiopian Bureau of Agriculture
- Digitalizované listy topografické mapy 1 : 50 000, zdroj: Ethiopian Geological Survey
- Digitalizované listy geologické mapy 1 : 50 000, zdroj: Ethiopian Geological Survey
- Digitalizované listy hydrogeologické mapy 1 : 50 000, zdroj: Ethiopian Geological Survey

Pro navazující studii je třeba věnovat důraz na zpracování zakoupeného multispektrálního snímku nosiče WorldView-3. V průběhu roku 2017 očekáváme kompletní výsledky multispektrální analýzy projektové oblasti. Budeme se věnovat vegetačním indexům, od nichž očekáváme mapování zdravotního stavu vegetace, definování míst s dostatkem dostupné půdní a podzemní vody a míst trpících vysycháním a erozními projevy. Správnou interpretací spektrálních projevů povrchu tyto místa nalezneme a kategorizujeme. Budeme tak schopni efektivně, v ploše celé projektové oblasti definovat účinné návrhy nápravných opatření.

Výstupy aktivity 1.2 nám doposud určují účel a využití půdy, kategorizují místa postižené erozí půdy. Výsledky budou nyní doplněny o zdravotní stav vegetace v celé projektové ploše. Na základě zjištěných dat z kapitoly dálkového průzkumu Země bude možné vypracovat akční plán rehabilitace na míru, s přesnou znalostí problémů v daném místě.

2. Snímek družice WorldView-3

Zakoupená scéna ze satelitu WorldView-3 pochází od společnosti DigitalGlobe. Má prostorové rozlišení 30 cm na pixel a zaznamenává v osmi spektrálních pásmech. Jedná se o velmi vysoké prostorové rozlišení snoubící výhody záznamu scény ve více spektrálních pásmech. Kromě viditelného a blízkých infračervených pásem snímá také ve speciálním pásmu s krátkou vlnovou délkou (příbřežní) a pásmu pro monitoring stavu vegetace (red edge). Popis zakoupeného snímku následuje níže:

Tab. 1: Údaje o zakoupeném snímku WorldView-3

Provozovatel / družice	Digital Globe / WorldView-3	
Spektrální rozlišení	panchromatické	450–800 nm
Multispektrální pásma	pobřežní / coastal blue	400–450 nm
	viditelné modré / blue	450–510 nm
	viditelné zelené / green	510–580 nm
	viditelné žluté / yellow	585–625 nm
	viditelné červené / red	630–690 nm
	red edge / red edge	705–745 nm
	blízké infračervené / NIR1	770–895 nm
	blízké infračervené II / NIR2	860–1040 nm
Prostorové rozlišení	panchromatické	0,3 m
	multispektrální	1,24 m
Radiometrické rozlišení		11bitové
Typ zakoupeného produktu:		ORStandard2A
Datum snímání:		23. 2. 2016
Oblačnost:		0%
Čas přeletu (lokální čas)		08:20:47
Inklinace		98 °
Velikost zakoupené scény		46,8 km ²
Výška orbity		617 km

3. Vegetační indexy

Jednou ze základních oblastí využití dálkového průzkumu Země (DPZ) je mapování vegetace – její rozšíření a prostorové uspořádání na zemském povrchu, odhad a hodnocení jejích změn v čase. Mapování vegetace pomocí metod DPZ umožňuje nejen kvalitativní hodnocení, ale i kvantitativní hodnocení stavu vegetace, a tím podává více reálné informace, než je tomu u map potenciální vegetace, které jsou založeny na vztazích vegetace – klimatické faktory.

Spektrální neboli vegetační indexy jsou běžně používaným způsobem, jak vyjádřit v číselné podobě a poté i v mapě charakteristiky vegetace. Pomocí vegetačních indexů lze z informací, které jsou obsaženy v multispektrálním obrazu, získat jedinou hodnotu vypovídající o přítomnosti či stavu vegetace. Na mapování vegetace pomocí metod DPZ pak navazuje studium využití a pokryvu Země (land use/land cover).

Vegetační indexy slouží jako zástupná hodnota či náhražka vegetační složky v mnoha modelech ekologických procesů jako evapotranspirace, transpirace a fotosyntéza, koloběhu uhlíku apod., a také jsou vstupní hodnotou pro výpočet mnoha dalších ukazatelů (Honková, 2008).

3.1 Metody hodnocení zdraví vegetace

Odrazové vlastnosti listů jsou, v daných intervalech vlnových délek, charakterizované třemi základními faktory (L. KUMAR, K. SCHMIDT, S. DURY, 2002; HOMOLOVÁ ET AL., 2013):

- silnou absorpcí listových fotosyntetických pigmentů, především chlorofylu ve viditelné části spektra (vlnové délky 400–700 nm, VIS – visible region),
- strukturou listů v oblasti blízkého infračerveného spektra (700–1300 nm, NIR – near infrared region) a
- převažujícím obsahem vody a proteinů (a dalších chemických látek) v oblasti krátkovlnného infračerveného spektra (1300–2500 nm, SWIR – shortwave infrared region) (Bohovic, R., 2016).

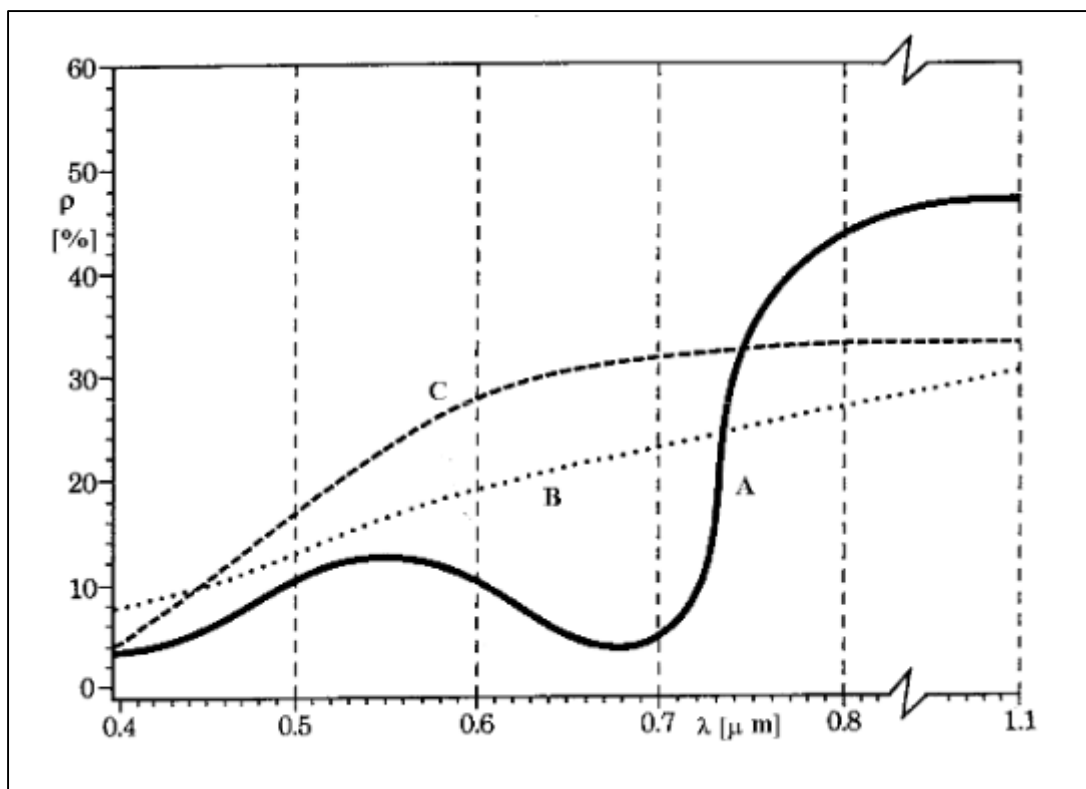


Fig. 1: Odrazivost zelené vegetace (A), suché půdy (B) a usychající vegetace (C) ve viditelné a infračervené části elektromagnetického spektra. ρ – odrazivost v procentech, λ – vlnová délka v mikrometrech.

3.2 Ortogonální vegetační indexy

Ortogonalní indexy jsou počítány jako lineární kombinace původních pásem multispektrálního obrazu. Jsou tedy založeny na stejném principu jako např. analýza hlavních komponent. Pokud původní pásma multispektrálního obrazu vytvářejí určitý vícerozměrný prostor, potom vhodnou rotací souřadnic tohoto prostoru lze zdůraznit určitou informaci obsaženou v původním obraze. V tomto případě jde o zvýraznění vegetační složky krajiny, ale i některých vlastností půdního substrátu – například vlhkosti půdy apod.

Řada algoritmů automatického zpracování obrazu založených na teorii tzv. spektrálního chování předpokládá, že každý pixel podává informaci o homogenním povrchu (z hlediska jeho spektrálního chování). Ve skutečnosti tomu tak není a například v případě zemědělské krajiny velká část obrazových prvků nese spektrálně smíšenou informaci jak o vegetačním krytu, tak i o půdním substrátu. Pomocí indexu označovaného jako PVI (perpendicular vegetation index) lze do značné míry separovat právě odrazivost vegetace a půdního substrátu.

Ze spektrálního chování půdy nepokryté vegetací plyne, že její odrazivost v červené viditelné a blízké infračervené části spektra vykazuje kladnou korelaci a hodnoty pro různé vzorky holé půdy mají tendenci vytvářet přímku - tzv. linii půd (soil line) (Dobrovlný, 1998).

3.3 Poměrové vegetační indexy

Poměrové vegetační indexy mohou významně korelovat s některými dalšími parametry vegetační složky krajiny. Jedním z takovýchto ukazatelů je tzv. index listové pokrývnosti (LAI – leaf area index). Je to celková plocha horní strany listů na horizontální jednotku plochy

(DANSON 1995). LAI může být kvantitativním ukazatelem celkové listové plochy, která v dané vegetační formaci může absorbovat záření potřebné pro procesy fotosyntézy. Uvedené poměrové indexy mohou být počítány z dat všech systémů, které poskytují obrazové záznamy ve viditelné červené a blízké infračervené části spektra. Hodnoty těchto indexů z různých měřících systémů, avšak i hodnoty indexů vypočtené ze stejného měřícího systému, ale z obrazových dat z různých termínů, však nejsou porovnatelné (PRICE 1986). Jde o data relativní a jejich hlavní předností je, že v určité ordinální škále řadí hodnoty pixelů například podle obsahu biomasy. V případě, že vstupní data jsou korigována na všechny vnější vlivy, především na vlivy atmosférické, lze hodnoty indexů vzájemně porovnávat v absolutních hodnotách a také kvantifikovat vybrané vlastnosti vegetačního krytu. Jak uvádí např. CURRAN a KUPIEC (1995), takovými jsou například hodnoty indexů vypočítané z dat poskytovaných obrazovou spektrometrií. Vedle již uvedených aplikací jsou poměrové indexy vhodným nástrojem také ke studiu zdravotního stavu vegetace, časových změn a průběhu fenofází, odhadům výnosů zemědělských plodin, odhadům vodního stresu rostlin atd. (DOBROVOLNÝ, 1998).

3.4 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

K rozpoznání vegetace a určení jeho zdravotního stavu (množství biomasy) slouží index NDVI. Jde o empirický vzorec, který byl vytvořen pro odlišení zeleně od ostatních druhů povrchu na základě odrazivých vlastností vegetace. Hodnota výsledku NDVI se bude pohybovat mezi -1 a 1. S vyššími hodnotami vzrůstá pravděpodobnost, že má oblast hustý pokryv zelené vegetace. NDVI hodnoty vyšší než 0 indikují přítomnost vegetace (Gashaw et al., 2015).

Index NDVI je vypočítán jako

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

, kde NIR značí hodnotu konkrétního pixelu v blízkém infračerveném pásmu a RED hodnotu v červeném pásmu viditelného spektra.

Negativní hodnoty indikují území bez vegetace, často korespondují s přítomností vodních těles (Kiage et al., 2007).

V RED spektru je záření zdravou, fotosyntetizující vegetací silně absorbováno, hlavně díky pigmentačním látkám (např. chlorofyl) obsažených v listech. Odrazivost zde tak nabývá velmi nízkých hodnot. Naopak v přechodu z vlnových délek RED do NIR odrazivost prudce roste. To je dáno morfologickou strukturou listů, která se u jednotlivých druhů rostlin značně liší. Pokud je vegetace vystavena určitému stresu, odrazivost v NIR se snižuje. Naproti tomu v RED odrazivost stoupá vlivem nižší produkce chlorofylu. To má za následek například žloutnutí listů (Gaja, 2013).

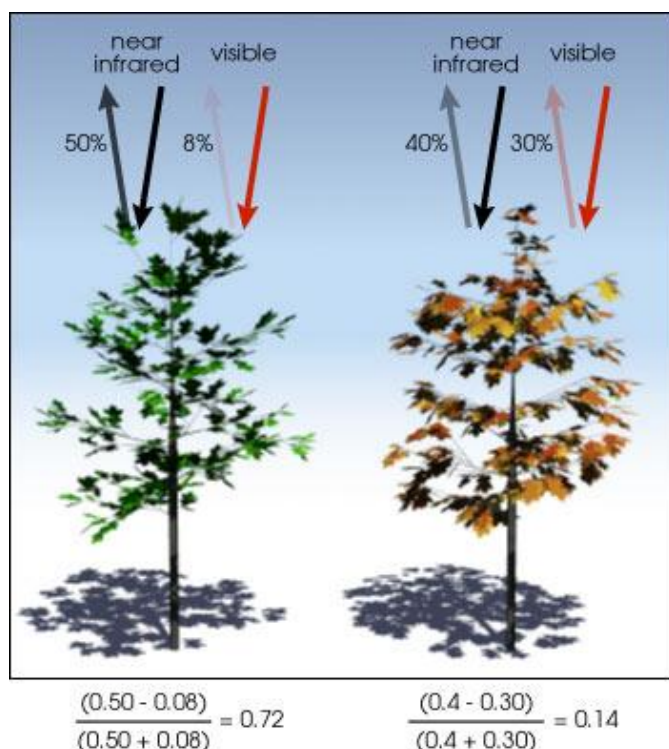


Fig. 2: Odrzivost zdravého a strádajícího stromu s výpočtem NDVI. Zdroj: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

Hodnoty NDVI pro určité povrchy prodělávají i typické změny v průběhu roku, čehož lze využít v celé řadě zejména zemědělských a lesnických aplikací (Dobrovolný, 1998). Nevýhodou NDVI je fakt, že hodnoty při plné vegetační pokrývce rychle saturují, a není tak možné ho spolehlivě využít na kvantifikaci a sledování změn husté vegetace (Bohovic, 2016).

THENKABAIL et al. (2004) a RULINDA (2007) uvádějí, že jistým omezením NDVI při monitorování vlhkostních podmínek je zpožděná odezva k suchu, způsobená opožděnou vegetační reakcí k tvořícímu se srážkovému deficitu díky zbytkové vlhkosti uložené v půdě. Tato prodleva je závislá na tom, jakým způsobem je region zavlažován. Čím více je závislý pouze na dešťových srážkách, tím menší opoždění nastává (Gaja, 2013).

NDVI sám o sobě nereflakuje suché či vlhké podmínky. Ty však mohou být definovány jako odchylka NDVI od jeho dlouhodobého průměru (DEV_{NDVI}). Tato odchylka je počítána jako rozdíl mezi NDVI pro zájmový časový krok (např. leden 1995) a dlouhodobým průměrem NDVI pro stejné období (např. 18letý průměr NDVI všech lednů od roku 1982 až 1999):

$$DEV_{NDVI} = NDVI_i - NDVI_{mean},$$

kde $NDVI_i$ je hodnota NDVI pro časový interval i a $NDVI_{mean}$ je dlouhodobý průměr NDVI. Pokud je hodnota odchylky DEV_{NDVI} záporná, zdravotní stav vegetace je pod normálem. Čím je hodnota zápornější, tím závažnější je v oblasti sucho. Kladné hodnoty naopak indikují dostatek vláhy a bezstresový stav (THENKABAIL et al., 2004) (Gaja, 2013).

Časové řady NDVI je možné použít na výpočet fenologických indexů popisujících události či fáze v průběhu vegetačního růstu, v regionálním i globálním měřítku (REED ET AL., 1994; WHITE ET AL., 2009). JEONG ET AL. (2011) popisuje posun začátku a konce vegetační sezony na severní polokouli. Z jeho výsledků vyplývá, že začátek vegetační sezony se v rozmezí let 1982–1999 posunul o 5,2 dne vpřed, v následujícím období 2000–2008 už pouze o 0,2 dne.

Konec vegetační sezony se za první období zpozdil o 4,3 dne, v tom druhém pouze o 2,3 dne. V kontrastu k tomuto všeobecnému trendu na severní polokouli, ve vybrané části Střední Asie (sever Kazachstánu) takovýto posun začátku vegetační sezony zaznamenán nebyl (JEONG ET AL., 2011).

Kromě fenologie se NDVI využívá ve velké míře k monitoringu požárů či spáleného povrchu na daném území (FERNÁNDEZ, ILLERA, A CASANOVA, 1997; MILLER A YOOL, 2002), vegetační pokrývky/povrchu (XIE, SHA, A YU, 2008; MACHWITZ ET AL., 2010), dopadů klimatických změn (BADECK ET AL., 2004; IVITS ET AL., 2012; BROWN, DE BEURS, A MARSHALL, 2012; SCHMIDT ET AL., 2013), či při výpočtech primární systémové produkce (net primary production) (EISFELDER ET AL., 2014).

3.5 VCI (Vegetation Condition Index)

V heterogenních oblastech může nastat problém s interpretací NDVI. Prostorová proměnlivost indexu souvisí s přírodními podmínkami (klima, typ půdy, topografie atd.) a jejich vlivem na množství vegetace. Oblast s příznivými podmínkami pro daný typ vegetace bude vykazovat vyšších hodnot NDVI než oblast s podmínkami nepříznivými. Dalším parametrem, který ovlivňuje hodnotu NDVI a který je při studiu vlhkosti a sucha podstatnější je stav počasí. Za účelem odhadu dopadu počasí na zdravotní stav vegetace je tedy třeba efekty související s přírodními podmínkami odfiltrovat. Toho můžeme dosáhnout využitím tzv. indexu vegetačního stavu (VCI), který popisuje například KOGAN (1995):

$$VCI_{yc} = 100 \frac{NDVI_{yc} - NDVI_{minc}}{NDVI_{maxc} - NDVI_{minc}}$$

$NDVI_{min}$ a $NDVI_{max}$ představují víceleté minimální a maximální hodnoty NDVI pro každý pixel v dané oblasti, y je číslo roku a c je číslo kompozice. Minima a maxima NDVI obsahují extrémní meteorologické události. Zdravotní stav vegetačního krytu popsany pomocí VCI je vyjádřen v procentech a odvíjí se v závislosti na stavu počasí. Pokud se index pohybuje ve vyšších hodnotách, tak indikuje optimální zdravotní stav. Nižší hodnoty naopak poukazují na stres rostlin. Hraniční hodnota 35 % a níže označuje extrémně suché podmínky. VCI umožňuje detekovat sucho, měřit začátek jeho propuknutí, intenzitu, dobu trvání a dopad na vegetaci. Další vlastností VCI je možnost srovnání dopadu počasí v oblastech s odlišnými ekologickými a ekonomickými zdroji (UNGANAI a KOGAN, 1998; DOMENIKIOTIS et al., 2004).

Jak uvádí KOGAN (1995), hlavní problém při aplikaci VCI může být nadměrná půdní vlhkost a dlouhodobá oblačnost (delší než tři týdny). V obou případech je NDVI velmi snížený a VCI tudíž nabývá rovněž nízkých hodnot. To může vést k mylné interpretaci sucha. V takových případech lze využít k rozlišení suchých od nesuchých událostí tzv. index teplotního stavu (TCI).

3.6 TCI (Temperature Condition Index)

TCI je založen na podobném principu jako VCI. Místo vegetačního indexu je však při výpočtu využita radiační teplota (BT). Vysoká teplota je známkou nepříznivých nebo suchých podmínek. Na druhé straně nízká teplota naznačuje podmínky příznivé. TCI poskytuje doplňkové informace o rostlinném stresu. Pomocí něj lze určit, zdali je stres způsoben převládajícím suchem anebo nadměrnou vlhkostí. Rovnice indexu vypadá následovně:

$$TCI_{yc} = 100 \frac{BT_{max_c} - BT_{yc}}{BT_{max_c} - BT_{min_c}},$$

kde BT_{max} a BT_{min} je dlouhodobá maximální a minimální teplota, y je číslo roku a c je číslo kompozice. TCI nabývá stejně jako VCI hodnot od 0 do 100 a jejich interpretace je obdobná. Nízká hodnota TCI naznačuje velmi vysoké teploty, a tedy výskyt sucha (KOGAN, 1995).

3.7 WSVI (Water Supplying Vegetation Index)

Index WSVI použili například JAIN et al. (2010) při monitorování sucha v Indii na základě dat ze senzoru AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Když jsou rostliny sužovány suchem, uzavírají částečně průduchy na listech, aby omezily výdej vody na minimum. V důsledku toho dochází k nárůstu teploty na povrchu listů. Současně také vadnou, což snižuje hodnotu NDVI. Tohoto principu využívá WSVI, který kombinuje teplotu a NDVI. Takto vypadá rovnice jeho výpočtu:

$$WSVI = \frac{NDVI}{BT}$$

NDVI je normalizovaný diferenční vegetační index a BT je radiační teplota.

3.8 PDI (Perpendicular drought index)

PDI je definován jako úsečka, která je rovnoběžná s linií půdy (soil line) a kolmá k normále procházející počátkem souřadnic bodového grafu mezi RED a NIR. PDI v tomto NIR-RED prostoru popisuje rozložení vlhkosti půdy. Body položené dále od normály představují vždy oblasti s nízkou vlhkostí. Naopak body, které jsou blíže k normále, reprezentují vlhké povrchy.

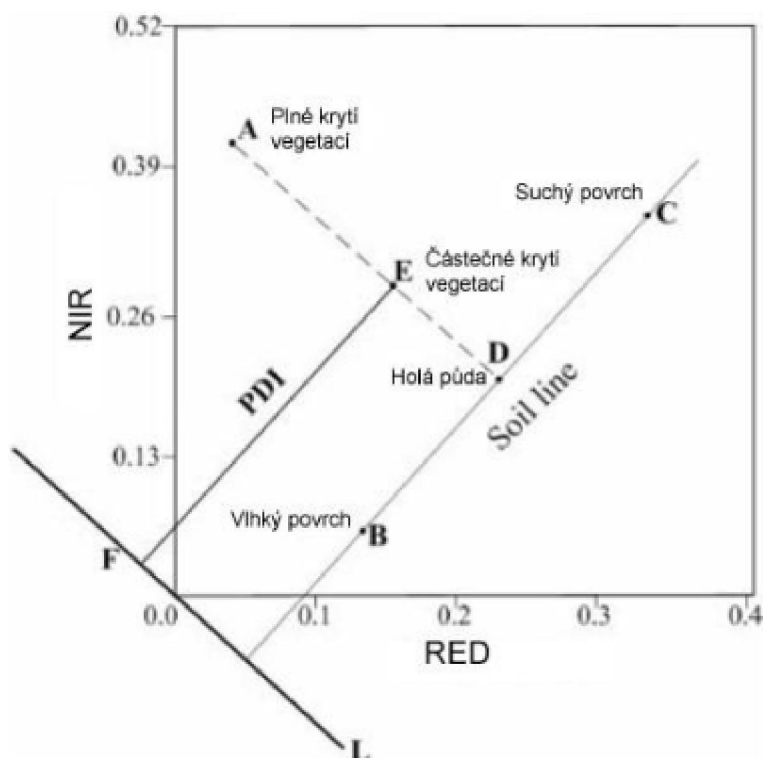


Fig. 3: NIR-RED bodový graf a PDI

Upraveno podle: QIN et al., 2008

Rovnice výpočtu PDI může být vyjádřena tímto způsobem (QIN et al., 2008):

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (RED + M \cdot NIR),$$

kde RED a NIR jsou odrazivosti v RED a NIR pásmu. M je sklon linie půdy. Hodnoty PDI se pohybují v rozmezí 0 až 1. Čím jsou vyšší, tím poukazují na závažnější vodní stres.

Hodnocením indexu PDI se zabývali například QIN et al. (2008) při odhadu sucha v severozápadní Číně za použití radiometru MODIS. Výsledky ukázaly signifikantní korelaci s průměrnou půdní vlhkostí naměřenou z hloubky 0-20 cm v pozemních stanicích.

GHULAM et al. (2008) zmiňují, že PDI je vhodný spíše pro povrchy bez vegetačního krytu. Pro oblasti s vegetační pokrývkou doporučují upravený MPDI (modified perpendicular drought index), který ve svém výpočtu zahrnuje i vegetační charakteristiky.

3.9 TVDI (Temperature-Vegetation Dryness Index)

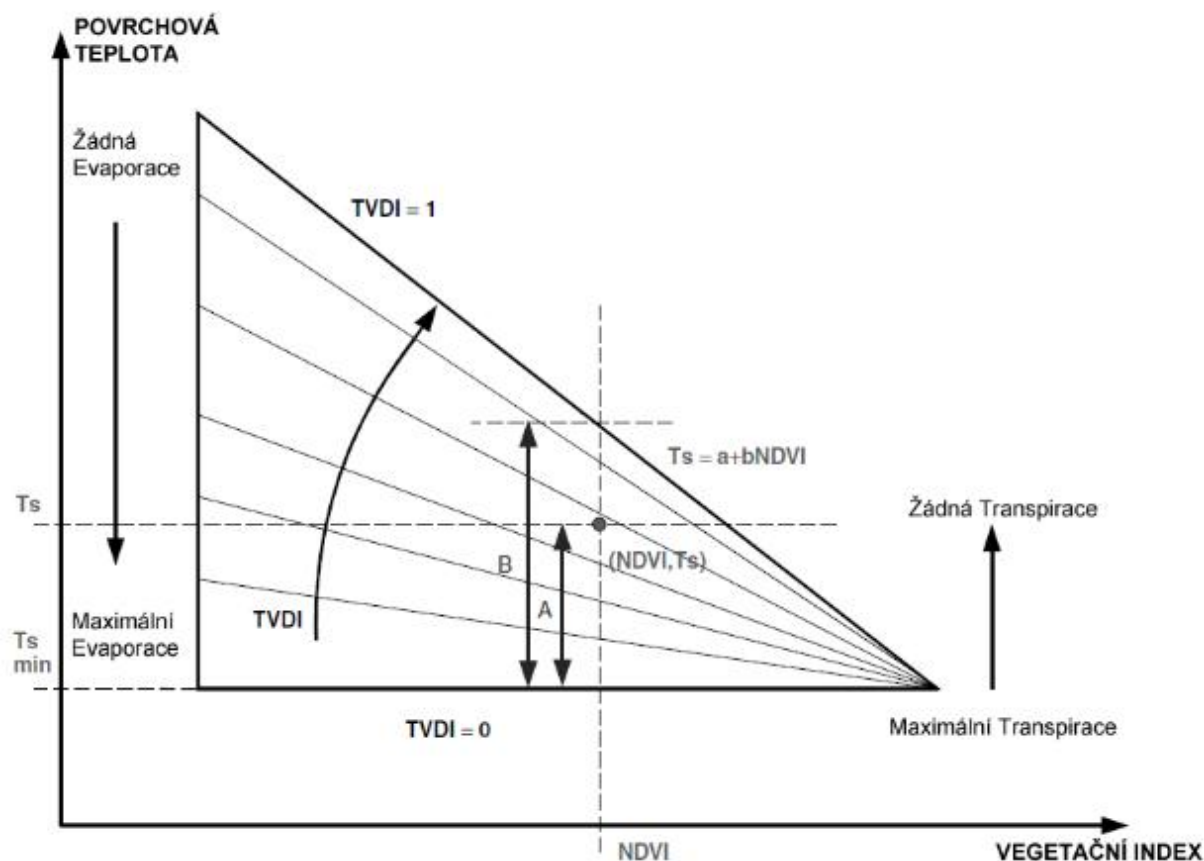


Fig. 4: Definice indexu TVDI

Upraveno podle: ANDERSEN et al., 2002

TVDI je index, který při určování suchých a vlhkých povrchů využívá kombinace povrchové teploty (LST) s NDVI. Poprvé ho publikovali SANDHOLT et al. (2002). Jeho princip spočívá v interpretaci umístění pixelů uvnitř LST/NDVI prostoru.

Levá strana trojúhelníku na obr. Výše zastupuje holou půdu. Vrchní část je suchá, bez vypařování (evaporace) a tudíž s vysokou LST. Spodní část je naopak vlhká, s maximální evaporací a nízkou LST. Směrem doprava přibývá vegetace a evaporace se mění v transpiraci, klesá také povrchová teplota LST. Rostliny v pravé vrchní části trpí vodním stresem a neprobíhá zde tedy transpirace. V dolní části se pak vyskytuje zdravá vegetace, probíhá maximální transpirace a klesá teplota listů.

TVDI nabývá hodnot od 0 ve vlhkém okraji (wet edge) do 1 v suchém okraji (dry edge). Výpočet je následující (SANDHOLT et al., 2002):

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{a + bNDVI - T_{s_{min}}},$$

kde $T_{s_{min}}$ je minimální LST v trojúhelníku; T_s je pozorovaná LST v daném pixelu; NDVI je pozorovaný normalizovaný diferenční vegetační index; a a b jsou parametry definující suchý okraj.

3.10 VTCI (Vegetation Temperature Condition Index)

VTCI pracuje na obdobném principu jako TVDI a poprvé ho navrhli WANG et al. (2001) při monitorování vlhkostních podmínek v severozápadní Číně. Takto vypadá jeho matematická definice:

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI\ i.\max} - LST_{NDVI\ i}}{LST_{NDVI\ i.\max} - LST_{NDVI\ i.\min}},$$

kde:

$$LST_{NDVI\ i.\max} = a + bNDVI_i,$$

$$LST_{NDVI\ i.\min} = a' + b'NDVI_i,$$

kde $LST_{NDVI\ i.\max}$ a $LST_{NDVI\ i.\min}$ jsou maximální a minimální teploty pixelů, které mají stejnou hodnotu $NDVI_i$ ve studovaném regionu. $LST_{NDVI\ i}$ označuje povrchovou teplotu jednoho pixelu, jehož hodnota NDVI je $NDVI_i$. Koeficienty a , b , a' , b' definují tvar trojúhelníku.

VTCI nesouvisí pouze se změnami NDVI v oblasti, ale také se změnami LST pixelů se stejnou hodnotou NDVI. Hodnoty VTCI se pohybují v rozmezí od 0 do 1. Obecně čím nižší je hodnota VTCI, tím závažnější sucho se vyskytuje (WANG et al., 2001).

3.11 SADI (Comprehensive Index for Assessment of Agro-drought Severity)

SADI je komplexní index ke zhodnocení závažnosti zemědělského sucha. Vytvořili ho GAO et al. (2008) při monitorování sucha v provincii Guangdong na jihu Číny za použití satelitních dat ze senzoru MODIS a srážkových dat z pozemních meteorologických stanic.

Výpočet je založen na kombinaci indexů SDI a MPDI, kde SDI je upravená verze indexu WSVI a MPDI je vážený srážkový index PDI (Precipitation Distance Index) vypočtený ze srážkových údajů z osmi předchozích desetidenních období (v Číně je každý měsíc tradičně rozdělen do tří desetidenních částí). Pro jejich podrobnější podobu výpočtu lze odkázat na práci GAO et al. (2008), ze které je čerpáno.

Výsledný SADI má následující podobu:

$$SADI = B_1 \cdot SDI + B_2 \cdot MPDI,$$

kde B_1 a B_2 jsou váhové hodnoty SDI a MPDI ($B_1=0,6$; $B_2=0,4$). SADI nabývá hodnot 0 až 100 a je možno ho rozdělit do pěti tříd: 1 až 15 – kritické sucho, 15 až 30 – mírné sucho, 30 až 50 – nepatrné sucho, 50 až 70 – normální stav, 70 až 100 – vlhkost.

3.12 NDWI (Normalized Difference Water Index)

Tzv. normalizovaný diferenční vodní index (NDWI) je citlivý k míře obsahu vody uvnitř listů vegetace, a tedy k vodnímu stresu rostlin. K jeho výpočtu se využívá dvou blízkých

infračervených pásem (NIR) umístěných přibližně v 0,86 μm a 1,24 μm , což je vlnová délka v okolí absorpčního pásu vody (GAO, 1996):

$$NDWI = \frac{NIR(0,86\mu\text{m}) - NIR(1,24\mu\text{m})}{NIR(0,86\mu\text{m}) + NIR(1,24\mu\text{m})}$$

NDWI nabývá pozitivních hodnot pro zelenou vegetaci a negativních hodnot pro suchou vegetaci. Může být využit jako doplňkový index k NDVI (GAO, 1996).

GU et al. (2007) podotýkají, že NDWI vykazuje rychlejší odpověď k suchým podmínkám než NDVI.

3.13 NMDI (Normalized Multi-band Drought Index)

Index NMDI je navržen k monitorování půdní a vegetační vlhkosti a podobně jako NDWI využívá pásmo zahrnující vlnovou délku 860 nm. Nicméně místo jednoho absorpčního pásu vody, NMDI využívá rozdíl mezi dvěma absorpčními pásmy citlivými ke změnám v obsahu vody v rostlinách a půdě, umístěnými v krátkých infračervených vlnových délkách (SWIR) 1640 nm a 2130 nm (WANG a QU, 2007):

$$NMDI = \frac{NIR(860\text{nm}) - (SWIR(1640\text{nm}) - SWIR(2130\text{nm}))}{NIR(860\text{nm}) + (SWIR(1640\text{nm}) - SWIR(2130\text{nm}))}$$

Na holém nebo řídkce zarostlém povrchu index $NMDI \geq 0,7$ označuje suché podmínky. Vlhké podmínky nastávají při $NMDI < 0,6$. Na hodně zarostlých površích ($LAI \geq 2$) se NMDI zvětšuje téměř lineárně spolu s rostoucím obsahem vody v listech (WANG a QU, 2007).

3.14 Wetness

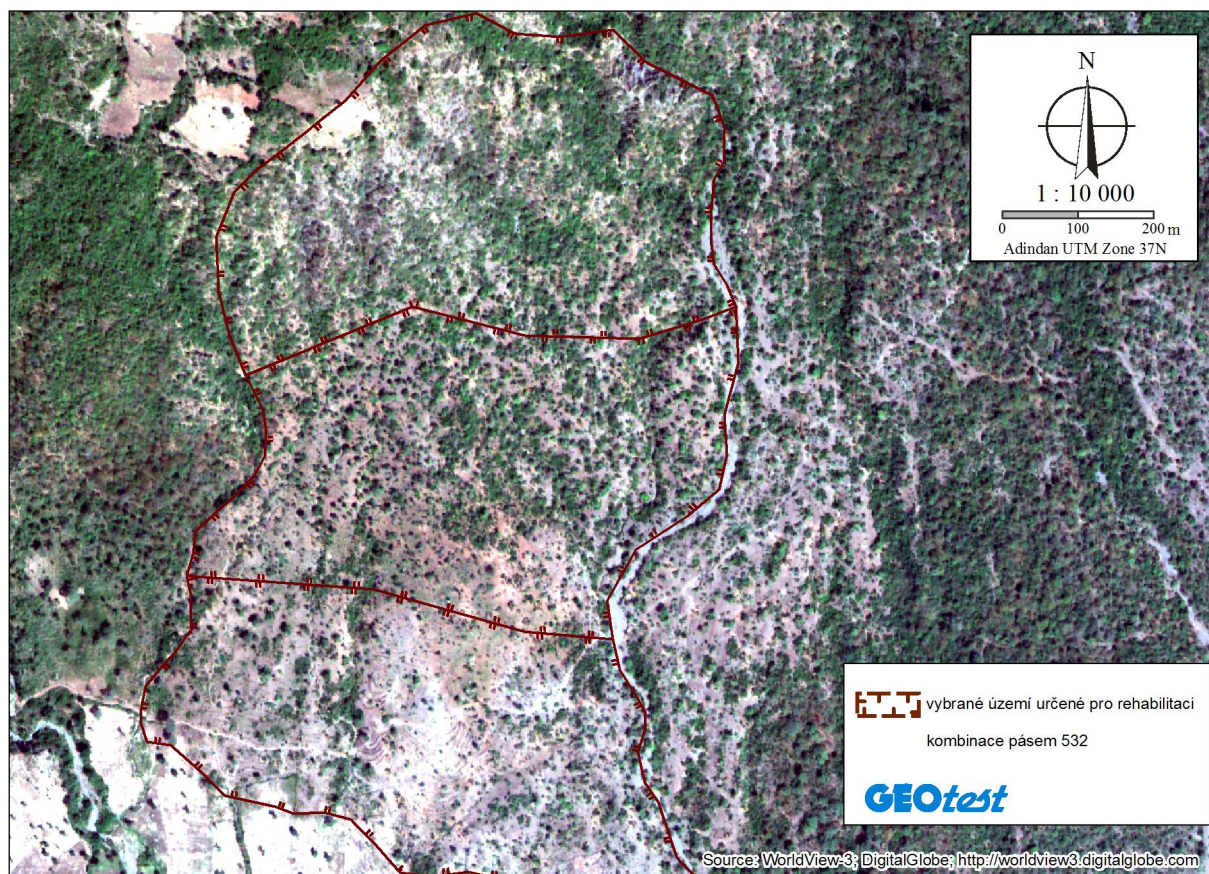
Spektrální index wetness je součástí transformace Tasseled Cap a lze ho využít pro určení obsahu vody v půdě bez vegetace. Hodnoty indexu rostou spolu se zvyšujícím se obsahem vody v povrchové vrstvě půdy. Jeho aplikací se zabývali například ŠŮRI et al. (1994) v jižní části Žitného ostrova na Slovensku s použitím údajů z družice Landsat Thematic Mapper.

4. Komentář k běžícím aktivitám

V současné době zpracováváme satelitní snímek za účelem analýz vegetačních indexů, které se zdají být klíčem k určení zdravotního stavu vegetace. Hledáme nejvhodnější vegetační index (indexy) pro multispektrální snímek ve vysokém prostorovém rozlišení ze snímku WorldView-3. Kromě zdravotního stavu vegetace nás velice zajímá indikace obsahu vody v půdě. Nepřímo se pokoušíme identifikovat podmáčené lokality a místa vykazující vyšší vlhkost půdy. Souvisí s tím velice snadná identifikace zavlažovaných (vlhkých) a nezavlažovaných (suchých) plantáží v nejnižších částech projektové lokality. Chceme tyto místa spolehlivě identifikovat i ve výše položených částech projektové oblasti.

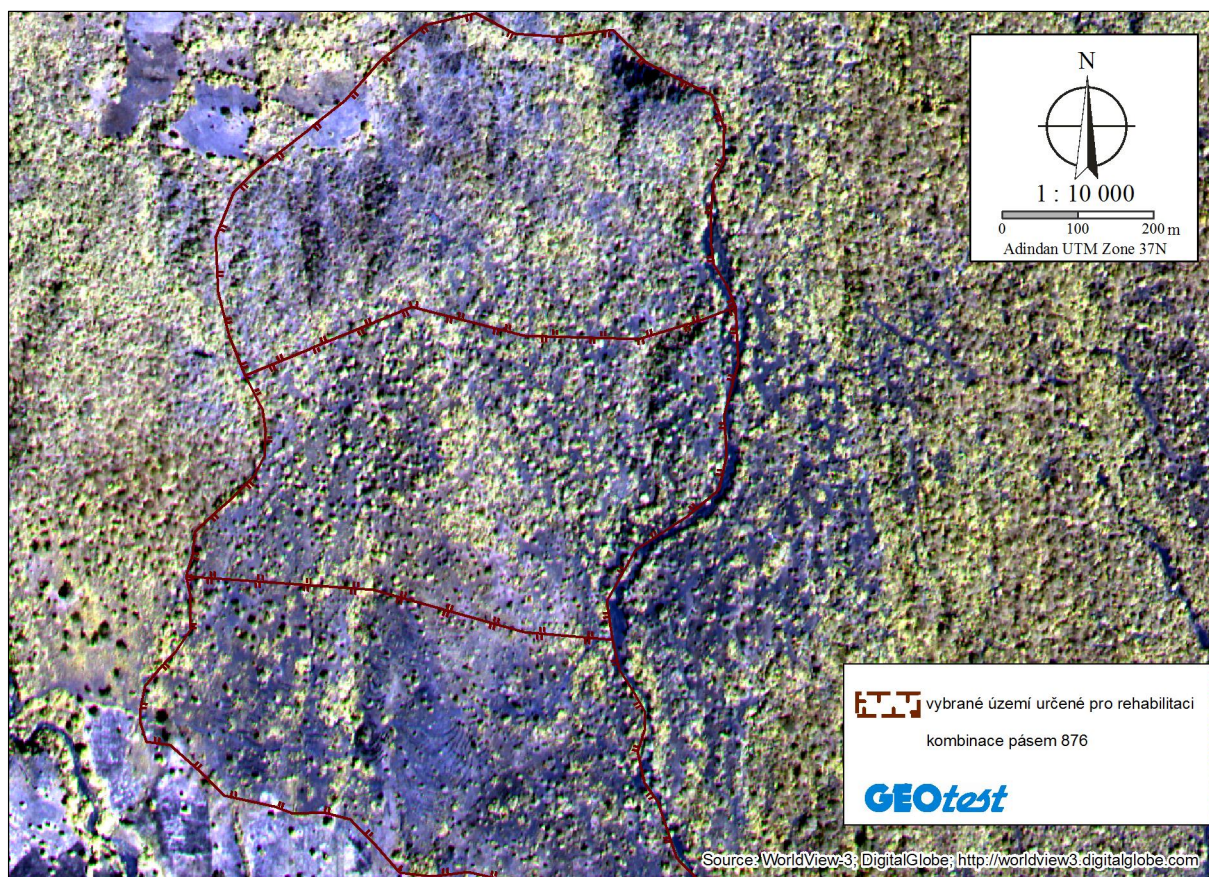
Vegetační indexy jsou nástrojem pro nalezení suchem sužovaných lokalit, jak původních zachovaných lesů a křovin, tak kulturních plodin. Bude následovat prolnutí s mapou indikující změny v krajině v posledních 30 letech z aktivity 1. 2. za účelem nalezení původních míst, kde se voda přirozeně zdržovala a srovnání s aktuálním stavem. Pokud to bude možné, právě toto jsou nejvhodnější lokality, kde budeme iniciovat realizaci nových vodních prvků za účelem zadržetí vody v krajině. Pokusíme se navázat na výstup aktivity 1. 2., konkrétně kapitolou 9. Závěru studie RUSLE MODEL (Obr. 36 Erosion risk map, including all RUSLE factors) a zjistit, co se děje s vegetací v erozně nejohroženějších částech projektové oblasti.

5. Příklady z probíhajícího zpracování



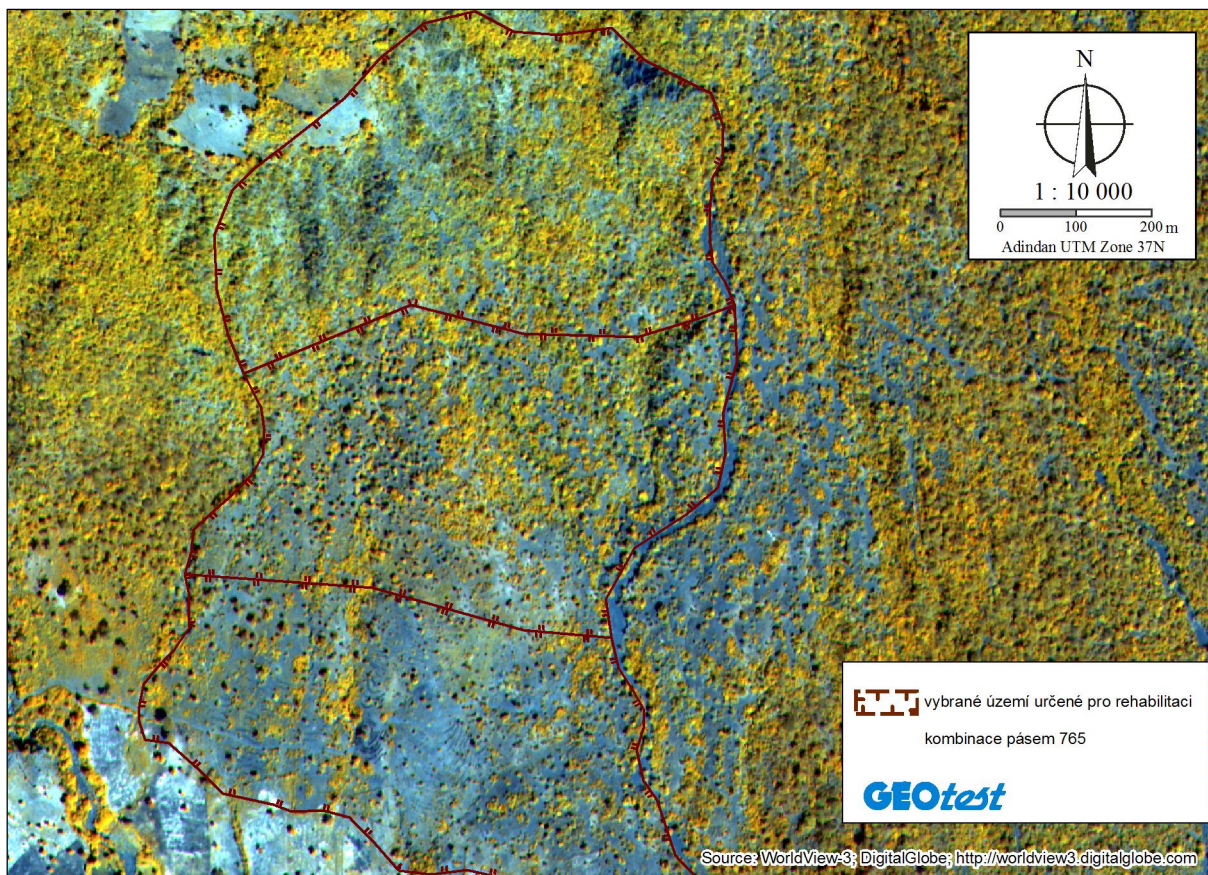
Obr. 5: Území určené pro rehabilitaci, kombinace pásem 5, 3, 2, (Red, Green, Blue).

Kombinace viditelného spektra. Vše se jeví v přirozených barvách, stejně jako viditelné pouhým lidským okem. Zdravá vegetace je zelená, sklizená pole světlá, nezdravá či uschlá vegetace je zobrazena hnědě nebo žlutě.



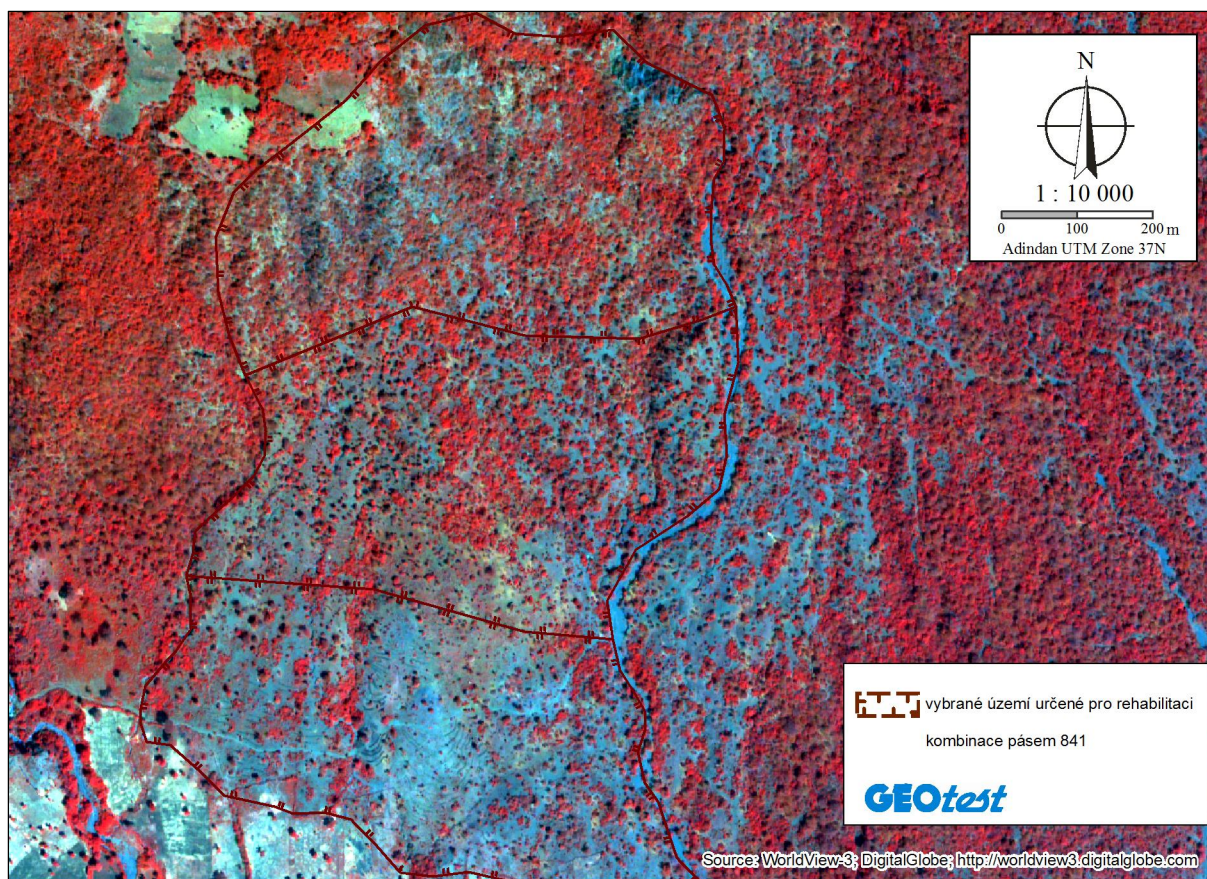
Obr. 6: Území určené pro rehabilitaci, kombinace pásem 8, 7, 6 (NIR2, NIR1, Red Edge)

Kombinace pásem se zaměřením na blízké infračervené spektrum. Zdůrazňuje vegetaci světle žlutou barvou. Umožňuje lépe ilustrovat rozdíly mezi vegetací, vodou a zastavěnými plochami vysokým stupněm kontrastu.



Obr. 7: Území určené pro rehabilitaci, kombinace pásem 7, 6, 5 (NIR1, RedEdge, Red)

Kombinace pro analýzy vegetace. Pokrývá oblast, kde typická je výrazná barva chlorofylu. Ilustruje vlastnosti zastoupené vegetačními indexy. Umožňuje detailní oddělení jednotlivých druhů vegetace. Jehličnaté či stálezelené stromy se jeví hnědozeleně, tráva a plodiny žluté až oranžově. Holé půdy a skály jsou výrazné v odstínech šedé a modré.



Obr. 8: Území určené pro rehabilitaci v kombinaci pásem 8, 4, 1 (NIR2, Yellow, Coastal)

Tato kombinace pásem poskytuje obsáhlý vhled do zastoupení různých typů krajinného pokryvu. Ideální kombinace na land use / land cover analýzy. Vegetace se jeví červená, holá půda a skály se jeví modře s výraznou variabilitou odstínů zdůrazňující změny struktury, skladby a typu vegetace.

6. Reference

Dobrovolný, P. 1998. Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 8021018127

GAJA, Pavel. Analýza půdní vlhkosti a charakteristik sucha prostředky DPZ [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-11-22]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Dobrovolný. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/270543/prif_m/>.

Gashaw, T., Teferi, B. & Mebrat, W., 2015. Vegetation Stress Detection Using GIS Techniques in East of Lake Tana, Ethiopia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 2(1), pp.8-10. Available at: <http://www.ijraf.org/pdf/v2-i1/2.pdf>

Gelagay, H.S., & Minale A.S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia.

Helden, U. (1987). An assessment of woody biomass, community forests, and use and soil erosion in Ethiopia. Lund: Lund University Press.

HONKOVÁ, Monika. Mapování vegetace s využitím spektrálních indexů [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-11-28]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Dobrovolný. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/106116/prif_m/>.

Richards, J.A. 1993. Remote Sensing Digital Image Analysis-An Introduction, 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlin.