

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Adéla SKIPALOVÁ

**EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ BIOLOGICKÉHO
OŽIVENÍ VODY Z MULTISPEKTRÁLNÍCH DAT**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Miřijovský

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Jakuba Miřijovského.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 15. května 2013

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakobovi Miřijovskému za podněty a připomínky při vypracování práce.

Vložený originál **zadání** bakalářské práce (s podpisy vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	6
ÚVOD	7
1 CÍLE PRÁCE.....	8
2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	9
2.1 Tetracam.....	9
2.2 Multispektrální kamera ADC	10
2.3 PixelWrench2	10
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	11
4 FYZIKÁLNÍ PODSTATA DPZ.....	14
4.1 Elektromagnetické záření	14
4.2 Elektromagnetické spektrum.....	15
4.2.1 Viditelné záření.....	15
4.2.2 Infračervené záření	16
4.3 Spektrální chování objektů.....	16
4.3.1 Spektrální chování vody	17
4.3.2 Spektrální chování vegetace	18
4.4 Vegetační indexy.....	20
5 PROVEDENÍ PRAKTICKÝCH EXPERIMENTŮ.....	21
5.1 Způsob zpracování dat	24
5.2 Experiment v reálné krajině	28
5.3 Senný nálev	29
5.4 Družicová data	30
6 VÝSLEDKY	32
6.1 Vliv typu vody na spektrální odrazivost	32
6.2 Vliv typu vody na NDVI.....	34
6.3 Vliv typu vegetace na spektrální odrazivost	35
6.4 Vliv typu vegetace na NDVI.....	37
6.5 Shrnutí výsledků.....	40
7 DISKUZE	41
8 ZÁVĚR	42
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
SUMMARY	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ADC	Agricultural Digital Camera
DPZ	Dálkový průzkum Země
IČ	Infračervené záření
NDVI	Normalized Differential Vegetation Index
NIR	Near-infrared (blízké infračervené záření)
PW2	PixelWrench2
RED	Červené světlo
RGB	Red Green Blue

ÚVOD

Dálkový průzkum Země (DPZ) je dnes velmi rozvíjeným vědeckým oborem, který se využívá pro mnoho aplikací v oblasti zemědělství, lesnictví, hydrologie, meteorologie, životního prostředí atd. Základem DPZ je pořizování snímků v různých částech spektra a zkoumání spektrálního chování různých objektů.

Tato práce se zabývá využitím dat z DPZ pro stanovení biologického oživení vody. Pod tímto pojmem se má na mysli stanovení přítomnosti různých typů vegetace na hladině a pod ní. Protože v reálné krajině bychom těžko našli všechny potřebné vzorky, které by bylo možno porovnávat za stejných podmínek, bylo zvoleno, že potřebná data se budou získávat experimentálně v laboratorních podmínkách. Na provedení tohoto experimentu se využívala data především z multispektrální kamery ADC od firmy Tetracam. Byl zkoumán vliv znečištění vody, typu vegetace a hloubky ponoření na stanovení oživení vody.

Po provedení experimentů v laboratorních podmínkách bylo, za pomoci výsledků z těchto experimentů, vyzkoušeno stanovení oživení vody i v reálné krajině.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zhodnotit a prakticky vyzkoušet možnosti využití dat dálkového průzkumu Země pro experimentální stanovení oživení vody.

První část bude obsahovat rešerši odborných prací, které se zabývají obdobnou tematikou. Druhá část bude obsahovat praktické experimenty stanovení oživení vody především z dat multispektrální kamery ADC od firmy Tetracam.

Praktické experimenty budou zkoumat vliv různě znečištěných typů vody na spektrální odrazivost a hodnoty NDVI různých typů vegetace (listnaté, jehličnaté, různý zdravotní stav) a změnu hodnot v závislosti na hloubce ponoření vegetace. Ze získaných dat budou sestaveny grafy závislosti spektrální odrazivosti, v blízkém infračerveném pásmu, různých typů vegetace a typů vody na hloubce ponoření. Další sestavené grafy budou posouzet, jak se mění hodnota vegetačního indexu NDVI a spektrální odrazivost v závislosti na typu vegetace a typu vody při ponoření do různé hloubky.

Hlavním cílem je z výsledků experimentů stanovit možnosti zjištění biologického oživení vody a prakticky vyzkoušet, jestli má na oživení vody vliv různě znečištěný typ vody a typ vegetace a zjistit do jaké hloubky má význam experiment provádět.

2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Postup realizace experimentu probíhal z hlediska času v několika etapách. V první fázi bylo nutné seznámit se s teorií fyzikální podstaty DPZ. Nejužitečnější literaturou byl Dálkový průzkum Země (Dobrovolný, 1998) a Dálkový průzkum Země 10 (Kolář a kol. 1997). Dalším krokem bylo nastudování manuálu k ovládání multispektrální kamery ADC. Všechna data byla pořízena touto multispektrální kamerou, která je schopna zachytit i část blízkého infračerveného spektra. Než byla provedena vlastní realizace pořízení dat, musel se experiment připravit. Aby bylo možné provádět porovnávání vlivu různých typů vod, byly zvoleny tři nádoby a byly napuštěny různě znečištěnou vodou. K biologickému oživení vody bylo použito listů ze stromů. Vzorke byly zvoleny se záměrem, aby obsahovaly listy v různém zdravotním stavu, zástupce listnatých a jehličnatých stromů. Listy byly připevněny na tenkou dřevěnou destičku a ke spodní straně desky bylo připevněno závaží. Pod toto závaží se vložily podložky. Postupným odebíráním podložek byly dosaženy různé hloubky ponoru. Každý typ vegetace byl vždy nasnímán ve všech třech typech vody a ve všech hloubkách. Bylo pořízeno přes 130 snímků. Poté bylo nutné seznámit se se softwarem PixelWrench2, ve kterém se pořízená data zpracovávala. Z každého snímku byla zjištěna průměrná hodnota odrazivosti v pásmu NIR a hodnota vegetačního indexu NDVI.

Ke stanovení oživení vody je využívána vlastnost, kdy čistá voda má v pásmu NIR odrazivost blízkou nule, kdežto vegetace má v tomto pásmu naopak nejvyšší odrazivost. Hodnoty NDVI se pohybují v rozmezí hodnot -1 až 1. Hodnota -1 představuje čistou vodu bez příměsí. Pokud se ve vodě nacházejí nějaké biologické nebo mechanické látky, NDVI stoupá. Ze získaných hodnot bylo vytvořeno 25 grafů v programu MS Excel, ze kterých byly vyhodnocovány výsledky.

2.1 Tetracam

Tetracam je americká firma sídlící v Chatsworth (USA). Představení světově první digitální kamery (Dycam Model1) pro komerční využití v roce 1989 představuje začínající novou éru ve fotografování. Tetracam vynalezl první multispektrální digitální kameru pro komerční využití za dostupnou cenu, pro dálkový průzkum Země využitý v zemědělství. Tetracam nabízí několik typů kamer s různými parametry. K této práci byl využit typ kamery ADC (tetracam.com, 2011).



Obr. 2.1 Logo firmy Tetracam (Tetracam, Inc., 2011).

2.2 Multispektrální kamera ADC

Na rozdíl od běžné digitální kamery, která je schopna zachytit pouze viditelnou část spektra R-G-B, multispektrální kamera Agricultural Digital Camera (ADC) je schopna zachytit viditelnou část spektra od vlnové délky 520 nm (zelené světlo) a blízkou infračervenou část spektra vlnové délky až do 920 nm. Není schopna zachytit vlnové délky modrého světla. Modré světlo nahrazuje blízkým infračerveným NIR-R-G (odpovídající pásmům z Landsat TM2, TM3, TM4). Jedná se o digitální kameru, která obsahuje jeden senzor s rozlišením 3,2 MPx, rozměry snímků jsou 2048 x 1536 Px. Výsledné snímky jsou ukládány v nekomprimovaném 10 bit formátu RAW10. Prvořadé použití této kamery je určeno k zaznamenávání spektrální odrazivosti vegetačního krytu a provádění vegetačních analýz. Výsledné snímky jsou vhodné k určování několika vegetačních indexů (Tetracam Inc. 2011).



Obr. 2.2 Multispektrální kamera ADC.

2.3 PixelWrench2

PixelWrench2 (PW2) je software vytvořený firmou Tetracam Inc. Slouží uživatelům Tetracam kamer, se kterými je dodáván. Je to mocný editační program pro úpravu a vyhodnocení snímků se specifickými nástroji pro práci s multispektrálními snímky pořízenými kamerou Tetracam ADC. Umožňuje extrahovat vegetační indexy jako je NDVI, SAVI. PW2 dokáže otevřít specializované formáty snímků DCM10, RAW10, RAW8 a také několik dalších standardních obrazových souborových typů (BMP, JPEG, TIF, PNG,...). Formáty dat RAW z kamery ADC jsou v podstatě kolekce surových hodnot pixelů, které musí být převedeny do bitové mapy takzvaných falešných barev. Jde o posunutí pásem, kdy červené světlo je nahrazeno blízkým infračerveným (NIR), červené se posune na místo zeleného a zelené na modré. Z pravých barev RGB tedy chybí modré světlo. To má za následek zobrazení vegetace červeně, což je charakteristické pro většinu multispektrálních snímků. Jde o nejběžnější způsob reprezentování snímku pořízeného z ADC (Tetracam Inc. 2011).

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Dálkový průzkum Země je velmi rozvíjeným a využívaným oborem. Významně zasahuje do celé řady oborů a data z DPZ se využívají v mnohých aplikacích.

Tab. 1 Příklady využití DPZ (Gisat / Aplikační oblasti, 2012).

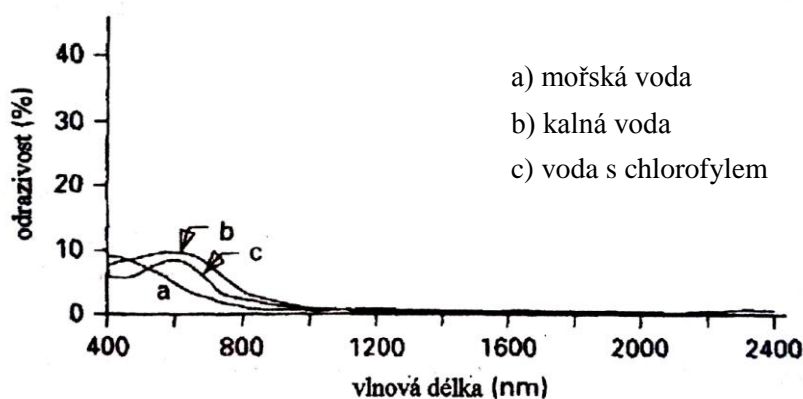
Zemědělství	<ul style="list-style-type: none">· mapování zemědělských plodin a sledování jejich zdravotního stavu· odhady zemědělské produkce
Lesnictví	<ul style="list-style-type: none">· sledování lesní těžby (mapování odlesnění)· klasifikace lesních druhů a typů, sledování jejich stavu· hodnocení škod způsobených požáry
Geologie a geomorfologie	<ul style="list-style-type: none">· určení ploch pokrytých sněhem a ledem· zjišťování nalezišť nerostných surovin· zjišťování dezertifikace
Meteorologie	<ul style="list-style-type: none">· předpověď počasí a monitorování atmosférických jevů
Pedologie	<ul style="list-style-type: none">· mapování půdní eroze
Hydrologie	<ul style="list-style-type: none">· mapování záplav a záplavových oblastí· zjišťování kalnosti vod a jejich znečištění
Oceánografie	<ul style="list-style-type: none">· detekce mořských proudů, hloubka oceánu· mapování změn pobřežní čáry· teplota vody, výskyt planktonu a kvalita vody
Životní prostředí	<ul style="list-style-type: none">· sledování vlivu činností člověka
Urbanismus	<ul style="list-style-type: none">· mapování rozvoje měst, dopravních sítí
Kartografie	<ul style="list-style-type: none">· topografické a tematické mapování, tvorba digitálních modelů terénu

Na využití dat z mutlispektrální kamery ADC pro stanovení biologického oživení vody nebyly nalezeny žádné práce. Provedení a výsledky praktického experimentu byly jedinečné a tudíž nelze ověřit správnost jejich výsledků s jinými pracemi.

V publikaci Dálkový průzkum Země 10 (Halounová a kol. 1997) se autoři zabývají podobnou problematikou. Spektrální charakteristiky různých pozemských látek a objektů jsou zjišťovány experimentálně v laboratorních i polních podmínkách. Dostatečně přesný model spektrálních vlastností listů založený na znalosti spektrálních vlastností jednotlivých substrátů zatím nebyl vytvořen, a tak se jeho projev zjišťuje experimentálně.

Vyšší propustnost vody v krátkovlnné oblasti viditelného záření může být použita pro získání určité informace o dnu vodní nádrže. Měřením na vlnové délce 0,5–0,6 μm lze získat v čisté vodě údaje z hloubky 10–15 m. S rostoucí vlnovou délkou záření se povrchová vrstva vody zmenšuje, takže např. v pásmu 0,8–1,1 μm dosahuje jenom 10 cm.

Pokud se však ve vodě vyskytují jakékoliv další částice mechanických nebo biologických příměsí, záření se na nich odráží, což přispívá ke zvýšení odrazivosti vodní plochy. Takovou příměsí může být plankton obsahující chlorofyl. Jeho výskyt způsobuje snížení odrazivosti v modré části spektra a současně zvýšení odrazivosti ve žlutozelené části (obr. 3.1). S přibývajícím obsahem chlorofylu se pásmo minimální absorpce přibližuje asymptoticky k vlnové délce minimální absorpce chlorofylu na 0,56 μm . Následkem toho je výraznější barevná změna vody způsobená jen nízkou koncentrací (do 2–3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) chlorofylu. Tato závislost umožňuje sledování koncentrace vodních řas.



Obr. 3.1 Vliv chlorofylu a suspenze na odrazivost vody (Halounová a kol. 1997).

Obdobně způsobuje zvýšenou odrazivost vody suspenze, včetně posunutí maxima odrazivosti k delším vlnovým délkám (viz. obr. 3.1). Přítomnost suspenzí tak maskuje spektrální projevy dna, které například pro turbiditu řádově 100 mg/litr jsou zcela zanedbatelné pro hloubky větší než 30 cm. Vedle chlorofylu a suspenze se spektrálně projevují i další příměsi přírodního či umělého původu, které určují kvalitu vody např. výskyt olejových skvrn (Halounová a kol. 1997).

Aplikací DPZ pro vodní zdroje a detekci znečištění vody se zabýval Aronoff ve své publikaci Remote Sensing for Gis Managers. Interpretace snímku z DPZ může být použita mnoha různými způsoby pro monitorování kvality, kvantity a geografické distribuce tohoto zdroje, detekci znečištění, hodnocení eutrofizace jezer nebo pro odhad škod po povodních. Pro použití těchto aplikací je důležité znát základní vlastnosti interakce slunečního záření s čistou vodou. Obecně je nejvíce slunečního záření, které dopadne, čistou vodou absorbováno do 2 metrů od hladiny. Stupeň absorbování je vysoce závislý na vlnové délce. Ve vlnových délkách blízkého infračerveného pásma je absorpce

pouze v několika centimetrech. Analýzy oblastí pod hladinou jsou často umožněny použitím zobrazovacích systémů citlivých na kratší vlnové délky od 0,48 do 0,6 μm . Například vynikající snímky detailu dna v čisté oceánské vodě byly získány použitím normálních barev a snímku v NIR. Bílé písčité dno pod čistou oceánskou vodou se bude zdát modrozelené použitím ve viditelné části spektra a modré použitím infračerveného. Detaily dna jsou poněkud ostřejší použitím infračerveného snímku, protože modré vlnové délky jsou odfiltrovány, tedy vlastnosti podvodního oparu jsou minimalizovány.

Každá voda vyskytující se v přírodě obsahuje nějaké nečistoty. Ne všechno znečištění je důvod lidské aktivity. Příčiny znečištění mohou být organického původu, průmyslovým odpadem, vodními řasami, vodním plevelem, chemickým odpadem, minerálními látkami, atd.

Je zřídka možné udělat přesnou identifikaci typu a koncentraci znečištění pouze interpretací viditelného snímku. Nicméně je možné použít viditelný snímek k identifikaci bodu, ze kterého znečištění pochází. V některých případech, jako je případ sedimentů rozpuštěných ve vodě, je možné udělat platné pozorování koncentrace sedimentů použitím kvantitativní radiometrie spolu s laboratorní analýzou vybraných vzorků vody (Aronoff, 2005).

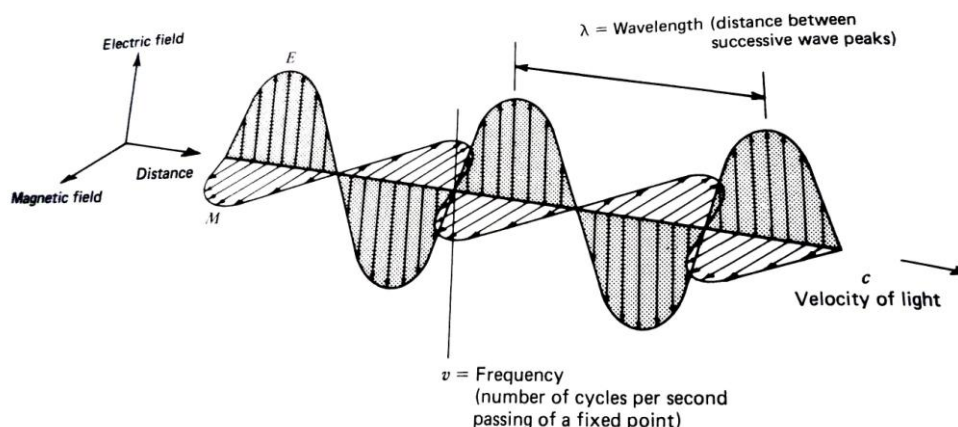
4 FYZIKÁLNÍ PODSTATA DPZ

Mnoho autorů uvádí různé definice DPZ. Vymezení od autorů Lillesanda a Kiefera (2000): Dálkový průzkum je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu.

Každý objekt na Zemi je vystaven působení elektromagnetického záření. Zdrojem tohoto záření je z největší části Slunce. Část tohoto záření je objekty odražena, pohlcena a vedena. Každý objekt má svůj typický průběh spektrálního chování, který je již u většiny typů znám. Při DPZ pořizujeme snímky území a zkoumáním interakce elektromagnetického záření s objekty na snímcích jsme schopni usoudit, o jaké typy objektů se jedná (např. vegetace, voda, půda...).

4.1 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření je sinusoidní vlnění šířící se prostorem v podobě elektromagnetické vlny rychlostí světla (c). Elektromagnetická vlna se skládá ze dvou částí. Z elektrické vlny (E) a magnetické vlny (M). Tyto vlny jsou na sebe kolmé ve směru postupu vlny (obr. 4.1).



Obr. 4.1 Znárodnění elektromagnetické vlny (Lillesand, Kiefer, 2000).

Elektromagnetické záření je charakterizováno vlnovou délkou (λ), což je vzdálenost od jednoho vrcholu vlny k dalšímu a počtem vrcholů procházejících pevným bodem za jednotku času - frekvencí vlny (ν). Ze základů fyziky lze tento vztah vyjádřit obecnou rovnicí:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

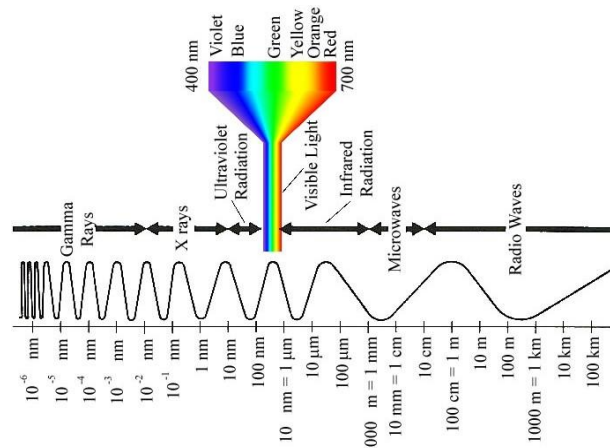
Rychlost světla (c) je definovaná konstanta 3×10^8 metrů za sekundu (Lillesand, Kiefer, 2000).

4.2 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické záření se v přírodě vyskytuje ve spojitém spektru vlnových délek. Podle vlnové délky rozlišujeme několik základních druhů elektromagnetického záření. Hranice mezi jednotlivými druhy záření není ostrá. Jejich přesné vymezení se u jednotlivých autorů liší. Rozhraní na sebe plynule navazuje, někdy se i překrývá. Elektromagnetické záření, o vlnové délce v rozmezí přibližně 10^{-7} až do 10^9 μm , můžeme rozdělit na 6 základních oblastí (Dobrovolný, 1998).

Tab. 2 Rozdělení elektromagnetického spektra podle vlnové délky (Dobrovolný, 1998).

Typ záření	Vlnová délka (λ)
Ultrafialové záření	0,1 – 0,4 μm
Viditelné záření	0,4 – 0,7 μm
Infračervené záření blízké	0,7 – 1,4 μm
Infračervené záření střední	1,4 – 3 μm
Tepelné záření	3 μm – 1 mm
Mikrovlnné záření	1 mm – 1 m



Obr. 4.2 Rozdělení elektromagnetického záření podle vlnových délek (zdroj: <http://www.lib.utexas.edu/chem/info/spectrum.html>).

4.2.1 Viditelné záření

Viditelné záření je část elektromagnetického spektra, na kterou je lidské oko citlivé. Toto záření také nazýváme světlem. Viditelné světlo zabírá část elektromagnetického spektra o vlnové délce od 0,4 do 0,7 μm :

0,4–0,5 μm modré světlo

0,5–0,6 μm zelené

0,6–0,7 μm červené

Světlo rozdělujeme na barevné spektrum (obr. 4.2). Ačkoliv viditelné spektrum tvoří pouze velmi malou část spektra, je velmi významné pro dálkový průzkum Země.

4.2.2 Infračervené záření

Infračervené záření je část elektromagnetického spektra o vlnové délce 0,7 až 100 μm . Je rozděleno podle vzdálenosti od viditelného záření na tři pásma (tab. 3).

Tab. 3 Pásma v oblasti infračerveného záření (Halounová a kol. 1997).

Pásmo	Vlnová délka
Blízké IČ	0,7 – 1,3 μm
Střední IČ	1,3 – 4 μm
Daleké IČ (tepelné)	4 – 25 μm

Blízké IČ záření je velmi důležité pro studium vegetace především v lesnictví a zemědělství. Voda se v těchto vlnových délkách chová jako téměř absolutně černé těleso.

Střední IČ záření se hodí pro studium vegetace a geologie. Rozpoznání sněhu a ledu, k odlišení oblačnosti, studium zdravotního stavu vegetace.

Tepelné IČ záření umožňuje získávat informace o tepelném záření objektů. Může se využít například k zjišťování povrchové teploty oceánů, mapování tepelného znečištění řek a jezer, lokalizace lesních požárů (Dobrovolný, 1998).

4.3 Spektrální chování objektů

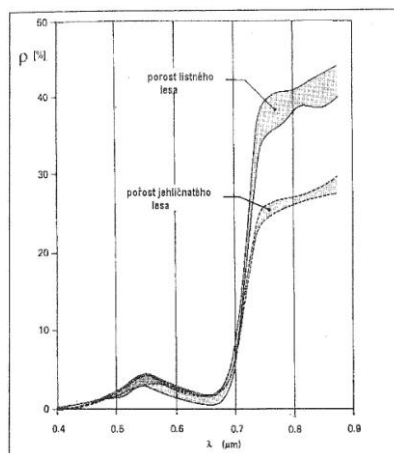
Elektromagnetické záření dopadající na zemský povrch je objekty z části absorbováno, z části vedeno a z části odraženo zpět do atmosféry. Především množství odraženého záření se značně mění v závislosti na chemickém složení, na fyzikálních vlastnostech objektů a na stavu jeho okolí (např. propustnost atmosféry). Další proměnou, na které závisí množství odraženého záření, je jeho vlnová délka. Podle těchto vlastností se každý typ objektu vyznačuje svoji vlastní spektrální charakteristikou. Dá se stanovit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou dopadajícího elektromagnetického záření. Tuto závislost označujeme jako spektrální křivku odrazivosti. Poměr intenzity odraženého záření (M_r) a intenzity dopadajícího záření (M_i) na určité vlnové délce (λ) se nazývá spektrální odrazivost $\rho(\lambda)$, udává se v procentech:

$$\rho(\lambda) = \frac{M_r(\lambda)}{M_i(\lambda)} * 100[\%] \quad (2)$$

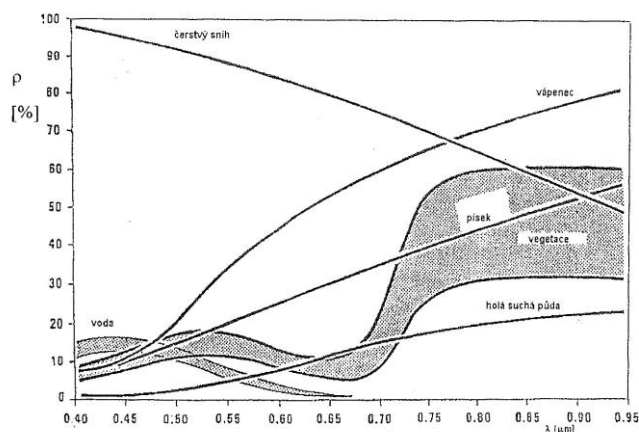
Spektrální křivka je tedy množina bodů $\rho(\lambda)$ pro určitý rozsah vlnových délek.

Křivka je projevem spektrálního chování objektů. Pro stejnou třídu objektů (vegetace, půda, voda, ...) má vždy typický průběh (obr. 4.4). Křivky pro různé objekty jsou zjišťovány experimentálně v laboratořích a pro většinu z nich jsou již předem známy. To umožňuje porovnávat křivky neznámých objektů se známými a identifikovat, o jaký druh objektu se jedná.

Pro správnou identifikaci je nezbytné zvolit vhodný interval vlnových délek, ve kterém se budou objekty pozorovat. Vhodný interval se stanoví podle tvaru křivky odrazivosti. Například pokud budeme pozorovat listnaté a jehličnaté stromy ve viditelném spektru (0,4–0,7 μm), nebude možné je od sebe rozlišit. Naopak, zvolíme-li blízké infračervené pásmo (0,7–1,4 μm), jsou jejich křivky odrazivosti natolik odlišné, že lze jednoznačně stromy odlišit (obr. 4.3) (Dobrovolný, 1998).



Obr. 4.3 Spektrální křivky listnatého a jehličnatého lesa (Dobrovolný, 1998).



Obr. 4.4 Spektrální chování vybraných objektů (Dobrovolný, 1998).

4.3.1 Spektrální chování vody

Voda se v přírodě vyskytuje ve třech skupenstvích, v kapalném, pevném (sníh a led) a plynném. Je velmi důležitou součástí povrchu Země a vyskytuje se téměř na většině snímků z DPZ. Z hlediska odrazivosti jsou (podle Dobrovolného, 1998) pro vodu typické tyto skutečnosti:

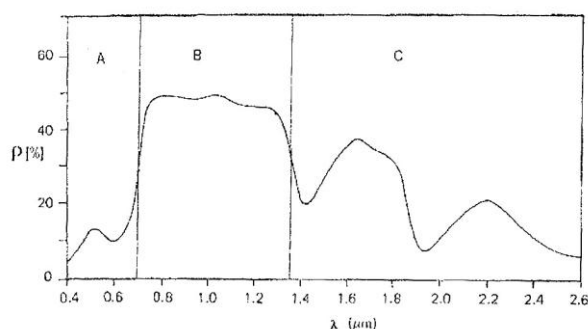
- homogenní látka
- výskyt v různých skupenstvích, jejichž odrazivost se liší
- odrazivé vlastnosti jsou odlišné od jiných běžných povrchů
- modifikuje spektrální chování všech látek, v nichž je přítomna

V kapalném skupenství je spektrální odrazivost velmi malá ve všech vlnových délkách (obr. 4.4). Maximální propustnost vody je v oblasti modrého světla kolem 0,48 μm a klesá dále s vlnovou délkou. V této vlnové délce proniká až do hloubky 20 m v čisté vodě, díky této propustnosti můžeme získat informace o dnu vodní nádrže. S rostoucí vlnovou délkou 0,8 až 1,1 μm proniká asi jen do hloubky 10 cm. V IČ části spektra odrazivost vody bez příměsí ještě více klesá. Jinak se voda chová téměř jako absolutně černé těleso, tedy neodráží skoro žádné světlo, sluneční záření proniká pod hladinu a většina je pohlcena. Díky tomu lze vodu v tomto spektru snadno rozeznat od jiných povrchů. Jeví se jako nejtmaší plochy.

V tuhém skupenství má voda ve viditelném a NIR spektru velmi vysokou odrazivost. Do vlnové délky 1,1 μm se spektrální odrazivost sněhu a ledu téměř neliší. Sníh a led lze od sebe jednoznačně odlišit až v delších vlnových délkách ve středním infračerveném spektru. Spektrální odrazivost sněhu převyšuje odrazivosti veškerých povrchů. Přítomnost vody mění spektrální chování každého objektu (Dobrovolný, 1998).

4.3.2 Spektrální chování vegetace

Vegetace je velmi důležitou součástí DPZ, neboť se vyskytuje téměř na všech snímcích zemského povrchu. Obvyklé typy vegetace jsou travní porosty, pole s určitou zemědělskou plodinou, louky, pastviny, jehličnaté či listnaté lesy. Přestože jde vždy o vegetaci vykazující určité společné rysy, jednotlivé typy vegetace se od sebe liší svým spektrálním chováním. K charakterizování spektrálního projevu porostu určitého rostlinného druhu se využívá odrazových vlastností různých částí rostliny (listy, kmeny stromů, větve, květy, plody, ...) i jejího pozadí. Nejčastěji se využívá odrazových vlastností listů.



Obr. 4.5 Křivka spektrálního chování „průměrného“ listu ve viditelné a infračervené části spektra, A – oblast pigmentační absorpce, B – oblast buněčné struktury, C – oblast vodní absorpce (Dobrovolný, 1998).

Spektrální vlastnosti listů jsou ovlivněny jednotlivými prvky listu, jako je buněčná tekutina, celulóza, tuky, lignin, proteiny, cukry a oleje. Spektrální projevy jednotlivých druhů rostlin se od sebe liší, ale vesměs vykazují určitou spektrální charakteristiku typickou pro vegetaci. Zatím nebyl vytvořen dostatečně přesný průběh spektrálního projevu jednotlivých typů vegetace, proto se spektrální chování zjišťuje experimentálně (Halounová a kol., 1997).

Spektrální odrazivost vegetace ovlivňuje především:

- vnější uspořádání vegetačního krytu
- vnitřní struktura jednotlivých částí rostlin
- vodní obsah
- zdravotní stav
- vlastnosti půdního substrátu

Průběh spektrální křivky odrazivosti listu (obr. 4.5) lze rozdělit do tří oblastí, které odpovídají faktorům určujícím velikost spektrální odrazivosti.

A oblast pigmentační absorpce (0,4–0,7 μm)

Odražené záření v této oblasti je velmi málo intenzivní, protože viditelné spektrum je v listu z větší části absorbováno nebo listem projde. Průběh spektrální křivky odrazivosti ovlivňují především pigmentační látky. Nejrozšířenější látkou, která může tvořit až 65 % listového pigmentu u rostlin, je chlorofyl. Chlorofyl pohlcuje 70–90 % dopadajícího záření v modré (0,4–0,5 μm) a červené (0,6–0,7 μm) části spektra. Mezi těmito dvěma pásy pigmentační absorpce se nachází maximum odrazivosti v okolí vlnové délky zeleného světla 0,54 μm . To je příčinou zelené barvy rostlin ve vegetačním období. Dalšími pigmentačními látkami, které mají vliv na odrazivost, jsou karoten, xantofyl a anthokyan. Stárnutí rostlin se projevuje úbytkem chlorofylu a stává se převažující vliv karotenu a xantofylu. Díky tomu se listy zbarvují dožluta. Některé rostliny místo chlorofylu produkují anthokyan, díky němuž se zbarví dočervena (Halounová a kol. 1997).

B oblast buněčné struktury (0,7–1,3 μm)

V této oblasti blízkého infračerveného spektra dochází k velmi vysokému nárůstu odrazivosti. To má značné využití v DPZ. Pořízené snímky v této části spektra dávají nejlepší možnosti k rozpoznání vegetace od ploch jiných objektů, ale také rozlišení jednotlivých druhů vegetace. Spektrální chování jednotlivých druhů rostlin může být ve viditelné části spektra velmi podobné a tudíž od sebe jednoznačně nerozeznatelné (obr. 4.5). Hlavním faktorem ovlivňujícím odrazivost je morfologická struktura listů, která je u jednotlivých typů vegetace odlišná. Vysoká odrazivost v NIR části spektra je způsobena několikanásobným odrazem uvnitř listu a velmi nízkou pohltivostí buněk. Odrazivost je maximální při 6–8 vrstvách listů. Toho se často využívá k určení míry hustoty vegetačního krytu. Rozdílných odrazivostí vegetace v červené části spektra a blízké infračervené části spektra se využívá k určení vegetačních indexů (RVI, NDVI, ...), které mohou ukazovat míru přítomnosti zelené hmoty či zdravotní stav.

C oblast vodní absorpce (1,3–3 μm)

Spektrální odrazivost v oblasti vodní absorpce (střední IČ pásmo) je formována výraznými absorpčními pásy vody se středy na vlnových délkách přibližně 1,4 μm , 1,9 μm a 2,7 μm . Lokální maxima odrazivosti se nacházejí na vlnových délkách 1,6 μm a 2,2 μm . V těchto vlnových délkách se nejvíce projeví změny ve vodním obsahu rostlin,

např. vodní stres. Pokles vodního obsahu způsobuje nárůst odrazivosti, mění vnitřní strukturu listu a obsah chlorofylu. Kromě toho také odrazivost závisí na tloušťce listu (Dobrovolný, 1998).

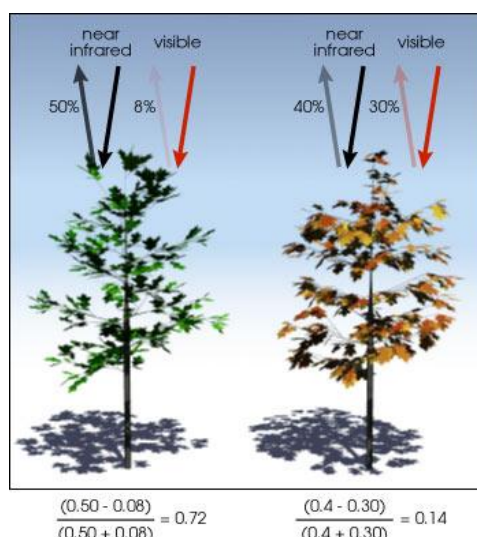
4.4 Vegetační indexy

Prudký nárůst odrazivosti v blízké infračervené části spektra je pro vegetaci zcela typický. Rozdílných odrazivostí naměřených v červené části spektra a blízké infračervené části se používá k výpočtu vegetačních indexů. Vegetační index je ukazatelem míry přítomnosti zelené hmoty a zdravotního stavu vegetace. Hodnoty vegetačního indexu se pohybují v rozmezí od -1 do 1. Čím vyšší hodnota, tím je vegetace zdravější a nachází se v ní více zelené hmoty (Dobrovolný, 1998).

NDVI - Normalizovaný diferenční vegetační index (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

NIR - odrazivost v blízkém infračerveném pásmu, RED - odrazivost v červeném pásmu.



Obr. 4.6 Spektrální odrazivost zdravé vegetace a vegetace vystavené stresu (zdroj: <http://earthobservatory.nasa.gov>).

Zdravá vegetace (vlevo), obsahující chlorofyl, pohlcuje většinu viditelného světla, které dopadá a odráží velkou část blízkého infračerveného světla. Nezdravá nebo řídká vegetace (vpravo) odráží více viditelného světla a méně v blízké infračervené části spektra. Výpočet (pod obr. 4.6) ukazuje rozdílné hodnoty NDVI vegetace (earthobservatory.nasa.gov, 2012).

5 PROVEDENÍ PRAKTICKÝCH EXPERIMENTŮ

V souladu s cíli uvedenými v kapitole 1 bylo zapotřebí získat pomocí multispektrální kamery potřebná data. Bylo nutné nasnímat několik typů vod, které jsou odlišně oživeny biologickým materiálem. Protože v reálných podmínkách bychom těžko našli všechny požadované vzorky vod, bylo zvoleno, že potřebná data se budou získávat experimentálně v laboratorních podmínkách.

Aby bylo možné provádět porovnávání vlivu různých typů vod, byly zvoleny tři nádoby. Jednalo se o kruhové nádoby o průměru 60 cm, výšce 45 cm a o objemu 75 l. Pro přehlednost a z důvodu zdokumentování byly označeny písmeny A, B, C. Tyto tři nádoby byly napuštěny třemi různými typy vody. Do nádoby A byla napuštěna pitná čistá voda. Do nádoby B byla nabrána mírně zakalené voda z řeky Třebovky, protékající obcí Rybník. Do nádoby C byla nabrána kalná voda z chovného rybníka Hvězda, nacházející se v obci Třebovice. Voda z řeky a z rybníka musela být do nádob přepravena v kanystru. Všechny experimenty byly provedeny v těchto třech typech vody, u kterých se předpokládá různé znečištění. Znečištění bylo posouzeno subjektivním dojmem, ale dá se předpokládat (obr. 5.2), že voda v nádobě A neobsahuje žádné biologicky aktivní látky, je průzračná, v nádobě B je malé množství biologických a mechanických látek, je mírně zakalená a v nádobě C je více biologických a mechanických látek (ve srovnání s B), je zakalená. K přesnému určení složení vody by bylo zapotřebí provést laboratorní rozbor, což není pro účely této práce nezbytně nutné.



Obr. 5.1 Napuštění čisté vody, voda v řece Třebovce, přepravování vody do nádob.



Obr. 5.2 Nádoby A, B, C naplněné vodou, rozpoznatelné různé znečištění.

Jako materiál k biologickému oživení vody bylo použito listů ze stromů (obr. 5.3). K porovnání byly zvoleny typy listnatých a jehličnatých stromů, listy s různým obsahem chlorofylu, zežloutlé listy s obsahem karotenu a suché listy.



Obr. 5.3 Zvolené typy vegetace k biologickému oživení vody.

Aby bylo možné stanovit vliv hloubky ponoření na spektrální odrazivost, bylo nutné vymyslet metodu, jak tyto vzorky potopit do předem definované hloubky ve všech nádobách.

Při praktickém provedení tohoto experimentu se toto objevilo jako technický problém. Listy byly připevněny pomocí sešivacích svorek na tenkou dřevěnou destičku kruhového tvaru. Deska byla provrtána na třech místech a pomocí provázku bylo zesponu desky připevněno závaží. Délka provázku měla udávat požadovanou hloubku ponoření. Po vložení do nádoby s vodou závaží kleslo na dno a listy se potopily. Výsledek tohoto postupu nebyl uspokojivý. Díky nestejně délce provázků nebyly listy ve vodorovné poloze. Dalším problémem bylo potopení listů, například o 10 cm níže zkrácením provázku. Nepodařilo se docílit vždy stejné hloubky potopení ve všech nádobách. Proto byl tento způsob provedení zavrhnut.

Lepší možností se ukázalo řešení, kdy bylo přivázáno závaží přímo ke spodní straně desky (obr. 5.4). Pod toto závaží se v nádobě podložilo 5 distančních podložek o výšce 6 cm (obr. 5.5). Postupným odebráním podložek byly dosaženy hloubky ponoru 0 cm, 6 cm, 12 cm, 18 cm, 24 cm a 30 cm. Tato metoda zaručovala stejné podmínky měření ve všech nádobách, to znamená vodorovnou polohu destičky s listy a stejnou hloubku ponoření ve všech nádobách. Za dodržení těchto podmínek mohly být pořízené snímky porovnávány.



Obr. 5.4 Způsob připevnění závaží k destičce.



Obr. 5.5 Ukázka podložení destičky podložkami mimo nádobu.

Při umísťování nádob se muselo předem promyslet, jakým způsobem budou snímky pořizovány. Nádobky byly umístěny k dřevěným palisádám, ze kterých byly pořizovány snímky z výšky přibližně 1,5 m (obr. 5.6). Postupně byly nasnímány všechny nádoby. První snímek všech typů listů byl pořízen mimo vodu, aby se poté mohl stanovit její vliv. Poté byl vzorek listů s 5 podložkami vložen do nádoby. První bylo nasnímáno, když vzorek ležel na hladině. Poté byla odebrána jedna podložka, listy klesly o 6 cm pod hladinu (obr. 5.7) a zase byl pořízen další snímek. Takto byly odebírány postupně všechny podložky, až vzorek klesl na dno. Poslední hloubka byla 30 cm. Z jednoho typu listů a jedné nádoby bylo tedy vždy pořízeno 6 snímků (obr. 5.8). Jeden typ listů byl vždy nasnímán ve všech třech typech vody a ve všech hloubkách. Pro přehlednost a aby nedošlo k nechtěné záměně snímků, byla každá nádoba vždy označena před snímkováním písmenem A, B, C podle typu vody v nádobě a pořadovým číslem snímku. K druhé straně nádoby byla připevněna kalibrační destička, podle které se při pozdějším zpracování snímku stanovila kalibrace světla.



Obr. 5.6 Způsob pořizování snímků kamerou ADC z výšky.



Obr. 5.7 Potápění listů.



Obr. 5.8 Postupné ponořování jednoho z typů listů, první na hadině a pak klesání po 6 cm až do hloubky 30 cm.

5.1 Způsob zpracování dat

Kamerou ADC bylo pořízeno přes 130 snímků, které bylo potřeba dále zpracovat. Zpracování snímků bylo provedeno v programu PixelWrench2 (PW2). Tento program je dodáván přímo ke kameře firmou Tetracam.

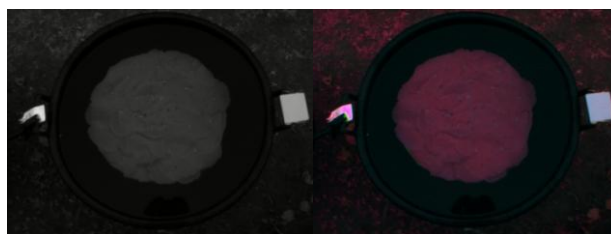
Snímky jsou v 10 bitovém formátu RAW. Tedy jsou to pouze surové, nezpracované hodnoty pixelů, které nejsou přímo použitelné jako snímek. Po otevření RAW souboru se zobrazí pouze monochromatický (ve stupních šedi) snímek. Surové hodnoty pixelů musí být převedeny do falešných barev (obr. 5.9). Toto je způsob reprezentování snímků pořízených z kamery ADC. Jde o posunutí pásem kde je červené pásmo nahrazeno blízkým infračerveným (NIR), červené pásmo se posune na místo zeleného a zelené místo modrého.

NIR → R

R → G

G → B

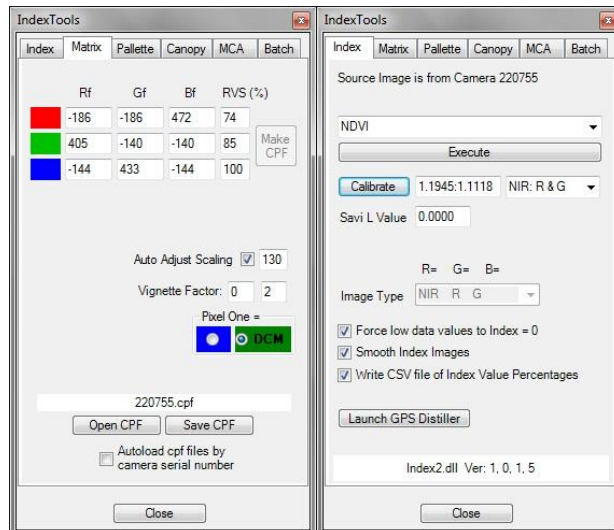
Barevný proces přebarvení RAW snímků vyžaduje načtení CPF souboru. Je to malý soubor obsahující matici hodnot barev používanou při zpracování RAW snímků (obr. 5.10 vlevo). Soubor CPF je dodáván s kamerou a je pro tuto kameru specifický. Monochromatický snímek RAW se převede do barev pomocí nástroje Process Raw Image. Takto obarvený snímek se ukládá již v jiném formátu, např. TIFF.



Obr. 5.9 Snímek RAW před obarvením a po obarvení.

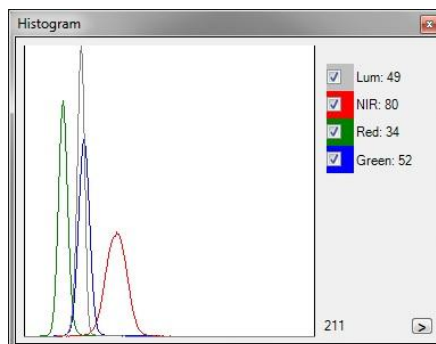
Jakmile je snímek ve falešných barvách, je možné provádět se snímkem různé operace, například extrahovat různá pásma nebo vyhodnotit vegetační indexy. Všechny nástroje potřebné k barevnému procesu RAW snímku a extrahování vegetačních indexů jsou k dispozici ve formuláři IndexTools (obr. 5.10).

Abychom dostaly správné výsledky, je velmi důležitá kalibrace snímků před vyhodnocením vegetačních indexů. Kalibrace je důležitá proto, že snímky nelze vytvořit vždy za úplně stejných světelných podmínek. Kalibrací se světelné podmínky zohlední a tím se zpřesní výsledky výpočtů NDVI. Ke kalibraci je nutné pořídit snímek kalibrační destičky vyrobené z teflonu (příslušenství kamery). Kalibrační destička se umístí na zem a vyfotí zvlášť. V mém případě byla umístěna na obvodní hranu nádoby a focena přímo s nádobou. V PW2 se označí území kalibrační destičky a klikne se na tlačítko Calibrate. Byla použita kalibrace typu NIR: R&G. Po stisknutí na tlačítko kalibrace se v textovém poli zobrazí dvě hodnoty čísel. PW2 vypočítá poměr NIR/RED a poměr NIR/GREEN z označené oblasti destičky. Tyto hodnoty PW2 porovná s hodnotami z tabulky: ASTM G-173-03 Reference Solar Spectral Irradiances. Z tabulky vybere hodnoty odpovídající vlnovým délkám 550, 650 a 800 nm a porovná je s vypočítanými. Změna, jak se liší od tabulkových hodnot, jsou hodnoty kalibrace, které jsou vidět po kliknutí na tlačítko kalibrovat. Pokud vyhodnocujeme vegetační indexy, PW2 přepočítá výsledné hodnoty podle kalibrace. Provedení kalibrace je nutné k zohlednění světelných podmínek při pořízení snímků.



Obr. 5.10 Nastavení v programu PixelWrench2, vlevo matice barev CPF souboru, vpravo kalibrace a vytvoření NDVI.

Po přebarvení snímků bylo ze snímku vybráno území v nádobě zahrnující vegetaci. Ze všech snímků bylo potřeba vybrat území pouze s vegetací na další zpracování. Snahou bylo, aby tato vybraná území ze všech snímků byla téměř stejná. Z každého vybraného území byl zobrazen histogram a průměrné hodnoty odrazivosti pro NIR, RED, GREEN. Například (obr. 5.11) průměrná hodnota odrazivosti ve vybraném území v pásmu NIR je rovna 80.

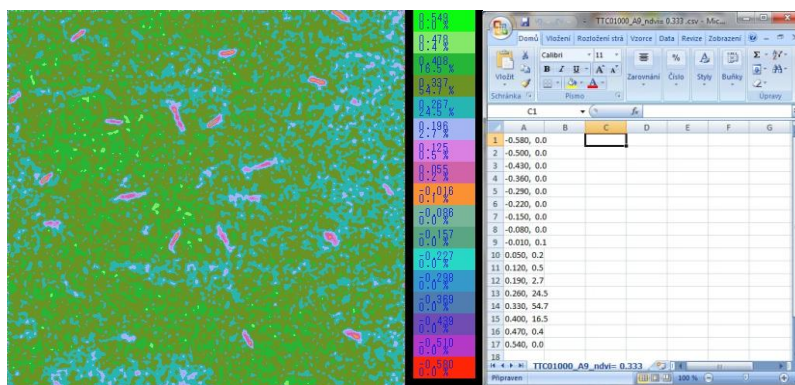


Obr. 5.11 Histogram snímku s průměrnými hodnotami odrazivosti v jednotlivých pásech.

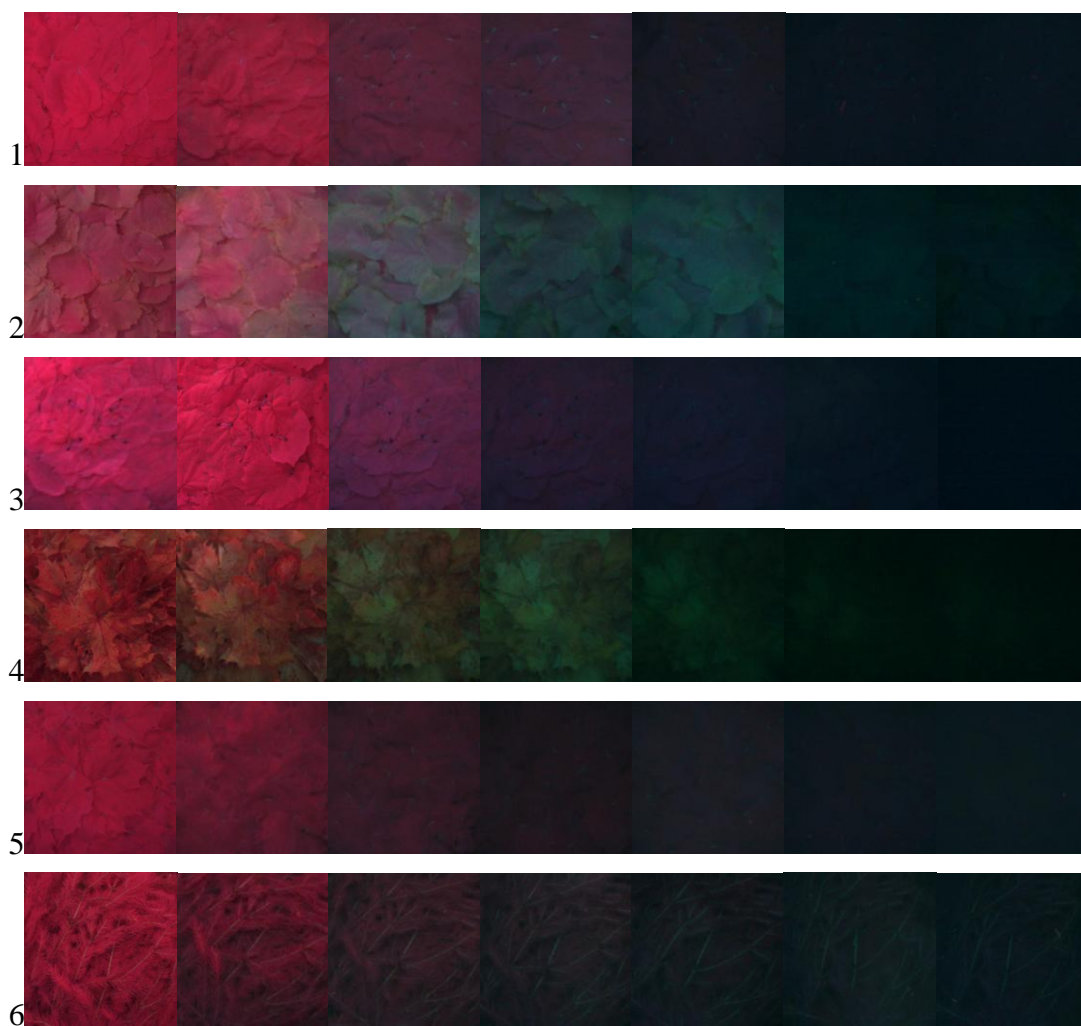


Obr. 5.12 Typy vegetace: 1. liska zelená, 2. liska žlutá, 3. liska zelená po 2 dnech, 4. javor suchý, 5. javor zelený, 6. smrk.

Ze všech snímků bylo vybráno území a zjištěna průměrná hodnota odrazivosti v NIR. Každý snímek byl zkalibrován pomocí kalibrační destičky a vyhodnocen vegetační index NDVI. Vegetační index NDVI se zobrazí v novém okně jako rastrový obrázek s barevnou stupnicí, ze které lze odečíst, kolik procent pixelů má určitou hodnotu NDVI. Čím více k zelené, tím je vegetace zdravější, obsahuje více chlorofylu. Čím blíže k červené, k minusovým hodnotám, tím se více blíží k odrazivosti vody. Ke zjištění průměrné hodnoty NDVI z území byl ke každému snímku vyexportován CSV soubor (obr. 5.13). Do tohoto souboru jsou uloženy hodnoty ze stupnice a také průměrná hodnota NDVI. Z těchto vyhodnocených snímků a získaných hodnot byly vytvořeny grafy v programu MS Excel.



Obr. 5.13 Rastrový snímek NDVI a vyexportovaný CSV soubor ke zjištění průměrné hodnoty NDVI v území



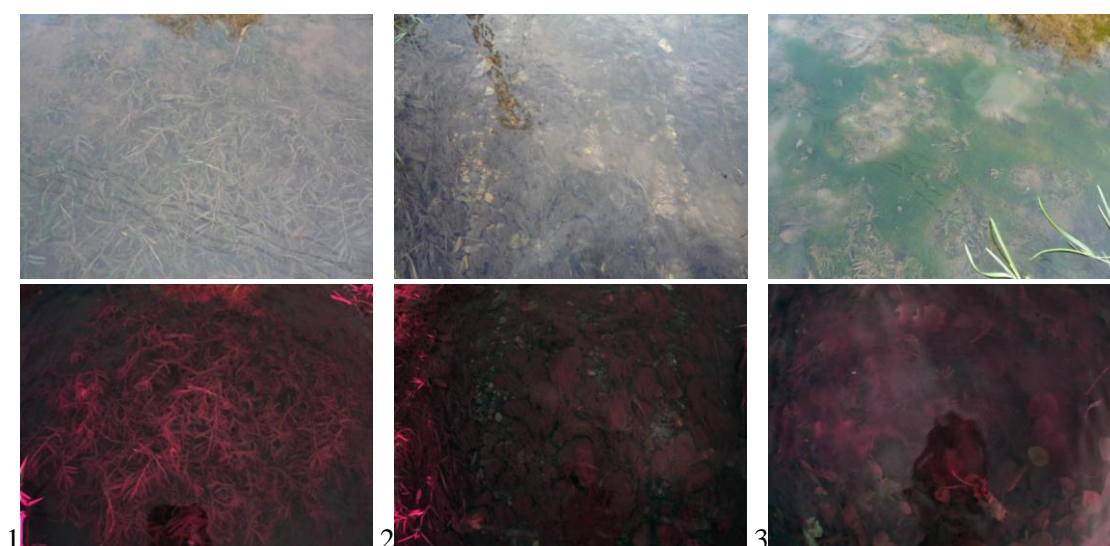
Obr. 5.14 Změna odrazivosti, první snímek mimo vodu, druhý na hladině a další klesání od 6 cm do 30 cm pod hladinu v nádobě A: 1. líska zelená, 2. líska žlutá, 3. líska zelená po 2 dnech, 4. javor suchý, 5. javor zelený, 6. smrk.

5.2 Experiment v reálné krajině

Po provedení praktických experimentů v nádobách bylo vyzkoušeno stanovení biologického oživení vody v reálné krajině. Focení bylo prováděno přímo v řece, ve které se vyskytovaly vodní řasy (obr. 5.15). Bylo nafoceno několik snímků, u kterých bylo vždy prokázáno biologické oživení.

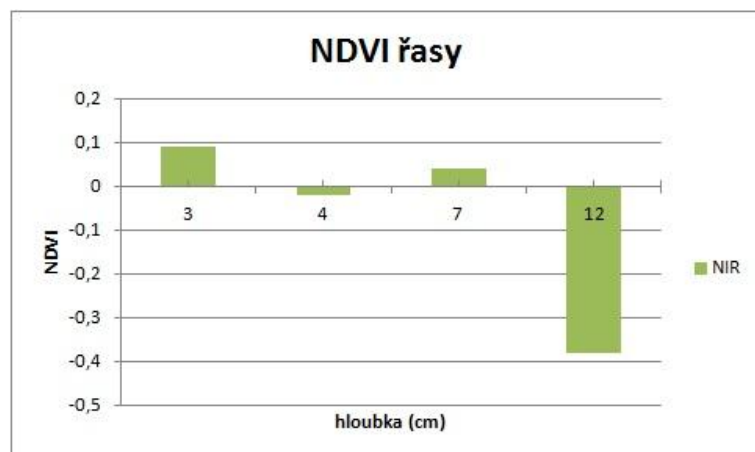


Obr. 5.15 Focení řas v řece Třebovce.



Obr. 5.16 1 Vodní tráva těsně pod hladinou, 2 řasy v hloubce 4 cm, 3 zelené řasy v hloubce 7 cm.

Do vyhodnocení byly vybrány snímky obsahující vegetační oživení nacházející se v různých hloubkách. Na prvním snímku se vyskytuje vodní tráva těsně pod hladinou (okolo 3 cm). Tento snímek má nejvyšší spektrální odrazivost (26 %) i nejvyšší hodnotu NDVI (0,09). Další snímek jsou řasy v hloubce 4 cm pod vodní hladinou. Odrazivost klesla (na 18 %) i hodnota NDVI (na -0,02). Třetím snímek jsou řasy v hloubce 7 cm, spektrální odrazivost i hodnota NDVI by měla teoreticky klesat, ale hodnoty jsou vyšší než u řas v hloubce 4 cm, spektrální odrazivost činí (21 %) a hodnota NDVI (0,04). Toto je způsobeno tím, že řasy nacházející se v hloubce 4 cm pod hladinou jsou hnědé, tedy hodnota odrazivosti je menší, než řasy v hloubce 7 cm, které jsou zelené. Posledním snímek jsou řasy v hloubce 12 cm, které mají nejnižší spektrální odrazivost (8 %) a nejnižší hodnotu NDVI (-0,38) (obr. 5.17).



Obr. 5.17 NDVI řasy v řece.

5.3 Senný nálev

Pro experimentální stanovení oživení vody bylo, kromě listů vegetace, vyzkoušeno také vytvoření senného nálevu. Senný nálev se používá v biologii k pěstování především prvoků, protože se poměrně rychle rozmnožují. Některé prvoky, zejména nálevníky, lze získat z velmi znečištěné vody, nejlépe z vody, ve které dochází k hnilobným procesům a obsahuje dostatek bakterií, které slouží jako potrava pro nálevníky.

Do nádoby byla nabrána znečištěná přírodní voda (z nádoby C – rybníční voda), hladina dosahovala 10 cm. Poté bylo do nádoby vloženo seno. Z literatury je známo, že za 3–4 dny začne nálev zahnívat a již po týdnu je možné zaznamenat v kultuře první nálevníky, jejichž počet a druhová rozmanitost roste. Nálev je poté dobré nechat v kultivaci po dobu 3–5 týdnů. Poté, co se nálev nechá dostatečně dlouho odstát, můžeme pozorovat změny (muni.cz, biologické pokusy, 2010).

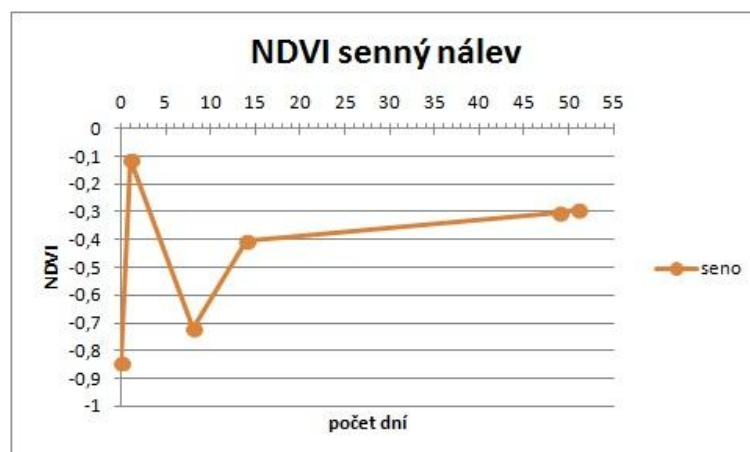


Obr. 5.18 Rybníční voda, vložené seno na hladině, odstátý nálev.

Tab. 4 Vyhodnocení senného nálevu.

datum	NIR	$\rho(\text{NIR})$ [%]	NDVI
voda	1	0,4	-0,843
01.12.2012	11	4,3	-0,114
08.12.2012	2	0,8	-0,718
14.12.2012	8	3,1	-0,404
18.01.2013	14	5,5	-0,302
20.01.2013	14	5,5	-0,294

Senný nálev byl focen v určitém období a poté bylo ze snímků zkoumáno, jak se mění odrazivost v NIR a hodnota NDVI s rostoucím časem (obr. 5.19). Jako první byla vyfocena samostatná rybníční voda, jejíž NDVI činilo -0,843. Poté bylo do nádoby přidáno seno. Seno se vyskytovalo pouze na hladině a nestačilo klesnout, proto se hodnota odrazivosti i NDVI prudce zvýšila. Poté byl nálev týden uchován, seno kleslo na dno a ustálilo se, hodnota odrazivosti i NDVI klesla. Další snímek byl vytvořen za další týden, kde můžeme pozorovat zvýšení odrazivosti i hodnot NDVI. Poté byl nálev uchován po dobu čtyř týdnů a po této době pořízen další snímek. Hodnoty se pozvolna zvyšují.



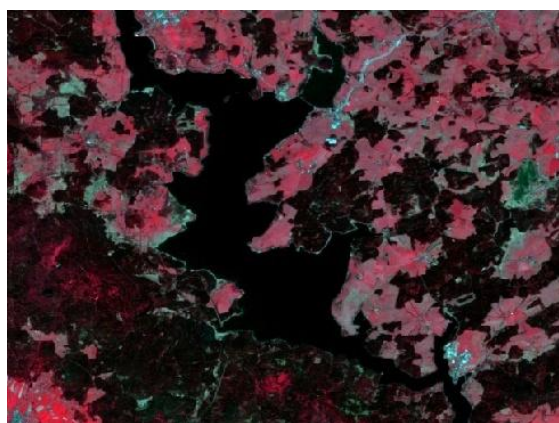
Obr. 5.19 Změna NDVI senného nálevu v závislosti na počtu dní.

Ze senného nálevu lze díky experimentu říci, že je možné stanovit oživení vody. Přítomnost nálevníků a jiných organismů nebyla prokázána laboratorně, bylo spoléháno pouze na informace z literatury.

5.4 Družicová data

Původní záměr, pro praktické experimenty stanovení oživení vody z družicových dat, byl snímkovat kamerou ADC vybrané území v reálné krajině a pak tyto snímky srovnat se snímky družicovými stejné oblasti. Po konzultaci s vedoucím práce bylo od snímkování v reálné krajině a následné porovnání s družicovými daty upuštěno.

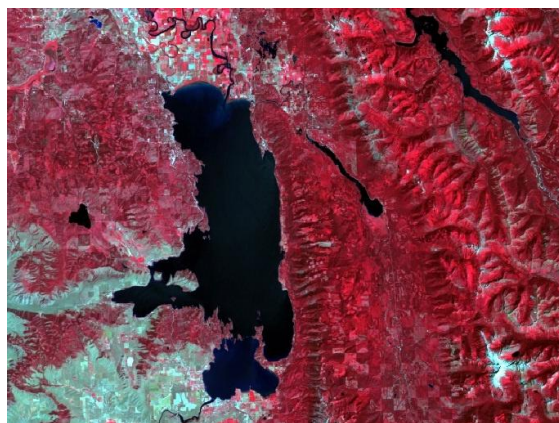
Důvodem bylo, že samostatná práce provádění experimentů se ukázala jako poměrně široké téma samo o sobě a zpracování družicových dat by tuto práci neúměrně svým obsahem rozšířilo. Proto se zpracování družicových dat omezilo na vyhodnocení několika snímků oblasti vodní plochy z reálné krajiny, kde tedy nebyla použita kamera ADC. Pro stanovení oživení vody z družicových dat byly stáhnuty snímky z Landsat, pásma TM2, TM3, TM4, v rozlišení 60 m/pixel. Poskytovatelem je USGS (<http://glcf.umd.edu/>). Snímky jsou z roku 2009. Jak ukazují hodnoty (tab. 5) snímky jsou neporovnatelné se snímky z kamery ADC. Ukázalo se, že není možné jednoznačně stanovat závěry bez hlubší analýzy a porovnání s daty z kamery ADC.



Obr. 5.20 Vodní nádrž Lipno.



Obr. 5.21 Rybník Rožmberk.



Obr. 5.22 Jezero Flathead Lake (USA).



Obr. 5.23 Lago di garda (Itálie).

Tab. 5 Vyhodnocení družicových snímků.

Vodní plocha	NIR	$\rho(\text{NIR})$ [%]	NDVI
Lipno	12	4,7	-0,380
Rožmberk	14	5,5	-0,443
Flathead Lake	12	4,7	-0,412
Lago di garda	19	7,5	-0,271

6 VÝSLEDKY

Všechny získané hodnoty ze snímků byly vyhodnoceny v programu MS Excel. K porovnání spektrální odrazivosti různých druhů vegetace v různých typech vod a hloubkách a vegetačních indexů bylo sestaveno několik grafů a diagramů. Jako typ grafu byl zvolen graf bodový s rovnými spojnicemi.

Nejprve byly zjištěny všechny průměrné hodnoty odrazivosti v NIR ze všech snímků. Tyto hodnoty byly pro lepší prezentování výsledků přepočítány na procenta. Protože hodnoty vychází z histogramu, kde nejvyšší možná dosažitelná hodnota odrazivosti je 255, byla tato hodnota brána za 100 %. Hodnoty NDVI byly vyhodnoceny pomocí software PW2 a byla do nich zahrnuta kalibrační konstanta. Stupnice pro NDVI byla zvolena od minimálních do maximálních hodnot tedy od -1 do 1.

Nejdříve je zhodnocen vliv typu vody na spektrální odrazivost a hodnoty NDVI. Grafy jsou sestaveny pro různé typy vegetace a zobrazují závislost spektrální odrazivosti v NIR v % na hloubce ponoření. V každém grafu je zároveň zobrazena tato závislost pro všechny typy vody (nádob A - čistá pitná voda, nádoba B - říční voda, nádoba C - rybníční voda).

Poté byl zhodnocen vliv typu vegetace na spektrální odrazivost a hodnoty NDVI v různých hloubkách ponoření. Vliv typu vegetace je posuzován pouze v nádobě A - čistá voda. V jednom z grafů je znázorněna spektrální odrazivost pro všechny typy vegetace a v dalších jsou vybrané typy porovnávány mezi sebou.

6.1 Vliv typu vody na spektrální odrazivost

Experimentem bylo prokázáno, že typ vody ovlivňuje hodnoty odrazivosti i hodnoty NDVI. Vliv není zásadní, přesto ho lze z výsledků rozpoznat. Z grafů (příloha 1–6), kde jsou tyto typy porovnávány, vyplývá, že se zvětšujícím znečištěním odrazivost klesá prudčeji.



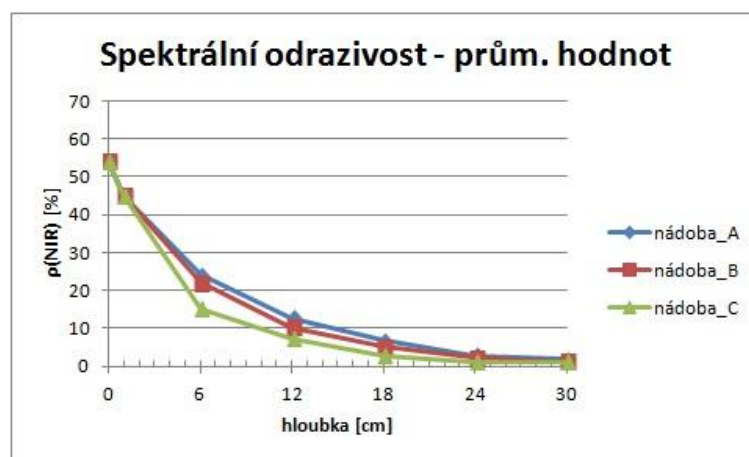
Obr. 6.1 Spektrální odrazivost – líska zelená po dvou dnech.

Vliv typu vody lze vyčíst převážně z grafu (příloha 1–6). V každém z těchto grafů je zobrazena spektrální odrazivost jednoho typu vegetace ve všech třech typech vody. Z těchto grafů jde vidět, že průběh spektrálních křivek je velmi podobný. Křivky mají exponenciální průběh. Odrazivost je na hladině největší a s rostoucí hloubkou postupně klesá. V čisté vodě (nádobá A) je odrazivost ve většině případů největší, v nádobě B a C, ve kterých je říční a rybníční voda, je odrazivost menší. Jak je patrné, ve všech případech odrazivost v nádobě C klesá mnohem prudčeji než v jiných nádobách. U všech typů vegetace je tento obecný průběh patrný, nicméně se v každém z těchto grafů nachází nějaké výjimky od obecné charakteristiky.

Nepřesnosti se mohou objevovat na počátku grafu. Hodnota v hloubce 0 cm je hodnota odrazivosti vegetace v NIR mimo vodu a graf začíná tedy ve všech nádobách touto stejnou hodnotou. Hodnota v hloubce 1 cm odpovídá hodnotě vyfoceného snímku na hladině. Tato hodnota nemusí být u všech snímků stejná, protože nelze přesně definovat hloubku vegetace nacházející se na hladině. Někdy mají listy na hladině stejnou odrazivost jako mimo vodu a někdy už klesá díky vlivu vody. Proto tyto počáteční hodnoty nejsou zahrnuty do hodnocení. Například v grafu (příloha 2), spektrální odrazivost lísky žluté, je odrazivost mimo vodu 50 %, na hladině odrazivost o 10 % stoupla, což není v souladu s teoretickým předpokladem a ostatními grafy.

Další nepřesnosti mohou být způsobeny světelnými podmínkami při vzniku snímku, protože PW2 při výpočtu histogramu nezohledňuje kalibraci. Díky tomu se v grafech (příloha 1–6) objevují nějaké výjimky od obecné charakteristiky chování.

Pro omezení vlivu výše uvedených odchylek byl sestaven graf, ve kterém byly zprůměrovány hodnoty všech typů vegetace a sestavena křivka chování „obecné“ vegetace v závislosti na typu vody (obr. 6.2).



Obr. 6.2 Spektrální odrazivost průměrných hodnot všech typů vegetace.

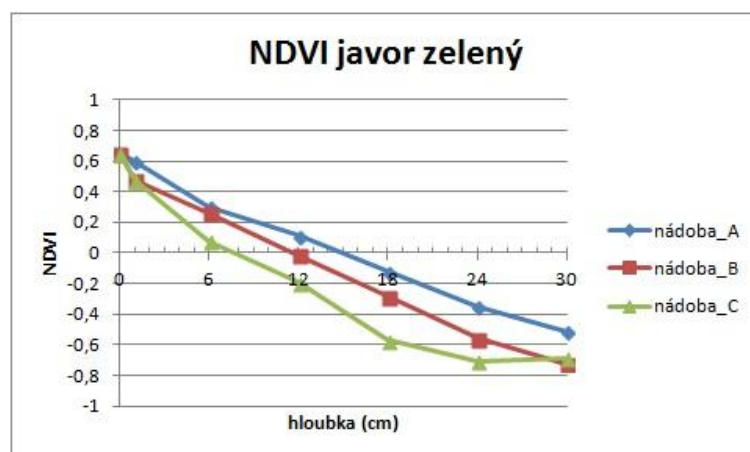
Z grafu (obr. 6.2) je patrné, že typ vody má vliv na odrazivost. Nejvíce se vegetace odráží v čisté vodě a se zakalením vody odrazivost klesá prudčeji. Vliv typu vody na spektrální odrazivost se dá nejlépe pozorovat v hloubce od 6 cm do 12 cm u všech typů vegetace. V hloubkách větších než 18 cm vliv vody klesá a ve 30 cm už není pozorovatelný. Maximální odchylka se projevuje v hloubce 6 cm v nádobě C a činí 9 %.

6.2 Vliv typu vody na NDVI

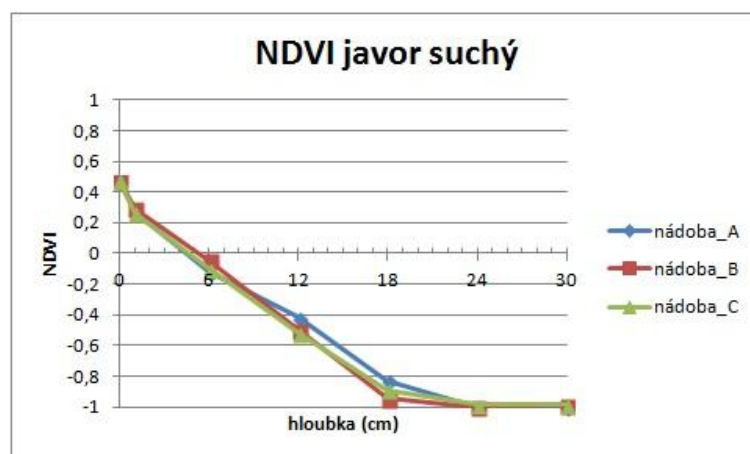
Vegetační index NDVI se pohybuje v rozmezí hodnot -1 až 1. Čím vyšší hodnota, tím je vegetace zdravější nebo obsahuje více chlorofylu, více odráží nebo je hustější, dochází k vícenásobnému odrazu tedy je vyšší hodnota NDVI. Hodnota -1 představuje čistou vodu bez příměsí. Pokud se ve vodě nacházejí nějaké biologické nebo mechanické látky, NDVI stoupá. Těto vlastnosti bylo využito při praktických experimentech.

Nejprve bylo zjištěno NDVI samostatné vody v nádobách. V nádobě A (čistá voda), kde by se hodnota NDVI měla rovnat -1, byla naměřena hodnota -0,945. V nádobě B (říční voda) je hodnota NDVI rovna -0,882 a v nádobě C -0,812. Teoreticky by měly všechny mít hodnotu -1. Menší odchylky od -1 jsou důkazem přítomnosti určitého množství mechanických nebo biologických látek.

Vliv vody na NDVI je posuzováno z grafů (příloha 13–18). Křivky mají ve většině případů přibližně lineární průběh. NDVI s rostoucí hloubkou klesá. Vliv typu vody je patrný z grafu (obr. 6.3), kde je vegetační index zelených listů javoru. Z tohoto grafu jsou znát rozdíly mezi jednotlivými typy vod. Největší NDVI je v nádobě A (čistá voda). Poté hodnota NDVI klesá v nádobě B a nejnižší je v nádobě C. Je ale patrné, že tvar křivky má vždy stejný průběh.



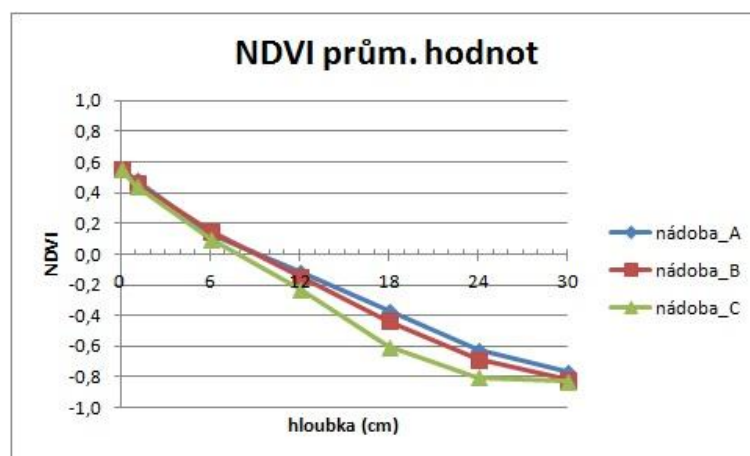
Obr. 6.3 NDVI javoru zeleného.



Obr. 6.4 NDVI suchých listů javoru.

Dalším případem (obr. 6.4) je NDVI suchých listů javoru, kde vliv vody není téměř patrný. Křivky mají téměř totožný průběh. Už od 18 cm nelze rozpoznat výskyt listů.

Protože se v grafech u všech typů vegetace vyskytují odchylky, byl vytvořen graf s průměrnými hodnotami, na kterém je lépe vidět vliv vody na NDVI. Protože výpočet NDVI vychází ze spektrální odrazivosti, u které byl prokázán vliv typu vody (viz. kap. 6.1), musí se tento vliv projevit i v hodnotách NDVI. Je zajímavé, že pokud porovnáme graf (obr. 6.2) a graf (obr. 6.5) průměrných hodnot, vliv typů není totožný ve všech hloubkách. Maximální odchylka v grafu (obr. 6.1) je v hloubce 6 cm, kdežto v grafu (obr. 6.5) až v hloubce 18 cm. Typ vody ovlivňuje výrazněji NDVI od hloubky 6 cm do hloubky 24 cm. Od hloubky 30 cm nemá typ vody vliv.



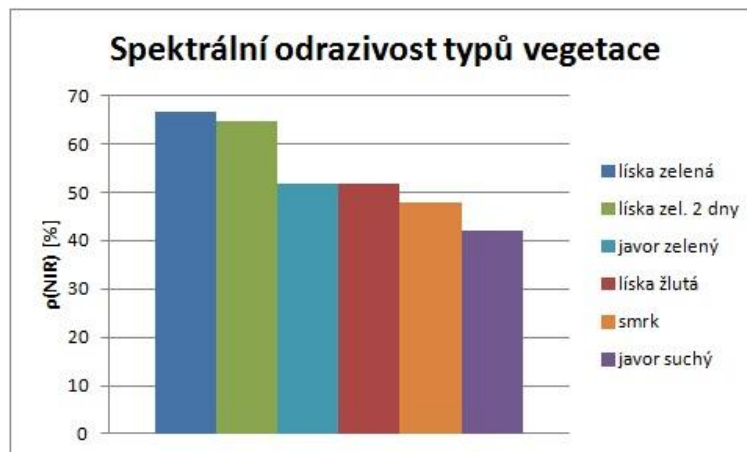
Obr. 6.5 NDVI průměrných hodnot všech typů vegetace.

Při stanovení typu vody na hodnoty NDVI se dospělo k výsledkům, že se zvyšujícím se zakalením odrazivost klesá (viz. kap. 6). Toto se jeví v rozporu s uvedeným tvrzením (kap. 3), že přítomnost biologických nebo mechanických látek odrazivost zvyšuje. Vysvětlení je v tom, že vliv oživení listy má daleko větší váhu, než vliv přítomnosti látek zakalujících vodu. Pokud byla posuzována samostatná voda, tak platilo, že více zakalená voda měla větší hodnotu NDVI, ale i tak hodnoty byly velmi nízké (malý vliv). Při oživení vegetací hodnoty prudce vzrostly (velký vliv). S hloubkou jejich ponoření se začíná projevovat vliv suspenzí, která maskuje spektrální projev vegetace.

6.3 Vliv typu vegetace na spektrální odrazivost

Vliv spektrální odrazivosti různých typů vegetace na hloubku ponoření bylo posuzováno pouze ze snímků v čisté vodě (nádoba A). Byl zpracován graf odrazivosti všech typů vegetace. Pro přehlednost byly sestaveny další grafy, ve kterých jsou porovnávány různé typy vegetace a porovnávány mezi sebou. Prvním porovnáním je spektrální odrazivost v NIR všech typů vegetace mimo vodu (obr. 6.6). Je patrné, že největší odrazivost má líska zelená (67 %), poté je odrazivost stejných listů lísky vyfocené dva dny po prvním focení. Předpokladem je ztráta chlorofylu, a tím i pokles

odrazivosti. Dalším v pořadí jsou zelené listy javoru, které mají menší odrazivost než zelené listy lísky. Na stejné úrovni se nachází žluté listy lísky. Předposledním typem je smrk jako zástupce jehličnanů, u kterých je předpokladem menší odrazivost než u listnatých stromů. Nejmenší odrazivost mají suché listy javoru.



Obr. 6.6 Spektrální odrazivost typů vegetace mimo vodu.

Graf (obr. 6.7) dokazuje, že i když se jedná vždy o vegetaci, jednotlivé druhy vegetace vykazují určité rozdíly. Křivky závislosti odrazivosti na hloubce ponoření všech druhů vegetace mají exponenciální průběh. Každý typ ale klesá jinak strměji a lze určit rozdíly mezi jednotlivými typy.



Obr. 6.7 Spektrální odrazivost typů vegetace v nádobě A – čisté vodě.

Každý typ vegetace má už na začátku, mimo vodu, jinou odrazivost. Při ponoření do 6 cm spektrální odrazivost všech typů vegetace klesne o polovinu původní odrazivosti a strmě klesá až do hloubky 12 cm. Ve 12 cm převažuje odrazivost lísky zelené nad všemi ostatními, líska zelená má odrazivost 20 %, ostatní okolo 10 %. V 18 cm odrazivost všech typů klesá pod 10 %. Nejméně se odráží suché listy javoru. Od 24 cm je patrna ještě odrazivost lísky zelené, javoru zeleného a smrku, ostatní typy vegetace již

nejsou patrné. V grafu (obr. 6.8) je porovnávána odrazivost lísky zelené, javoru zeleného a smrku.

Křivky mají exponenciální průběh (s různými parametry). Javor zelený obsahuje pravděpodobně méně chlorofylu než líska zelená, tudíž se odráží méně, skoro jako jehličnatý smrk. Rozpoznání smrku (jehličnatý) a lísky zelené (listnatý) lze pouze do 18 cm. Ve větších hloubkách už mají totožný průběh.

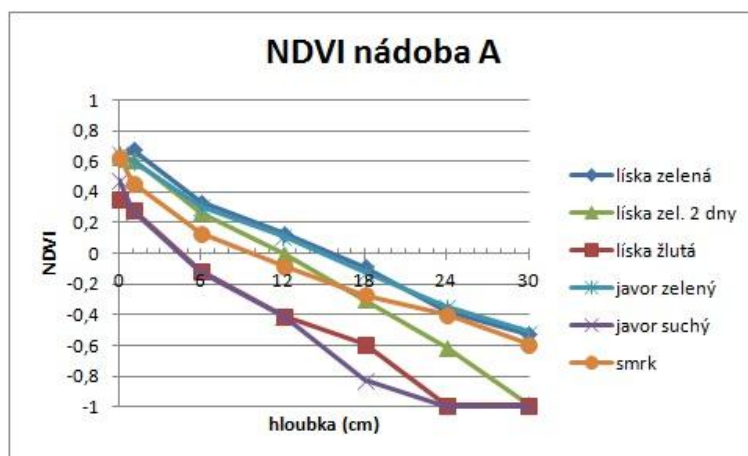


Obr. 6.8 Porovnání spektrální odrazivosti vybraných typů vegetace.

Z výše uvedených grafů vyplývá, že typ vegetace ovlivňuje odrazivost. Rozdíly jsou dobře pozorovatelné do hloubky 18 cm, vliv poté postupně slábne a od 24 cm se již hodnoty odrazivosti přibližují k 0 %.

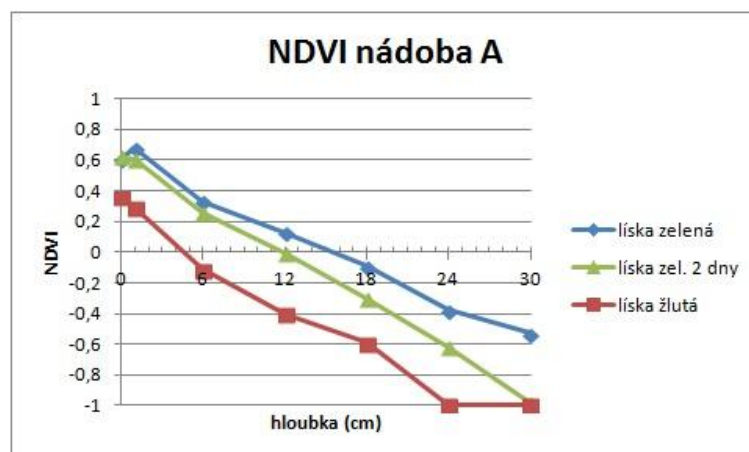
6.4 Vliv typu vegetace na NDVI

Vliv typu vegetace na NDVI je porovnáván v čisté vodě (nádobá A). Z grafu (obr. 6.9) je vidět, jak rozdílnou hodnotu NDVI mají jednotlivé typy vegetace.



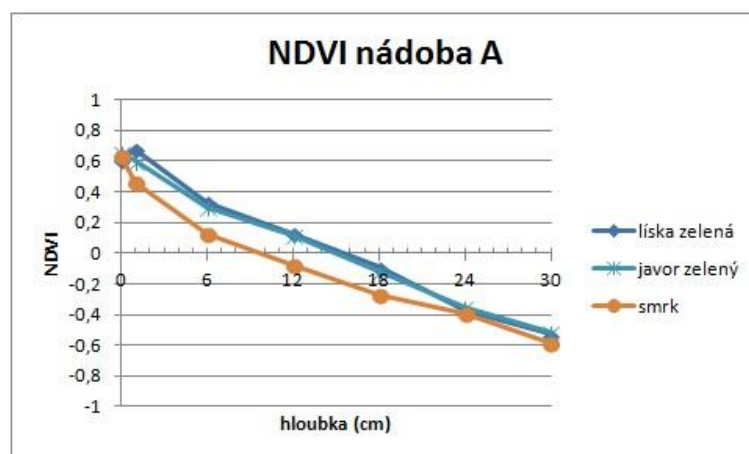
Obr. 6.9 Porovnání NDVI typů vegetace.

Pokud porovnáme mezi sebou zelené listy lísky, tyto stejné zelené listy po dvou dnech utržení a žluté listy lísky (obr. 6.10), můžeme pozorovat značné rozdíly. Křivky kopírují podobný lineární tvar, nicméně hodnota NDVI klesá. Toto je způsobeno menším obsahem chlorofylu a zdravotního stavu vegetace. Je vidět, že nejzdravější je líska zelená, u lísky zelené po dvou dnech po utržení došlo k menší ztrátě chlorofylu, a to se projevilo i na menší hodnotě NDVI.

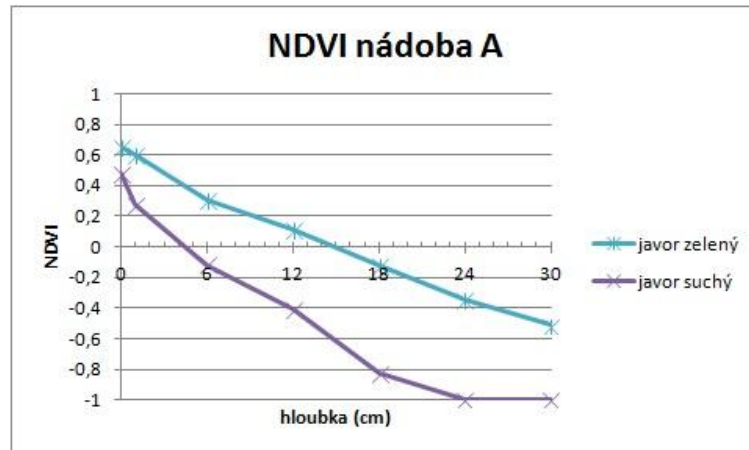


Obr. 6.10 Porovnání NDVI vybraných typů vegetace.

Pokud bychom porovnali mezi sebou jehličnatou a listnatou vegetací (obr. 6.11), lze vidět, že obecně se jehličnany odráží méně než listnaté, a to se projevilo i na menší hodnotě NDVI. Listnatá vegetace zelených listů javoru a lísky kopíruje téměř totožnou křivku. Rozpoznat rozdíly mezi listnatou a jehličnatou vegetací lze pouze do hloubky 24 cm, v této hloubce a dále hlouběji se již chovají totožně.



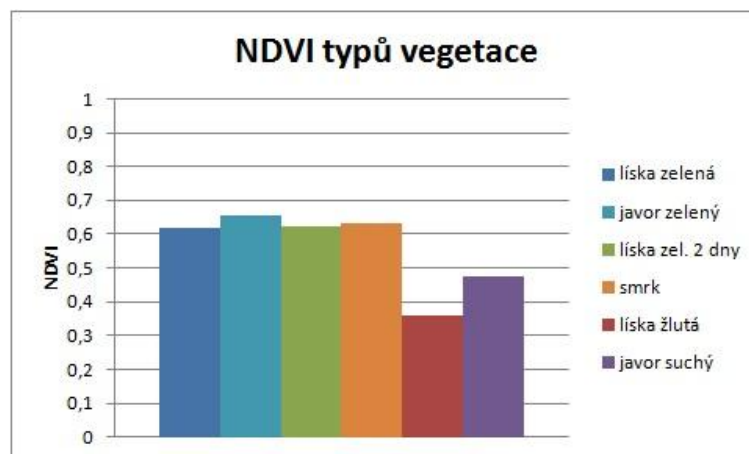
Obr. 6.11 Porovnání NDVI vybraných typů vegetace.



Obr. 6.12 Porovnání NDVI vybraných typů vegetace.

Velké rozdíly hodnot NDVI jsou vidět na grafu (obr. 6.12) mezi listy zeleného a suchého javoru. NDVI listů suchého javoru klesá mnohem rychleji než u zelených listů. Toto je ovlivněno zdravotním stavem listů.

NDVI jednotlivých typů vegetace bez vody je znázorněno na diagramu (obr. 6.13). NDVI zelených listů javoru a lísky, zelených listů lísky po dvou dnech a smrku se pohybuje okolo hodnot 0,6. NDVI žlutých listů lísky a suchých listů javoru je nižší.



Obr. 6.13 Porovnání NDVI typů vegetace mimo vodu.

Jestliže se vegetace nachází v 6 cm pod hladinou, hodnoty NDVI u všech typů vegetace klesnou o polovinu původních hodnot. Ve 12 cm výrazně klesá NDVI žlutých listů lísky a suchých listů javoru k hodnotě -0,4. V 18 cm se již NDVI všech typů vegetace nachází v záporných hodnotách. Ve 24 cm se již nedá rozpoznat lísku žlutou a javor suchý od vody, ve 30 cm již nepoznáme ani lísku zelenou po dvou dnech. Rozdíly hodnot NDVI od vody jsou ještě patrné u zelených listů lísky, javoru a smrku.

6.5 Shrnutí výsledků

V souladu s cíly práce bylo nutné provést souhrnné vyhodnocení všech naměřených výsledků a analyzovat možnosti stanovení biologického oživení vody. Pokud byl srovnáván vliv biologického oživení na spektrální odrazivost, popřípadě na hodnoty NDVI, tak z experimentu vyplývá, že k posouzení biologického oživení je výhodnější použít NDVI. Jestli-že posuzujeme biologické oživení podle spektrální odrazivosti, bez ohledu na to, o jaký typ vegetace se jedná, jsme schopni zjistit přítomnost biologického materiálu do hloubky 18 cm. Pokud k vyhodnocení použijeme hodnoty NDVI, zvýší se hloubka, do které jsme schopni zachytit přítomnost biologického materiálu, do 24 cm.

Nicméně i s metodou NDVI jsme schopni pouze konstatovat, jestli voda obsahuje biologický materiál nebo ne. Není možné určit, o jakou vegetaci se jedná, kolik jí je ve vodě obsaženo, ani přesně definovat hloubku. Stejně hodnoty NDVI může totiž vykazovat hladina vody obsahující malé množství biologického materiálu na hladině, nebo hladina vody obsahující velké množství biologického materiálu v určité hloubce. Například (obr. 5.17, kde je zobrazen graf hodnot NDVI vodních řas) hodnota NDVI má hodnotu 0,04. Z toho vyplývá, že voda je biologicky oživena. Nejsme však schopni z této hodnoty vyčíst další informace, jako hloubku, v jaké se nachází, množství či typ vegetace.

Ze všech uvedených výsledků vyplývá, že pomocí dat z multispektrální kamery ADC se dá jednoznačně stanovit biologické oživení vody do hloubky 18 cm. V závislosti na typu vegetace lze u některých typů vegetace toto oživení stanovit do větší hloubky, maximálně však do 30 cm. V hloubkách mezi 18 cm a 30 cm jsou velké nejistoty způsobené vlivem znečištění vody a typem vegetace. Nejsme schopni kvalifikovat ani kvantifikovat typ oživení, pouze identifikovat výskyt.

7 DISKUZE

Během pořizování snímků se vyskytl problém se světelnými podmínkami. Snímky nebyly pořizovány v jeden den a ve stejnou denní dobu, takže snímky jsou ovlivněny aktuálními světelnými podmínkami. Toto ovlivnění bylo zjištěno až v průběhu zpracování snímků. Použitý software PW2 neumožňuje při zobrazení spektrální odrazivosti využít kalibrační destičku pro korekci světelných podmínek. Tento problém byl konzultován přímo s odborníkem, zástupcem firmy Tetracam, který toto tvrzení potvrdil. Z tohoto důvodu mohou být výsledky spektrální odrazivosti zkresleny.

Byl udělán pokus, kde bylo nasnímáno stejně ohraničené území, na kterém se nacházela kalibrační destička, jednou na přímém slunci a podruhé ve stínu. Při vyhodnocení snímku se potvrdilo, že hodnoty, které by měly být stejné, se liší. Území na slunci má větší hodnotu spektrální odrazivosti v NIR než území ve stínu. Proto by bylo vhodné, aby se tyto snímky pořídily pokud možno vždy za stejných podmínek. Tento problém se netýká vyhodnocení hodnot vegetačního indexu NDVI. Při srovnání těchto dvou stejných území s různými světelnými podmínkami se při použití kalibrace dosáhlo velmi podobných hodnot NDVI.

Potápění listů bylo prováděno do hloubky 30 cm. Maximální hloubka potopení byla dána velikostí nádob. Hloubka 30 cm stačila u většiny pokusů, protože v hloubce 30 cm už nebyl pozorovatelný vliv. Nicméně při vyhodnocování NDVI nastaly případy, kdy ještě ve 30 cm bylo pozorováno oživení vody, a to konkrétně u zelených listů. Pro tento typ vegetace by bylo možné provádět experiment do větší hloubky.

Experiment byl prováděn ve třech typech vody. Nejdůležitějším byla čistá voda, u které byl znám její stav, že neobsahuje žádné biologické nebo mechanické látky. Říční a rybníční voda byla použita pouze, aby se zjistil vliv znečištění. Tento vliv se prokázal, a proto nebylo nutné porovnávání ještě ve více typech vody.

K určitému zanesení nepřesností do výsledků mohlo dojít vlivem připevnění listů na destičku. Použité kovové sponky jsou na snímcích patrné a mohou ovlivňovat hodnoty. Dále by mohlo dojít ke zvýšení odrazivosti díky množství připevněných listů na destičku. Několik vrstev vegetace se bude chovat jinak než jedna vrstva.

Při vyhodnocování snímků z družice Landsat, ze kterých byly vybrány území s vodní plochou, vykazovaly všechny tyto plochy poměrně vysoké hodnoty NDVI. Tyto snímky pořízené z družic lze těžko porovnat se snímky pořízenými pomocí ADC z důvodu rozdílnosti rozlišovací schopnosti. Bylo by užitečné vyzkoušet pořízení snímků vodních ploch pomocí ADC z větší výšky v reálné krajině.

Provedeným experimentem se zjistilo, že pomocí multispektrální kamery ADC by bylo možné zjistit oživení v reálné krajině pouze z hladiny vodních ploch do maximální hloubky 18 cm. Jednalo by se pouze o doplňkovou informaci, že voda není čistá, ale pro přesné určení druhu znečištění data nelze využít.

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo provést experiment, při kterém by se prokázaly možnosti využití dat z multispektrální kamery ADC pro zjištění biologického oživení vody. Biologickým oživením vody se mělo v tomto experimentu na mysli stanovení přítomnosti vegetace ve vodě. Zjistit, jestli má na toto oživení vliv typ vody a typ vegetace a do jaké hloubky ponoření lze oživení pozorovat. Protože v reálné krajině bychom těžko našli všechny potřebné vzorky, které by bylo možno porovnávat za stejných podmínek, bylo zvoleno, že potřebná data se budou získávat experimentálně v laboratorních podmínkách.

Byly zvoleny tři nádoby, které byly napuštěné vodou s různým znečištěním. Jako biologický materiál k oživení vody bylo použito listů ze stromů. Vzorky byly zvoleny se záměrem, aby obsahovaly listy v různém zdravotním stavu a zástupce listnatých a jehličnatých stromů. Listy byly poté potápěny do různých hloubek ponoru. Bylo pořízeno přes 130 snímků a zpracováno v programu PixelWrench2. Z každého snímku byla zjištěna průměrná hodnota odrazivosti v pásmu NIR a hodnota vegetačního indexu NDVI. Ke stanovení oživení vody je využívána vlastnost, kdy čistá voda má v pásmu NIR odrazivost blízkou nule, kdežto vegetace má v tomto pásmu naopak nejvyšší odrazivost. Hodnoty NDVI se pohybují v rozmezí hodnot -1 až 1. Hodnota -1 představuje čistou vodu bez příměsí. Pokud se ve vodě nachází nějaké biologické nebo mechanické látky, NDVI stoupá. Ze získaných hodnot bylo vytvořeno 25 grafů, ze kterých byly vyhodnocovány výsledky.

Při zkoumání vlivu typu vody na spektrální odrazivost a hodnoty NDVI bylo zjištěno, že se zvyšujícím zakalením vody odrazivost klesá. Vliv typu vody se dá nejlépe pozorovat v hloubce od 6 cm do 18 cm. U hodnot NDVI lze vliv vody nejlépe pozorovat od hloubky 6 cm do hloubky 24 cm.

Zkoumání vlivu typu vegetace na spektrální odrazivost a hodnoty NDVI v závislosti na hloubce ponoření bylo posuzováno pouze ze snímků v čisté vodě. Typ vegetace odrazivost ovlivňuje, rozdíly jsou dobře pozorovatelné do hloubky 18 cm, vliv poté postupně slábne a od 24 cm se již hodnoty odrazivosti přibližují k 0 %. U hodnot NDVI jsou rozdíly mezi jednotlivými typy vegetace pozorovatelné do 18 cm, u některých typů až do 30 cm.

Po provedení praktických experimentů v nádobách bylo vyzkoušeno stanovení biologického oživení vody v reálné krajině. Bylo nafoceno několik snímků vodních řas a z hodnot odrazivosti a NDVI bylo vždy prokázáno biologické oživení. Hodnoty odrazivosti byly vždy větší než 0 %.

Z celého experimentu můžeme učinit závěr, že pomocí dat z multispektrální kamery se dá stanovit biologické oživení vody, přičemž lze určit pouze to, jestli je voda oživená nebo není. Toto oživení lze zjistit do hloubky 18 cm. Stanovení oživení je ovlivněno typem vody i typem vegetace. Jednalo by se pouze o doplňkovou informaci, že voda není čistá, ale pro přesné určení druhu znečištění data nelze využít.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ARONOFF, Stan. Remote Sensing for GIS Managers. California, USA: ESRI Press, 2005. ISBN 9781589480810.

CAMPBELL, James B. Introduction to Remote Sensing, third edition. London: Taylor, 2002. ISBN 04-152-8294-2.

DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita PřF, 1998. ISBN 80-210-1812-7.

Gisat / Aplikacní oblasti. *Gisat* [online]. 2012 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/aplikacni-oblasti>

KOLÁŘ, Jan, Lena HALOUNOVÁ a Karel PAVELKA. Dálkový průzkum Země 10. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01567X.

LILLESAND, Thomas M. a Ralph W. KIEFER. Remote Sensing and Image Interpretation. fourth edition. USA: John Wiley & Sons, Inc, 2000. ISBN 0-471-25515-7.

Measuring Vegetation (NDVI & EVI) : Feature Articles. *NASA Earth Observatory* [online]. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

RICHARDS, John A., XIUPING, Jia. Remote Sensing Digital Image Analysis. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 431 s. ISBN 978-3-540-25128-6.

Školní biologické pokusy. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity [online]. 2010 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/ped/kat/biologie/pokusy/pages/prvoci.html>

TETRACAM INC. Agricultural Digital Camera User's Guide. USA, 2011.

Tetracam - The Company. Welcome to Tetracam [online]. 2011 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/Company.htm>

SEZNAM ILUSTRACÍ

- Obr. 2.1 Logo firmy Tetracam (Tetracam, Inc., 2011).
- Obr. 2.2 Multispektrální kamera ADC.
- Obr. 3.1 Vliv chlorofylu a suspenze na odrazivost vody. (Halounová a kol., 1997).
- Obr. 4.1 Znázornění elektromagnetické vlny (Lillesand, Kiefer, 2000).
- Obr. 4.2 Rozdělení elektromagnetického záření (www.lib.utexas.edu/chem/info/spectrum.html).
- Obr. 4.3 Spektrální křivky listnatého a jehličnatého lesa (Dobrovolný, 1998).
- Obr. 4.4 Spektrální chování vybraných objektů (Dobrovolný, 1998).
- Obr. 4.5 Křivka spektrálního chování „průměrného“ listu (Dobrovolný, 1998).
- Obr. 4.6 Spektrální odrazivost vegetace (<http://earthobservatory.nasa.gov>).
- Obr. 5.1 Napouštění čisté vody., voda v řece Třebovce, přepravování vody do nádob.
- Obr. 5.2 Nádoby A, B, C naplněné vodou, rozpoznatelné různé znečištění.
- Obr. 5.3 Zvolené typy vegetace k biologickému oživení vody.
- Obr. 5.4 Způsob připevnění závaží k destičce.
- Obr. 5.5 Podkládání destičky podložkami mimo nádobu.
- Obr. 5.6 Způsob pořizování snímků kamerou ADC z výšky.
- Obr. 5.7 Potápění listů.
- Obr. 5.8 Postupné ponořování jednoho z typů listů.
- Obr. 5.9 Snímek RAW před obarvením a po obarvení.
- Obr. 5.10 Nastavení v programu PixelWrench2
- Obr. 5.11 Histogram snímku s průměrnými hodnotami odrazivosti v jednotlivých pásech.
- Obr. 5.12 Typy vegetace.
- Obr. 5.13 Rastrový snímek NDVI a vyexportovaný CSV soubor.
- Obr. 5.14 Změna odrazivosti, mimo vodu, hladina, 6–30 cm pod hladinu.
- Obr. 5.15 Focení řas v řece Třebovce.
- Obr. 5.16 1 Vodní tráva těsně pod hladinou, 2 řasy v hloubce 4 cm, 3 zelené řasy v hloubce 7 cm.
- Obr. 5.17 NDVI řas v řece.
- Obr. 5.18 Rybníční voda, vložené seno na hladině, odstátý nálev.
- Obr. 5.19 Změna NDVI senného nálevu v závislosti na počtu dní.
- Obr. 5.20 Vodní nádrž Lipno.
- Obr. 5.21 Rybník Rožmberk.
- Obr. 5.22 Jezero Flathead Lake (USA).
- Obr. 5.23 Lago di garda (Itálie).
- Obr. 6.1 Spektrální odrazivost – líska zelená po dvou dnech.
- Obr. 6.2 Spektrální odrazivost průměrných hodnot všech typů vegetace.
- Obr. 6.3 NDVI javoru zeleného.
- Obr. 6.4 NDVI suchých listů javoru.
- Obr. 6.5 NDVI průměrných hodnot všech typů vegetace.
- Obr. 6.6 Spektrální odrazivost typů vegetace mimo vodu.
- Obr. 6.7 Spektrální odrazivost typů vegetace v nádobě A – čisté vodě.
- Obr. 6.8 Porovnání spektrální odrazivosti vybraných typů vegetace.
- Obr. 6.9 Porovnání NDVI typů vegetace.
- Obr. 6.10 Porovnání NDVI vybraných typů vegetace.
- Obr. 6.11 Porovnání NDVI vybraných typů vegetace.
- Obr. 6.12 Porovnání NDVI vybraných typů vegetace.

SUMMARY

The aim was to perform an experiment to prove usability determination of the biological recovery of water using data from multispectral camera ADC. Biological recovery of water in this experiment is done by determining the presence of vegetation in the water. It will be determined whether the recovery of water is affected by the type of water, the type of vegetation and to what depth of immersion the recovery can be determined. Because in the real nature we would hardly find all necessary samples which could be compared in the same conditions, the experiment was done in laboratory conditions.

Three containers were chosen and filled with variously polluted water. As a biological material for the recovery of water were used leaves from the trees. Samples were chosen to contain leaves in various condition and deciduous and coniferous trees. This leaves were placed to various depth of immersion. More than 130 images were done and processed in the PixelWrench2. Average value of the reflectance in the NIR band was found for each image and also value of the vegetation index NDVI. Clean water has reflectance close to zero in the range NIR, while the vegetation has highest reflectance in this band. This property was used to determine the recovery of water. Values of NDVI have range from -1 to 1 value. Value -1 is clean water without additives. If a biological material is present in water, values of NDVI will increase. 25 graphs were created from these values and the results were evaluated from these graphs.

First the impact of the type of water on the spectral reflectance was examined and values of NDVI in dependence on depth of immersion. It was found that with increasing water pollution reflectance decreases. Effect of the type of water is best observed at the depth from 6 cm to 18 cm. The values of NDVI can be best observed at the depth from 6 cm to 24 cm.

The effect of the type of vegetation on the spectral reflectance and NDVI in dependence on the depth of immersion was examined only from images in clean water. Type of vegetation affects reflectance. The differences are easily observed up to depth 18 cm, the effect gradually decreases and from 24 cm values of reflectance are close to 0 %. The differences between various types of vegetation at the values of NDVI are observable to 18 cm, in some types of vegetation up to 30 cm.

After performing practical experiment in laboratory conditions the determination of the biological recovery of water was tested in the real nature. Several images of algae were shot and the biological recovery was always demonstrated from the values of reflectance and NDVI.

For the experiment we can conclude that using data from multispectral camera ADC we can only determine if the water is biologically recovered or not. This recovery can be determined to the depth of 18 cm. Determination of recovery is influenced by the type of water and the type of vegetation. The data can be used only as additional information that water is not clean, but it cannot be used to exact determination of the type of pollution.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

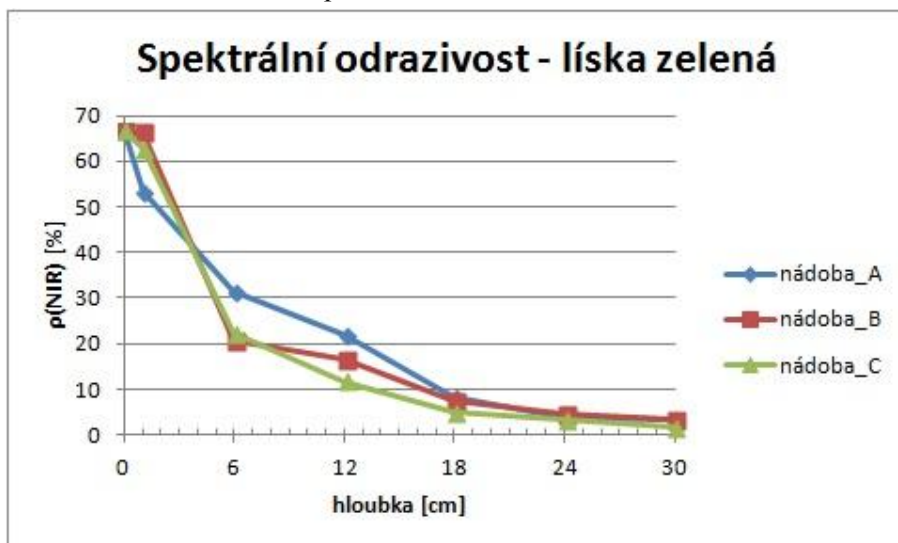
Vázané přílohy:

- Příloha 1 Spektrální odrazivost – líska zelená
- Příloha 2 Spektrální odrazivost – líska žlutá
- Příloha 3 Spektrální odrazivost – líska zelená 2 dny
- Příloha 4 Spektrální odrazivost – javor suchý
- Příloha 5 Spektrální odrazivost – javor zelený
- Příloha 6 Spektrální odrazivost – smrk
- Příloha 7 Spektrální odrazivost – průměrných hodnot
- Příloha 8 Spektrální odrazivost – v nádobě A
- Příloha 9 Spektrální odrazivost – v nádobě A
- Příloha 10 Spektrální odrazivost – v nádobě A
- Příloha 11 Spektrální odrazivost – v nádobě A
- Příloha 12 Spektrální odrazivost – typů vegetace mimo vodu
- Příloha 13 NDVI líska zelená
- Příloha 14 NDVI líska žlutá
- Příloha 15 NDVI smrk
- Příloha 16 NDVI líska zelená po 2 dnech
- Příloha 17 NDVI javor zelený
- Příloha 18 NDVI javor suchý
- Příloha 19 NDVI průměrných hodnot
- Příloha 20 NDVI nádoba A
- Příloha 21 NDVI nádoba A
- Příloha 22 NDVI nádoba A
- Příloha 23 NDVI nádoba A
- Příloha 24 NDVI typů vegetace mimo vodu

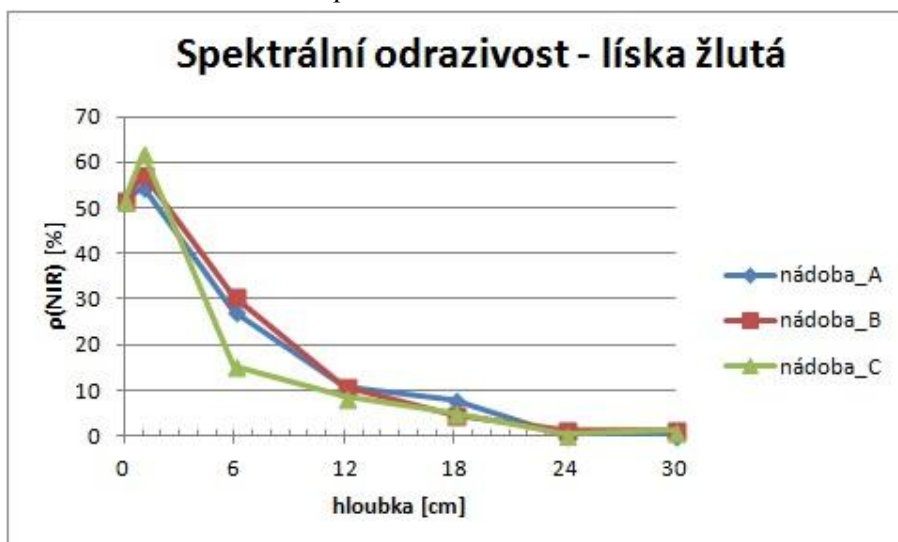
Volné přílohy

- Příloha 25 DVD

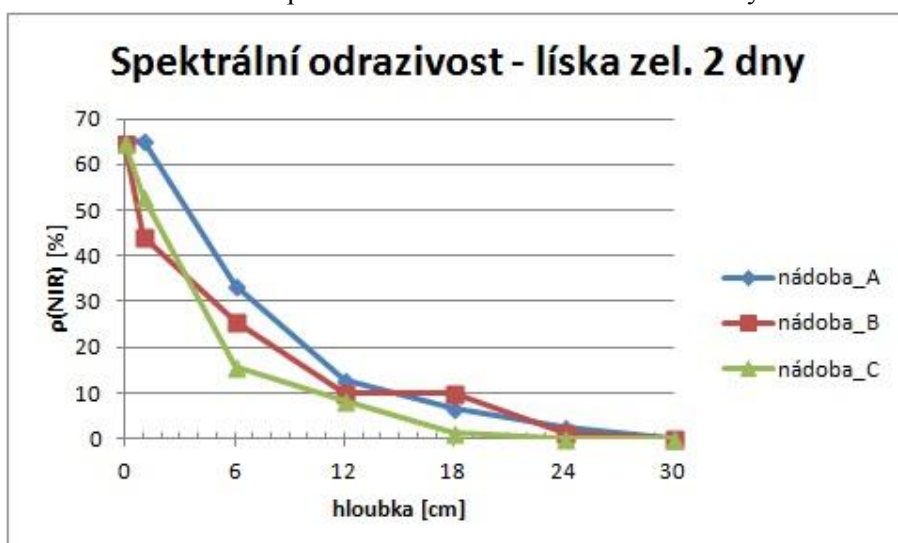
Příloha 1 Spektrální odrazivost – líska zelená



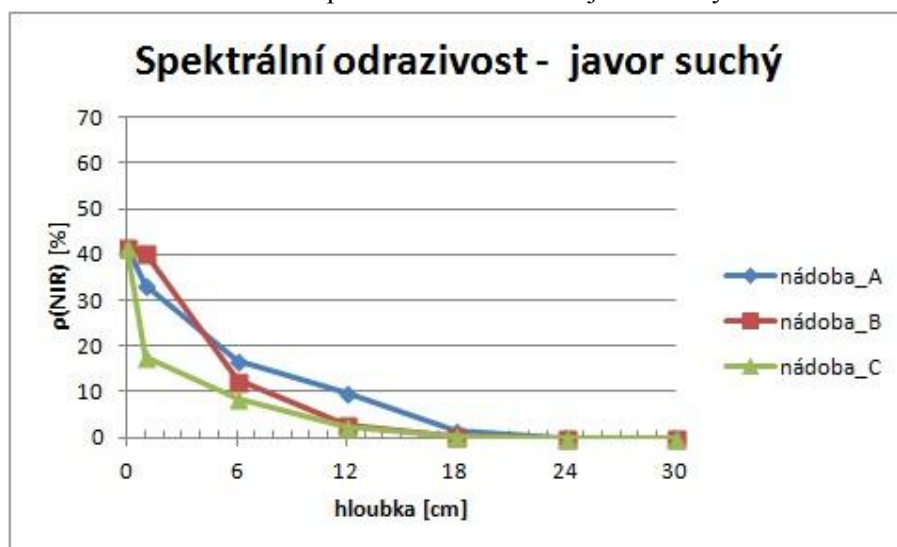
Příloha 2 Spektrální odrazivost – líska žlutá



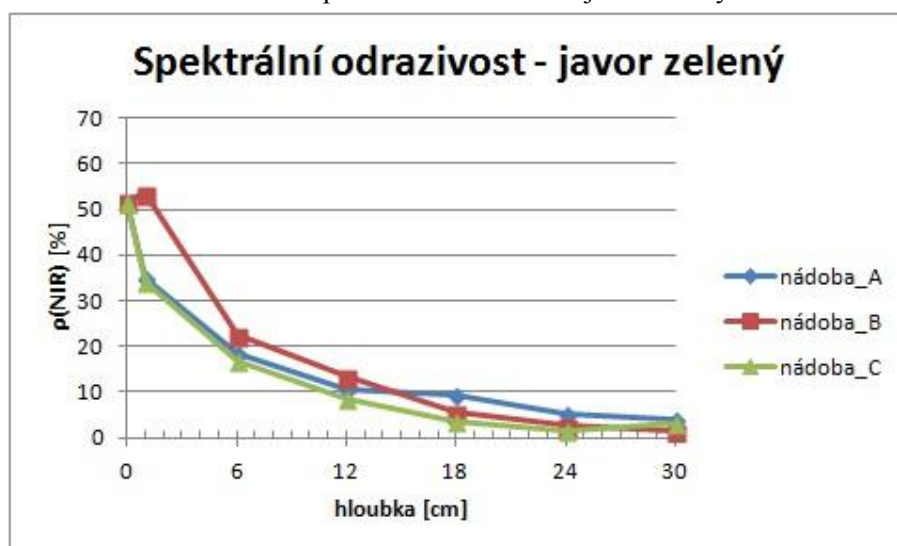
Příloha 3 Spektrální odrazivost – líska zelená 2 dny



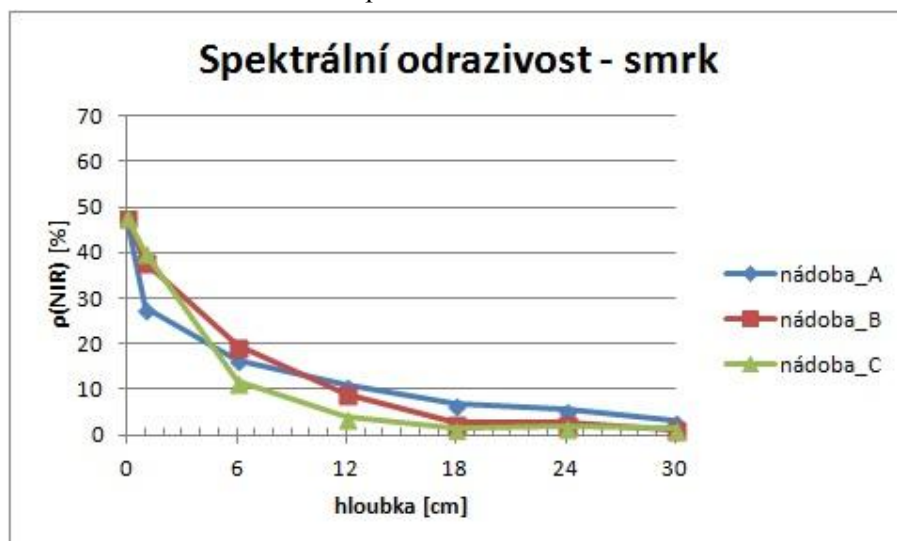
Příloha 4 Spektrální odrazivost – javor suchý



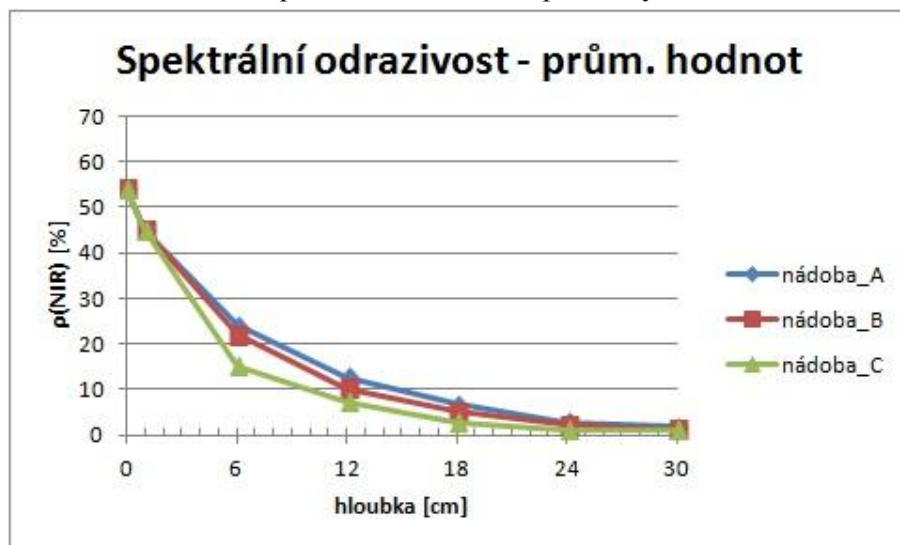
Příloha 5 Spektrální odrazivost – javor zelený



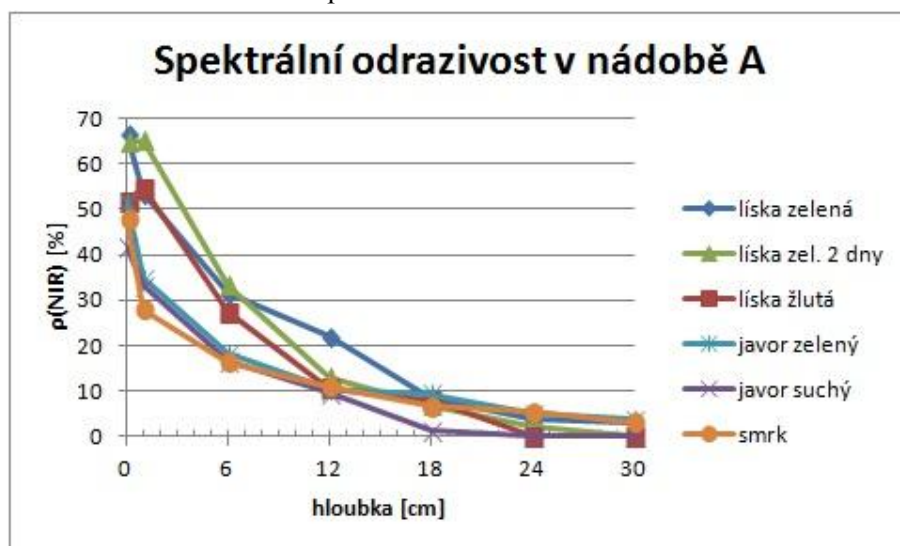
Příloha 6 Spektrální odrazivost – smrk



Příloha 7 Spektrální odrazivost – průměrných hodnot



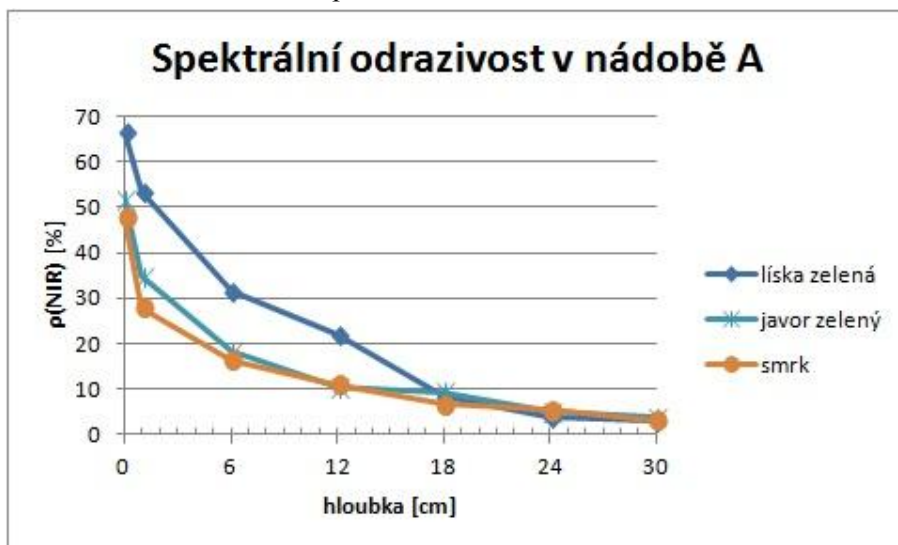
Příloha 8 Spektrální odrazivost – v nádobě A



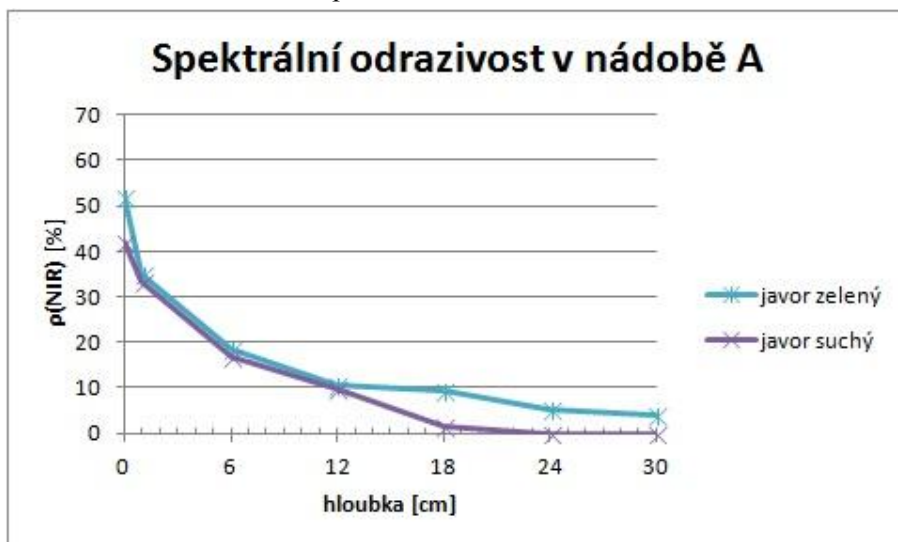
Příloha 9 Spektrální odrazivost – v nádobě A



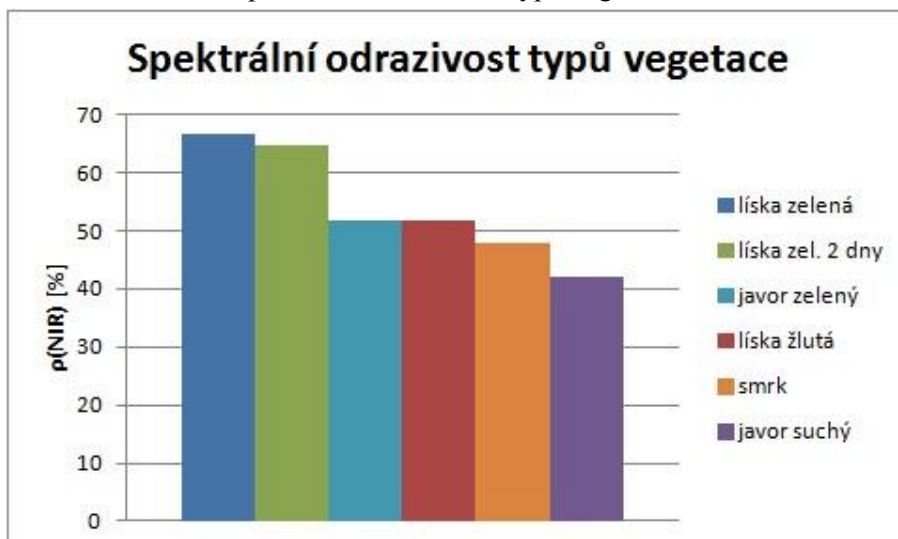
Příloha 10 Spektrální odrazivost – v nádobě A



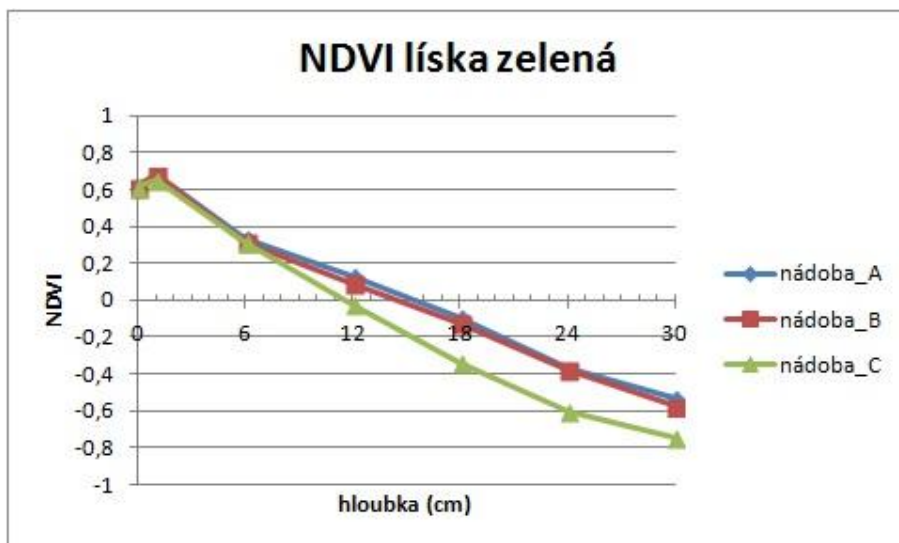
Příloha 11 Spektrální odrazivost – v nádobě A



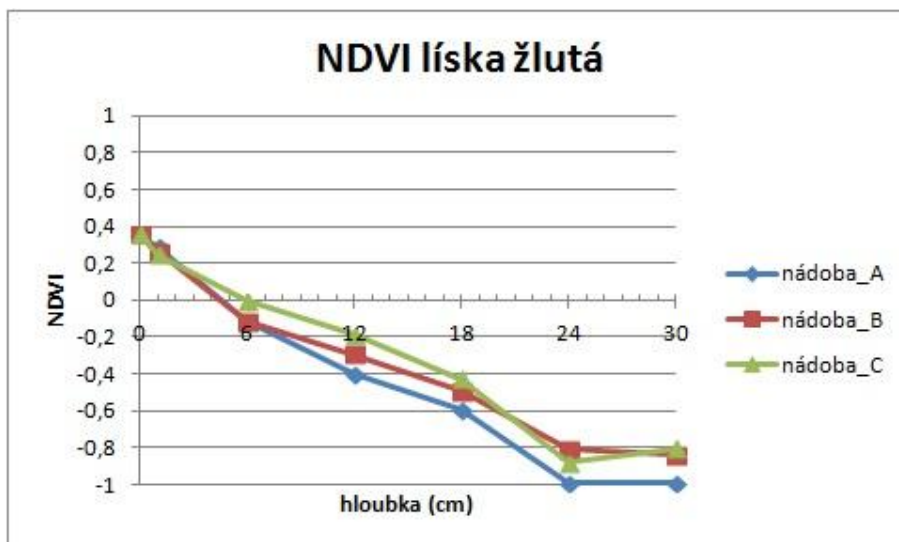
Příloha 12 Spektrální odrazivost – typů vegetace mimo vodu



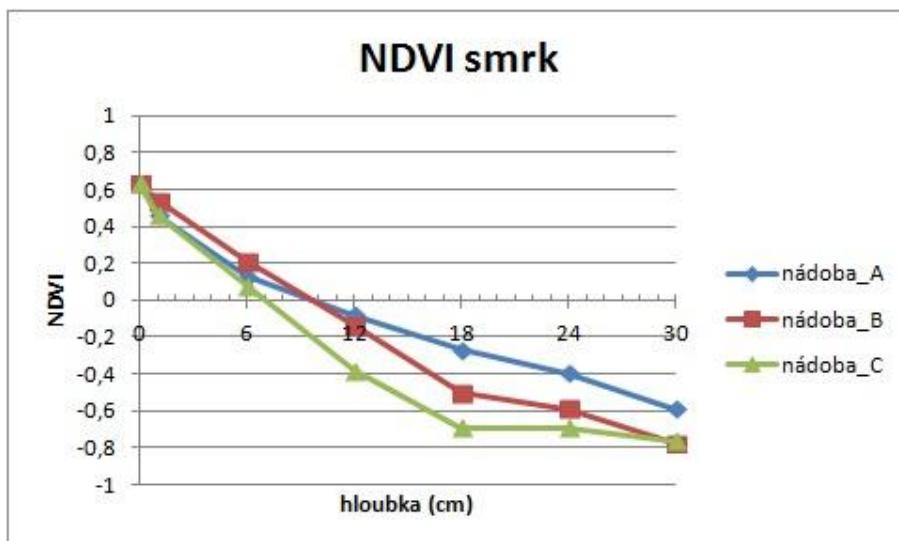
Příloha 13 NDVI líska zelená



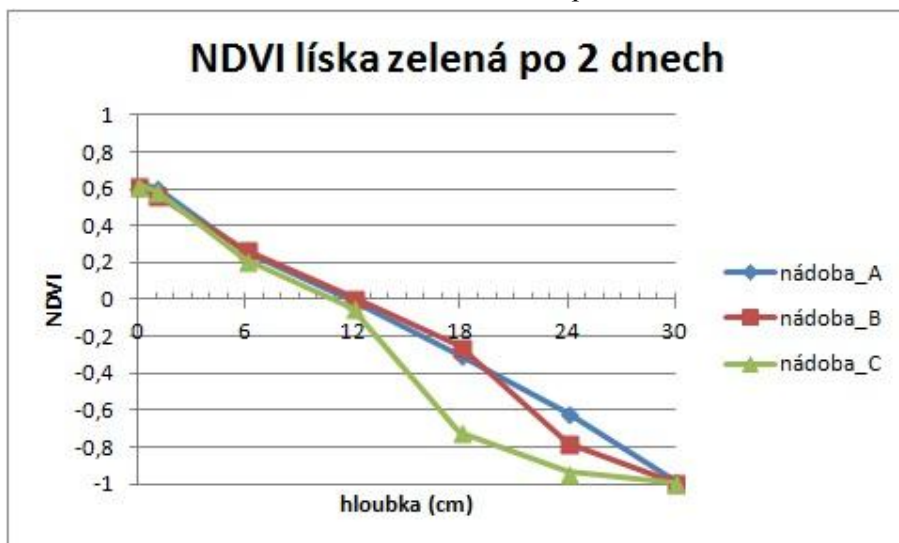
Příloha 14 NDVI líska žlutá



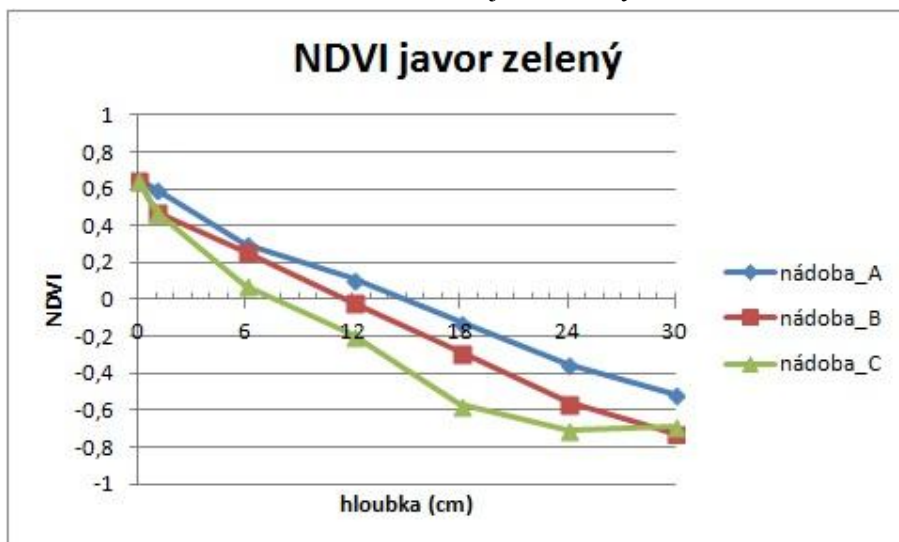
Příloha 15 NDVI smrč



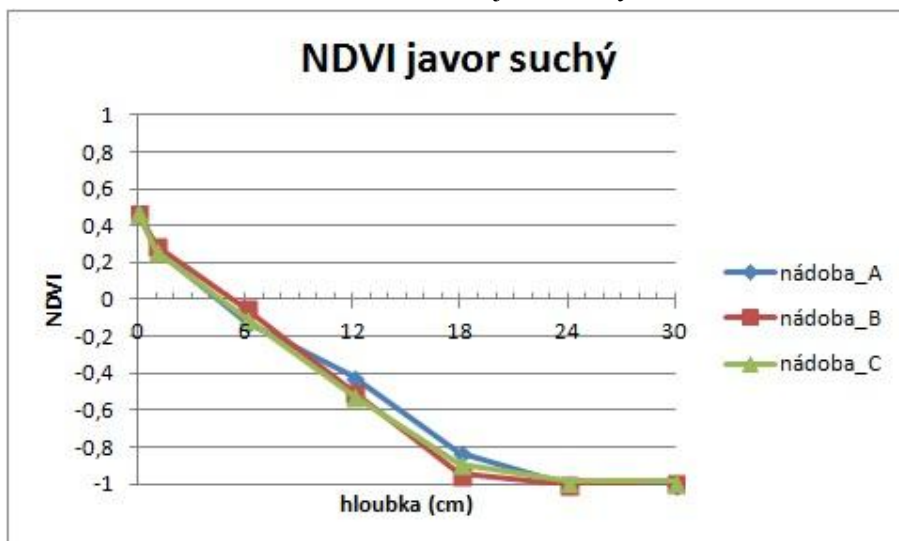
Příloha 16 NDVI líska zelená po 2 dnech



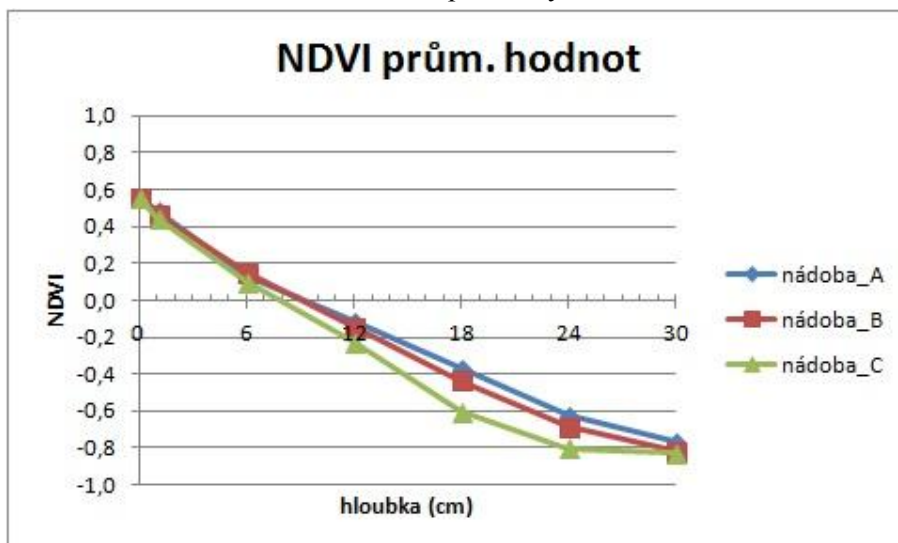
Příloha 17 NDVI javor zelený



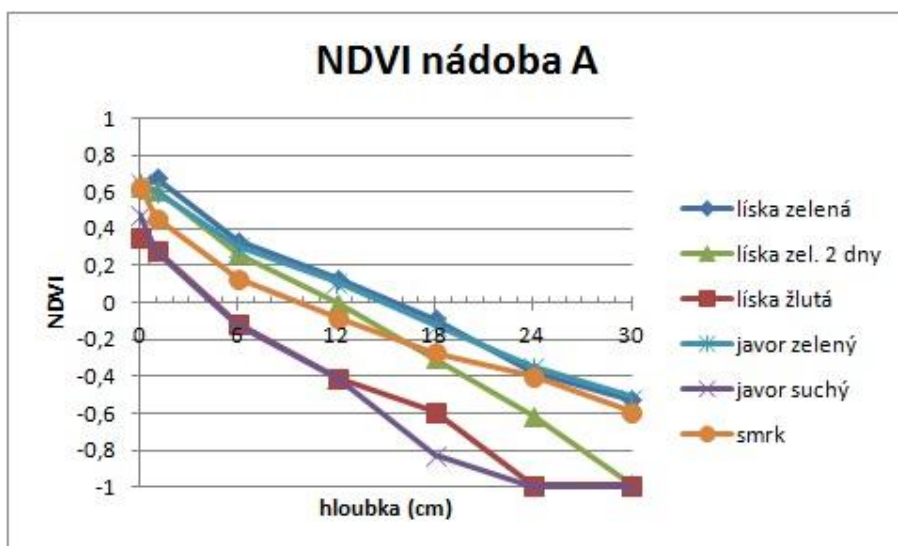
Příloha 18 NDVI javor suchý



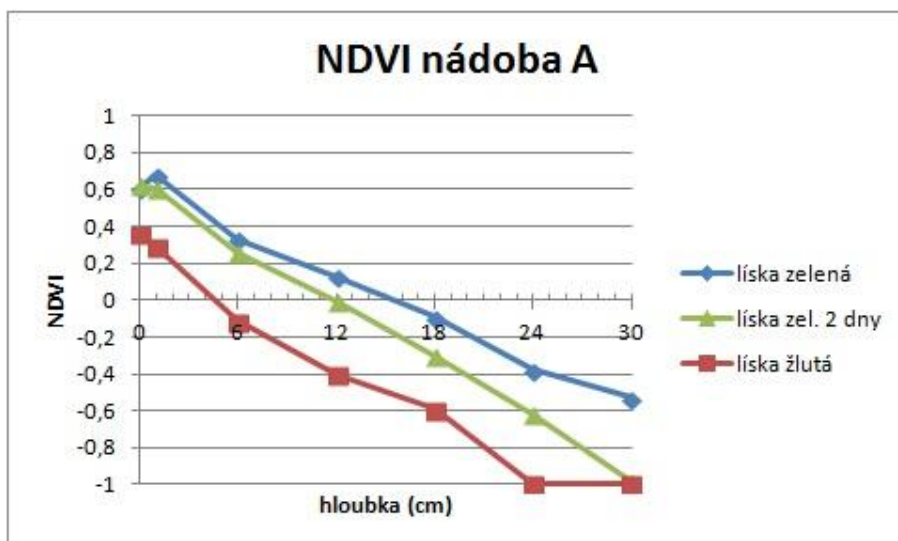
Příloha 19 NDVI průměrných hodnot



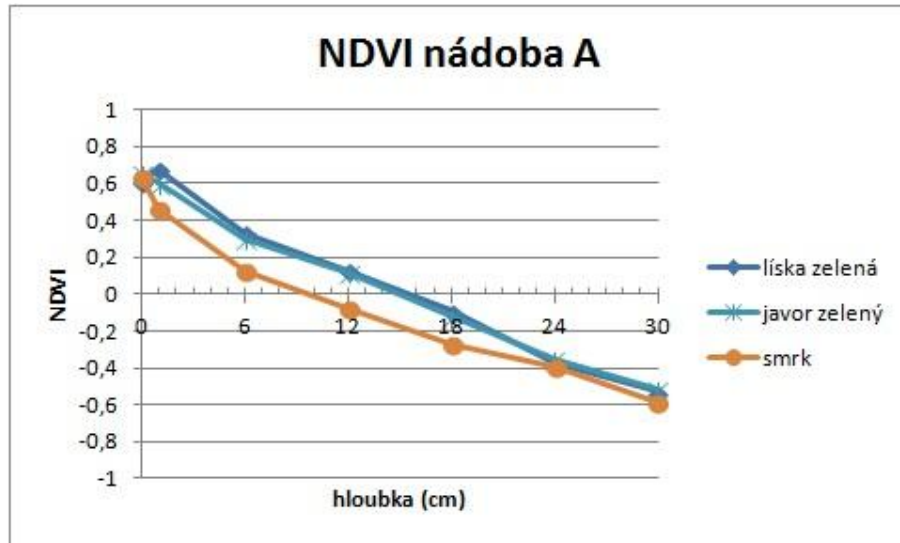
Příloha 20 NDVI nádoba A



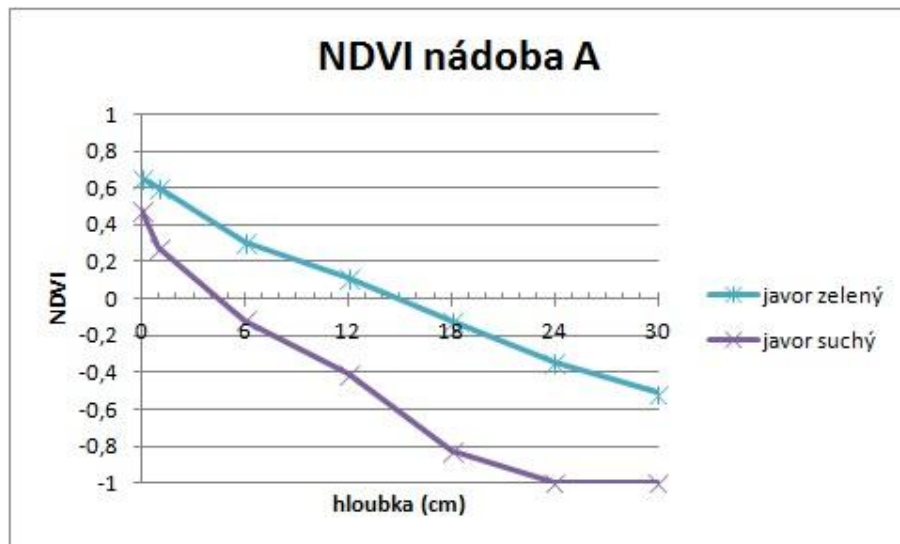
Příloha 21 NDVI nádoba A



Příloha 22 NDVI nádoba A



Příloha 23 NDVI nádoba A



Příloha 24 NDVI typů vegetace mimo vodu

