

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



Martin RIEDL

**Klasifikace lesní vegetace pomocí dat DPZ vysokého a velmi vysokého prostorového rozlišení**

**Classification of forest vegetation using remote sensing data of high and very high spatial resolution**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Praha 2016

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 30.6.2016

---

Martin Riedl

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce RNDr. Přemyslu Štychovi Ph.D. za věnovaný čas, trpělivost, ochotu a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Martinovi Haisovi Ph.D. za připomínky ke klasifikaci území. A v neposlední řadě děkuji také své rodině za podporu v průběhu celého studia.

## **Klasifikace lesní vegetace pomocí dat DPZ vysokého a velmi vysokého prostorového rozlišení**

### **Abstrakt**

Cílem této práce je klasifikovat lesní vegetaci a vytvořit legendu (krajinný pokryv) pomocí dat velmi vysokého (World View – 2) a vysokého (Landsat – 8) prostorového rozlišení pro část území Národního parku Šumava. První část práce se zaměřuje na popis metod per – pixel klasifikace. V praktické části jsou tyto metody aplikovány na satelitní data. U všech výsledků klasifikací je zjištěna přesnost. Další částí práce je popis lesnické legendy ÚHÚL a legendy Corine Land Cover.

Pomocí družicových snímků (velkého rozlišení a velmi velkého rozlišení) klasifikovat lesní vegetaci pomocí klasifikačních metod. A dále vytvořit soubor map, který bude co nejvíce odpovídat realitě zájmového území Národního parku Šumava. Další informace jsou čerpány z lesních hospodářských plánů ÚHÚL.)

**Klíčová slova:** klasifikace, Landsat – 8, World View – 2, Šumava, vegetační pokryv, Land Cover

## **Classification of forest vegetation using remote sensing data of high and very high spatial resolution**

### **Abstract**

The purpose of this work is to classify forest vegetation and create a legend (land cover) by using data of very high (World View – 2) and high (Landsat – 8) spatial resolution for the part of the territory of the National Park of the Šumava. The first part of the work focuses on the description of the methods of per–pixel classification. In the practical part of the methods are applied to the satellite data. For all the results of the classification accuracy is detected. Other parts of the work is the description of the legend of ÚHÚL forestry and legend of Corine land cover.

By using satellite imagery (the high resolution and a very high resolution) to classify forest vegetation using the classification methods. And create a map file, that will be most correspond to the reality of the area of Šumava national park. Additional information is drawn from the forest plans ÚHÚL.)

**Keywords:** Classification Landsat – 8, World View – 2, Šumava, Vegetation Cover, Land Cover

## OBSAH:

<b>PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>6</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....</b>	<b>10</b>
2.1 LESNICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY .....	11
2.1.1 Lesnická typologie .....	12
2.1.2 Disturbance (narušení) .....	12
2.2 LESNÍ VEGETACE .....	13
2.2.1 Spektrální chování objektů .....	13
2.2.2 Spektrální projev vegetace .....	13
2.3 KLASIFIKACE OBRAZU .....	14
2.3.1 Per – pixel .....	14
2.3.2 Objektová klasifikace .....	16
2.3.3 Klasifikační systémy .....	16
2.3.4 Hodnocení přesnosti výsledků .....	18
<b>3 POUŽITÁ DATA A METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>19</b>
3.1 POUŽITÁ DATA .....	19
3.2 POUŽITÝ SOFTWARE .....	20
3.3 VÝBĚR ÚZEMÍ (MODELOVÉ ÚZEMÍ) .....	20
3.4 ÚPRAVY SNÍMKU .....	21
3.4.1 Geometrické korekce .....	22
3.4.2 Radiometrické korekce .....	22
3.5 TRÉNOVACÍ PLOCHY .....	22
3.6 KLASIFIKAČNÍ TŘÍDY .....	23
3.7 LEGENDA .....	27
<b>4 VÝSLEDKY .....</b>	<b>30</b>
4.1 HODNOCENÍ PŘESNOSTI .....	30
4.2 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ KLASIFIKACÍ .....	34
<b>5 DISKUZE .....</b>	<b>35</b>
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>36</b>
<b>POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ .....</b>	<b>37</b>
<b>POUŽITÉ DATOVÉ ZDROJE .....</b>	<b>40</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>41</b>

## PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>APEX</b>	Airborne Prism Experiment (letecký stírací obrazový spektrometr)
<b>CLC</b>	Corine land cover
<b>CORINE</b>	Coordination of information on the environment, Evropský projekt mapování land cover
<b>DN</b>	Digital Number, původní hodnoty snímků
<b>DPZ</b>	Dálkový průzkum Země
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>ETM+</b>	Enhanced Thematic Mapper Plus (skener družice Landsat 7)
<b>ISODATA</b>	Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique
<b>Landsat TM</b>	Landsat Thematic Mapper
<b>LiDAR</b>	Light Detection and Ranging (laserové skenování)
<b>LLS</b>	Letecké Laserové Skenování
<b>LS – 8</b>	Landsat 8
<b>MESMA</b>	Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis
<b>MSS</b>	Multispectral Scanner System (senzory na družicích Landsat 1 až 5)
<b>NIL</b>	Národní inventarizace lesů
<b>NIR</b>	Near Infrared band
<b>NN</b>	Neural Net
<b>RBV</b>	Senzor na družici LANDSAT 1 (Return Beam Vidicon)
<b>ROI</b>	Region of Interest
<b>SAM</b>	Spectral Angle Mapper
<b>SLU</b>	Spectral Linear Unmixing
<b>SVM</b>	Support Vector Machine
<b>SWIR</b>	Short Wave Infra Red
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>VHR</b>	Very High Resolution (velmi vysoké rozlišení)

**WGS 84** Geodetický referenční systém z roku 1984 (World Geodetic System 1984)

**WMS** Web Map Service, standard pro sdílení rastrových map

**WV – 2** World View – 2

## SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 – Porostní typ (zdroj: ÚHÚL – druhová skladba).....	17
Obrázek 2 - Travní porosty .....	23
Obrázek 3 - Půda + bezlesí .....	24
Obrázek 4 - Listnatý les .....	24
Obrázek 5- Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť) .....	24
Obrázek 6 - Jehličnatý les .....	25
Obrázek 7 - Souše .....	25
Obrázek 8 - Antropogenní plochy.....	25
Obrázek 9 - Vodní plochy.....	26
Obrázek 10 - Stíny .....	26
Obrázek 11 - Napadené stromy.....	26
Obrázek 12 - Obnovující se lesní porosty .....	27
Tabulka 1 - Počty trénovacích ploch v pixelech .....	23
Tabulka 2 – hodnoty přesnosti klasifikace Maximum Likelihood WV–2 .....	31
Tabulka 3 – hodnoty přesnosti klasifikace Minimum Distance WV–2 .....	32
Tabulka 4 – hodnoty přesnosti klasifikace ISODATA WV–2.....	33
Tabulka 5 – hodnoty přesnosti klasifikace Maximum Likelihood LS–8 .....	34

# 1 ÚVOD

Neustálý rozvoj a vývoj techniky napomáhá dálkovému průzkumu Země a jejím uživatelům pracovat se širokou škálou dat. Kvalita a dostupnost satelitních snímků napomáhá rozvoji této technologie, umožňuje zkoumání různých částí zemského povrchu a vývoj mnoha aplikací, například v lesnictví, zemědělství, vodním hospodářství, geologii, pedologii atd.

Cílem práce je z družicových dat různého prostorového rozlišení World View – 2 a Landsat – 8 klasifikovat Land Cover vybraného území Národního parku Šumava. Snímky byly pořízené na podzim roku 2015. Pomocí klasifikačních metod per pixel vytvořit a zhodnotit klasifikační výstupy krajinného pokryvu v zájmové oblasti se zaměřením na lesní vegetaci. Významnou částí práce je též návrh legendy zaměřující se na lesní vegetační pokryv poškozený četnými disturbačními událostmi. Výsledky použitých klasifikačních metod budou porovnány a diskutovány. Zhodnoceny budou též vstupní datové podklady a výsledky nad nimi generované.

V rešeršní části je stručně popsán princip dálkového průzkumu Země. V práci jsou vysvětleny klasifikační algoritmy, informace o použitých satelitních snímcích, používané způsoby detekce vegetace a aplikace dat dálkového průzkumu Země v lesnictví. V metodické části je popsáno zpracování satelitních dat, použité klasifikační postupy a určení přesnosti klasifikačních metod. Na konci jsou prezentovány výsledky, které jsou v následující kapitole diskutovány.

## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Dálkový průzkum Země je metoda získávání informací o objektech a jevech a to nepřímou metodou. Tato metoda využívá ke zjištění informací elektromagnetické záření (v jednom nebo více intervalech spektra). Tato metoda je založena na sběru a přenosu dat o zemském povrchu a následné analýze dat a interpretaci naměřených informací. Dálkový průzkum patří mezi geoinformační technologie, u kterých v posledních dvaceti letech došlo k dynamickému rozvoji (Dobrovolný, 1998). Tato distanční metoda umožňuje klasifikovat i obtížně dostupná území.

Při zpracování distančních dat jsou důležité čtyři základní parametry: velikost snímané plochy, prostorové rozlišení, časové rozlišení, vymezení a počet spektrálních pásem.

Prostorová rozlišovací schopnost se pohybuje od několika cm u leteckých snímků až po několik km u družicových dat určených pro meteorologické účely, výjimečně jsou to desítky km v případě globálních snímků (Hais, 2007).

V oblasti využití DPZ v hodnocení stavu a změn lesní vegetace vzniklo již mnoho studií. Hais (2007) se zabývá hodnocením změn vegetačního krytu na Šumavě. Doposud vznikla také široká řada prací bakalářských a diplomových se zaměřením na využití DPZ ve výzkumu vegetace / Land Cover, např. Lihanová (2013), Jakešová (2014) a Outrata (2015).

V diplomové práci Andrštové (2014) nebyla použita data multispektrální, ale data hyperspektrální. Andršová (2014) popisuje, že tato data obsahují více pásem (20 – 400) a šířka pásem je užší než u multispektrálních dat (10 – 20 nm). Proto jsou hyperspektrální data využívána k odlišení velmi malých rozdílů na zemském povrchu.

Cílem Andrštové (2014) bylo vytvoření klasifikace vegetačního pokryvu z hyperspektrálních leteckých dat různého prostorového rozlišení a co nejpřesnější klasifikace zájmové oblasti Krkonošského národního parku. V práci byly využity tyto klasifikace SAM, SLU, SVM, NN a MESMA. Nejvyšší přesnost byla dosažena pomocí klasifikátoru neuronových sítí (96 %) pro data APEX.

Lihanová (2013) se zaměřovala pomocí multispektrálních a lidarových snímků zaměřených na detekci lesních poškození (disturbanci a kalamitní události). Při vyhodnocování výsledků práce poukazovala na časový rozestup 5 let mezi pořízením družicových dat SPOT a dat leteckého laserového skenování. V práci bylo zmíněno, že byla použita data LLS s nízkou hustotou bodů. Pokud by se použila data s vyšší hustotou bodů, byla by klasifikace přesnější (tato data jsou podstatně dražší). Spojení těchto metod má velký potenciál pro hodnocení zdravotního stavu vegetace.

Klasifikací krajinného pokryvu a vegetačního vývoje ve vojenských újezdech Ralsko a Brdy se zabýval Outrata (2015). Poukazuje na problémy s klasifikací tříd (orná půda, trvalé travní porosty, holá půda a zástavba).

Práce Jakešové (2014) byla zaměřena na klasifikaci arкто–alpínské tundry v modelovém území Krkonošského národního parku pomocí objektivně orientované klasifikace. Práce obsahovala terénní data, která napomohla k výborným výsledkům klasifikace (přesnost i přes 90 %).

Zahraniční literatury, která se zabývá dálkovým průzkumem Země, je mnoho. Vybral jsem články, které obsahují informace o různých typech klasifikací a jejich aplikaci. Jsou to například autoři: Magdon (2014), Rodriguez – Galiano (2012). Zahraniční časopisy, které se zabývají touto problematikou, jsou: *Forest Ecology and Management* a *Remote Sensing of Environment*.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. (1994) napsali knihu popisující metody DPZ.

Rodriguez–Galiano (2012) využívá nástroje (algoritmu) random forest. Tato metoda není moc rozšířená, ale dosahuje vysoké přesnosti až 90 %.

Magdon (2014) popisuje přístup definice lesa (např. minimální plocha, pokrytí korunami, minimální výška stromu).

## 2.1 Lesnické informační systémy

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) je odborná organizace Ministerstva zemědělství (lesnictví a myslivosti). Sídlí v Brandýse nad Labem a její působnost je celorepubliková. Historie vzniku sahá do roku 1935, kdy vláda založila Lesní taxační kancelář. Ta umožnila rozvoj lesního hospodářství, v oblasti hospodářské úpravy lesů, a poskytování informací o lesních ekosystémech. V roce 2001 dle vládního nařízení ústav provedl první cyklus Národní inventarizace lesů. Dnes spravuje centrální databázi s informacemi o lesích Česka. Poskytuje ministerstvu zemědělství technickou a odbornou podporu.

Katalog mapových informací je provozován na webovém mapovém portálu. Zde můžeme najít mapy druhové skladby smíšenosti lesů, vlastnické poměry, etážovitost atd. (ÚHÚL, 200–?).

ÚHÚL poskytuje mnoho informací o lesích. Spravuje Národní inventarizaci lesů (NIL), která popisuje souhrnný stav lesů, vývoj lesů, hospodářské využití a popis životního prostředí v Česku. NIL pracuje na matematicko–statistických metodách, což umožňuje objektivní a nezávislé posouzení skutečného stavu a vývoje lesů v Česku. ÚHÚL, (200–?) – Národní inventarizace lesů.

### 2.1.1 *Lesnická typologie*

V roce 1970–71 vznikl topologický klasifikační systém pro hospodářskou úpravu lesů, po první etapě typizace lesů v ČR. Velmi se přibližuje konkrétnímu stavu přírodního prostředí, protože není založen na klasifikaci systematických reprezentativních výběrů.

Základní mapovací jednotkou je lesní typ. Definice lesního typu (ÚHÚL) je totožná se Zlatníkovou (1956): „*Lesní typ je soubor lesních biocenóz původních i změněných a jejich vývojových stadií včetně prostředí, tedy geobiocenóz vývojově k sobě patřících*“. Lesní typ je ovlivněn půdními vlastnostmi, sklonitostí terénu a vývojovým cyklem dřevin. Lesní typy využívají jednotnou symboliku a to trojmístného označení (5B1), které například označuje území: bohatá jedlová bučina mařinková (číslo označuje vegetační stupeň a následující písmeno označuje půdní kategorii).

Další kategorií je soubor lesnických typů a je vyšší topologickou jednotkou než lesní typ a také patří mezi základní jednotky typologického systému. Popisuje soubor lesnických typů podle hospodářsky významných vlastností stanoviště a hlavně podle ekologické příbuznosti (bohatá jedlová bučina 5B).

Ekologická síť je vymezena půdními kategoriemi a lesními vegetačními stupni.

### 2.1.2 *Disturbance (narušení)*

Disturbance je prostorově a časově omezená událost či proces narušující strukturu krajiny a měnící se podmínky prostředí (Forman & Godron, 1993).

Příčiny vzniku disturbancí jsou přírodního a antropogenního původu. Přírodní se dělí ještě na abiotické (sesuvy, povodně, vichřice) a biotické (migrace, výskyt škůdců). Narušení struktury krajiny může být opakující se = chronické (opakované zaplavování údolní nivy) nebo jednorázové = epizodické (vznik polomu zapříčiněný prouděním silného větru).

Sledováním samovolného vývoje horských smrčín a vlivu disturbancí na obnovu porostu. (M. Edwards Jonášová). Plošně rozsáhlé disturbance jsou součástí obnovy porostů a je to přirozený jev (Živa, 2013).

Aplikační využití DPZ je velmi často využíváno s analýzou zdravotního stavu lesních společenstev (ŽÍHLAVNÍK & SCHEER, 2001).

## 2.2 Lesní vegetace

Vývoj satelitních technologií výrazně rozšířil možnosti studia přírodní sféry. Monitoring krajiny se rozvinul od regionální až po globální měřítko. Za rozvojem monitorovacích programů stojí například agentury NASA, ESA či program Copernicus. Výzkumné programy za podpory těchto agentur monitorují též lesní ekosystémy. Informace získané z dat DPZ jsou důležité pro zvládnutí krizových situací (větrné kalamity, povodně a při lesních požárech) nebo monitoring náhlých změn stavu lesa (Bucha, 2014).

### 2.2.1 *Spektrální chování objektů*

Elektromagnetické záření může být na určitém povrchu odraženo, pohlceno nebo jím může dokonce procházet. To je ovlivněno několika faktory: úhel dopadu, typ povrchu (vlhkost, struktura), vlnová délka a materiál (vegetace, voda a pevné látky). Různé typy látek a objektů na Zemi jsou zjišťovány experimentálně, laboratorně, v terénu i při dálkovém měření.

Vlastnosti povrchů můžeme popsat pomocí spektrální křivky odrazivosti. Ta ukazuje závislost odrazivosti na vlnové délce. Pomocí spektrálních křivek je možné rozlišit různé typy objektů (Halounová, 2008).

### 2.2.2 *Spektrální projev vegetace*

Zemský povrch je téměř všude zastoupen vegetační složkou. Ta vytváří homogenní plochy např. listnatého nebo jehličnatého lesa, křovin, luk a polí. Odrazivé vlastnosti listů nejlépe charakterizují spektrální chování vegetace. Spektrální křivka odrazivosti listu se dělí do tří částí (Dobrovolný, 1998).

- a) Oblast pigmentační absorpce (0,4 – 0,7 mikrometrů) – chlorofyl pohlcuje zářivou energii v modré a červené části spektra. Mezi těmito dvěma absorpčními pásy pigmentační absorpce je maximum odrazivosti zeleného světla. Rostliny obsahují další látky karoten xantofyl, které na podzim listy obarvují do žluté barvy a antokyany do červené barvy. Vlnové délky blízkého infračerveného záření ukazují množství chlorofylu v listech (Dobrovolný, 1998).
- b) Buněčné struktury (0,7 – 1,3 mikrometrů) – nejvíce je ovlivněna morfologická struktura listu. V této části spektra můžeme dobře odlišit, jak je oblast pokryta vegetací a jaký druh vegetace se tam vyskytuje (Dobrovolný, 1998).
- c) Vodní absorpce (1,3 – 3 mikrometrů) – je spektrální odrazivost, která je tvořena třemi absorpčními pásy vody. Střední leží přibližně na vlnových délkách 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  a 2,7  $\mu\text{m}$ . Lokální maxima odrazivosti se objevují na vlnových délkách 1,6 a 2,2  $\mu\text{m}$ . V tomto rozmezí je odrazivost nepřímo úměrná obsahu vody v listu (Dobrovolný, 1998).

## 2.3 Klasifikace obrazu

Je prostředek zpracování obrazu. Umožňuje nahradit radiometrické hodnoty (pixely) původního obrazu (spektrálních vlastností jevů a objektů) za hodnoty zvané informační třídy. Třídy klasifikace jsou definovány na počátku v tzv. klasifikačním schématu. Výsledkem klasifikace je tematická mapa s legendou (klasifikační třídy). (Dobrovolný 1998)

Jak popisuje Kolář (1990), klasifikace obrazu využívá klasifikátorů, které jsou založeny na určitých rozhodovacích pravidlech. Všechny části obrazu můžeme zařadit do zvolených tříd.

Klasifikace podle Campbella (1987) je zařazování (bodů) pixelů s hodnotou do tříd. Skupiny stejných pixelů (hodnotou) tvoří třídu nebo kategorii.

### 2.3.1 *Per – pixel*

Tato klasifikace patří mezi nejpodrobněji zpracovanou a nejčastěji používanou klasifikaci.

#### *Řízená klasifikace*

Hlavním prvkem této klasifikace je definování tzv. trénovacích ploch. Trénovací plochy musí být vhodně vybrané plochy, které odpovídají vybraným typům povrchu (tříd). Jednotlivé třídy jsou charakterizovány spektrálními příznaky (charakteristiky povrchu). Pokud by se hodnoty překrývaly, klasifikace by nebyla tak přesná (Halounová a Pavelka, 2008). Z toho vyplývá, že je kladen důraz na reprezentativnost trénovacích ploch, které jsou rozprostřeny rovnoměrně po celém modelovém území. Rozložení hodnot jednotlivých pixelů musí odpovídat normálnímu rozdělení (Dobrovolný, 1998).

Pokud jsou tyto náležitosti splněny, může software zpracovávat jednotlivé pixely a přerozdělovat je do zvolených tříd. Tak vzniká nový obraz modelového území, který odpovídá zvoleným třídám. Dále výsledný obraz ovlivňuje zvolená klasifikační metoda.

#### *Maximum Likelihood*

Počítá s rozptylem a korelací při zařazování pixelu do tříd. Trénovací plochy by měly mít normální rozdělení shluků pixelů. Algoritmus počítá pravděpodobnost, do jaké kategorie přiřadí zvolený pixel. Pixel je zařazen do třídy, která má největší pravděpodobnost (Gisat, 200–?), (Halounová, 2008).

*Minimum Distance*

Minimum Distance vypočítá pro každý shluk a pro každé pásmo průměrnou spektrální hodnotu. Střed shluku se nazývá centroid (vzdálenost jednotlivých pixelů od centroidu ovlivňuje, do jakých shluků jsou následně zařazeny). Nevýhodou algoritmu je, že používá průměrné hodnoty a nepočítá s variabilitou (Gisat, 200–?), (Halounová, 2008).

Do skupiny neřízené klasifikace patří ISODATA, K – Means Clustering nebo Fuzzy K – Means Clustering. Tyto algoritmy fungují na principech shlukových analýz.

Klasifikace per pixel umožňuje pouze vyhodnocení ve spektrálním prostoru.

*Neural Net (Neuronové sítě)*

Je moderní algoritmus, který využívá matematické funkce k přiblížení se fungování neuronu v nervové soustavě. Síť se skládá ze dvou vrstev: 1. vrstva Kohenova – (chová se jako neřízená klasifikace) a 2. Grossbergova (potřebuje trénovací plochy, protože se chová jako řízená klasifikace). Počáteční neuron má vztah se všemi dalšími neurony v následující vrstvě. V poslední vrstvě má každý neuron pouze jediný výstup. Tímto procesem definujeme výslednou funkci (součet váhových hodnot vstupu předcházející vrstvy). Poslední vrstva musí obsahovat tolik neuronů, na kolik má být tříd (Halounová, 2008). Funkce umožňuje zvolit počet vrstev, počáteční funkci a upravování vah uzlu (Envi, 2013).

*Neřízená klasifikace*

Je automatizovaná metoda, která identifikuje skupiny nebo struktury, obsažené v multispektrálních datech (Campbell, 1987). Zde není potřeba vytvářet trénovací plochy.

Podle Halounové neřízená klasifikace nevyužívá trénovací plochy a automaticky vytváří shluky (závisí na podobnosti objektových hodnot obrazu). Objekty jsou přerozděleny do shluků pomocí iterací. Pokud se tento proces opakuje víckrát, zlepšuje se tím kvalita výstupu klasifikace.

*ISODATA*

Na počátku se nastaví počet požadovaných shluků a počet iterací. Shluky jsou umístěny rovnoměrně v analyzovaném prostoru. Zařazování pixelů do jednotlivých skupin (shluků) probíhá v jednotlivých iteracích. Při každé iteraci dochází ke spojování a rozdělování jednotlivých shluků (Gisat, 200–?), (Halounová, 2008).

### *K – Means*

K – Means je nejjednodušší klasifikátor. Základními požadavky jsou parametry, počet iterací a počet shluků. Následně jsou vypočítány středy shluků a pixely jsou přiřazeny do tříd podle nejmenších vzdáleností (Gisat, 200–?), (Halounová, 2008).

#### **2.3.2 Objektová klasifikace**

Objektově orientovaný algoritmus obrazu se snaží napodobit vizuální interpretaci snímků člověkem. Segmentace je základní jednotka objektové klasifikace. Člověk při pohledu na obraz nevyhodnocuje jednotlivé pixely, ale soustředí se na celé homogenní shluky. Na základě tvarových, spektrálních, kontextuálních a jiných informací rozezná jednotlivé objekty. K vyhodnocení snímku je důležité obraz nejprve rozdělit na segmenty a poté aplikovat klasifikační algoritmus. (Gisat, 200–?), (Halounová, 2008).

Klasifikaci pro rozlišení vegetace použil Laliberte et al. (2007).

#### **2.3.3 Klasifikační systémy**

Legenda ÚHÚL je zaměřena na určování lesních druhů vegetace. Jsou zde vymezeny druhy dřevin. Vegetační kryt není vždy homogenní, ale jednotlivé plochy se skládají z více druhů a vznikají smíšené skupiny dřevin. Ty jsou rozděleny do několika skupin: čisté, smíšené, nesourodé a vtroušené (ÚHÚL, 200–?).

Corine Land Cover (CLC) je databáze obsahující informace o krajinném pokryvu a jeho změnách pro území Evropy. Využívá monitorovacích služeb evropského programu Copernicus, který poskytuje družicové snímky. Již vznikly Corine Land Cover z let 1990, 2000, 2006, a zatím poslední je z roku 2012. Území je rozděleno do 44 tříd krajinného pokryvu s měřítkem 1:100 000. Státy samostatně vytvářejí CLC. Celý tento projekt koordinuje Evropská agentura pro životní prostředí (EEA). Pro území Česka zpracovává data CENIA. (EEA, 200–?)

### **ÚHÚL**

Legenda ÚHÚL je zaměřena na určování lesních druhů vegetace. Jsou zde vymezeny druhy dřevin. Vegetační kryt není vždy homogenní, ale jednotlivé plochy se skládají z více druhů a vznikají smíšené skupiny dřevin. Ty jsou rozděleny do několika skupin: čisté, smíšené, nesourodé a vtroušené (ÚHÚL, 200–?).

Druhovú skladbu je zaměřena na určování druhů vegetace. Jsou zde vymezeny druhy dřevin. Vegetační kryt není vždy homogenní, ale jednotlivé plochy se skládají z více druhů a vznikají smíšené skupiny dřevin. Ty jsou rozděleny do několika skupin:

- 1) Čisté – 90–100% zastoupení jednoho typu porostu

- 2) Smíšené – a) dominantní 70 – 89 % zastoupení jednoho typu porostu  
 b) majoritní 50 – 69 % zastoupení jednoho typu porostu
- 3) Nesourodé a) základní 30 – 49 % zastoupení jednoho typu porostu  
 b) přimíšené 10 – 29 % zastoupení jednoho typu porostu
- 4) Vtroušené – zastoupení jednoho typu porostu do 10 %

Ve zvoleném území se vyskytují tyto kategorie dřevin: smrk, buk, javor, suchá vegetace a ostatní listnáče. Tyto kategorie se mezi sebou mísí, například vznikne kategorie → *dominantní smrk příměs jedle a buk / javor / třešeň a ostatní listnáč d1p2p6p9x*, ÚHÚL, (200–?) – druhová skladba.

Obrázek 1 – Porostní typ (zdroj: ÚHÚL – druhová skladba)

PT	Dřeviny zahrnuté v PT
0	Souše
1	smrk ztepilý
1e	smrk pichlavý, smrk omorika, smrk Engelmannův, smrk černý, smrk sivý, smrky ostatní
2	jedle bělokorá
2e	jedle obrovská, jedle ojněná, jedle kavkazská, jedle vznešená, jedle ostatní, douglaska tisolistá
3	borovice lesní
3e	borovice černá, banksovka, vejmutovka, limba, borovice pokroucená, borovice ostatní
4	modřín evropský, modříny ostatní
4k	kosodřevina, blatka
4x	tis červený, jalovec obecný, ostatní jehličnaté
5	dub letní, dub zimní, dub pýřitý, dub bahenní, dub cer, jilm habrolistý, jilm horský, vaz, lípa srdčitá, lípa velkolistá, lípa stříbrná
5e	dub letní slavonský, dub červený, duby ostatní, ořešák královský, ořešák černý
6	buk lesní, javor mléč, javor klen, třešeň ptačí
7	jasan ztepilý, jasan úzkolistý
7e	akát
8	olše lepkavá, olše šedá, olše zelená
9	vrba bílá, v. křehká, topol bílý, topol černý, osika, topoly šlechtěné, ostatní topoly nešlechtěné
9e	kaštanovník jedlý, jírovec maďal, platan javorolistý, javor jasanolistý, jasan americký, javory ostatní, pajasan žláznatý
9x	habr obecný, javor babyka, bříza bradavičnatá, bříza pýřitá, jíva, střemcha pozdní, jeřáb ptačí, břek, muk, hrušeň, jabloň, ostatní listnaté tvrdé, ostatní listnaté měkké, keře

### **2.3.4 Hodnocení přesnosti výsledků**

Klasifikační postupy je pokaždé nutné kontrolovat a hodnotit. Zvolené oblasti v trénovacích plochách musí u každého pásma histogramu mít normální rozdělení. Spektrální příznak využívá kombinaci dvou pásem k zobrazení prostorového rozložení pixelu ve spektrálním prostoru. Trénovací plochy by se měly co nejméně překrývat. Měla by se použít odlišná pásma pro klasifikaci.

Klasifikační chybová matice vyjadřuje vztah mezi klasifikovanými daty a referenčními daty. Matice  $n \times n$  ( $n$  je počet kategorií). Sloupec znázorňuje hodnoty získané klasifikací a řádek zvolené trénovací plochy. Počítají se zde 3 typy přesnosti: celková, uživatelská a zpracovatelská (pravděpodobnost se uvádí v procentech). Uživatelská přesnost je poměr mezi správně klasifikovanými pixely a počtem referenčních pixelů ve vybrané třídě (řádek). Zpracovatelská je poměr mezi správně klasifikovanými pixely a počtem referenčních pixelů ve vybrané třídě (sloupec). Celková přesnost je poměr správně zařazených pixelů a počtu posuzovaných pixelů.

Kappa index je porovnáním klasifikace s výslednou klasifikací. Pixely jsou náhodným procesem přiřazovány do tříd. Výsledkem je procento pixelů správně přiřazených do tříd, které nabývá hodnot  $\langle 0,1 \rangle$ . Hodnoty nad 0,8 znamenají velmi dobrou shodu a hodnoty pod 0,4 znamenají, že výsledek má malou shodu a je náhodný (Olofsson, 2013).

## 3 POUŽITÁ DATA A METODIKA PRÁCE

### 3.1 Použitá data

Rozvoj výpočetní techniky v posledních dvou desetiletích měl vliv na rozvoj oblasti technologie DPZ. To mělo za následek zlepšení obrazové kvality pořizovaných dat, ale také data začala být dostupná i pro širokou veřejnost. Dříve snímky z družic byly využívány převážně pro vojenské účely, což se za poslední dvě dekády změnilo. V dnešní době jsou data hojně využívána i v civilním sektoru a hlavní podíl na rozvoji měly dva aspekty: bezplatné poskytování dat některých společností a vesmírných programů a rozvoj internetu. Mnohá data jsou v dnešní době dostupná online, což má velký potenciál i do budoucna. Uživatel těchto služeb si může vybrat z velkého množství snímků s různým prostorovým rozlišením a spektrálních kanálů.

Pro tuto práci byly vybrány dvě scény s rozdílným prostorovým rozlišením. Prvním využitým datovým zdrojem je WorldView – 2 pořízen 17.9.2015. Druhým zdrojem je snímek Landsat – 8 pořízen 12.10.2015, který je volně dostupný na serveru EarthExplorer (USGS – United States Geological Survey). Distributorem použitého snímku WorldView byla firma ArcData.

WorldView je komerční satelit, který je provozován americkou společností DigitalGlobe (dříve WorldView Imaging Corporation). Společnost byla založena v roce 1992 Dr. Walterem Scottem. V roce 1993 získala licenci pro pořizování satelitních snímků s vysokým rozlišením. Společnost provozuje několik satelitů: EarlyBird–1, IKONOS, QuickBird, GeoEye–1, WorldView 1–4.

WorldView – 2 pořizuje snímky od roku 2009. Družice pořizuje snímky ze vzdálenosti 770 km nad zemským povrchem. Snímky jsou pořizovány ve velmi vysokém rozlišení (VHR – Very High Resolution). Rozlišení panchromatických snímků je 46 cm a multispektrálních snímků je 1,85 m. Satelit má multispektrální senzor pořizující snímky v 8 pásmech. Jsou to pásma: modré 450 – 510 nm, zelené 510 – 580 nm, červené 630 – 690 nm a IR1 770 – 895 nm. Pásmo jemné oblačnosti (coastal) 400 – 450 nm, žlutá 585 – 625 nm, červený přechod (Red Edge) 705 – 745 nm a IR2 860 až 1040 nm. Dynamický rozsah 11 bit na pixel. Satelit nasnímá za den plochu 975 000 km<sup>2</sup> a je schopný se přemístit na stejné místo za 1,1 dne.

Hmotnost celého zařízení je 2800 kg a odhadovaná životnost by měla být kolem 7 let. Hlavní cíl této družice je sledování Země. (Satimagingcor, 200–?).

## ***Landsat***

V roce 1972 byla vypuštěna první družice mise Landsat řízená NASA (National Aeronautics and Space Administration) a USGS (United States Geological Survey). Data z družic umožňují monitorovat přírodní změny v krajině a sledovat lidskou činnost.

První tři generace měly 2 senzory RBV (Return Beam Vidicon) a MSS (multispektrální skener). Čtvrtá generace měla vylepšený MSS.

Landsat 4 i 5 byl vybaven sedmikanálovým skenerem TM (Thematic Mapper). Data z tohoto skeneru se stala nejpoužívanějším zdrojem družicových dat. Landsat 7 ETM+ osmikanálový multispektrální skener. Z mise Landsat jsou k dispozici archivní data zdarma.

Landsat 8 pořizuje snímky od roku 2013. Poskytuje panchromatická data s rozlišením 15 metrů, multispektrální s rozlišením 30 metrů a termální data s rozlišením 100 metrů. Družice je vybavena senzory OLI Operational Land Imager (multispektrální data) a TIRS Thermal Infrared Imager (termální data). Multi spektrální pásmo jemné oblačnosti (coastal) 433 – 453 nm, modré 450 – 515 nm, zelené 525 – 600 nm, červené 630 – 680 nm, blízké infra červené (NIR) 845 – 885 nm, SWIR 1 1560 – 1660nm, SWIR 2 2100 – 2300nm. Panchromatické 500 – 680nm. Termální TIR 1 1030– 1130 nm, TIR 2 1150 – 1250 nm (Landsat, 200–?).

## **3.2 Použitý software**

Ke zpracování družicových snímků je v současné době mnoho různých softwarů. Jsou k dispozici programy volně stažitelné např. LeoWorks, MultiSpec Beam Visat a další. Nebo komerční PCI Geomatica, Envi 5.2 a další. K zpracování snímků jsem využil programu Envi 5.2, který umožňuje dobrou práci s oběma typy dat a poskytuje vhodné nástroje k provedení klasifikací.

Další software využitý v práci byl ArcGIS 10.2, který je vhodný pro vizualizaci – výsledné obrazové výstupy a mapky. A dále umožňuje pomocí WMS služby zobrazení co nejvíce aktuálního ortofota. Pomocí ortofota byla zjišťována přesnost klasifikace. Pro tvorbu tabulek a textu byl použit software Microsoft Office Excel 2013 a Microsoft Office Word 2013.

## **3.3 Výběr území (modelové území)**

Zvolená zájmová oblast se rozkládá v části Národního parku Šumava a to v povodí Modravského potoka a Roklanského potoka, které jsou součástí povodí řeky Vydry. Celková plocha modelového území je 92 km<sup>2</sup>. Tato oblast byla vybrána z důvodu dlouhodobého výzkumného sledování na PřF UK v Praze. Oblast je vhodná pro hodnocení a klasifikaci lesní vegetace poškozené četnými disturbačními událostmi.

Národní park Šumava je rozsáhlé chráněné území (69 030 ha) se zvláštním režimem ochrany přírody, což umožňuje nerušený vývoj fauny a flory. Území národního parku se dělí na tyto geomorfologické podcelky: Šumavské pláně, Železnorudskou hornatinu, Boubínskou hornatinu, Trojmezenskou hornatinu, Želnavskou hornatinu a Vltavskou brázdu. Území je protkáno malými potoky a slatiništi. Šumava je spojována se zelenými plochami lesů, které zauímají kolem 80 % území. Porosty jsou silně ovlivněny negativním působením kůrovce. Můžeme zde vidět různé stádia působení kůrovce, ale i komplexy různého stádia postupného obnovování porostů.

V Národním parku Šumava jsou nejvíce viditelné dva příklady narušení pokryvu. V lednu 2007 prošel šumavskými lesy orkán Kyrill, který ve vrcholových oblastech vytvořil polomy převážně smrkových porostů. Druhý známý příklad je přemnožení lýkožrouta smrkového (kůrovce). Tato situace je zapříčiněna lidskou činností z 19. století, kdy člověk začal kácet jádrové pralesy a nahrazovat je nepůvodními smrkovými monokulturami Hais (2009).

### 3.4 Úpravy snímku

Z důvodu různé velikosti použitých snímků byla vytvořena hranice modelového území dle nasnímaného územního rozsahu snímku World View 2. Toto území má rozlohu 9291 ha a velmi se podobá snímku World View 2 (povodí Roklanského a Modravského potoka). Snímek LS – 8 byl oříznut snímkem WV – 2 pomocí funkce *Resize Data*. Následně byla upravena okrajová oblast snímku WV – 2 z důvodu zaoblení hranic a vytvoření masky s nulovými DN hodnotami. Nad územím byla vytvořena plocha (polygon) za pomoci funkce *ROI* (Region Of Interest), která byla převedena do shapefilu. Funkcí *Built Mask* byla vytvořena maska, která obklopuje plochu zájmového území. Funkcí *Apply Mask* se spojí oříznutou scénu s maskou a vznikne finální podoba modelového území, nad kterou jsou prováděny analýzy.

Při řízené klasifikaci si musíme nahrát soubor ROI, bez něj bychom nemohli pokračovat. Zvolíme algoritmus Maximum Likelihood, vybereme objekty, které chceme klasifikovat → Set probability Treshold nastavíme na None Data Scale Factor 2047, data jsou 11bitová → výsledek si uložíme.

U algoritmu Minimum Distance vybereme objekty, které chceme klasifikovat → výsledek uložíme. U algoritmu neřízené klasifikace ISODATA byl nastaven minimální počet 10 a maximální počet 15 tříd. Z neznámých důvodů byl software schopný pouze 5 iterací u WV – 2 → Change Treshold 5. Minimální počet pixelů v třídě byl 75 → Minimum Class distance byl zvolen 10 Maximum Merge pairs 3 → další hodnoty nebyly nastaveny. Následně bylo 15 tříd sloučeno pomocí funkce Combine Classes do 8 tříd.

Měření přesnosti bylo provedeno následujícím postupem:

Pomocí funkce Generate Random Sample Using Ground Truth Image bylo vygenerováno 350 náhodných bodů z jednotlivých klasifikací. Tyto ROI body byly exportovány do Shapefilu, který byl nahrán a upravován v ArcMapu 10.2 nad ortofotem. Upravené body byly nahrány zpět do Envi 5.1 pomocí funkce Confuse Martix Using Ground Truth Roi a opravené body spojeny se zvolenou klasifikací. Následně byla vygenerovaná celková přesnost, Kappa koeficient a chybová matrice.

Na výsledné klasifikace byl použit nízkofrekvenční Mediánový filtr. Filtrovací okno pro výsledné klasifikace z WV – 2 bylo 5×5 a pro LS – 8 bylo 3×3. Filtry byly použity, aby vyhladily obraz a zbavily ho šumů. Výsledné výstupy jsou součástí barevných příloh 5 až 12.

### **3.4.1 Geometrické korekce**

Používají se k získání obrazu s požadovaným kartografickým zobrazením či souřadnicovým systémem, aby bylo možné dále pracovat s tímto obrazem (měření ploch, délek). Geometrické korekce využívají proces rektifikace, který transformuje polohy všech obrazových prvků ze souřadnicového systému do druhého zvoleného systému. Proces převzorkování transformuje obrazové prvky (DN) z původní souřadnicové soustavy do nově zvolené soustavy (Dobrovolný, 1998).

Geometrické korekce nebylo potřeba vykonávat, oba snímky obsahují korekce. Satelitní snímky jsou ve stejném souřadnicovém systému WGS 84. Ortofoto České republiky využívané v práci pro sběr kontrolních bodů má také souřadnicový systém WGS 84 a bylo pořízeno v roce 2015. Geometrická přesnost byla zkontrolována vizuálně překryvem všech použitých dat.

### **3.4.2 Radiometrické korekce**

Mají za úkol upravit digitální hodnoty obrazového záznamu tak, aby co nejlépe odpovídaly skutečným i obrazovým vlastnostem objektu (Dobrovolný, 1998). Zařízení musí být kalibrována z důvodu změny stavu atmosféry a změny geometrie letu.

## **3.5 Trénovací plochy**

Jednou velmi důležitou částí práce bylo vytvoření trénovačích ploch v softwaru Envi, kde nástrojem Region Of Interest (ROI) byly vybrány pixely pro řízenou klasifikaci uvedené v Tabulce 1. Pro vybrání vhodných pixelů byly použity následující nástroje:

Funkce Cursor Value zobrazuje DN hodnoty 3 čísla (Digital Number). Každý pixel obsahuje tuto hodnotu, která závisí také na typu dat, jestli jsou 8 bitová nebo 11 bitová).

Funkce Spectral Profile vykresluje grafy odrazivosti jednotlivých pixelů. Na ose x můžeme zobrazovat hodnoty vlnové délky nebo jednotlivá pásma. Na ose y hodnoty DN.

Tabulka 1 - Počty trénovacích ploch v pixelech

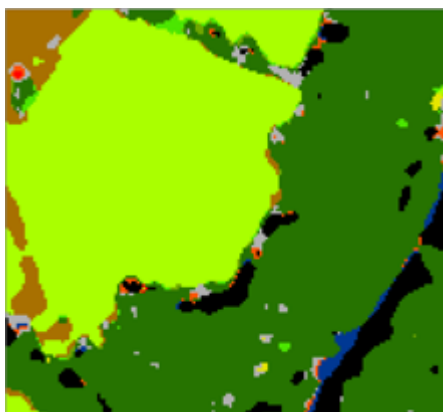
Třídy	Landsat	WorldView
Obnovující se lesní porosty	12	55
Napadené stromy	23	86
Stíny	22	82
Vodní plochy	15	260
Antropogenní plochy	18	177
Souše	18	179
Jehličnatý les	20	162
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	50	1399
Listnatý les	14	60
Půda + bezlesí	42	367
Travní porosty	32	1478
<b>Celkem</b>	<b>266</b>	<b>4305</b>

### 3.6 Klasifikační třídy

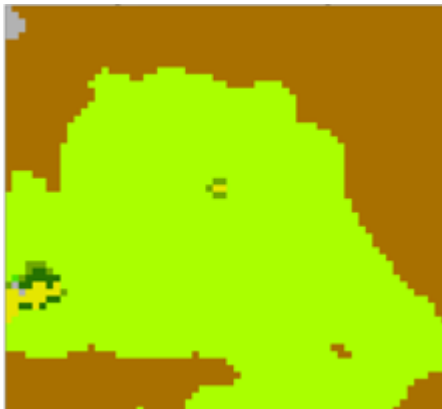
Při Určování legendy krajinného pokryvu bylo využito zavedených klasifikačních systémů (Corine, ÚHÚL), výsledků zpracovaných studií a vlastního průzkumu.

Klasifikace modelového území byla vypracovávána v programech Envi a ArcGIS. Na obrázcích níže jsou zobrazeny kategorie, které se zobrazují v klasifikaci Maximum Likelihood. Vedle sebe jsou obrázky stejného území, kdy na levé straně je zmiňovaná klasifikace a na pravé straně je snímek z ortofota.

Obrázek 2 - Travní porosty



*Obrázek 3 - Půda + bezlesí*



*Obrázek 4 - Listnatý les*



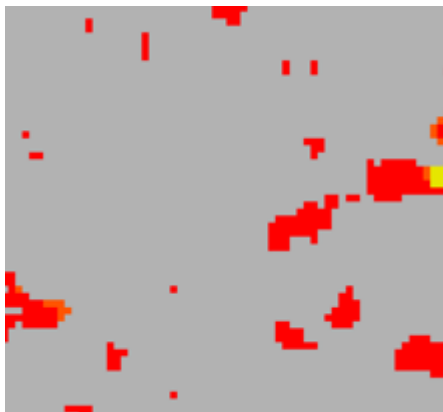
*Obrázek 5- Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)*



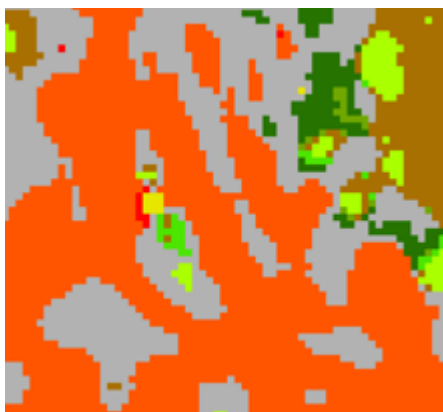
*Obrázek 6 - Jehličnatý les*



*Obrázek 7 - Souše*



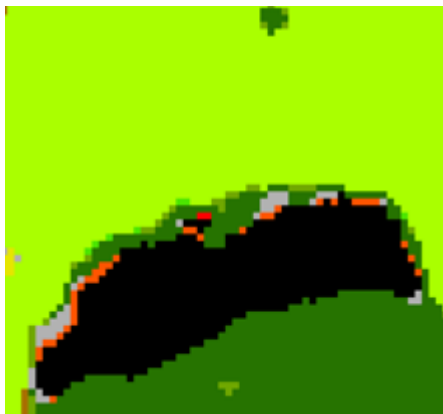
*Obrázek 8 - Antropogenní plochy*



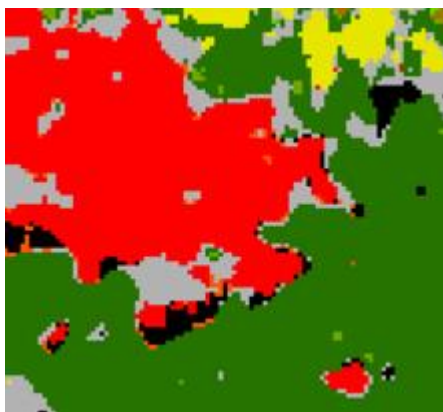
*Obrázek 9 - Vodní plochy*



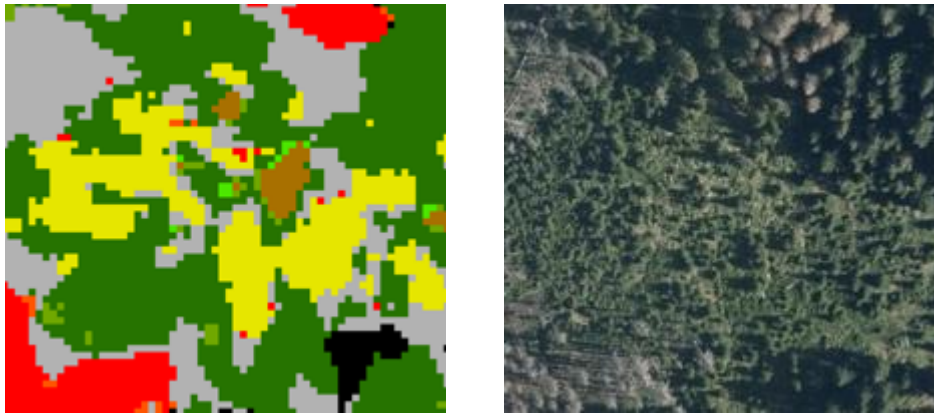
*Obrázek 10 - Stíny*



*Obrázek 11 - Napadené stromy*



Obrázek 12 - Obnovující se lesní porosty



### 3.7 Legenda

*Zdravý les* je takový les, který plní svoji funkci v rámci daného ekosystému. Znamená to, že lesy poškozené působením činnosti člověka (emise), klimatických příčin (vítr, sníh, kroupy), škůdců (např. kůrovce) nebo přemnožené lesní zvěře nemají takovou biologickou hodnotu, jako má dravý les, a při vhodných podmínkách trvá celá desetiletí obnova do původního stavu.

*Jehličnatý les* se skládá ze stromů a dřevin, kde převládají jehličnaté druhy. Na multi-spektrálních snímcích se zobrazují tmavou barvou (v nepravých barvách). Malé listnaté stromy mají podobnou odrazivost jako jehličnaté porosty. Aby byl les klasifikovaný jako jehličnatý, musí pokrývat  $\frac{3}{4}$  zvolené plochy jehličnaté stromy.

*Listnatý les* se skládá ze stromů a keřů, kde převládají listnaté druhy. Stíny a orientace svahu mohou znepřesnit klasifikaci. Pokud by les nebyl tvořen ze  $\frac{3}{4}$  z listnatých druhů stromů a keřů, jednalo by se o les smíšený.

*Obnovující se lesní porosty* – lesní porosty se obnovují přirozeně sami. Člověk do tohoto přírodního cyklu u zdravého lesa jen velmi málo zasahuje. Nové stromy vyrůstají pod původním porostem. Díky přirozenému výběru se uchytí jen ty nejsilnější. V případě umělé obnovy lesů člověkem byly vysazovány převážně stejnorodé porosty, které jsou poškozovány zvěří a z důvodu absence vzrostlých stromů i vlivem přírodních podmínek. Proto je důležité přizpůsobit druhovou skladbu lesa místním podmínkám.

*Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)* – nad horní hranicí lesa se vyskytují dřeviny, které nedosahují výšky jako jejich podobné druhy v nižších polohách. Většinou se jedná o jehličnany, nižšího nebo keřového vzrůstu, které takto snáze odolávají klimatickým podmínkám. V místech, která jsou trvale zamokřena, vznikají v této oblasti tzv. vrchoviště, která jsou vytvářena především rašeliníky (druh mechu).

*Poškozený les* – je les, který ne zcela plní funkci v rámci daného ekosystému a neprobíhá v něm přirozená obnova. Poškození lesa může vzniknout působením člověka (čistota ovzduší, těžba), činností přírody (působením větru, sněhu atp.) nebo působením škůdců a lesní zvěře.

*Souše* – les s uschlými stromy. Může se jednat o stromy napadené kůrovcem, les, přes který se přehnal orkán, nebo část lesa bez zásahu člověka. V našich podmínkách můžeme spíše vidět holiny než souše.

*Stromy napadené kůrovcem* – k napadení stromů dochází většinou koncem léta. Po napadení zůstává jehličí ještě několik měsíců zelené (tzv. green-attack). Poté dochází ke ztrátě chlorofylu a jehličí začíná červenat (tzv. red-attack). Les se v tomto stádiu projevuje na snímcích poklesem odrazivosti v zelené části spektra. Zpravidla po třech letech začnou opadávat ze stromů jehlice (tzv. grey-attack). Spektrální vlastnosti takového lesa se blíží vlastnostem holé půdy (Lihanová 2013).

*Půda + bezlesí* jsou oblasti bez vegetace, které vznikly přirozeně nebo činností člověka a disturbancí.

*Vodní plochy* se nachází v oblastech rašelinišť a slatinišť a vytvářejí malé plošky – zásobárny vod. Hlavním prvkem krajiny je hustá říční síť říček a potoků.

*Antropogenní plochy* jsou zastavěné oblasti převážně rodinné domy, statky a zahrady. Dále sem, můžeme zahrnout silnice a zpevněné lesní cesty.

*Stíny* jsou vytvářeny vysokými objekty, které nebyly odstraněny radiometrickými korekcemi.

*Travnaté porosty* se často vyskytují v drsných oblastech, skalních oblastech, pláních a zemědělsky využívaných plochách. Travní porosty se mohou zaměňovat s holou skálou, rašeliništi a vřesovišti. Tato kategorie nemá ostré hranice.

Do kategorie *Smíšený les* patří plochy v nichž nepřevládá ani jehličnatý ani listnatý porost. Jsou to mozaiky různých druhů dřevin.

*Rašeliniště a slatiniště* se skládají z rostlinné hmoty (keře a byliny (šípek vřes atd.)), kapradiny a mechy. Jsou to ekosystémy vyskytující se ve vlhkých oblastech (zaplavených oblastech nebo oblastech s vydatnými srážkami) s vlhkomilnými rostlinami. V nížinách je nazýváme rašeliniště, ve vyšších polohách vrchoviště. Rašeliniště se mohou při klasifikaci zaměnit s jehličnatým lesem.

*Přechodová oblast mezi lesem a keři* se skládá z křovin travin s rozptýlenými stromy. Může vzniknout degradací lesa nebo regenerací lesa.

*Zemědělské plochy* pravidelně obdělávané a zorané plochy. Pěstují se zde obiloviny, píce, okopaniny nebo luskoviny.

*Pastviny* jsou to oblasti, kde rostou rostlinná společenstva a travní porosty. Jsou využívány pro pastvu hospodářských zvířat.

*Holiny* – jsou původem lesní plochy, na kterých vlivem člověka nebo živelné katastrofy došlo k odlesnění. Nový les na těchto místech ještě nebyl vysazen.

European Enviromental Agency (EEA) 200–?

## 4 VÝSLEDKY

V následující kapitole je zhodnocena přesnost a jsou zde interpretovány dosažené výsledky.

### 4.1 Hodnocení přesnosti

Důležitou součástí každé klasifikace je hodnocení její přesnosti. Hodnocení přesnosti lesní vegetace v modelovém území Národního parku Šumava bylo vypracováno v softwaru Envi 5.1.

Zvolené klasifikace byly zhodnoceny metodou klasifikační chybové matrice za použití náhodně vygenerovaných 350 kontrolních bodů u snímku World View – 2 a 220 kontrolních bodů u snímku Landsat – 8. Tato metoda je vhodnější a vypovídá o přesnosti klasifikace celého území. Pokud bychom vybraly trénovací plochy, jako kontrolní body, vypovídaly by o přesnosti těchto plošek (TP). Kontrolní celkové výsledky přesností klasifikací i jejich kappa indexy jsou uvedeny v Přílohách 1 až 4. Chybové matrice klasifikací se zpracovatelskou a uživatelskou přesností jsou uvedeny v Přílohách 1 až 4 – chybových maticích počítaných z náhodně zvolených polygonů, které bylo kontrolovány pomocí ortofot.

#### World View – 2

U klasifikace Maximum Likelihood bylo dosaženo celkové přesnosti 54,57 % a Kappa koeficient má hodnotu 0,49. Nejvíce zastoupenou třídou byly jehličnatý les, souše a půda + bezlesí. Naopak nejméně se vyskytovaly vodní plochy, listnatý les a travní porosty. Uživatelské přesnosti dosahují nejlepších výsledků, shodně 70 % mají vodní plochy a souše, nejnižší přesnost mají antropogenní plochy (19 %). Nejnižší zpracovatelské přesnosti dosáhly travní porosty (15 %) a nejvyšší vodní plochy (100 %). Tato metoda dosáhla nejlepších výsledků celkové klasifikace a Kappa koeficientu ze všech zvolených algoritmů (klasifikací). Příloha č. 1 obsahuje chybovou matici klasifikace.

Tabulka 2 – hodnoty přesnosti klasifikace Maximum Likelihood WV-2

Název třídy	Počet pixelů	relativní zastoupení v %	rozloha v [ha]	Uživatelská přesnost %	zpracovatelská přesnost v %
Travní porosty	294193	1,27	117,68	0,64	0,15
Napadené stromy	617113	2,66	246,85	0,56	0,26
Obnovující se lesní porosty	742404	3,20	296,96	0,59	0,18
Půda + bezlesí	2454055	10,57	981,62	0,63	0,52
Listnatý les	139621	0,60	55,85	0,33	0,19
Jehličnatý les	9165637	39,46	3666,25	0,42	0,99
Souše	8048949	34,65	3219,58	0,70	0,77
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	906684	3,90	362,67	0,55	0,23
Antropogenní plochy	394952	1,70	157,98	0,19	0,20
Vodní plochy	9531	0,04	3,81	0,70	1,00
Stíny	453992	1,95	181,60	0,57	0,19
<b>Celkem</b>	<b>23227131</b>	<b>100,00</b>	<b>9290,85</b>		

Klasifikace Minimum Distance dosahovala celkové přesnosti 50,5 7% a Kappa koeficient dosahoval hodnoty 0,44. Metoda se vyznačuje velkým podílem jehličnatých lesů, souší a stínů. Třídy vodní plochy, listnatý les a antropogenní plochy zaujímají naopak nejmenší podíl. Nejvyšší uživatelské přesnosti dosahuje třída travní porosty (67 %) a nejmenší antropogenní plochy (24 %). Nejlepších výsledků zpracovatelské přesnosti dosahuje kleč (80 %). Na druhé straně s nejmenší zpracovatelské přesnosti dosáhly antropogenní plochy (7 %). Příloha č. 2 obsahuje chybovou matici klasifikace.

Tabulka 3 – hodnoty přesnosti klasifikace Minimum Distance WV–2

Název třídy	počet pixelů	relativní zastoupení v %	rozloha v [ha]	Uživatelská přesnost v %	zpracovatelská přesnost v %
Travní porosty	428884	1,85	171,55	0,67	0,43
Napadené stromy	678917	2,92	271,57	0,43	0,18
Obnovující se lesní porosty	1515366	6,52	606,15	0,47	0,32
Půda + bezlesí	2565254	11,04	1026,10	0,55	0,47
Listnatý les	31758	0,14	12,70	0,36	0,07
Jehličnatý les	6716211	28,92	2686,49	0,56	0,68
Souše	5688481	24,49	2275,39	0,63	0,65
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	2184936	9,41	873,98	0,29	0,80
Antropogenní plochy	376267	1,62	150,51	0,24	0,52
Vodní plochy	27167	0,12	10,87	0,60	0,51
Stíny	3013870	12,98	1205,55	0,59	0,51
<b>Celkem</b>	<b>23 227 111</b>	<b>100,00</b>	<b>9290,85</b>		

Klasifikace ISODATA dosáhla přesnosti 32,86 % a Kappa koeficient dosoval hodnot 0,23. Nejvíce zastoupenou třídou byla půda + bezlesí a souše. Naopak nejméně zastoupenou třídou byly vodní plochy. U uživatelské přesnosti dosáhla nejlepších výsledků třída stíny (53 %) a nejnižší vodní plochy (5 %). U zpracovatelské přesnosti vodní plochy dosáhly nejlepších výsledků. Příloha č. 3 obsahuje chybovou matici klasifikace.

Tabulka 4 – hodnoty přesnosti klasifikace ISODATA WV-2

Název třídy	počet pixelů	relativní zastoupení v %	rozloha v [ha]	Uživatelská přesnost v %	zpracovatelská přesnost v %
Vodní plochy	247256	1,06	98,90	0,05	1,00
Stíny	1938171	8,34	775,27	0,53	0,28
Jehličnatý les	2492795	10,73	997,12	0,40	0,18
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	3505557	15,09	1402,22	0,13	0,51
Ostatní	2691361	11,59	1076,55	0,28	0,22
Obnovující se lesní porosty	3116149	13,42	1246,46	0,28	0,47
Půda + bezlesí	5487372	23,62	2194,95	0,42	0,57
Souše	3748444	16,14	1499,38	0,46	0,43
<b>Celkem</b>	<b>23 227 105</b>	<b>100,00</b>	<b>9290,85</b>		

Landsat – 8

Maximum Likelihood

Bylo dosaženo celkové přesnosti 38,18 % a hodnota Kappa koeficientu dosáhla 0,31. Napadené stromy, kleč a půda zaujímají největší podíl ploch a naopak třídy obnovující se les, listnatý les a travní porosty dosáhly nejnižších podílů. Největší klasifikovanou uživatelskou přesnost měly souše (71 %) a nejnižší (pouze 7 %) vodní plochy. Nejlepších výsledků zpracovatelské přesnosti dosahují antropogenní plochy (100 %). Naopak nejhůřší zpracovatelské přesnosti obnovující les (1 %). Příloha č. 4 obsahuje chybovou matici klasifikace.

Tabulka 5 – hodnoty přesnosti klasifikace Maximum Likelihood LS-8

Název třídy	počet pixelů	relativní zastoupení v %	rozloha v [ha]	Uživatelská přesnost v %	zpracovatelská přesnost v %
Travní porosty	2710	2,63	243,9	0,44	0,25
Napadené stromy	20271	19,64	1824,39	0,21	0,63
Obnovující se lesní porosty	303	0,29	27,27	0,63	0,01
Půda + bezlesí	16254	15,75	1462,86	0,49	0,49
Listnatý les	408	0,40	36,72	0,43	0,28
Jehličnatý les	8614	8,34	775,26	0,31	0,79
Souše	7575	7,34	681,75	0,71	0,22
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	17115	16,58	1540,35	0,57	0,60
Antropogenní plochy	5021	4,86	451,89	0,20	1,00
Vodní plochy	9839	9,53	885,51	0,07	0,60
Stíny	15122	14,65	1360,98	0,27	0,27
<b>Celkem</b>	<b>103 232</b>	<b>100,00</b>	<b>9290,88</b>		

## 4.2 Porovnání výsledků klasifikací

Porovnání stejného algoritmu a stejných trénovacích ploch, ale nad snímky s různým prostorovým rozlišením. Výsledky celkové přesností ukazují, že WV – 2 lépe (více) odpovídá realitě. U snímku WV – 2 je relativní zastoupení ploch (tříd) velmi nerovnoměrné. Jehličnaté lesy a souše zaujímají více jak 70 % území a ostatních devět kategorií zaujímá zbytek plochy. Snímek LS – 8 neobsahuje tak velké rozdíly ploch mezi polovinou nevíce zastoupených tříd. Největší rozdíl v uživatelské přesnosti byl u vodních ploch (rozdíl 63 %) a nejmenší rozdíl byl u souší, který měl zároveň nejlepší přesnost (překvapivé zjištění bylo, že u LS – 8 byla vyšší přesnost než u WV – 2). Největší rozdíl u zpracovatelské přesnosti byl u antropogenních ploch (rozdíl 80 %) a nejmenší rozdíl byl u půdy + bezlesí.

Porovnáním řízené a neřízené klasifikace u dat s velmi vysokým prostorovým rozlišením (Maximum Likelihood × ISODATA) již bylo zřejmé, že neřízená klasifikace bude mít horší celkovou přesnost. U neřízené klasifikace bylo zapotřebí vytvořit třídu ostatní plochy, do které byly zahrnuty listnaté lesy, zástavba, travní porosty a napadené stromy. Jednotlivé zastoupení tříd je u snímku LS – 8 rovnoměrně zastoupené na rozdíl od snímku WV – 2. Nebylo možné tyto třídy samostatně klasifikovat. U vodních ploch byl největší rozdíl v uživatelské přesnosti (rozdíl 65 %). Nejmenší rozdíl byl zjištěn u třídy stíny.

## 5 DISKUZE

Dálkový průzkum Země pro klasifikaci určitého území se používá již mnoho let. Výsledky jsou závislé na kvalitě, časových rozestupech a stáří snímků. V mé práci jsem použil dva družicové snímky Landsat – 8 a WorldView – 2. Snímek Landsat – 8 je volně dostupný pro širokou veřejnost a snímek WorldView – 2 zakoupila škola pro studijní účely. Určitě by bylo zajímavé použít ještě snímek Sentinel – 2, který je také volně přístupný, ale bohužel snímek pro zvolenou oblast nebyl v použitelné kvalitě k dispozici.

Pomocí dat dálkového průzkumu získáváme informace o objektech na povrchu Země. Díky tomu můžeme pozorovat změny v krajině v čase, který si zvolíme, respektive v čase, ke kterému máme pořízené letecké nebo družicové snímky. V mé práci jsem měl k dispozici snímky z přibližně stejného časového období, proto jsem porovnával přesnosti jednotlivých klasifikačních metod.

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvoření legendy popisující lesní vegetaci. Dílčími cíli bylo porovnání zvolených klasifikačních metod a zhodnocení jednotlivých přesností.

Klasifikační metoda Maximum Likelihood se ukázala se jako nejvhodnější metoda, která se nejvíce přibližuje k reálnému Land Coveru modelového území. Na začátku práce jsem si myslel, že bych mohl dosáhnout celkové přesnosti kolem 70 % u snímku WV-2. Po detailnějším seznámení se zájmovým územím a provedení velkého počtu klasifikací, jsem zjistil, že výsledky přesností nejsou uspokojivé. Je to zapříčiněno relativně velkým územím a u zvolených dat je velmi náročné vybrat přesně trénovací plochy, aby odpovídaly zvolené třídě Land Coveru.

Nízká uživatelská přesnost byla nejspíše způsobena nepřesně vybranými trénovacími plochami, které obsahovaly pixely jiných typů povrchu. K chybě mohlo dojít i při nastavování parametrů při klasifikaci, ale i při zpětném kontrolování náhodně vybraných bodů pomocí ortofota. Další faktor ovlivňující přesnost klasifikací by mohla být snaha klasifikovat velmi malé plochy s velmi podobnými spektrálními vlastnostmi nebo příliš mnoho klasifikačních tříd. Pro zlepšení přesnosti by bylo vhodné pořízení trénovacích ploch z terénu, protože data VHR jsou velmi heterogenní.

Při zpracovávání této bakalářské práce jsem používal jako zdroje i další práce zpracované studenty UK, které se zabývaly dálkovým průzkumem Země. Tyto práce vycházely z jiných zdrojů a používaly jiné nebo podobné metody, zabývaly se klasifikací jedné nebo více tříd a používaly stejné klasifikační metody. I z těchto prací jasně vyplývá, že pro získání co nejlepšího výsledku je potřeba zvolit vhodný snímek v adekvátním rozlišení a vhodnou klasifikační metodu.

## 6 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na klasifikaci lesní vegetace pomocí dvou snímků s různým prostorovým rozlišením v zájmovém území Národního parku Šumava. Cílem práce bylo sestavení legendy, která se měla co nejvíce přibližovat reálnému Land Cover zvoleného území. Snímky zvolené v práci byly WorldView – 2 a Landsat – 8.

Klasifikace per pixel byly zpracovávány v softwaru Envi 5.1, ve kterém byly zvoleny algoritmy řízené (Maximum Likelihood, Minimum Distance) a neřízené (ISODATA) klasifikace. Řízenou klasifikací bylo vytvořeno 11 tříd a neřízenou 8 tříd. Nejlepší celkové přesnosti bylo dosaženo algoritmem Maximum Likelihood (54.57 %) u snímku WV – 2. Zde se podařilo dosáhnout uživatelské přesnosti 70 % u třídy souše a vodní plochy. U snímku LS – 8 dokonce uživatelská přesnost byla nepatrně vyšší než u snímku WV – 2 (souše 71 %), ale ostatní třídy dosahovaly výrazně nižších hodnot než hodnoty u WV – 2.

Vytvořená legenda popisuje zdravý les (jehličnatý, listnatý, obnovující se a klečové porosty) a poškozený les (napadené stromy kůrovcem a souše). Zvolené snímky jsou vhodné pro klasifikaci vegetace, protože data VHR mají velký potenciál. Modelové území umožňuje popisovat různá stádia vývoje lesní vegetace.

Ke zkoumání této problematiky by bylo vhodné nasbírat trénovací plochy přímo v terénu a následně použít stejné klasifikační postupy a porovnat výsledky. Další práce by mohly využít složitějších algoritmů klasifikací per pixel (Support Vector Machine nebo Neural Net) v softwaru Envi 5.1. Zajímavé výsledky nad daty VHR by mohla přinést práce s objektovou klasifikací. Další možností by byla klasifikace dat Sentinel – 2, která je volně dostupná. S pozemními daty by bylo možné z WV – 2 klasifikovat detailněji zájmové území např. stádia napadení dřevin.

## POUŽITÉ ZDROJE INFORMACÍ

- ANDRŠTOVÁ, M. (2014): Využití hyperspektrálních dat ke klasifikaci vegetace Alpínského bezlesí v Krkonoších. Praha, 2014. Diplomová práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, Praha, 109 s.
- BUCHA, T. (2014): Satelity v službách lesa. Národní lesnické centrum, Zvolen, 202 s. ISBN 978-80-89607-25-9.
- CAMPBELL, James B. (1987): Introduction to remote sensing. 1. New York: The Guilford Press, 551 s. ISBN 0-89862-776-1.
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita v Brně, Brno, 210 s.
- ENVI (2013): Envi Help: Classification Tools dostupné v programu Envi
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY 200–?: Legend [online]. [cit. 2016-02-24].  
Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/corine-land-cover-2006-by-country/legend>
- FORMAN, R.T.T., GORDON, M. (1993): Krajinná ekologie. Praha: Academia, 583 s. ISBN 80-200-0464-5.
- GISAT (200–?): Klasifikace [online]. [cit. 2016-02-12]. Dostupné z:  
<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/zpracovani-dat/klasifikace>
- HAIS, M. (2007): Vliv odlesnění a odumírání horských smrčků na teploty krajinného krytu a možné důsledky pro formování odtoku v oblasti centrální Šumavy. 9s
- HAIS, M. [et al.]. (2009): Comparison of two types of forest disturbance using multitemporal Landsat TM/ETM+ imagery and field vegetation data [online]. Remote Sensing of Environment. 2009, 113, s. 835–845 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425708003702>
- HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (2008): Dálkový průzkum Země. České vysoké učení technické, Praha, 182 s.
- JAKEŠOVÁ, L. (2014): Možnosti objektově – orientované klasifikace pro určování vybraných biotopů nad horní hranici lesa v Krkonošském národním parku. Praha, Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, 60 s.
- KOLÁŘ, J. (1990): Dálkový průzkum Země. SNTL, Praha, 176 s.

LALIBERTE, A. S. et al. (2007): An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. *Journal of Arid Environments*, 69, č. 1, s. 1–14

LANDSAT: Landsat 8 [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z:  
<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>

LIHANOVÁ, K. (2013): Hodnocení poškození lesních porostů s využitím družicových a lidarových dat. Diplomová práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, Praha, 79 s.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. (1994): *Remote sensing and image interpretation*. 3rd ed. New York: Wiley, 1994. 750 s. ISBN: 0-471-57783-9.

MAGDON, P. ... [et al.]. (2014): Translating criteria of international forest definitions into remote sensing image analysis [online]. *Remote Sensing of Environment*. 2014, 149, s. 252–262 [cit. 2016-02-19]. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425714001345>

OLOFSSON, P. (2013): Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2013, 129, 10 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00344257120041913>

OUTRATA, D. (2015): Změny využití krajiny vojenských újezdů Česka. Praha, Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, 76 s.

RODRIGUEZ-GALIANO, V.F. ... [et al.]. (2012): An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online], 2012, 67, s. 93–104 [cit. 2016-02-19]. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271611001304>

Satimagingcorp(200-?): WorldView-2 [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z:  
<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>

ÚHÚL (200-?): Druhová skladba [online]. [cit. 2016-02-05]. Dostupné z:  
<http://www.uhul.cz/mapy-a-data/469-druhova-skladba>

ÚHÚL (200-?): Katalog mapových informací [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z:  
<http://www.uhul.cz/mapy-a-data/katalog-mapovych-informaci>

ÚHÚL (200-?): Národní inventarizace lesů [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z:  
<http://www.uhul.cz/nase-cinnost/narodni-inventarizace-lesu/uvod>

ZLATNÍK, A. (1956): Nástin lesnické typologie na biogeocenologickém základě a rozlišení československých lesů podle skupin lesních typů. Pěstění lesů III. Státní zemědělské Praha. s. 317-401.

ŽÍHLAVNÍK,Š.,SCHEER,E. (2001): Diaľkový prieskum Zeme v lesníctve. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 289 s. ISBN 80-228-0991-8.

ŽIVA (2013): Přírodní disturbance – klíčový faktor obnovy horských smrčín [cit. 25. 5. 2016]. Dostupné z <http://ziva.avcr.cz/2013-5/prirodni-disturbance-klicovy-faktor-obnovy-horskych-smrcin.html>

## **POUŽITÉ DATOVÉ ZDROJE**

LC81920262015221LGN00. Reston: USGS [cit 2016-02-09]. Dostupné z <

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

15EUSI-1989-01\_I073661. Reston European Space Imaging [cit 2016-02-09]. Dostupné z DVD

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č. 1 – CHYBOVÁ MATRICE KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD WV–2

PŘÍLOHA Č. 2 – CHYBOVÁ MATRICE KLASIFIKACE MINIMUM DISTANCE WV–2

PŘÍLOHA Č. 3 – CHYBOVÁ MATRICE KLASIFIKACE ISODATA WV–2

PŘÍLOHA Č. 4 – CHYBOVÁ MATRICE KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD LS – 8

PŘÍLOHA Č. 5 – SNÍMEK ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ LANDSAT – 8

PŘÍLOHA Č. 6 – SNÍMEK ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ WORLD VIEW – 2

PŘÍLOHA Č. 7 – VÝSLEDNÁ KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD ZE SNÍMKU WORLD VIEW–2

PŘÍLOHA Č. 8 – VÝSLEDNÁ KLASIFIKACE MINIMUM DISTANCE ZE SNÍMKU WORLD VIEW – 2

PŘÍLOHA Č. 9 – VÝSLEDNÁ KLASIFIKACE ISODATA ZE SNÍMKU WORLD VIEW – 2

PŘÍLOHA Č. 10 – VÝSLEDNÁ KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD ZE SNÍMKU LANDSAT – 8

PŘÍLOHA Č. 11 – POROVNÁNÍ SNÍMKŮ S RŮZNÝM PROSTOROVÝM ROZLIŠENÍM POMOCÍ KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD

PŘÍLOHA Č. 12 – POROVNÁNÍ ŘÍZENÉ A NEŘÍZENÉ KLASIFIKACE ZE SNÍMKŮ WORLD VIEW – 2

PŘÍLOHA Č. 13 – CD S TEXTEM PRÁCE

**Příloha č. 1 – Chybová matrice klasifikace Maximum Likelihood WV–2**

Kappa koef. 0,49													
Název třídy	Travní porosty	Napadené stromy	Obnovující se lesní porosty	Půda + bezlesí	Listnatý les	Jehličnatý les	Souše	Kleč (nízké smrčiny, oblasti	Antropogenní plochy	Vodní plochy	Stíny	Celkem	Uživatelská přesnost v %
Travní porosty	16	1	1	4	0	0	1	0	0	0	2	25	0,64
Napadené stromy	1	18	0	0	0	0	4	6	0	0	3	32	0,56
Obnovující se lesní porosty	2	0	20	3	1	0	2	3	0	0	3	34	0,59
Půda + bezlesí	4	0	3	25	0	0	2	3	0	0	3	40	0,63
Listnatý les	0	0	3	5	7	1	1	3	0	0	1	21	0,33
Jehličnatý les	2	2	3	3	0	14	4	3	1	0	1	33	0,42
Souše	1	2	5	2	1	0	35	2	0	0	2	50	0,7
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	0	3	4	4	1	1	5	27	1	0	3	49	0,55
Antropogenní plochy	1	2	0	0	0	0	9	3	5	0	6	26	0,19
Vodní plochy	0	0	1	1	0	0	0	0	1	7	0	10	0,7
Stíny	1	0	0	2	0	0	4	5	1	0	17	30	0,57
Celkem	28	28	40	49	10	16	67	55	9	7	41	350	
Zpracovatelská přesnost v %	0,15	0,26	0,18	0,52	0,19	0,99	0,77	0,23	0,20	1	0,19	celková přesnost	54,57

**Příloha č. 2 – Chybová matrice klasifikace Minimum Distance WV–2**

Kappa koef. 0,44													
Název třídy	Travní porosty	Napadené stromy	Obnovující se lesní porosty	Půda + bezlesí	Listnatý les	Jehličnatý les	Souše	Kleč (nízké smrčiny, oblasti	Antropogenní plochy	Vodní plochy	Stíny	Celkem	Uživatelská přesnost v %
Travní porosty	18	0	0	5	1	1	0	0	1	1	0	27	0,67
Napadené stromy	0	12	1	2	0	2	9	1	0	0	1	28	0,43
Obnovující se lesní porosty	1	1	16	6	0	3	4	0	0	0	3	34	0,47
Půda + bezlesí	1	1	3	22	0	1	8	0	1	0	3	40	0,55
Listnatý les	2	0	1	0	4	2	1	0	1	0	0	11	0,36
Jehličnatý les	1	2	5	2	1	28	2	0	0	0	9	50	0,56
Souše	0	4	2	3	0	7	31	1	0	0	1	49	0,63
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	1	3	5	5	0	6	5	10	0	0	0	35	0,29
Antropogenní plochy	0	4	1	1	0	3	7	1	6	0	2	25	0,24
Vodní plochy	0	0	0	1	0	3	0	0	0	6	0	10	0,60
Stíny	1	3	1	3	0	4	5	0	0	0	24	41	0,59
Celkem	25	30	35	50	6	60	72	13	9	7	43	350	
Zpracovatelská přesnost v %	0,43	0,18	0,32	0,47	0,07	0,68	0,65	0,80	0,52	0,51	0,51	celková přesnost	50,57

**Příloha č. 3 – Chybová matrice klasifikace ISODATA WV–2**

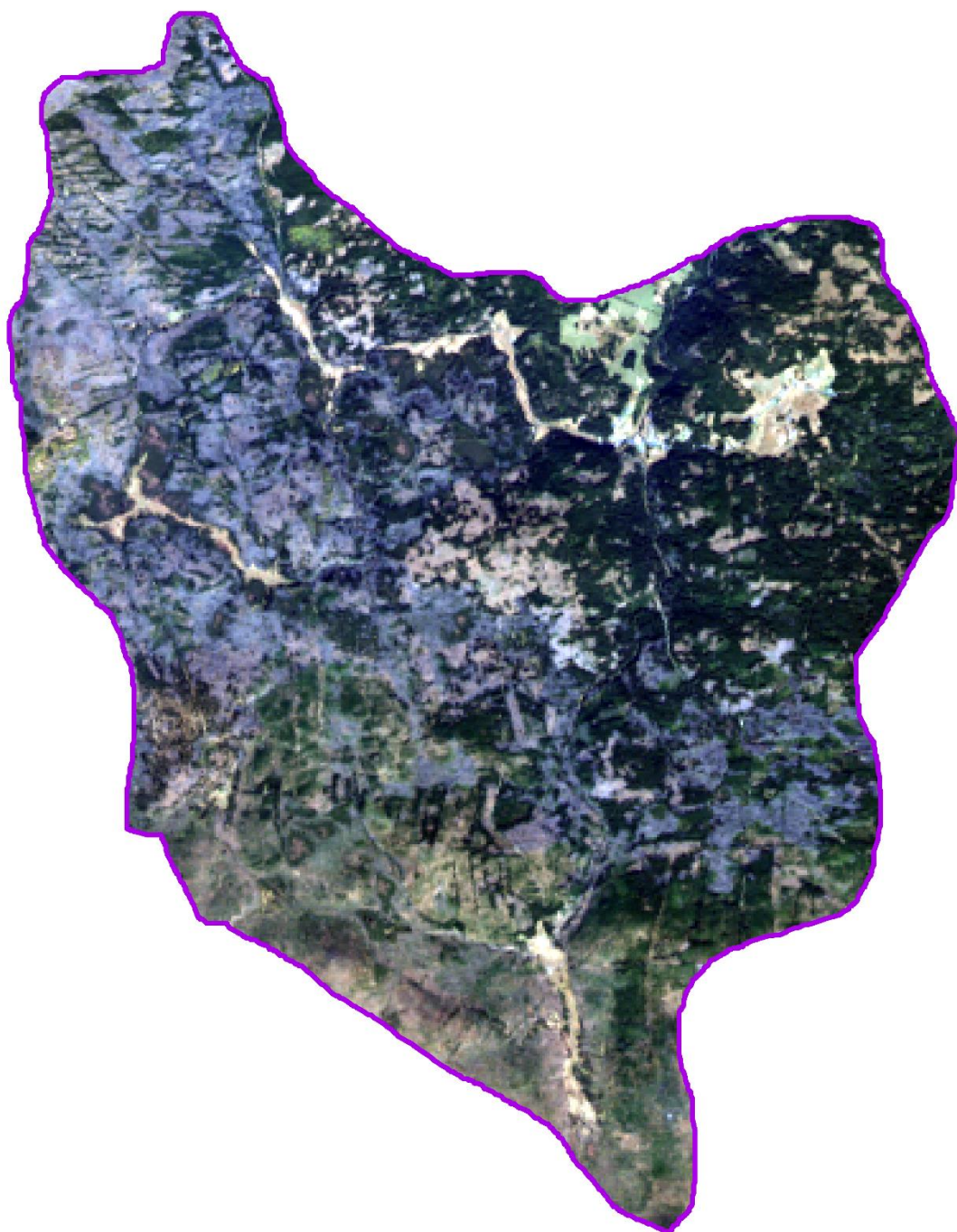
Kappa koef. 0.23										
Název třídy	Vodní plochy	Stiny	Jehličnatý les	Kleč (nízké smrčiny, oblasti)	Ostatní	Obnovující se lesní porosty	Půda + bezlesí	Souše	Celkem	Uživatelská přesnost v %
Vodní plochy	1	4	5	0	3	0	2	5	20	0,05
Stiny	0	16	6	0	3	0	1	4	30	0,53
Jehličnatý les	0	11	14	1	4	1	1	3	35	0,40
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	0	11	23	7	8	1	3	2	55	0,13
Ostatní	0	6	13	3	11	0	6	1	40	0,28
Obnovující se lesní porosty	0	4	15	1	2	15	10	6	53	0,28
Půda + bezlesí	0	3	1	1	12	5	25	13	60	0,42
Souše	0	4	10	0	5	6	6	26	57	0,46
Celkem	1	59	87	13	48	28	54	60	350	
Zpracovatelská přesnost v %	1,00	0,28	0,18	0,51	0,22	0,47	0,57	0,43	celková přesnost	32.86

**Příloha č. 4 – Chybová matrice klasifikace Maximum Likelihood LS – 8**

Kappa koef, 0.30													
Název třídy	Travní porosty	Napadené stromy	Obnovující se lesní porosty	Půda + bezlesí	Listnatý les	Jehličnatý les	Souše	Kleč (nízké smrčiny, oblasti	Antropogenní plochy	Vodní plochy	Stíny	Celkem	Uživatelská přesnost v %
Travní porosty	4	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	9	0,44
Napadené stromy	0	8	8	0	0	0	19	1	0	0	3	39	0,21
Obnovující se lesní porosty	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	1	8	0,63
Půda + bezlesí	4	0	5	17	0	0	0	6	0	1	2	35	0,49
Listnatý les	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	2	7	0,43
Jehličnatý les	0	0	1	4	0	5	2	1	0	0	3	16	0,31
Souše	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	4	14	0,71
Kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)	0	4	4	3	0	0	1	20	0	0	3	35	0,57
Antropogenní plochy	1	0	0	3	0	0	1	1	2	0	2	10	0,20
Vodní plochy	1	0	1	0	0	1	7	0	0	1	3	14	0,07
Stíny	1	1	5	7	1	0	4	5	0	0	9	33	0,27
Celkem	11	14	33	35	4	6	47	34	2	2	32	220	
Zpracovatelská přesnost v %	0,25	0,63	0,01	0,49	0,28	0,79	0,22	0,60	1,00	0,60	0,27	celková přesnost	38.18

# ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ V NP ŠUMAVA

Landsat-8



— zájmové území



0 4 km

# ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ V NP ŠUMAVA

WorldView-2



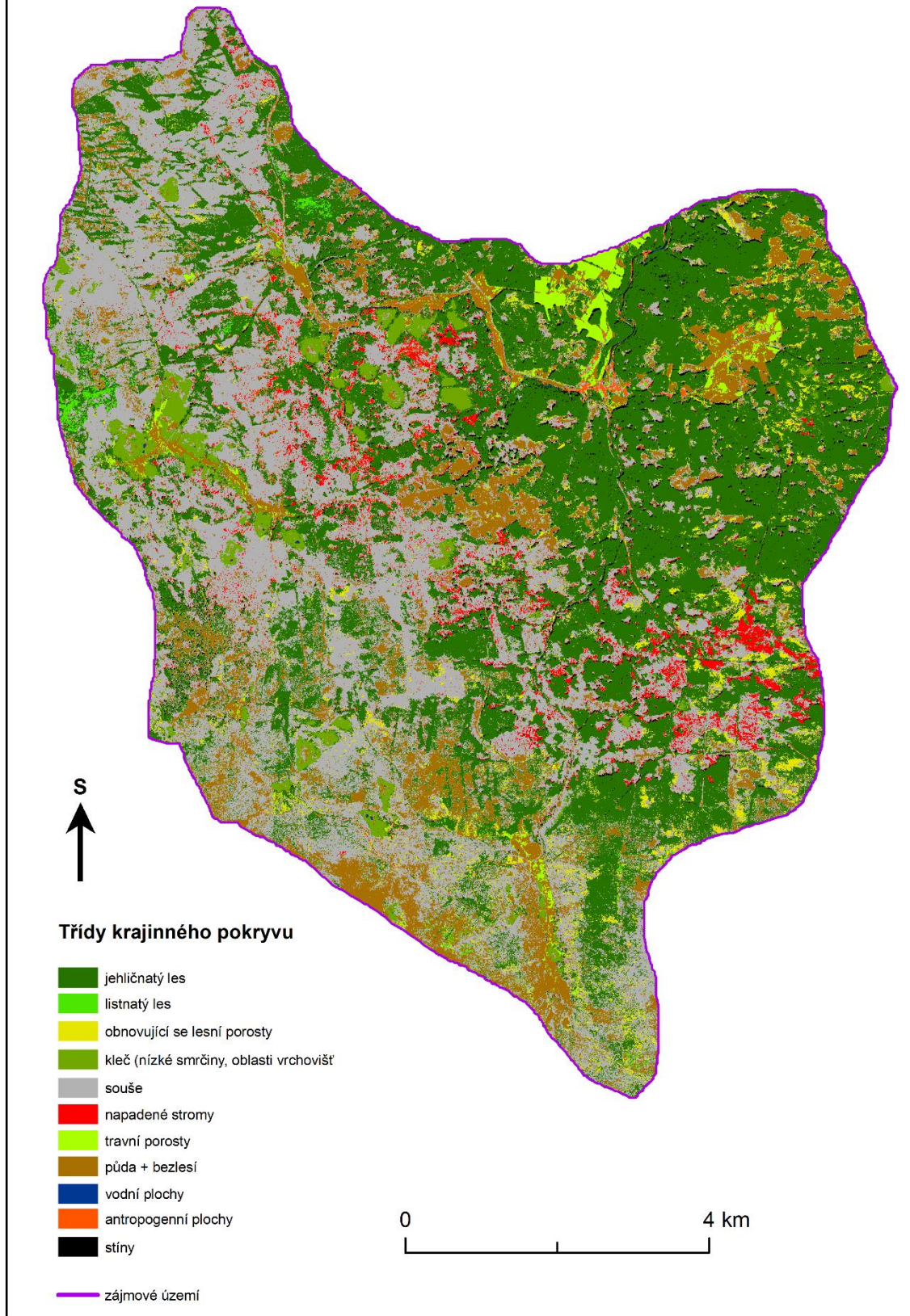
— zájmové území



0 4 km

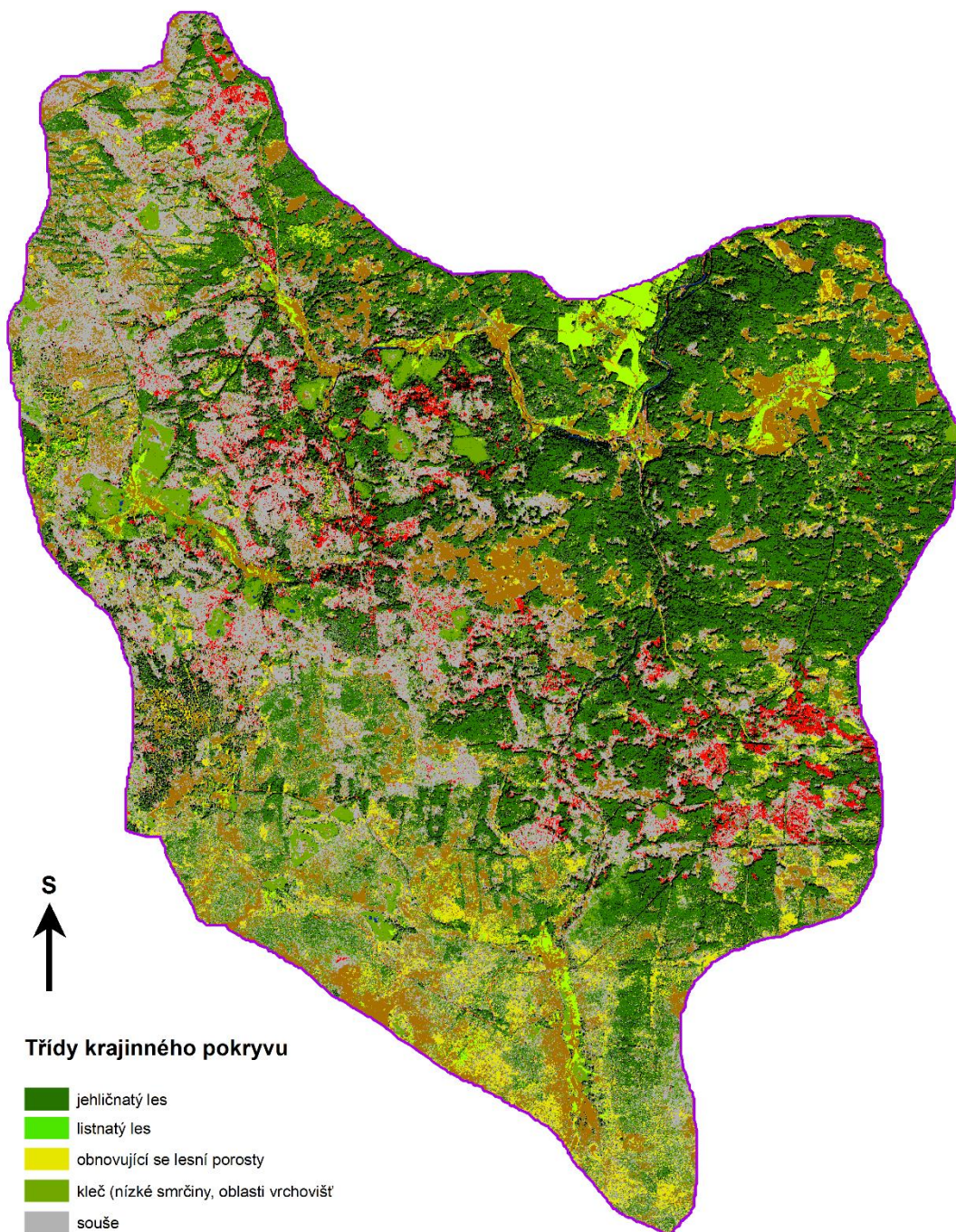
## KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD WV-2

zájmové území NP Šumava na podzim 2015



## KLASIFIKACE MINIMUM DISTANCE WV-2

zájmové území NP Šumava na podzim 2015



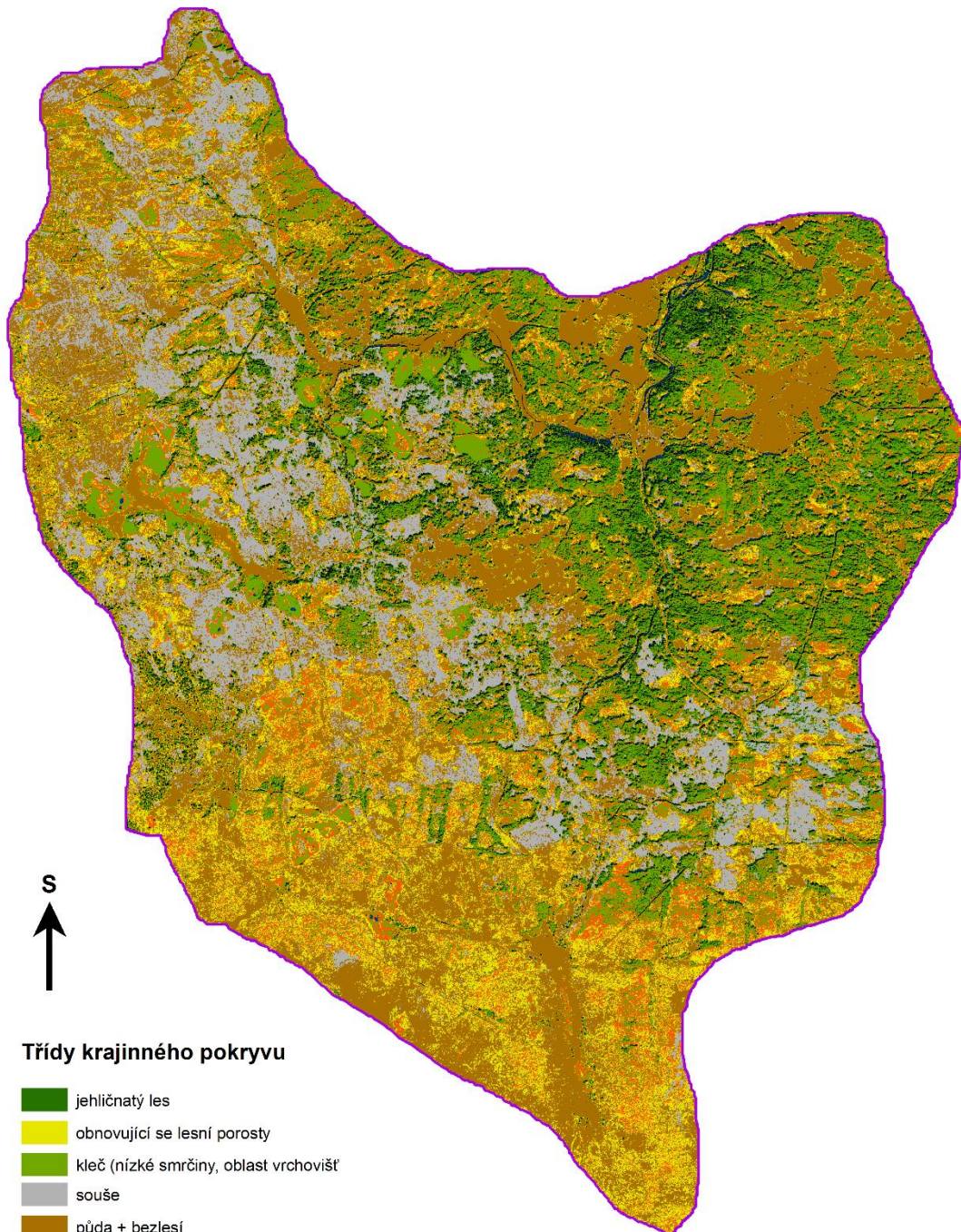
### Třídy krajinného pokryvu

-  jehličnatý les
-  listnatý les
-  obnovující se lesní porosty
-  kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)
-  souše
-  napadené stromy
-  travní porosty
-  půda + bezlesí
-  vodní plochy
-  antropogenní plochy
-  stíny
-  zájmové území

0 4 km

# KLASIFIKACE ISODATA WV-2

zájmové území NP Šumava napodzim 2015



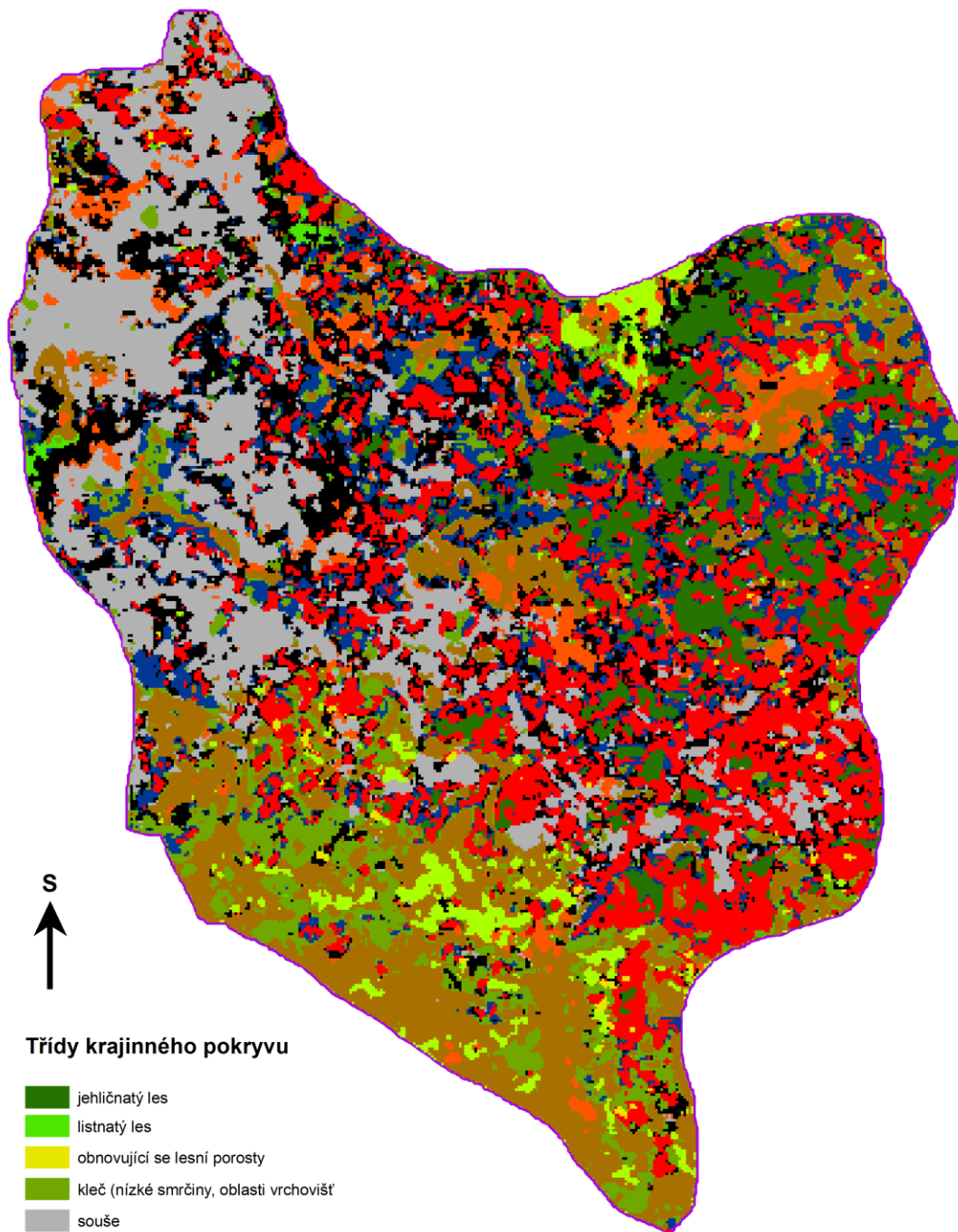
## Třídy krajinného pokryvu

-  jehličnatý les
-  obnovující se lesní porosty
-  kleč (nízké smrčiny, oblast vrchovišť)
-  souše
-  půda + bezlesí
-  vodní plochy
-  stíny
-  ostatní plochy
-  zájmové území

0 4 km

## KLASIFIKACE MAXIMUM LIKELIHOOD LS-8

zájmové území NP Šumava na podzim 2015

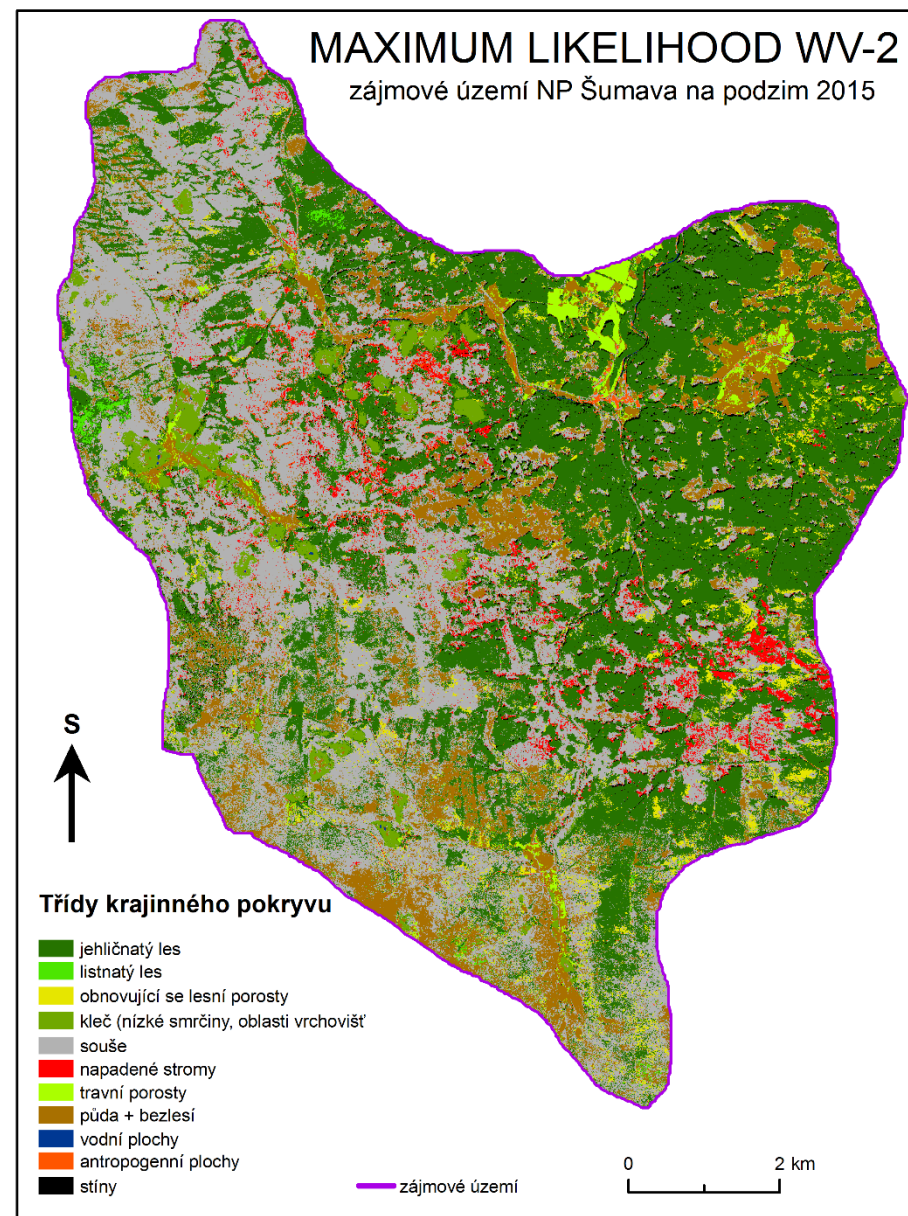
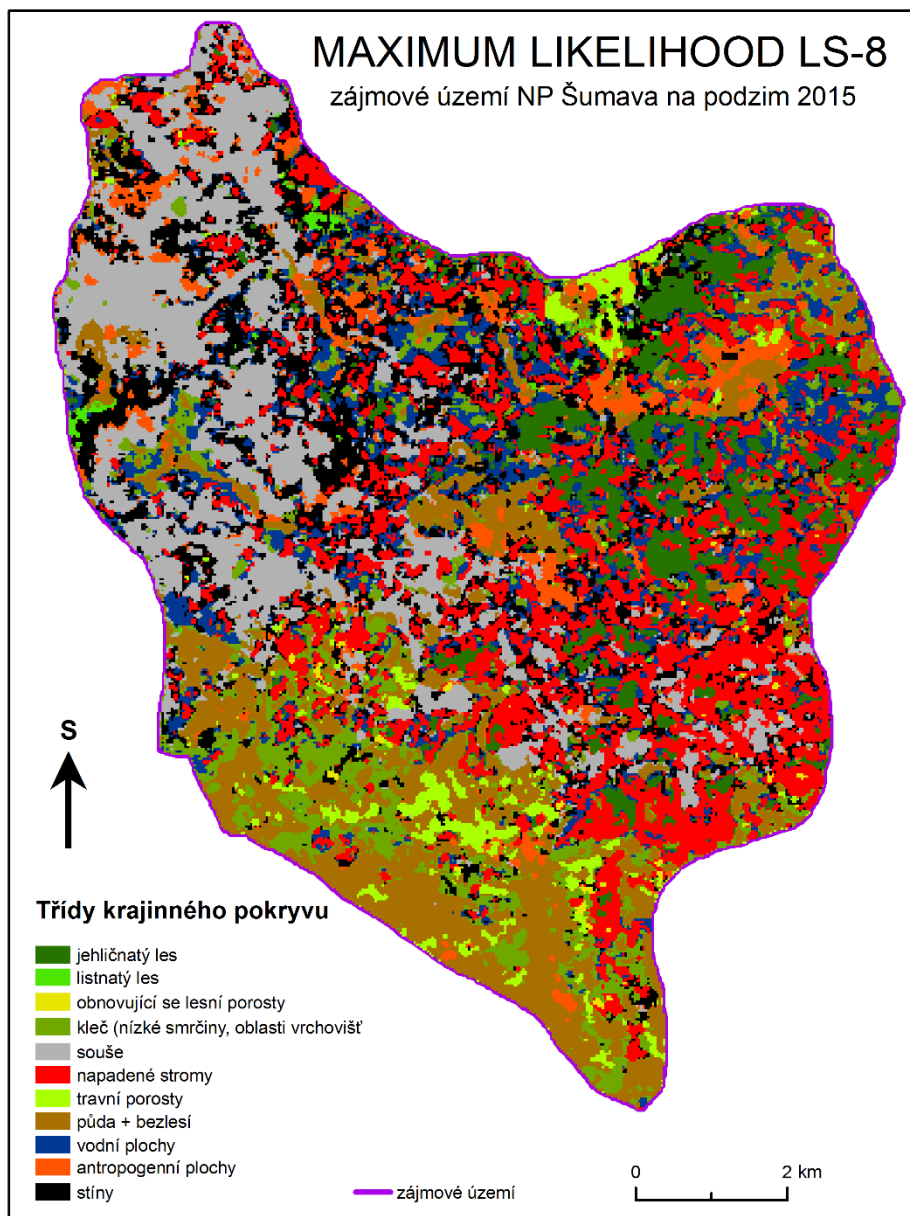


### Třídy krajinného pokryvu

-  jehličnatý les
-  listnatý les
-  obnovující se lesní porosty
-  kleč (nízké smrčiny, oblasti vrchovišť)
-  souše
-  napadené stromy
-  travní porosty
-  půda + bezlesí
-  vodní plochy
-  antropogenní plochy
-  stíny
-  zájmové území

0 4 km

Příloha č. 11 – Porovnání snímků s různým prostorovým rozlišením pomocí klasifikace Maximum Likelihood



Příloha č. 12 – Porovnání řízené a neřízené klasifikace ze snímků World View – 2

