

Dostupné spektrální knihovny a jejich využití v geologii

Tomáš Valent

Katedra Geoinformatiky
Přírodovědecká fakulta
Univerita Palackého
tř. Svobody 26
771 46 Olomouc
valent@email.cz

Abstrakt

Cílem práce je zhodnotit dostupné spektrální knihovny využitelné v geologii a demonstrovat příklady tohoto využití na daných hyperspektrálních datech v programu ERDAS Imagine 9.0. Práce poskytuje základní informace o spektrálních knihovnách, hodnocení a popis volně dostupných spektrální knihoven, komerčně šířených spektrálních knihoven a spektrálních knihoven implementovaných v komerčních softwarech. Dále je nastíněna možnost tvorby vlastních knihoven. Na závěr jsou demonstrovány možnosti využití spektrálních knihoven při spektrální analýze v ERDAS Imagine 9.0 na hyperspektrálních datech ze senzorů Hyperion, ASTER a AVIRIS.

Klíčová slova: sborník, geoinformatika, dpz, hyperspektrální, spektrální knihovna.

Abstract

The main objective of the work is to evaluate the available spectral libraries that can be applied in geology and then to demonstrate the examples of the use of the libraries on the given hyperspectral data in ERDAS Imagine 9.0 software. The work gives the basic information about the spectral libraries generally, evaluates and describes freely available spectral libraries, commercial spectral libraries and the spectral libraries implemented in the commercial software. The possibilities of the creation of the own spectral library is also shown. Demonstration of the possibilities of the use of the spectral libraries in the spectral analysis in ERDAS Imagine software with the use of the data from the Hyperion, ASTER and AVIRIS sensors are shown in the end.

Keywords: english, geoinformatics, remote sensing, hyperspectral, spectral library.

Úvod

Hlavním cílem této bakalářské práce je poskytnout přehled o spektrálních knihovnách. Důraz je kladen zejména na hodnocení jejich dostupnosti a na jejich využití v geologii. Dále se bude šetřit jaké knihovny jsou k dispozici, jestli jsou zpřístupněny online na internetu, nebo jestli už jsou nějaké spektrální knihovny součástí softwarů. V neposlední řadě se práce bude zabývat úkolem jak spektrální knihovny vytvořit.

Druhým cílem bakalářské práce je shromážděné poznatky o spektrálních knihovnách aplikovat daná data.

Teorie

Spektrální chování objektů

Jak uvádí Dobrovolný (1998), přes všechny vlivy atmosféry a interakce záření na zemském povrchu i přes všechny vlivy způsobené fyzikálním stavem objektů lze konstatovat, že každá látka na zemském povrchu se vyznačuje svoji vlastní spektrální charakteristikou. Pro daný objekt lze sestavit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou a průběh této závislosti bude pro tento objekt víceméně typický. Tato charakteristika, někdy označovaná jako tzv. spektrální křivka odrazivosti je projevem tzv. spektrálního chování objektů.

Hyperspektrální data

Podle Gupty (2002) je pojem hyperspektrální používán k označení velkého množství velmi úzkých pásem, například 64 až 200 pásem o šířce 10–20 nm. Při multispektrálním snímkování většinou hovoříme o 4–10 pásmech o šířce zhruba 100–200 nm. V současné době lze v některých případech už také hovořit o pojmu ultraspektrální, kde se jedná o tisíce souvislých pásem. Hlavním cílem hyperspektrálního snímkování je zachytit určité území ve velkém počtu jednotlivých úzkých a souvislých pásmech. Pro každý pixel může být vytvořeno téměř souvislé spektrum.

Spektrální knihovny

Spektrální knihovny představují kolekce spektrálních odrazivostí naměřené obvykle v terénu, nebo v laboratoři na materiálech o známých kompozicích (Shippert, 2003). Takto naměřených dat jsou spousty a týkají se mnoha rozdílných druhů objektů jako například minerály, horniny, rostliny, stromy, nebo organické sloučeniny. Podle Dobrovolného (1998) mají spektrální knihovny v případě obrazové

spektrometrie význam interpretačních klíčů. Obsahují údaje o absolutních hodnotách odrazivosti a lze jich využívat obecně jako určitých vzorových spekter základních objektů. Cílem knihoven je poskytnout uživateli přesná data, která mohou být využita pro spektrální porovnání s daty naměřenými v libovolné části Země. K tomu musí být ještě doplněna o takové údaje, jako jsou specifické okolnosti měření, meteorologické podmínky, či použité technické vybavení.

Volně dostupné spektrální knihovny

Spektrální knihovny volně dostupné na internetu jsou nejpočetnější a také nejdostupnější skupinou. Níže popsány jsou knihovny, které jsou na internetu nejnavštěvovanější, nejsnáze vyhledatelné a které shromažďují nejvíce dat.

Hodnoceny byly spektrální knihovny Aster, USGS, JPL, ASU, Rasmin a spektrální knihovny Univerzity Parma a Siena. Hodnoceno bylo hlavně jejich zaměření, prostředí, funkčnost, spektrální rozlišení, dále je popsán formát jejich dat a způsob jejich stažení. V následující kapitole je uveden příklad na knihovně ASTER.

Tabulka 1. Srovnání parametrů volně šířených spektrálních knihoven.

	on-line vyhledávání záznamů	možnost stažení celé knihovny	podknihovny	počet záznamů hornin a minerálů	pomocný soubor	počet oddělení
ASTER	Ano	Ne	Ano	1796	Ano	8
USGS	Ne	Ano	Ne	800	Ano	6
ASU	Ano	Ano	Ne	150	Ano	5
RASMIN	Ano	Ne	Ne	576	Ne	2
Univerzita Parma	Ano	Ne	Ne	195	Ne	1
Univerzita Siena	Ano	Ne	Ne	113	Ne	5

3.2.1 Spektrální knihovna ASTER

Největší spektrální knihovnou s daným zaměřením z hlediska počtu spekter je spektrální knihovna ASTER (dostupná z: <http://speclib.jpl.nasa.gov/>). Tato spektrální knihovna zahrnuje data z jiných tří spektrálních knihoven: spektrální knihovna univerzity Johna Hopkinse (the John's Hopkins University (JHU) Spectral Library), spektrální knihovna laboratoří Jet Propulsion (the Jet Propulsion Laboratory (JPL) Spectral Library) a spektrální knihovny Geologického ústavu Spojených států amerických (the United States Geological Survey (USGS - Reston) Spectral Library).

Tato knihovna obsahuje kompilaci téměř dvou tisíc spekter materiálů přírodního nebo umělého původu. Rozsah zachyceného spektra je od 0,4 do 25 mikrometrů. Spektrální knihovna ASTER nabízí buď online vyhledávání, nebo je možné si celou knihovnu spekter objednat na CD-ROM vyplněním formuláře. Data v knihovně jsou volně k dispozici. Knihovna nabízí komplexní online vyhledávání, které umožňuje v databázi najít námi požadovaný materiál. Před vstupem do vyhledávacího formuláře si je třeba vybrat třídu do které požadovaný materiál patří.

Knihovna ASTER nabízí spektra celkem osmi tříd materiálů: minerály (1348 záznamů), horniny (244 záznamů), půdy (58 záznamů), vegetace (4 záznamy), voda/sníh/led (9 záznamů), meteority (60 záznamů), lunární materiály (17 záznamů) a umělé materiály (56 záznamů). Po vybrání třídy se zobrazí vyhledávací formulář do kterého se vepisuje jméno námi vyhledávaného materiálu, jeho třída, podtřída a kolik záznamů chceme vypsát. Pro vypsání položek není třeba vyplňovat všechna pole. Vyhledávání nám vrátí seznam materiálů, které odpovídají námi zadaným kritériím. Po kliknutí na námi hledaný materiál se zobrazí základní informace o materiálu: jméno, typ, třída, podtřída, velikost měřené částice materiálu, původ měřeného materiálu, popis vzhledu a zpracování materiálu, způsob měření. Dále je k dispozici graf spektrálního chování, který je běžně používán pro vizualizaci záznamů ve spektrální knihovně. Osa x tohoto dvourozměrného grafu představuje vlnovou délku (v nm) a na ose y je znázorněna spektrální odrazivost (v %). Tam kde je to možné je k dispozici také pomocný soubor. Ten podává informace o číslu vzorku zkoumaného materiálu a hlavně o jeho chemické analýze a poté jeho složení. Nejpodstatnější část knihovny představuje dokument ke stažení ve formě txt. Soubor si je možno buď rovnou stáhnout pro potřeby nahrání do softwaru, nebo pouze prohlednout. V textovém souboru je obsažena informační část a v první řadě také část s daty. Informační část je z větší části totožná s předešlou částí knihovny se základními informacemi, ty jsou však doplněny o název vlastníka zkoumaného vzorku a rozsah vlnové délky. Zbytek informací je určen k popisu dat (jakou informaci nese první a druhý sloupec, jaké jsou jednotky sloupců, jaká je první a poslední hodnota, jaký je počet hodnot, doplňkové informace), která jsou uspořádána do dvou sloupců. Sloupec x znázorňuje vlnovou délku (wavelength v μm) a sloupec y odrazivost (reflectance v %). Do knihovny ASTER není možné přidat žádný vlastní záznam. Celkovou nevýhodou této spektrální knihovny je, že není možné si stáhnout všechna spektra najednou, ale pouze po jednom. Pokud tedy uživatel bude chtít všechna data najednou, musí si celou knihovnu ASTER zakoupit na CD-ROM.

Komerčně šířené spektrální knihovny

Jelikož volně dostupných spektrálních knihoven s možností aplikací v geologii je mnoho, v tomto směru zaměřených komerčních knihoven je tím pádem velmi malé množství. Jediná nalezená komerční spektrální knihovna pro geologické účely je systém Specmin, dále se už jedná pouze o programy, které využívají volně stažitelných dat. Na internetu sice jsou firmy nabízející spektra, ale jejich zaměření je v naprosté většině na chemii, farmácii a podobně. Pro příklad je níže uvedena knihovna Specmin.

3.2.2 Spektrální knihovna Specmin

Specmin je jeden z produktů firmy Spectral international (dostupné z <http://www.pimausa.com>), což je jedna z předních světových společností v oboru DPZ a spektroskopie, využívající hyperspektrálních technologií (AVIRIS, SPECTIR), senzoru ASTER a spektroskopie v infračervené části spektra. Specmin je tedy systém pro identifikaci minerálů v oblasti infračerveného spektra, který zahrnuje rozsáhlou a dynamickou knihovnu referenčních spekter minerálů, tabulky vlnových délek a databázi s fyzickými vlastnostmi každého druhu minerálu. Specmin může být použit při zpracování hyperspektrálních dat, protože poskytuje spektra mnoha různých minerálů z nesčetného množství prostředí a obvykle je tak možné nalézt reprezentativní a charakteristické spektrum, kterým je možné identifikovat jakoukoliv neznámou. Spektrální knihovna v tomto systému obsahuje zhruba 2000 spekter, kde ke každému minerálu jsou k dispozici alespoň dvě. Systém Specmin je dodáván na CD-ROM, které obsahuje databáze minerálních spekter, spektrální a fyzická data o minerálech, tabulky, SpecWin (program, který vykresluje grafy spekter a také je schopen převádět data do různých formátů) a FeatureSearch, což je program pro identifikaci minerálů. Na výše uvedených stránkách si je také možné stáhnout demoverzi systému Specmin. V demoverzi ovšem samozřejmě není zpřístupněna možnost identifikace minerálů.

Spektrální knihovny implementované v komerčních softwarech

V komerčně šířených softwarech jsou spektrální knihovny už většinou implementovány. Níže jsou uvedeny vybrané softwary a knihovny, které jsou v nich implementovány.

1.1.1 ENVI 4.2

V softwaru ENVI 4.2 se nachází celkem pět spektrálních knihoven. První je spektrální knihovna *IGCP264*, která se skládá z pěti dalších knihoven. Knihovny IGCP 264 byly posbírány jako část projektu IGCP 264 během roku 1990, kde pro každou knihovnu byla data naměřena na jiném spektrometru a bylo použito 26 dobře rozpoznatelných vzorků minerálů. Účelem těchto knihoven je ukázat vlivu spektrálního rozlišení na spektrálních znacích. Další je spektrální knihovna JHU, nebo-li knihovna univerzity Johna Hopkinse (the John's Hopkins University (JHU) Spectral Library), jedná se o knihovnu, která je součástí spektrální knihovny ASTER a podrobnější informace o ní jsou uvedeny v kapitole 5.1.1. Všechna data ve viditelné a blízké infračervené části spektra byla naměřena užitím Beckmanovým UV 5240 spektrofotometrem s dvojitým paprskem. V knihovně JHU jsou naměřena spektra minerálů, hornin, sněhu, ledu, umělých materiálů, vegetace a vody. Součástí softwaru Envi 4.2 je také spektrální knihovna laboratoří Jet Propulsion (the Jet Propulsion Laboratory (JPL) Spectral Library, Pasadena, California), kterou lze také nalézt v knihovně ASTER. JPL obsahuje spektra 160 minerálů. Data pro 135 minerálů jsou dostupná podle třech různých velikostí zrn: 125 -500 μm , 45 – 125 μm a < 45 μm .

Tyto tři různé velikosti zrn slouží k ilustraci vlivu velikosti zrna na spektrální odrazivost. Spektra byla naměřena Beckmanovým UV-5240 spektrofotometrem. Data byla měřena každý 1 nm v rozsahu 0,4 – 0,8 mikrometrů a každé 4 nm v rozsahu 0,8 – 2,5 mikrometrů. Dále je zde také zastoupena spektrální knihovna geologického ústavu Spojených států amerických USGS (the United States Geological Survey (USGS - Reston) Spectral Library), která je podrobně věnována kapitola 5.1.2. Z rozsáhlé knihovny USGS ENVI obsahuje pouze spektra minerálů. Poslední knihovnou je doplňková knihovna vegetací. Ta se skládá ze tří částí: první je tvořena knihovnou vegetací ze spektrální knihovny USGS (viz kapitola 5.1.2). Druhá část je tvořena spektry suché vegetace a třetí spektry knihovny JRS (Jasper Ridge Spectral library), která obsahuje spektra zelené vegetace, suché vegetace a hornin.

1.1.2 ERDAS Imagine 9.0

V softwaru ERDAS Imagine 9.0 je implementována kompletní knihovna ASTER, která je popsána výše. Dále se v tomto softwaru stejně jako v ENVI 4.2 nachází knihovny JPL a USGS.

Tvorba vlastní spektrální knihovny

V této práci je také popsána tvorba vlastních spektrálních knihoven, a to ve výše popsaných softwarech. Pokud chce mít uživatel knihovny se spektry podle svých vlastních požadavků, je možné si vytvořit vlastní spektrální knihovny. Spektra mohou být vybrána ze kterékoliv jiné knihovny a vložena do uživatelem nově vytvořené.

Aplikace poznatků na vybranou datovou sadu v softwaru

Po shromáždění poznatků o spektrálních knihovnách bylo dalším úkolem tyto získané poznatky využít v praxi.

Použitá data

- ASTER – Mongolsko a Sokolovsko
- Hyperion – Střední Čechy
- AVIRIS – cvičná data ERDAS Imagine, Nevada USA

Použitý software

- ERDAS Imagine 9.0
- ENVI 4.2

Postup zpracování

Využití poznatky o spektrálních knihovnách je druhým cílem této bakalářské práce. Jedná se zejména o využití spektrálních knihoven při analýze poskytnutých dat ve výše uvedených softwarech.

Spektrální analýzy byly prováděny v programu ERDAS IMAGINE 9.0, předzpracování bylo uskutečněno v programu ENVI 4.2. Veškeré spektrální analýzy v programu ERDAS Imagine 9.0 lze provádět pomocí aplikace *Spectral analysis* dostupné z menu *Classifier – Spectral analysis*, nebo alternativní cesta je také Interpreter – Advanced HyperSpectral Tools. V této aplikaci je možné provádět hned několik druhů spektrálních analýz, a to detekce anomálií (anomaly detection), detekce cílů (target detection), mapování materiálů (material mapping) a identifikace materiálů (material identification). Dále je možné si analyzovaný snímek různě upravovat a přizpůsobovat, jako například identifikace špatných pásem (bad bands tools), spektrální výřez (spectral subset tool), zadávání informací o senzoru (sensor info), nebo je také možné provést atmosférickou korekci a upravit poměr signálu a šumu. Popis jednotlivých funkcí je uveden níže.

Anomaly detection

Detekce anomálií je proces při kterém jsou v analyzovaném snímku hledány pixely, jejichž spektrum se jednoznačně odlišuje od spekter ostatních pixelů ve snímku. Nejlepším využitím této aplikace je případ, kdy není znám žádný materiál, který by mohl být předmětem mapování a také není známé prostředí daného materiálu. Další případ využití také může být, pokud je potřeba zjistit něco neobvyklého nacházejícího se ve scéně jako například vozidla v neobydlených oblastech nebo vegetace v pouštních oblastech.

Target detection

Target detection, neboli detekce cíle je proces při kterém je v analyzovaném snímku hledán specifický materiál, který by měl být v obraze přítomen ve velmi malém množství. Příkladem je situace kdy máme k dispozici spektrum materiálu, který by se mohl v obraze vyskytovat s malou pravděpodobností a chceme najít místo kde se ve snímku vyskytuje.

Material mapping

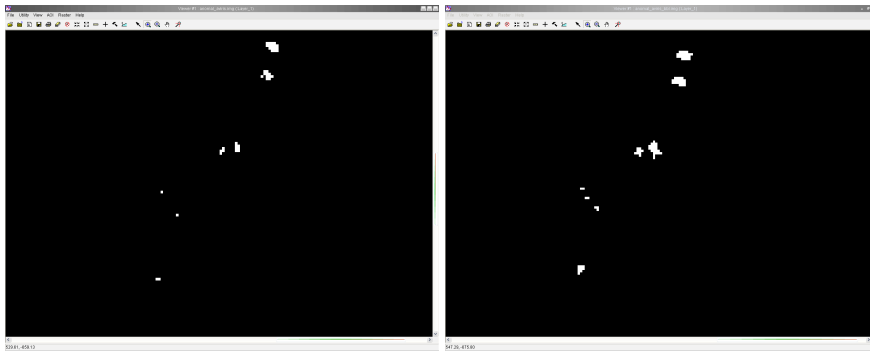
Material mapping, neboli mapování materiálu, je proces, při kterém je v analyzovaném snímku hledána přítomnost specifického materiálu, nebo materiálů, na základě zvoleného spektra daného materiálu. Tato funkce je vhodná pro mapování v situaci, kdy je hledaný materiál je významným prvkem na snímku.

Material Identification

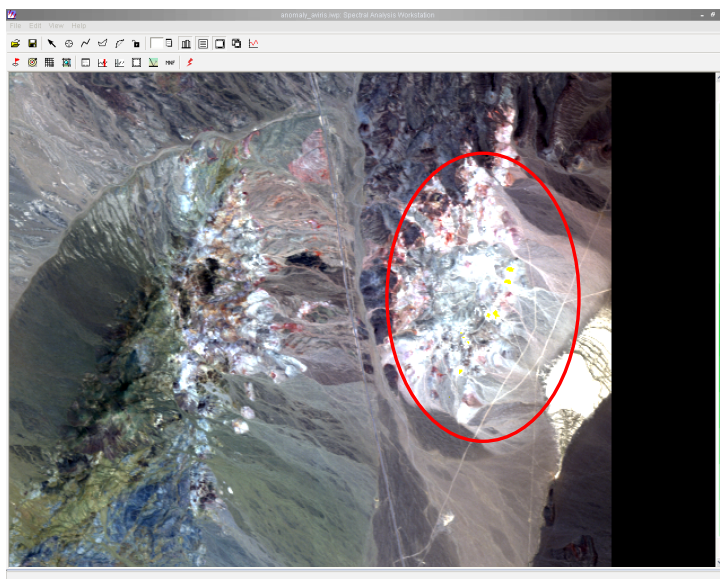
Material identification, neboli identifikace materiálu, je algoritmus, který zjišťuje druh materiálu porovnáváním spektra neznámého pixelu se známými spektry materiálů, které byly vybrány jako kandidátní pro identifikaci (tedy jedná se většinou o laboratorní spektra ze spektrální knihovny). Algoritmus spočítá index matematické podobnosti z porovnání neznámého spektra se všemi známými spektry. Výsledky jsou zobrazeny v seřazeném seznamu.

Analýza snímků

Jako příklad analýzy je zde uvedena analýza snímku ze senzoru AVIRIS. V první řadě byla provedena detekce anomálií a to nejprve na snímek bez vyřazených špatných pásem. Výsledkem bylo vyznačení několika málo pixelů v prostřední části. Pro druhý pokus detekce anomálií byli k analýze připojeny informace o senzoru a také byla vyřazena špatná pásma. Výsledky detekce lze vidět na následujícím obrázku jako samostatnou výslednou masku a poté jako masku naloženou na analyzovaném snímku, kde je možné vidět lokalizaci anomálií (obrázek číslo 1). Při použití informací o senzoru a vyloučení špatných pásem se dostavili lehce odlišný výsledek než při první detekci. Lze usoudit, že při použití více podpůrných informací lze dostat přesnější výsledek, a to zejména z hlediska zvětšení anomálií.

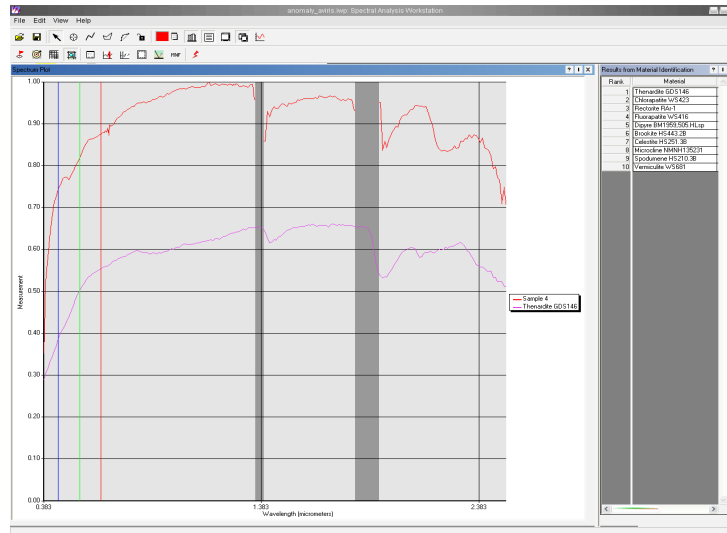


Obr. 1. Výsledky detekce anomálií s použitím informací o senzoru a vyloučením špatných pásem (vlevo) a bez nich (vpravo).



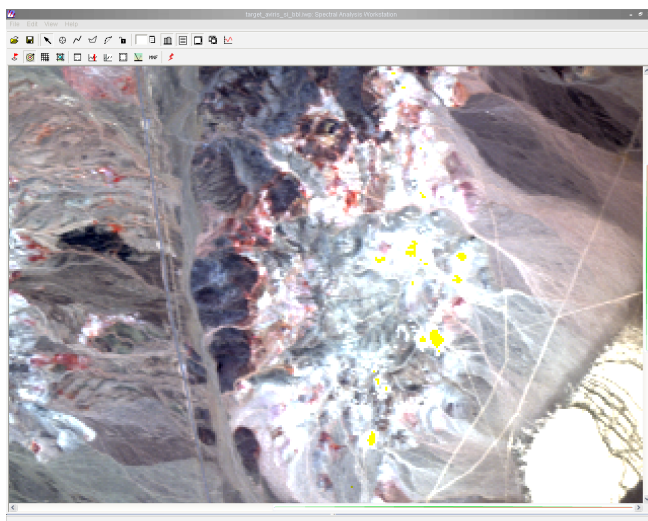
Obr. 2. Anomálie lokalizované v analyzovaném snímku (žlutá barva).

Na anomálie dále mohla být provedena identifikace materiálu. Byl vybrán největší shluk pixelů. První identifikace byla provedena pomocí metody SAM a knihovny USGS. Jako minerál jehož spektrální křivka se shoduje s křivkou anomálie byl vyhodnocen thenardit a to s 98% shodností. Porovnání obou křivek lze provést z obrázku číslo 3 níže. Horní červené spektrum je křivka pixelu který sloužil k identifikaci a dolní fialová křivka je spektrum thenarditu. Z obrázku lze vyzorovat, že průběh obou křivek je velmi podobný a výpočet tak můžeme označit za správný. Thenardit ovšem nemusí být právě ten minerál který tvoří anomálii, na dalších místech v pořadí identifikace se umístilo několik dalších minerálů, které mají shodnost hodně přes 90 % a průběh jejich spekter není o mnoho odlišnější než spektrum thenarditu. Druhá identifikace byla provedena metodou SCM a thenardit byl také zařazen na první místo, ale tentokrát s 94% pravděpodobností.



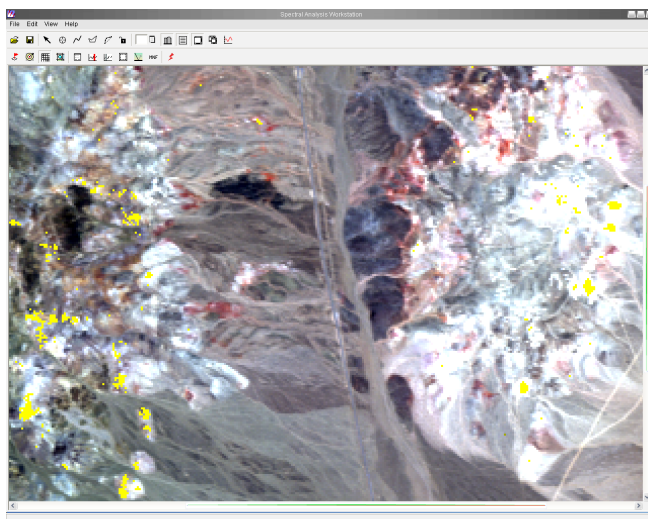
Obr. 3. Porovnání spektrálních křivek anomálie a identifikovaného minerálu (thenarditu).

Další analýzou byla detekce objektu. V příručce ke spectral analysis bylo doporučeno na trénovacích datech detekovat minerál buddingtonite s označením nhb 2301, jehož spektrum je v knihovně USGS, čímž byla detekce podstatně zlehčena a u následujících dat lze vidět, že bez podkladových informací a datech z průzkumu zkoumané oblasti, je detekce značně ztížena. Po zjištění výsledku je možné dále pracovat na jeho zpřesnění, například je možné vymezit k analýze pouze ty části spektra, které mají pro analýzu největší vypovídací hodnotu, to znamená ty části spektra kde je průběh spektrální křivky nejvíce typický a kde se nachází pásma absorpce typická právě pro daný materiál. Po aplikování těchto postupů se výsledek lehce zlepšil, jinými slovy přibýlo více pixelů klasifikovaných jako buddingtonite. Výsledek klasifikace lze vidět na obrázku níže.

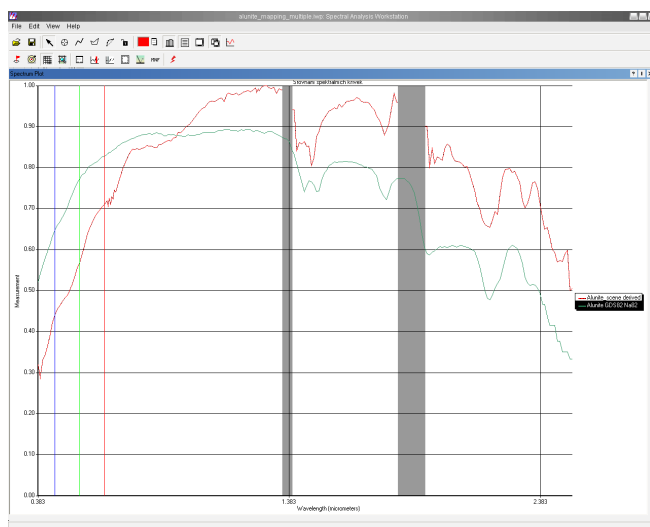


Obr. 4. Výsledek detekce buddingtonitu pomocí metody target detection (buddingtonite představují pixely žluté barvy).

Mapování minerálu bylo poslední z možných analýz, pokud nepočítáme identifikaci materiálu, která byla použita při každé z hlavních analýz. Pro mapování byl příručkou ke spectral analysis tentokrát doporučen minerál alunit a byl použit algoritmus CEM. Výsledkem je maska v odstínech šedi seřazená od záporných hodnot do hodnot blížících se jedné. Čím více se hodnota pixelů blíží k jedničce, tím větší je pravděpodobnost, že daný pixel může být klasifikován jako hledaný cíl. Posuzování práhu je značně intuitivní a záleží spíše na úsudku člověka, který dělá analýzu, pro jakou prahovou hodnotu se rozhodne a také je možné se rozhodovat podle srovnání výsledku s podkladovými daty. Přesnost analýzy lze také ověřit porovnáním spektrálních křivek, a to křivky alunitu ze spektrální knihovny USGS a spektra vyvozeného z pixelu, který byl klasifikován jako alunit. Z jejich porovnání (viz obrázek číslo 6 níže) lze vidět, že jejich spektra jsou velmi shodná a že pixely byly klasifikovány jako alunit správně.

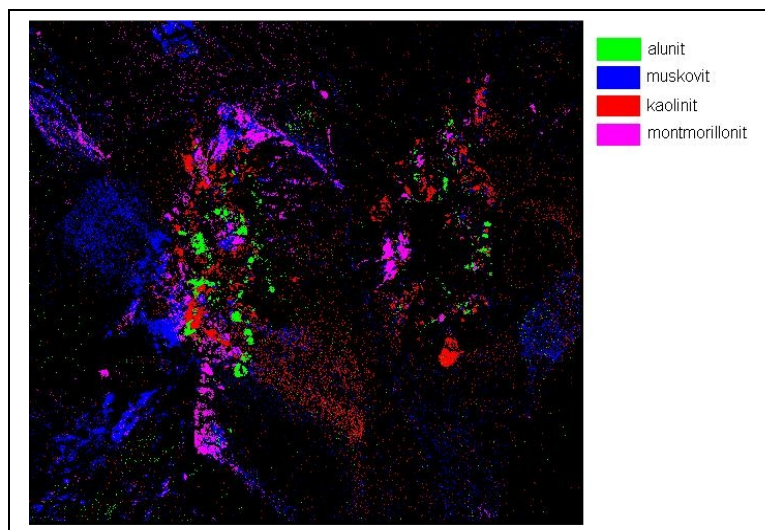


Obr. 5. Výsledek mapování alunitu pomocí metody material mapping (alunit představují pixely žluté barvy).



Obr. 6. Porovnání spektrálních křivek alunitu ze spektrální knihovny USGS a spektra vyvozeného z pixelu klasifikovaného jako alunit.

Nakonec bylo provedeno mapování více minerálů zároveň. Jako objekty mapování byly vybrány minerály alunit, muskovit, kaolinit a montmorilonit. Výsledek tohoto mapování lze vidět na obrázku níže.



Obr. 7. Výsledek mapování více materiálů najednou.

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit dostupné spektrální knihovny využitelné v geologii a demonstrovat příklady tohoto využití na daných hyperspektrálních datech v programu ERDAS Imagine 9.0. Práce poskytuje základní informace o spektrálních knihovnách, hodnocení a popis volně dostupných spektrálních knihoven, komerčně šířených spektrálních knihoven a spektrálních knihoven implementovaných v komerčních softwarech. Dále byla nastíněna možnost tvorby vlastních knihoven. Na závěr byly demonstrovány možnosti využití spektrálních knihoven při spektrální analýze v ERDAS Imagine 9.0 na hyperspektrálních datech ze senzorů Hyperion, ASTER a AVIRIS.

Problémy s daty ze senzorů Hyperion a ASTER byli popsány a tyto informace mohou být použity v jiných pracích, aby se těmto problémům dalo předejít.

Tato práce poskytuje základní přehled o spektrálních knihovnách, který může pomoci při hledání správné spektrální knihovny ke geologickým aplikacím. Pro nové uživatele spektrálních knihoven je popsán postup základního využití spektrální analýzy. Této práce je možné využít jako základních teoretických základů při práci se spektrálními knihovnamí. Nakonec je možné získat informace o zhodnocení použití různých druhů hyperspektrálních dat.

Reference

- [1] SHIPPERT, P.: Introduction to Hyperspectral Image Analysis [soubor pdf]. 2003 [cit. 2006-09-28]. Dostupné z <http://satjournal.tcom.ohiou.edu/pdf/shippert.pdf#search=%22hyperspectral%22>.
- [2] JANČÍK, M.: Vybrané geologické hyperspektrální analýzy. [Diplomová práce] Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky, 2005.
- [3] Dobrovolný, P.: Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Brno, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, 1998.
- [4] Gupta, R. P.: Remote Sensing Geology. Berlin, Springer-Verlag, Second edition, 2003.
- [5] ASTER Spectral Library [online]. Poslední aktualizace 2002-09-24 [cit. 2006-09-28]. Dostupné z: <http://speclib.jpl.nasa.gov>.
- [6] IMAGINE Spectral Analysis User's Guide [soubor pdf]. Leica Geosystems, 2005 [cit. 2007-03-29].
- [7] USGS Spectroscopy Lab - Spectral Library [online]. Poslední aktualizace 2006-06-30 [cit. 2006-10-02]. Dostupné z: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>.
- [8] ASU spectral library [online]. Poslední aktualizace 2006-03-24 [cit. 2006-10-2]. Dostupné z: <http://tes.asu.edu/speclib/>.
- [9] Raman Spectra of Minerals [online]. Poslední aktualizace 2006-03-01 [cit. 2006-10-6]. Dostupné z: <http://www.fis.unipr.it/~bersani/raman/raman/spettri.htm>.
- [10] M. Rajesh Kumar, T.N. Singh: Evaluation of Hyperspectral Remote Sensing as a Means of Exploration Geology [online]. Poslední aktualizace 2005-06-01 [cit. 2007-02-23]. Dostupné z: http://www.eomonline.com/EOM_Jun05/print.php?Article=feature04
- [11] M. Rajesh Kumar, T.N. Singh: Evaluation of Hyperspectral Remote Sensing as a Means of Exploration Geology – Identification of Various Rocks and minerals. Geoinformatics. 9/2006.