

Eva SMEJKALOVÁ, Petr BUJOK

Vysoká škola báňská technická univerzita Ostrava, Institut geologie

## **MOŽNOSTI VYUŽITÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ PRO SLEDOVÁNÍ ÚNIKŮ ROPNÝCH LÁTEK (KONTAMINACE HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ)**

**Abstrakt.** Dálkový průzkum Země a jeho aplikace jsou jednou z technologií, které se postupně začíná využívat v mnoha odvětvích lidských aktivit. Jeho použití nemá striktně definované hranice a svou interdisciplinárítou poskytuje možnosti využití v oblastech geologie, pedologie anebo environmentalistiky. V odvětví nerostných surovin jsou metody DPZ součástí explorace, ale i závěrečných likvidačních a rekultivačních fází. V porovnání s pozemním průzkumem a dalšími konvenčními metodami je technologie DPZ při opakování pozorování finančně méně náročným a sofistikovanějším řešením. Pomocí hyperspektrálních analýz je možné detektovat přítomnost určitých minerálů nebo hornin rychle a při použití správných algoritmů spolehlivě.

Témou příspěvku je DPZ a jeho využití při detekci uhlovodíků – úniků a průsaků ropných látek v pevninské části zemské kůry. Výskyt uhlovodíků v půdě může být projevem úniku nebo průsaku hydrokarbonových látek. Úniky způsobené haváriemi na produktovodech anebo jinými antropogenními zásahy v přírodě kontaminují půdu. Přírodní průsaky mohou indikovat výskyt ložiska ropy a zemního plynu.

Theoretické základy uhlovodíků, jejich spektrální projevy a vybrané algoritmy k detekování ropných průsaků a úniků v přírodě jsou uvedeny v první části. Následuje selekce testovaných území, výběr a předzpracování satelitních dat. Nakonec je uvedena verifikace použitelnosti vybraných analytických metod a návrhy na další pokračování aplikace v oblasti likvidací vrtů.

## **POSSIBILITIES OF OIL SEEPS AND SPILLS MONITORING (CONTAMINATION OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT) USING REMOTE SENSING METHODS**

**Summary.** Remote sensing is nowadays one of the high-tech methods utilized in various areas of human activities. With its interdisciplinarity man can use this technology in disciplines such as geology, pedology and environmentalistics. Remote sensing offers many conveniences for studying and analyzing the Earth's surface for the detection of hydrocarbons. Objectivity and rapidity of detection, effectivity during the iterative analysis of

large areas, compatible results (with other digital data, other GIS) and the possibility to work on the surveys remotely, without direct contact with the surface are the main advantages of remote sensing. The aim of this analysis is to show and explain how we can use this approach in the detection of onshore oil seeps and slicks. In the first part the theoretical background of the hydrocarbons and their effects in the nature, remote sensing methods and technologies using in the detection of onshore hydrocarbons are described. Following part shows the summary of selected algorithms applied on the remote sensing data to detect the hydrocarbons. Selection of proper testing areas (Kuwait – oil deposits, California- area with known hydrocarbon seepage) and choosing of right satellite data (sensors Hyperion, ASTER) is followed by verification of applied methods in practical part of the analysis. In the end the evaluation of the analysis objectives, results and the proposal of other application (oil drill liquidation) of created methodology are discussed.

## 1. Uhlovodíky

### 1.1. Úniky a průsaky uhlovodíků

Přírodní průsaky uhlovodíků na povrch upozorňují na přítomnost ložisek uhlovodíků. Rubio v studii 6 průsak definuje jako výsledek procesu migrování hydrokarbonů podél zlomů, puklin, zón nespojitostí anebo přes spojené póry nacházející se v horninách. Makroprůsaky jsou viditelné, obsahují velké množství uhlovodíků a vyskytují se na ploše malých územích. Naopak mikroprůsaky formují nízké koncentrace uhlovodíků v mělkých sedimentech. V přírodě jsou neviditelné a jejich přítomnost indikují geochemické změny v minerálech, horninách anebo výskyt vegetačního stresu.

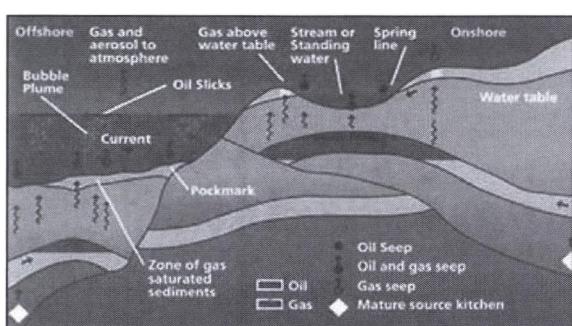


Fig. 1. Schematické znázornění ropných průsaků, převzato z: 10

Fig. 1. Scheme of oil seepage, after: 10

Úniky zpravidla pozorujeme

při transportě ropných látek. Rovněž je identifikujeme v oblastech reálných a potencionálních geohazardů (po těžební činnosti- nezlikvidované staré těžební průzkumné vrty). Potenciální únik může nastat mimo původní kolektorské horniny a ohrozit okolní horninové prostředí (kvalitu podzemních vod).

Na fig. 1 je schéma ropného průsaku (*oil seep*) a výstupu zemního plynu (*gas seep*) na pevninské (*onshore*) a oceánské (*offshore*) části zemské kůry.

## 1.2. Důležité oblasti elektromagnetického spektra při detekci uhlovodíků.

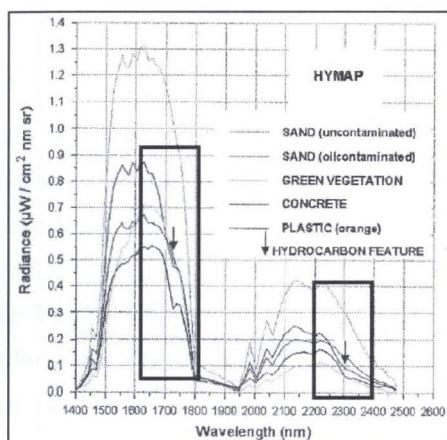


Fig. 2. Křivky spektrální odrazivosti získané senzorem HyMap, převzato z: 2

Fig. 2. Spectral refraction views measured by HyMap sensor, after: 2

Spektrální projevy anorganických materiálů jsou charakteristické zvýšenou absorpcí v infračervené oblasti. Ve viditelné části spektra je typický pomalý vzestup odrazivosti s rostoucí vlnovou délkou. Nejvýznamnější odchylky jsou určované převážně jejich chemickým složením, mechanickými vlastnostmi a strukturou povrchu. Pro každý minerál, horninu či výskyt chemické změny na povrchu je důležité analyzovat pouze určitou relativně úzkou část elektromagnetického spektra.

Cílem je stanovení absorpčních pásů (absorpčních maxim), tedy míst, kde povrch nejvíce záření absorbuje, křivky spektrálních odrazivostí dosahují lokální minima a vyhledávaní charakteristických tvarů křivek ve vybraných intervalech spektra (viz. fig. 2).

Z různých studií vyplynulo, že nejdůležitější oblasti elektromagnetického spektra ve kterém se nacházejí absorpční pásma uhlovodíků je interval 2310 nm až 2350 nm a pásmo 1730 nm  $\pm 5$  nm. Leteckým spektrálním skenerem byly dokázány bitumenová absorpční pásma v oblasti 1730 nm. Výsledky byly získány analýzami umělých bitumenových povrchů s homogenním podkladem. Detekce uhlovodíků na přirozeném povrchu je působením vnějších faktorů složitější. Takto i Werff 7 uvádí absorpční pásy ropných látek v oblasti 1700 nm a dále od 2300 nm do 2600 nm (viz fig. 2).

## 2. Algoritmy pro detekování uhlovodíků

Uvedené algoritmy se používají v analytické a klasifikační fázi postupu zpracování údajů. Předchází jim fáze předzpracování, zvýšení kvality a možná transformace družicových anebo leteckých obrazových dat.

### 2.1. Vizuální interpretace barevných kompozicí pásem

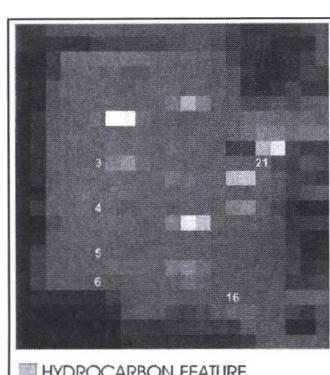


Fig. 3. Barevná kompozice – fialové plochy ovlivněné uhlovodíky, převzato z: 2

Fig. 3. Coloured composition – violet areas stand for hydrocarbons, after: 2

U vizuální analýzy převažuje snaha zájmové cíle identifikovat odlišnou barvou, tvarem, velikostí, vzorem, strukturou, stínováním a vazbou na okolí 5. Kompozici v nepravých barvách je možné vizuálně pozorovat obrazová data a analyzovat možné průsaky uhlovodíků. Hoering 2 při výzkumu uhlovodíků pomocí leteckého hyperspektrálního senzoru HyMap stanovil barevnou kombinaci pásem, umožňující detektovat uhlovodíky vizuálně.

Pásma s vlnovou délkou 1668,22 nm označil červeně, 1729,21 nm zeleně a 1788,98 nm modře. Na barevnou kompozici aplikoval metody pro zvýraznění kontrastu. Výsledek je na obrázku č.3, kde jsou povrchy ovlivněné uhlovodíky fialové.

### 2.2. Hydrokarbonový index, hydrokarbónová detekce

Spektrální charakteristiky uhlovodíků mají charakteristický průběh se dvěma pozorovatelnými absorpcními maximy v oblasti 2310 nm a 1730 nm. Podle výzkumu Khüna 3 se většinou používá charakteristické absorpcní pásmo 2310 nm. Absorpční pásmo 1730 nm je blízko absorpcního pásmu vody. To může být příčinou, proč je tato oblast méně používaná a analyzovaná. Khün ve svém výzkumu s daty z leteckého hyperspektrálního senzoru HyMap sleduje uhlovodíky v oblasti 1730 nm a vytvořil hydrokarbonový index. Na obrázku č.2, nahoře, jsou zakresleny křivky spektrálních odrazivostí pro analyzované materiály použité v studii Khüna 3.

V oblasti 1730 nm se vyskytuje minimum pro povrch terénu tvořený písky kontaminovaný uhlovodíky. Křivka vytváří tvar písmena „V“. Absorpce není výrazná, ale je pozorovatelná. Pomocí jednoduchých matematických vztahů Khün sestavil vzorec pro

výpočet hydrokarbonového indexu. Definování „indexových bodů“, které popisují absorpční maximum a tvar „V“, je zakresleno na obrázku č. 4. Jako indikátor přítomnosti ropy a dalších uhlovodíků používá hydrokarbonový index vertikální linii  $HI=BB'$ . Jestliže se na povrchu nacházejí uhlovodíky ovlivněné materiály, indexové body A, B a C tvoří trojúhelník a hodnota  $HI>0$ .

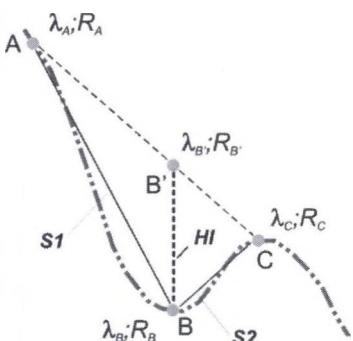


Fig. 4. Princip výpočtu hydrokarbonového indexu, podle: [2]

Fig. 4. The rule of hydrocarbon index calculation, after: [2]

Mezi hodnotou HI a množstvím koncentrovaných uhlovodíků existuje přímá úměrnost. Pokud na povrchu nepozorujeme žádné hydrokarbony, uhlovodíky, indexové body nevytvářejí trojúhelník, leží přibližně podél jedné přímky,  $HI=0$ . Hydrokarbonový index se určí podle vztahu (1).

$$HI = (\lambda_A - \lambda_B) \cdot \frac{R_C - R_A}{\lambda_C - \lambda_A} + R_A - R_B \quad (1)$$

$R_A$ ,  $R_B$  a  $R_C$  jsou hodnoty odrazivosti odpovídající jednotlivým vlnovým délkám ( $\lambda_A$ ,  $\lambda_B$ ,  $\lambda_C$ ) pro indexové body. Khün své studii 3 aplikoval výpočet na letecká data a výsledek po výpočtu je uveden na fig. 4. Jako „A“ volil pásmo s vlnovou délkou 1705 nm, jako „B“ pásmo s 1729 nm a „C“ pásmo s vlnovou délkou 1741 nm.

Dalším poměrovým indexem, používaným pro tzv. hydrokarbonovou detekci je výpočet indexu  $HD = (A+C)/2B$  ( $HD>1$  detekovaný výskyt uhlovodíků), při využití spektrálních pásů: A: pásmo 2 297 nm, B: pásmo 2 313 nm, C: pásmo 2 329 nm.

### 3. Praktická analýza

#### 3.1. Výběr lokalit k testování vybraných metod

##### *Území aridní klimatické oblasti*

Velká část světových ropných ložisek je situována na Arabském poloostrově a v okolí Perského zálivu. Ověření metod DPZ k detekci uhlovodíku je vhodné provést v lokalitě, kde je výskyt uhlovodíkových průsaků anebo ropných láték známý. Vybraná oblast v části Kuvajtu má k tomu předpoklady.

##### *Území humidní klimatické oblasti*

Další analyzovanou oblastí byla pánev Ventura v Kalifornii. V holandském ústavu ITC část autorů pracuje na projektu, v rámci kterého jsou sledované průsaky uhlovodíků pomocí DPZ. Jedno ze zkoumaných území projektu je oblast pánve Ventura. Našlo se zde více než šedesát aktivních hydrokarbonových průsaků. Průsaky jsou tvořeny ropou, zemním plynem, sírany a dehtem. K ověření metod DPZ byl vhodný podpůrný materiál v práci Rubio 6 a výběr lokality humidního prostředí (oblast pánve Ventura) byl určen touto studií.

#### 3.2. Vstupní data

Data z Hyperion: data z hyperspektrálního senzoru Hyperion svými parametry vyhovovaly požadavku na snímanou oblast elektromagnetického spektra (více v kapitole o oblastech spekter důležitých k detekci uhlovodíků). Záběr z Hyperionu, ropní oblasti Burgan, jižně od města Kuvajt byla objednaná jako produkt L1GST. Jsou to data s aplikovanými radiometrickými korekcemi, převzorkované pro geometrické korekce a georeferencované do souřadnicového systému 4.

Data z Aster: ze stejné oblasti v Kuvajtu (ložisko Burgan) byla provedena analýza dat ze senzoru Aster. Senzor pokrývá požadovanou oblast spektra, ačkoliv poskytuje pouze 6 pásem ze SWIR a 3 z VNIR. V oblasti ložiska Burgan byl použit produkt s aplikovanými geometrickými a radiometrickými korekcemi. K předzpracování konkrétní analýzy a zpracování družicových scén se použily programové produkty ENVI 4.4 a Erdas Image 9.1.

### 3.3. Předzpracování dat

Příprava dat pro jednotlivé analýzy zahrnovala jejich předzpracování – bylo nutné importovat (pomocí detekce Bad Bands, sestavení konverzních faktorů dat Hyperion FLAASH pro vstup do modulu k atmosférickým korekcím) oba druhy dat do vybraných programových prostředků, sloučení pásem ASTER do jedné datové sady, zlepšení poměru signál/šum a aplikace atmosferických korekcí. Právě použití těchto korekcí je důležitým krokem předzpracování dat. Data jednotlivých analýz je výhodnější z radience (záření) převést na reflektanci (odrazivost). Odrazivost získáme odstraněním vplyvu atmosféry a použití atmosferických korekcí. Cílem všech atmosferických korekcí je získat z původně naměřených dat absolutní hodnoty odrazivosti anebo vyzařování objektů. ENVI poskytuje nástroj FLASH použitelný pro atmosferické korekce dat z Hyperion i z Asteru. Používá model MODTRAN4 9. V případech, kdy neexistuje možnost využití informací z pozemního měření a celková znalost analyzovaného území je malá, je možné použít metodu IARR (Internal Average Relative Reflectance). Metoda je vhodná především na aridních oblastech s minimem vegetace.

## 4. Analýzy dat

### 4.1. Vykreslení křivek spektrální odrazivosti

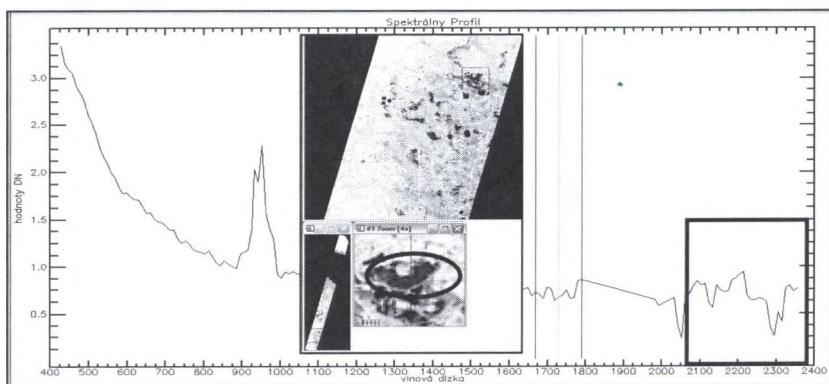


Fig. 5. Výsledná spektrální charakteristika z místa zviditelněného fialovou barvou

Fig. 5. The example of observed spectral characteristics

Jedna z metod používaná k detekci uhlovodíků je založena na využití křivek z knihoven spekter, jejich porovnávání s křivkami získanými při analýze dat DPZ anebo vstup charakteristických referenčních spekter do dalších algoritmů. Na základě výsledků kompozice v nepravých barvách a zviditelnění uhlovodíkových povrchů fialovou barvou byly vykresleny křivky těchto oblastí. Z různých míst scény při zobrazení RGB byly vynášeny křivky do grafu (fig. 5). Ze senzoru Hyperion jsou na ose X hodnoty vlnových délek a na ose Y hodnoty záření (radiance) po úpravě relativními atmosférickými korekcemi (IARR).

#### 4.2. Spektrální indexy

Aplikace DPZ v geologii často používají složitější poměry pásem (podíly, kde čitatelem a jmenovatelem je součet/součin většího počtu pásem) k zobrazení spektrálních kontrastů specifických absorpčních rysů 1.

Scéna Aster pro oblast Ventura byla vhodná po aplikování výpočtu indexu HD, jednotlivá pásma přibližně odpovídají vlnovým délkám, které vstupují do vzorce při výpočtu.

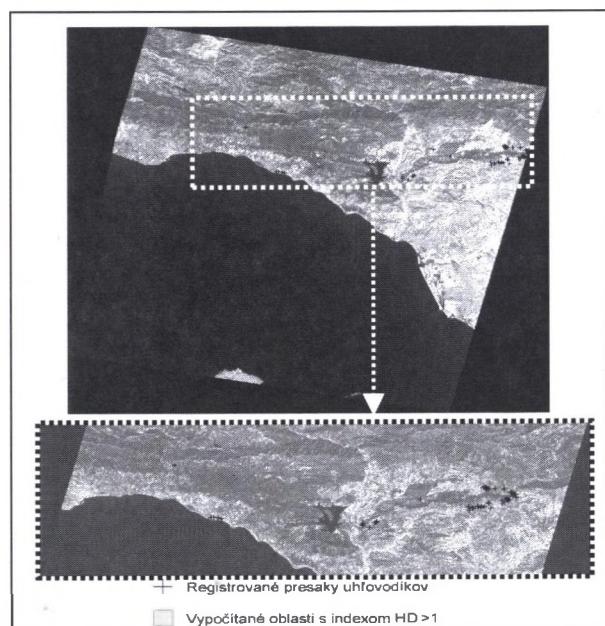


Fig. 6. Výsledek výpočtu indexu HD  
Fig. 6. The example of index HD calculation

Na výsledek byl aplikovaný filtr  $3 \times 3$  k vyhlazení hodnot. Získaný obraz obsahuje barevně zvýrazněné hodnoty DN větší jedné ( $DN > 1$ ). V rámci studie Rubio 6 v oblasti Ventura – Kalifornie byl vytvořen seznam průsakových území i s odpovídajícími souřadnicemi WGS84 UTM zóna 11.V prostředí ArcGIS 9.2 byla podle souřadnic sestavena vektorová bodová vrstva, která obsahovala body představující průsaky.

Na závěr byla vytvořena kompozice původní scény vizualizované v kombinaci RGB

Aster pásem č.9, č.8 a č.7, se známými průsaky (na fig. 6 zobrazeno modrými křížky) a výsledkem výpočtu indexu pro hydrokarbonovou detekci (zobrazeno odstíny žluté barvy).

## 5. Zhodnocení výsledků a závěr

Dálkový průzkum Země poskytuje řadu výhod při zkoumání zemského povrchu s cílem detekce uhlovodíků. Při studiu a analýze algoritmů, které se k tomuto účelu používají byly vybrány především ty postupy, které vedly k pozitivním a v budoucnosti využitelným výsledkům. Algoritmy byly v některých případech upraveny a přizpůsobeny analyzované oblasti a druhu použitych družicových dat. Určité omezení při aplikaci vybraných metod bylo způsobeno nedostatkem podpůrných dat (dat z terénního průzkumu) například spektrální charakteristiky uhlovodíků vhodné pro knihovnu spekter a pod. Rozšíření dat o údaje z terénního průzkumu by značně rozšířilo požívání metod DPZ k detekci uhlovodíků.

V analytické části byly nejprve vybrány testovací lokality (Kuvajt a Pánev Ventura v Kalifornii) a jejich vhodná data (scéna ze senzoru Hyperion a Aster). Větší část práce se soustředila i na předzpracování dat. K ověření správnosti vybraných metod a jejich aplikací byly použity programové produkty ENVII 4.4 a Erdas Image 9.1 .

Analýza dat tvoří nejrozsáhlejší část zpracovaných údajů. Nedostatek podpůrných dat, data z terénního výzkumu, zredukoval výběr algoritmů k testování. Při kompozici v nepravých barvách vybraných pásem hyperspektrální scény senzoru Hyperion byly uhlovodíky zvýrazněny fialovou barvou. Z takto zvýrazněných ploch se vykreslily křivky spektrálních charakteristik, jejichž absorpční maxima souhlasili s maximami na referenční křivce uhlovodíků ve knihovně spekter. Bylo provedeno ověření správnosti obou řešení. Dalším aplikovaným algoritmem byl výpočet indexu HD pro hydrokarbonovou detekci v oblasti pánve Ventura. Porovnání výsledků se známými výskyty uhlovodíkových průsaků lze hodnotit správnost detekce 75%. Aplikace dalšího hydrokarbonového indexu na scény z oblasti státu Kuvajt nepřinesla požadované výsledky, problémem byl jev „páskování“ scén ze senzoru Hyperion a jeho odstraňování.

Výsledky praktické části práce potvrzdily správnost vytvoření kompozice v nepravých barvách, vykreslování spektrálních charakteristik míst detekovaných jako uhlovodíky a vzájemné porovnání s referenční křivkou, podobně i korektnost výpočtu hydrokarbonového indexu. Kvalitnější a obšírnější analytické zpracování je podmíněno použitím podpůrných dat z terénního průzkumu.

Přibližně podle uvedené metodiky pokračuje výzkum na modelovém území v lokalitách Hodonín – Nesyt, Lužice fází analýzy lokalit těžby (vrty), které jsou v likvidaci. Vykonávají se přípravy sběru terénních dat, výběr a zajištění multi/hyper-spektrálních

družicových/leteckých dat a dalších podpůrných informací k vykonání celkového výzkumu. Výzkumu využívajícího DPZ a kalibraci dat pozemním měřením.

## LITERATURA

1. Dobrovolný P.: Dálkový průzkum Zem: Digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova Univerzita, Přírodovědecká Fakulta 1998, s. 207.
2. Hörig B. et al.: HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons, článok v International Journal of Remote Sensing, 2001, vol. 22, No. 8, s. 1413-422.
3. Kühn F., Oppermann K., Hörig B.: Hydrocarbon Index – an algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons, článok v International Journal of Remote Sensing, 2001, vol. 22, No. 8, s. 1413-422.
4. Jančík M.: Vybrané geologické hyperspektrální analýzy. [Diplomová práce]. Olomouc: UPO, Katedra geoinformatiky, 2005, s. 70.
5. Rapant P. Geoinformatika a geoinformační technologie. Ostrava: VŠB TUO HGF, 2006, s. 96.
6. Rubio V.: Correlation of the Onshore Hydrocarbon Seepages with the Geo-structural Characterization in the Venura Basin, Santa Barbara area, California, ITC, 2002.
7. Werff H.; Knowledge-based remote sensing of complex object: recognition of spectral and spatial patterns resulting from natural hydrocarbon seepages, Proefschrift, ITC Dissertation number 131, Enschede 2006.
8. Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging, [cit. 2008-3-17], <<http://www.earthsearch.com/pdf/oilseeps.pdf>>
9. ENVI 4.4 Help, RSI, 2007 [cit. 2008-4-23]
10. Oil and Gas Exploration using Remote Sensing, [cit. 2007-5-11] <<http://www.personal.psu.edu/krg156/index.html>>

Recenzent: Doc. Ing. Josef Mazáč, CSc., HGF, VŠB-TU Ostrava