

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí

Mapování starých zátěží na území ČR s využitím GIS

Mapping of contaminated sites in the Czech Republic using GIS



Bakalářská práce

Anna Vacířová

Vedoucí práce: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha, 2015

Prohlášení:

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

V Praze, dne

Podpis:

Poděkování:

Ráda bych zde poděkovala všem osobám, které mi pomáhaly a podporovaly mě při řešení této práce. Jmenovitě děkuji panu Ing. Luboši Matějčkovi, Ph.D., za odborné vedení práce, připomínky a čas, který mi věnoval. Zvláštní poděkování patří celé mé rodině za trpělivost a nenahraditelnou podporu za celou dobu mého studia.

Abstrakt

Práce se zaměřuje na možnosti mapování starých ekologických zátěží na území České republiky pomocí dálkového průzkumu Země. Důvodem je možnost kontaminace okolního prostředí nejrůznějšími látkami, které mohou poškozovat zdraví obyvatel. Hlavní pozornost je zaměřena na metody v projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst, jelikož je to hlavní projekt probíhající v České republice, který se této problematice věnuje. Dále také práce shrnuje historické pozadí mapování kontaminovaných míst v České republice, a jeho existující databáze. Další část se věnuje situaci ohledně mapování v zahraničí, zejména ve Spojených státech a Kanadě. Je zde znázorněno, jaké mapové výstupy lze pro určitou lokalitu získat na základě pořízených dat.

Klíčová slova: stará ekologická zátěž, NIKM, SEKM, DPZ, kontaminovaná místa, GIS

Abstract

Work concentrates on possibilities of mapping of contaminated sites in the Czech Republic by the means of remote-controlled exploration of the Earth. The reason for that is the possibility of contamination of surroundings by various substances which can damage the health of inhabitants. The main focus is concentrated on the methods of the "National Contaminated Sites Inventory" project, as it is currently the main project taking place in the Czech Republic which is dealing with these problems. The work summarizes the historical mapping of contaminated places in the Czech Republic and there are mentioned the existing databases. Other part is dedicated to the situation in mapping abroad, especially in the United States and Canada. There are depicted which mapping outputs are available for given locality on the basis of acquired data.

Key words: NIKM, SEKM, Remote Sensing, Contaminated sites, GIS

Obsah

1. Úvod	5
2. Termíny	6
3. Legislativa	7
4. Situace v zahraničí	8
5. Situace v České republice	11
5.1. Historie	11
6. Metodika.....	13
6.1. Dálkový průzkum Země	13
6.2. NIKM – rozbor metod	15
6.2.1. Interpretace leteckých ortofotomap	15
6.2.2. Zpracování multispektrálních satelitních dat	18
6.2.3. Zpracování hyperspektrálních dat	21
7. Výsledky.....	25
8. Závěr.....	30
9. Literatura	30
9.1. Užitečné odkazy:	36
10. Použité zkratky:.....	36

1. Úvod

Staré ekologické zátěže patří k problémům, které přetrvávají z dob minulých, kdy se na životní prostředí nekladl takový důraz jako tomu je dnes. Před privatizací byla ochrana životního prostředí jen okrajovým tématem. Důraz byl kladen hlavně na výnosy jak z výroby, tak i ze zemědělství. Téma ekologických zátěží ale nesouvisí jen s životním prostředím, ale hlavně s lidským zdravím. Většina kontaminovaných lokalit je evidovaná právě z důvodu, že může dojít, nebo již došlo, ke kontaminaci například podzemních vod, ze kterých je čerpána voda prostřednictvím studní v okolí. K těmto únikům kontaminantů do prostředí může docházet například v opuštěných areálech chemických společností, špatně vybudovanou skládkou nebo nezajištěním různých odpadních materiálů, jako jsou důlní kaly. O mnohých ekologických zátěžích se ví díky databázím, které vznikají již od 90. let, ale tyto databáze jsou neúplné.

V poslední době je tedy kromě důrazu na samotnou rekultivaci a sanaci lokalit kladen důraz na nalézání takovýchto lokalit. Vzhledem k rozvoji techniky dálkového průzkumu Země se zdá, že to je hlavní směr, kterým by se měla evidence starých ekologických zátěží ubírat. Je to možnost, jak najít kontaminovaná místa ještě před tím, než tam bude vyslán pověřený pracovník, který napíše zprávu o dané lokalitě a možné reálné kontaminaci. Kdyby ale měl sám, pouze v terénu, takovéto lokality vyhledávat, trvalo by to neúměrně dlouho. Proto se využívá principů dálkového průzkumu Země, které jsou schopné z družicových neb leteckých dat vyextrahovat informaci, jestli se v dané lokalitě nějaká kontaminovaná místa nachází.

2. Termíny

Za starou ekologickou zátěž dle MŽP považujeme závažnou kontaminaci horninového prostředí, podzemních nebo povrchových vod, ke které došlo nevhodným nakládáním s nebezpečnými látkami v minulosti (zejména se jedná např. o ropné látky, pesticidy, PCB, chlorované a aromatické uhlovodíky, těžké kovy apod.). Zjištěnou kontaminaci můžeme považovat za starou ekologickou zátěž pouze v případě, že původce kontaminace neexistuje nebo není znám.

Termín „*kontaminované místo*“ je v databázi SEKM chápán jako ohraničená plocha, kde byla potvrzena kontaminace půdy a možné dopady na člověka a ekosystémy jsou takové, že sanace území je potřebná, zvláště ve vztahu ke stávajícímu nebo plánovanému využití území. Výsledkem sanace může být úplné nebo částečné odstranění těchto dopadů.

Termín „*potenciálně kontaminované místo*“ zahrnuje jakékoliv místo, kde se dá předpokládat kontaminace půdy, ale nebyla dosud potvrzena a pro její ověření je potřebný průzkum, zdali existují dopady rizika kontaminace na ekosystémy a lidské zdraví. (Martínková) Dalším termínem je ekologická závada, kterou se rozumí: (dle usnesení vlády č. 123 ze dne 17.3.1993):

- znečištění podzemních vod,
- znečištění půdy,
- existence skládek škodlivých odpadů, tj. látek, jež svými chemickými, fyzikálními nebo biologickými vlastnostmi mohou při současném technickém stavu zabezpečení skládky ohrozit životní prostředí.

Dálkový průzkum země (DPZ) lze definovat jako sběr informací o objektech zájmu bez přímého kontaktu s nimi. (Zemek, 2014)

3. Legislativa

Pokud se zaměříme na pojem stará ekologická zátěž, tak nenajdeme zákon, který by se týkal konkrétně jen tohoto termínu. Současný český právní řád ale v různých zákonech obsahuje předpisy, které se této problematice dotýkají. Například tzv. zákon o velké privatizaci (92/1991 Sb.) v § 6a odst. 2, písm. C) *vyčíslení škod na životním prostředí způsobených dosavadní činností podniku*. Toto vyčíslení je součástí vyhodnocení závazků podniku z hlediska ochrany životního prostředí (Upřesnění obsahuje např. § 8 odst. 2 zákona č. 17/1992 Sb. „(2) *Poškozování životního prostředí je zhoršování jeho stavu znečišťováním nebo jinou lidskou činností nad míru stanovenou zvláštními předpisy.*“)

K zabezpečení §6a se váže:

- Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ze dne 18.5.1992– vymezení pojmu škoda na životním prostředí.
- Usnesení vlády České republiky č.455 ze dne 24.6.1992 – ekologickými závazky se rozumí:
 1. *závady na životním prostředí v areálu podniku, tj. na pozemcích v jejich vlastnictví, případně užívaných k jejich podnikání,*
 2. *závazky vyplývající z nesplnění povinností uložených správním rozhodnutím, případně formou smluvního závazku na úseku ochrany životního prostředí,*
 3. *negativní dopady na životní prostředí mimo areály podniku způsobené jejich existencí a činností;*
- Usnesení vlády České republiky č. 123 ze dne 17.3.1993 – *Při realizaci privatizačních projektů přecházejí podle zákona č. 92/1991Sb. Veškeré ekologické závazky na nabyvatele privatizovaného majetku, na privatizovaný subjekt nebo na jeho právního nástupce.*
- Usnesení vlády č.51 ze dne 10.1.2001 nahrazující Usnesení vlády ČR č 123/1993 a 455/1992 – *Vyhodnocení ekologických závazků z hlediska životního prostředí (dále jen „ekologický audit“) předkládá nabyvatel nebo předkladatel privatizačního projektu. Ekologický audit věcně vymezuje ekologické závazky vzniklé před privatizací. Posouzení věcné správnosti a úplnosti ekologického auditu zajistí Ministerstvo životního prostředí (dále jen „MŽP“), které do 6*

týdnů od jeho obdržení, rozhodne, zda konkrétní znečištění je ekologickou závadou podle výše uvedeného výčtu. Při odstraňování ekologických závad bude zpravidla postupováno podle priorit, které stanovuje MŽP. Důvodem je přednostní odstranění těch zátěží, které představují pro životní prostředí a zdraví lidí nejvýznamnější rizika.

Na staré zátěže by se dal také aplikovat zákon č.114/1992Sb., O ochraně přírody a krajiny, kde jsou v § 87 nastíněny možné přestupky fyzických osob.

Evropská unie v roce 2004 přijala směrnici 2004/35/ES „O odpovědnosti za životní prostředí v souvislosti s prevencí a nápravou škod na životním prostředí“, která se řídí principem „znečišťovatel platí“. (Evropská unie, 2013)

Při ukládání nápravných opatření se využívá zákon č. 254/2001 Sb, O vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění, a to § 42 a 115, odst. 16. *Opatření k nápravě lze uložit pouze tomu, kdo závadný stav způsobil a také tomu, kdo získal majetek dle zákona č. 92/1991Sb., O podmínkách převodu majetku státu na jiné osoby ve znění pozdějších zákonů, zejména § 6a.* Hlavními souvisejícími zákony v procesu odstraňování SEZ jsou zákon o odpadech, stavební zákon, zákon o EIA, zákon o IPPC a zákon o veřejném zdraví. (Katalog opatření, 2005)

Vytvářet záznamy do databáze SEKM je dáno vyhláškou MŽP č 369/2004 Sb., O projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, v platném znění, dále do vyhlášky č. 17/2009 Sb., O zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě, a v neposlední řadě i do společné směrnice MŽP ČR a FNM 3/2004. Vytváření záznamu do databáze SEKM je nedílnou součástí zadávacích dokumentací a smluv o dílo v procesu odstraňování starých ekologických zátěží po Sovětské armádě a je požadováno i u projektů hrazených z prostředků OPŽP. (Gruntorád, 2011)

4. Situace v zahraničí

Jednou z prvních struktur, která funguje pod Evropskou unií, bylo „COMMON FORUM on Contaminated Land“, které funguje od roku 1994. Je to síť odborníků, kteří se zabývají kontaminovanými místy. Klade si za cíl, být platformou pro výměnu informací a zkušeností. Také pořádá různé setkávání a konference o dané problematice. Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) zahájila v roce 1996 program „The European Topic Centre on Soil“ (ETC/S).

V roce 2000 byla vydána publikace (Management of contaminated sites in Western Europe) zaměřená na správu kontaminovaných míst tehdy v 18 evropských zemích. Zajímavým zdrojem informací je publikace zahrnující statistické údaje o KM v jednotlivých zemích Evropy (Progress in the Management of Contaminated Sites in Europe, EEA, 2014). V rámci programu ETC/S byl v roce 2004 zahájen projekt „Towards an EEA Europe-wide assessment of areas under risk for soil contamination“, který měl za cíl efektivní monitoring KM a jehož základním výstupem je model PRA.MS („Preliminary Risk Assessment Model for the identification, and assessment, of 9roblém areas for Soil contamination in Europe“) (Fons,2006). Tento model vychází z předchozích evropských databází DECHUMINUE („Database on Management of Mining, Quarrying and ore-processing Waste in the European Union“) a EPER (*The European Pollutant Emission Register of emissions from industrial facilities*). Celý projekt PRA.MS je rozdělen na dvě fáze, obsahující:

PRA.MS I

- Metody identifikace kontaminovaných lokalit. Rizikové analýzy
- Analýza, Selekcce dostupných dat (data o kontaminaci, geo data, environmentální data)
- Aplikace modelové řady na zvolené lokality
- Návrh metody odhadu a grafické prezentace výsledků

PRA.MS II

- Dopad kontaminace na ekosystém (zdravotní rizika)
- Náklady na sanaci
- Sites management
- Detailnější rizikové analýzy (Quercia, 2005)

EEA poskytuje environmentální informace prostřednictvím sítě Eionet („European environment information and observation network“). Ta si klade za cíl poskytovat včasné a kvalitně ověřené údaje, informace a odborné znalosti pro hodnocení stavu životní prostředí v Evropě. To umožňuje tvůrcům politiky rozhodnout o vhodných opatření pro ochranu ŽP na národní i evropské úrovni a ke sledování účinnosti implementovaných opatření. Informace do Eionetu dodává cca 300 institucí z 31 evropských zemí. Odhadovaný počet kontaminovaných lokalit zjištěných v 25 evropských zemích činil 2 miliony, z toho 100 000 lokalit vyžadovalo sanaci. Z toho vyplývá, že na 1000 obyvatel vychází 5 KM. Mezi hlavní znečišťující látky patří těžké kovy (31%), minerální oleje (20%), PAH (16%), CHC (13%), VOC (13%). (Quercia, 2006)

V devadesátých letech 20. století ale vznikaly i další projekty, které měly za cíl vytvořit mezinárodní informační systémy týkající se databází KM, odstraňování starých zátěží a technologie sanace. A tak vznikly projekty: (Bardos, 1999)

- CARACAS – „Concerted Action on Risk Assessment for Contaminated Sites in the European Union“ neboli „Společný projekt zaměřený na odhad rizika kontaminovaných míst v Evropě“
- CLARINET – „Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies“ neboli „Mezinárodní síť environmentální technologie obnovy kontaminovaných území“
- NICOLE „Network for Industrially Contaminated Land in Europe“ neboli „Mezinárodní síť pro průmyslem kontaminovaná místa v Evropě“
- NATO/CCMS „Pilot Study – Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater – Phase III“ (Pilotní studie Hodnocení ověřených a nadějných technologií pro úpravu kontaminovaných půd a pod – zemních vod – třetí fáze).

Data získává Evropská unie od jednotlivých zemí a to formou reportingu, který odevzdává každý stát. Kromě pouhé tvorby reportů má mnoho států EU své vlastní modely a projekty na mapování KM. Dlouhou tradici výzkumu KM má například Nizozemí, Francie, Belgie nebo Rakousko. Ve Slovenské republice mají v rámci „Informačního systému environmentálních zátěží“ (ISEZ) vytvořenu přehlednou aplikaci na zobrazování KM – [<http://envirozataze.enviroportal.sk/Mapa/>]. V této aplikaci můžeme klikat na jednotlivé body v mapě, stejně jako je tomu u mapy na portálu CENIA. Podobnou interaktivní mapu má vypracovanou také Skotsko.

Velmi dobře zpracovanou metodologii mapování KM má Kanada, a to prostřednictvím „Federal Contaminated Sites Inventory“ (FCSI). K dnešnímu dni obsahuje tato databáze přes 22 tisíc záznamů kontaminovaných, nebo vyšetřovaných lokalit. (Pro srovnání, v celé EU bylo do roku 2011 identifikováno a potvrzeno 127 tisíc KM. To je v přepočtu zhruba 2,4 KM/1000 obyvatel. V Kanadě je to pouze zhruba 0,6 KM/1000 obyvatel. (Panagos, 2013) Na stránkách Treasury Board of Canada Secretariat je umístěna interaktivní mapa, na které jsou vidět jednotlivá KM i s možností zobrazení vlastností. Do této databáze nejsou zařazeny místa, jež byla kontaminována soukromou osobou nebo podniky. Zahrnuje státní ale i nestátní KM, u nichž kanadská vláda akceptovala finanční zodpovědnost.

5. Situace v České republice

5.1. Historie

O nutnosti vytvořit databázi, která by zahrnovala staré ekologické zátěže, se začalo uvažovat již v polovině devadesátých let 20. století. Návrh na vytvoření takovéto databáze přijal Odbor ekologických škod (OEŠ) MŽP v roce 1995. Na základě projektu Ministerstva životního prostředí ČR č. PPŽP/550/3/96 a PPŽP/550/3/97 byl vytvořen Systém evidence starých ekologických zátěží (SESEZ).

V roce 1997 byl dokončen program a byla zahájena testovací fáze. O rok později sice byly vytvořeny smlouvy s jednotlivými obecními úřady, ale některé z nich již měly v té době vlastní systém evidence. Po dokončení projektu VaV/530/2/98- Zhodnocení rizikovosti uzavřených skládek na životní prostředí, založení klasifikačního registru těchto skládek s návrhem potřebných sanačních opatření a stanovení priorit sanací – byl do databáze SESEZ implementován „Registr uzavřených skládek“. Další rozšíření databáze proběhlo na základě projektu VaV/730/1/01 – Integrace informací o skládkách, zařízeních a starých zátěžích, hodnocení jejich rizikovosti a vlivu na životní prostředí, vývoj společné uživatelské platformy“, kdy byla doplněna o „Seznam provozovaných a připravovaných skládek“. (Olejník 2009) Přínosem těchto dvou projektů také bylo to, že na základě dosud vytvořených registrů zátěží životního prostředí, které mají převážně evidenční charakter, byl navržen geografický informační systém pro objektivizaci hodnocení rizikovosti kontaminovaných míst a jejich vlivu na životní prostředí v nejbližším okolí.

V rámci projektu VaV 730/1/04, který navazuje na projekt VaV/730/1/01, se v databázi již nevidují pouze staré ekologické zátěže, ale i skutečně kontaminovaná místa. Název databáze se tudíž mění na „Systém evidence zátěží životního prostředí“ (SEZ). Tuto databázi spravovalo MŽP, od roku 2005 ale převzala správu databáze agentura CENIA, na jejímž serveru vzniká aplikace, zajišťující zobrazení dat na internetu. Vzniká tak ucelený informační systém SEKM, který umožňuje dle pokynů Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) systematickou evidenci informací o kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných místech i ekologických újmách. [<http://info.sekm.cz/>] V rámci společné směrnice MŽP a FNM č. 3/2004 vznikla povinnost vytvářet záznamy do databáze SEKM ze všech jednotlivých etap prací. V roce 2007 byl dokončen projekt VaV SM/4/93/05 – Výzkum systémového přístupu k výběru priorit řešení

lokalit starých ekologických zátěží – jehož výsledkem je jednotná metodika pro kategorizaci priorit odstraňování starých ekologických zátěží. (Gruntorád, 2010)

Současná podoba databáze je výsledkem řešení projektu MŽP č. VaV SP/4h4/168/07 – Zhodnocení struktury stávající databáze starých ekologických zátěží, definování kritérií pro hodnocení jejich vlivu na ŽP a pro stanovení priorit jejich odstraňování s důrazem na brownfields. (Což jsou nevyužívané, opuštěné nemovitosti s možnou kontaminací, nelze je využívat, pokud neproběhne proces regenerace. (MPO,2008)) Tento projekt přinesl také nový vývoj programu SEKM na verzi 2. V důsledku nárůstu požadavků na poskytování informací o životním prostředí však tato databáze plní roli doplňkovou a měla být nahrazena procesem NIKM – Národní inventarizace kontaminovaných míst. Tento proces má zajistit komplexní a efektivní sběr a údržbu dat a má umožnit podchytit co nejvíce KM. (Gruntorád 2011)

V roce 2006 byla na podnět MŽP zařazena položka „realizovat projekty NIKM“ mezi podporované projekty v oblasti podpory 4.2 („OSEZ“) Operačního programu Životní prostředí. Metodickým základem tohoto procesu se staly výsledky projektů:

- VaV SM/4/93/05 – Národní priority pro odstraňování starých ekologických zátěží
- VaV SP/4h4/168/07 – řešerše zahraničních zkušeností s inventarizacemi a pilotní test
- Pilotní projekt mapování PKM a KM
- Pasportizace lokalit po Sovětské armádě – rekognoskace předmětných lokalit – celkem 114
- Pasportizace lokalit s POPs – zaevidováno nebo aktualizováno přes 1000 záznamů (MŽP)

V lednu roku 2008 došlo k rozdělení projektu inventarizace do dvou etap: (Kačabová, 2012)

I. Etapa: sjednocení všech aktuálně dostupných dat v rámci jedné datové platformy

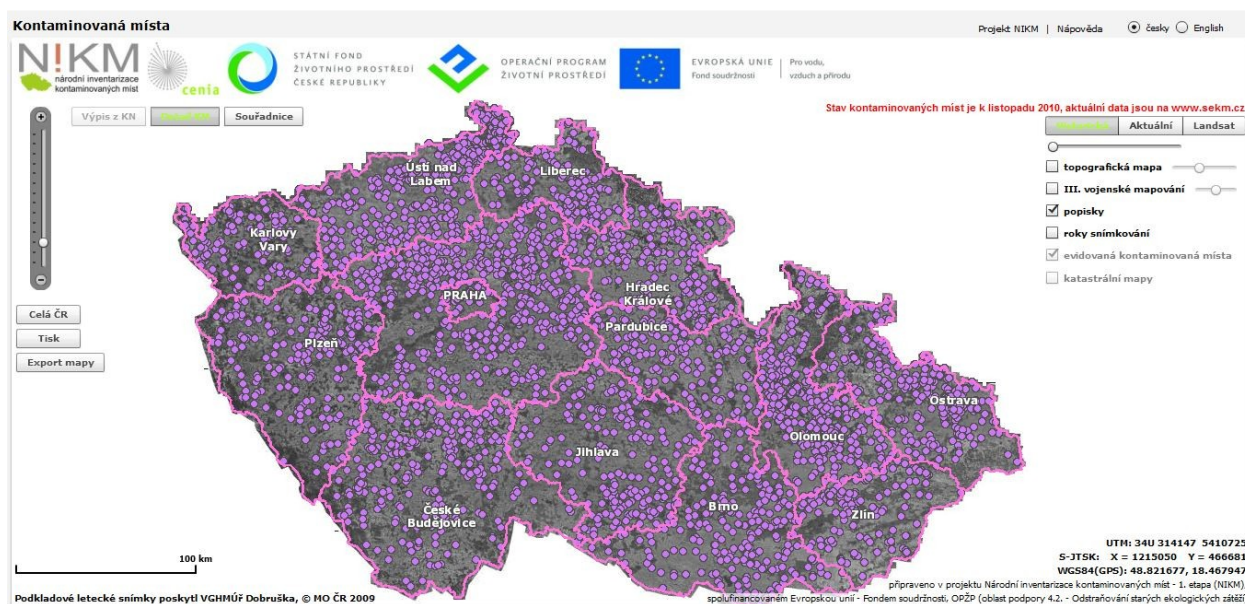
- Vytvoření mapových podkladů pro inventarizaci KM (staré letecké snímky a družicová data k vyhledávání potenciálních KM) – GIS podklad
- Metodika jednotného sběru a zpracování dat a vyzkoušení na třech vybraných testovacích územích
- Vytvoření softwaru pro vlastní mapování KM
- Období 2009-2012

II. Etapa: vlastní inventarizace

- Aktualizace informací o dosud známých lokalitách na celém území ČR
- Období 2013 – 2015

První etapa byla úspěšně dokončena. V květnu roku 2010 byla na stránkách [kontaminace.cenia.cz] spuštěna aplikace, která zobrazuje jednotlivé kontaminace v mapě.

Nejedná se pouze o body na mapě, ale je možné zvolit jako podkladovou mapu historické mapování, či vojenské mapy z 50. let 20. st., nebo nejaktuálnější mapy s cílem porovnat lokalitu v různých dobách. Tato interaktivní mapa ale zahrnuje KM zadaná jen do roku 2010.



Obr. 5.1. Vzhled mapové aplikace portálu CENIA. (Zdroj: kontaminace.cenia.cz)

Dalším z výstupů byla publikace „Metody dálkového průzkumu v projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst“, která byla vydána v únoru 2011. (Doubrava, 2011)

Druhá etapa bohužel není zatím realizována, neboť se nenašly prostředky, díky nimž by mohl být NIKM realizován. Měl být kofinancován z OPŽP (2007 -2013). Předpokládalo se, že se tedy uskuteční až v období 2014-2020. Mezitím vyšlo upřesnění předběžného harmonogramu výzev OPŽP pro rok 2015, kde inventarizace zařazena není. V OPŽP je ale obsažena: Prioritní osa 3 (Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika, specifický cíl 3.4 (Dokončit inventarizaci a odstranit ekologické zátěže). RNDr. Zdeněk Suchánek, vedoucí projektu, upravuje nyní projekt tak, aby mohl být podán do případné výzvy v druhém pololetí 2015 nebo začátkem roku 2016.

6. Metodika

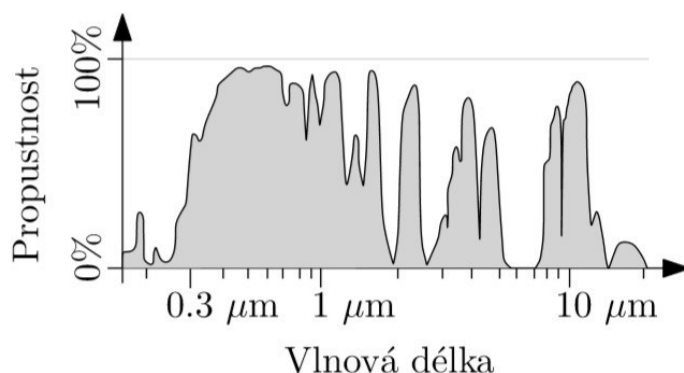
6.1. Dálkový průzkum Země

Jak již bylo zmíněno, díky DPZ jsme schopni získat informace o prostředí, aniž bychom do něj fyzicky zasáhli. Jedná se o data snímaná pomocí různých senzorů. Senzory mohou nést letadla, satelity ale například i balóny naplněné heliem. Snímání spočívá v detekci

elektromagnetického (EM) záření. (Johnston, 1998) Nejznámější částí EM záření je viditelné záření v rozsahu od 400 do 700 nm, které je ale jen malou součástí celého EM spektra. Rozsah vlnových délek pro DPZ se pohybuje v rozmezí od 380 nm do 1m. UV se totiž v dálkovém průzkumu Země moc neuplatňuje kvůli jeho výraznému rozptylu v atmosféře. (Zemek, 2014) Metody DPZ se dělí na pasivní a aktivní.

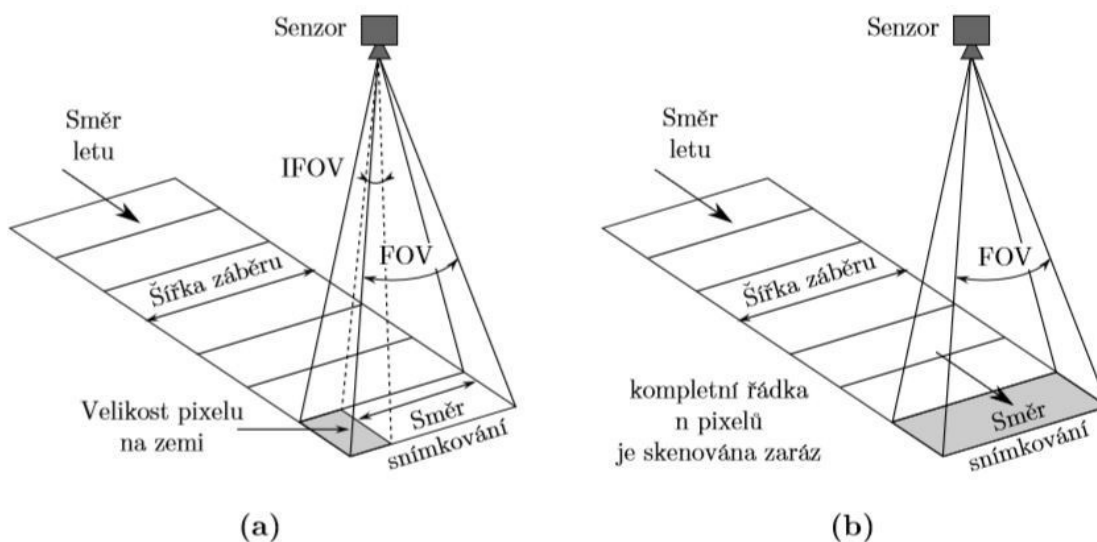
Pasivní metody snímají energii, která je vyzařována nebo odrážena pozorovanou scénou. Toto snímání je zajišťováno radiometrem, který kvalitativně měří intenzitu radiace v určitém spektrálním pásmu a to jak infračerveném, viditelném tak i dlouhovlnném. Dalším nástrojem může být spektrometr, který detekuje, měří a analyzuje spektrální složku dopadajícího EM záření. Spektroradiometr je nástroj, který dokáže měřit intenzitu EM záření v různých vlnových pásmech, je tedy multispektrální.

Aktivní metody naproti tomu k pozorování objektu využívají energii, kterou samy vyzařují – EM radiaci. Vysílají puls energie směrem k objektu a pak tento puls zase přijímají a analyzují jeho změnu. Mezi aktivní senzory patří Radar (Radio Detection and Ranging), Scatterometer a Lidar (Light Detection and Ranging), který jako puls používá laser. (NASA) Při průchodu atmosférou je záření ovlivněno rozptylem a pohlcováním. Rozptylem se rozumí změna směru záření, přičemž rozlišujeme dva druhy rozptylu – Rayleighův a Mieův. K pohlcování dochází v případě, kdy částice v atmosféře přímo zadrží procházející záření. Absorpce je způsobena zejména ozónem, oxidem uhličitým a vodní párou. Pro DPZ jsou velmi důležitá tzv. atmosférická okna, což jsou části EM spektra, které jsou minimálně ovlivněné atmosférou, jedná se o pásma od 400 do 2500 nm, v termální oblasti pak mezi 8 a 14 μm .



Obr. 6.1. Propustnost atmosféry pro části elektromagnetické záření přicházejícího ze slunce. (Zdroj: Zemek, 2014)

Existují dva základní typy skenování krajiny. Whiskbroom skenují jednotlivé pixely ve snímku postupně. Do tohoto typu se řadí AVRIS a HyMap. Dalším typem je tzv. pushbroom, které zaznamenávají celou příčnou linii najednou. (Obr. 6.2.) Mezi tyto spektrometry patří AISA, CASI a APEX. (Zemek, 2014)



Obr. 6.2. Snímání whiskbroom (a) a pushbroom (b). IFOV – okamžitý úhel záběru, FOV – celkový úhel záběru. (Zdroj: Zemek, 2014)

6.2. NIKM – rozbor metod

Metodika Národní inventarizace kontaminovaných míst byla úkolem první etapy tohoto projektu. Základním principem je využití metod DPZ. Nejprve byla vybrána tři čtvercová testovací území o celkové rozloze 7500 km². Na těchto územích byla provedena analýza a interpretace ortofotomaps a družicových dat.

6.2.1. Interpretace leteckých ortofotomap

Letecké snímky jsou sice jedním z nejefektivnějších zdrojů informací o zájmovém území, ale obraz je zatížen vnitřními geometrickými deformacemi. Po geometrické korekci vznikají tzv. „fotomapy“, které již odpovídají pravidlům pro kartografické zobrazení terénu. Letecké snímky se využívají jednak jako mapový podklad (geometricky přesný) ale také jsou podrobeny interpretaci. Interpretace je detailní studium věcného obsahu, jako je například hledání příznaků sledovaných jevů, jejich atributový popis, zařazení dle stanovené klasifikace a

prostorová lokalizace. Interpretace dává velmi dobrý celoplošný přehled o skutečné situaci a fyzickém stavu zájmového území. Mnohdy umožňuje odhalit i objekty, které by mohly být při terénním šetření přehlédnuty. Mezi nevýhody fotomap patří nutnost náročného zpracování snímků nebo také fakt, že vysoká vegetace může znemožnit nalezení zájmového objektu (např. skládka v hustém lese). Interpretace je výsledkem dvou fází – vizuální interpretací současného barevného ortofota a multitemporální analýzou historických a současných ortofot.

6.2.1.1. Vizuální interpretace současného barevného ortofota

Vizuální interpretace je jedním z důležitých prvků přípravné fáze 1. etapy NIKM. Jako interpretace je označována odborně provedená prohlídka geografických podkladů, zejména vysoce kvalitních fotomap. Výstupy interpretace jsou významným zdrojem předem získaných informací o zájmovém území. Interpretace je určena pro nalezení PKM pouze na lokalitách, kde není vzrostlá vegetace, která by bránila správnému vyhodnocení. Jako analytický a referenční podklad se využívají fotomapy z fondu CENIA. Mezi další datové zdroje patří vrstva objektů SEKM, pomocné vrstvy pro lepší orientaci v mapě a Google Maps nebo Google Earth – díky rozlišení, které je místy až 0,1m. Pro rozšíření základní technologie se využívají družicové snímky Landsat 7 ETM+ (zdroj USGS, datum snímkování podle lokality 1998–2002). Tyto snímky jsou do interpretace zařazeny proto, že umožňují snímání nejen ve viditelné části spektra, ale i snímání v oblasti blízkého, středního a někdy i tepelného infračerveného záření. Do kompozice byla zařazena pásma: spektrální kanál 6 (termální pásmo k zobrazení objektů, které silně tepelně vyzařují) a 5 (zvýrazní některé typy materiálů) Tato pásma jsou zobrazena v určité protiváze a jsou vyvažována v zeleném barevném kanálu. Tato část spektra potlačuje vliv vegetace a zesiluje tak kontrast.

V začátku procesu je nutné si data připravit, základem je úprava jasu a kontrastu a vytvoření barevné syntézy. Výsledkem syntézy může být barevné vyjádření v přirozených nebo nepravých barvách. K identifikaci aktivních skládek a jiných objektů se dále používá i tepelné spektrum. Využívají se pro to průměry teplot za delší období. Vlivem atmosféry je možné pro metody DPZ použít jen pásem 3-5 μm a 8-14 μm vlnové délky. Pro výpočet povrchové teploty se využívají různé algoritmy (například split-window, multispektrální a mono-window).

Při interpretaci se neposuzuje pouze samotný vzhled ale také okolní a prostorové souvislosti. Jinak by mohlo být jako nelegální skládka identifikováno legální staveniště.

Empiricky byly určeny typy zájmových objektů, které jsou zapsány do atributu TYP a popsány jedním písmenem:

a = „průmyslový areál s (možným kontaminačním) vlivem na životní prostředí“; **c** = „černá skládka“; **h** = „hnojiště“; **j** = „silážní jáma“; **l** = „opuštěný lom“; **n** = „neurčeno“; **o** = „opuštěný objekt“; **p** = „podezření na černou skládku“; **s** = „skládky SEKM“; **v** = „vrakoviště“; **z** = „opuštěný zemědělský objekt“

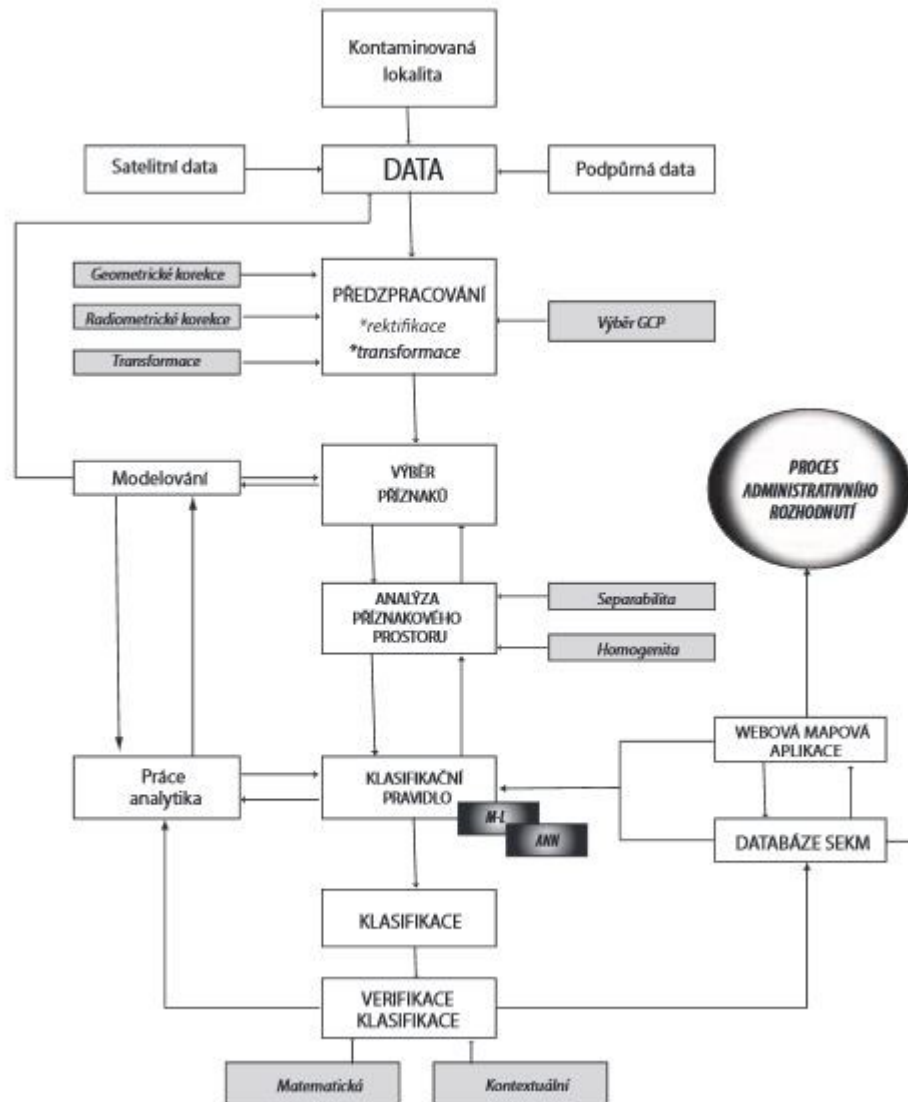
Z uskutečněného vyhodnocení lze vyvodit, že poměrně vysoké procento zájmových objektů má v této kombinaci snímků výrazné a specifické barevné projevy, které napomáhají k odlišení zájmových oblastí. Dále také to, že kvalita více závisí na spektrálním než prostorovém rozlišení. V termálním pásmu lze detekovat aktivní chemické procesy i změny složení povrchových vrstev. Ve střední a krátkovlnné oblasti infračerveného spektra lze od sebe odlišit vodu, vegetaci, obnaženou zeminu, prvky zástavby a infrastruktury. V ultrafialové oblasti je patrný prakticky jakýkoliv zásah člověka do ŽP. Touto interpretací bylo zjištěno 6531 zájmových objektů, z toho bylo zároveň 148 objektů i v databázi SEKM. (Doubrava, 2011)

6.2.1.2. *Multitemporální analýza historických a současných ortofot*

Díky multitemporální analýze lze z časové řady snímků extrahovat informace o časových změnách určitého zobrazeného objektu nebo území. Metodika pro vyhodnocení historické fotomapy je téměř shodná s metodou pro aktuální fotomapy. K datovým zdrojům je ještě připojeno historické ortofoto z 30. a 50. let 20. století (také z datového fondu CENIA) a vrstva PreKM z předvyhodnocení současného stavu. V poměru s analýzou aktuálních dat, je tato analýza obtížnější. Nalezené příznaky možné existence zájmové oblasti jsou zaznamenány jako body do vrstvy PreKM, atributové označení je shodné jako u aktuální fotomapy. Pro časové srovnání snímků je možné buď paralelní prohlížení a hledání odlišností nebo super projekce dvou nebo tří různě datovaných podkladů. Jednotlivé datové vrstvy lze pro přehlednost odlišit barevným kódováním. K porovnání se používají různé matematické modely, například odrazové rozdíly, odrazové podíly nebo analýza vektoru spektrální změny. Touto technikou bylo na historické mapě z 50. let detekováno 2512 podezření na existenci KM. (Řeřicha, 2012)

6.2.2. Zpracování multispektrálních satelitních dat

Pro zpracování multispektrálních dat byla v rámci projektu NIKM vytvořena jednotná metodika. (Obr. 6.3.)



Obr. 6.3. Schéma technologie zpracování multispektrálních satelitních dat v projektu NIKM (Zdroj: Doubrava, 2011)

V dnešní době jsou možnosti výběru dat poměrně široké. V tomto projektu jsou používána data ze tří komerčních družic – SPOT, RapidEye a WorldView-2, a to z důvodu prostorového, spektrálního a termínového rozlišení. Navíc jsou data z těchto družic pro ČR běžně dostupná a perioda snímání je dostatečně krátká. Také mají velmi dobré prostorové rozlišení (2-10m) a dostatečný počet spektrálních kanálů. Pro práci s daty je nutné je nejprve předzpracovat, i když většina zakoupených dat je již po základních radiometrických korekcích.

Pokud tomu tak není, je nutné provést radiometrické a geometrické korekce, transformace dat do zvoleného souřadnicového systému a kartografického zobrazení. Geometrickou korekcí se odstraňují možné chyby vzniklé vlivem změny v poloze a rychlosti nosiče, rotace Země, nelineárností objektivu snímacího systému, zakřivením zemského povrchu nebo panoramatickým úhlem pozorování. Radiometrické korekce eliminují náhodné chyby při skenovacím procesu. Transformace, nebo též rektifikace, se používá v případě, že je potřeba mít data ve státním souřadnicovém systému S-JTSK, jelikož produkovaná data se nacházejí v systému WGS-84. Bohužel mezi oběma systémy neplatí přesný transformační klíč, a proto je nutné stanovit transformační koeficienty tak, aby chyba transformace byla co nejmenší. K převodu dat do zvoleného souřadnicového systému se využívá ortorektifikace s využitím digitálního modelu terénu. Tato metoda vyžaduje použití tzv. vlíčovacích bodů, což jsou body o známých mapových nebo zeměpisných souřadnicích. (V USA spravuje databázi vlíčovacích bodů USGS.) Minimálně je nutné zvolit 3 body, ale čím více je bodů, tím je rektifikace přesnější. (Temiz, 2008)

Mezi příznaky řadíme objekty, které mají být identifikovány v celé scéně. Mohou to být jednak jednotlivé kontaminanty ale i druhotné příznaky terénu nebo vegetačního krytu. Pro tvorbu trénovacího souboru lze použít data: stávající databázi SEKM, tematické podklady z jiných zdrojů, vlastní terénní mapování. Tato data mohou obsahovat bitmapové mapy, vektory, spektrální příznaky, georeferenční data, georeferenční body a parametry dráhy družice. Aby byla řízená klasifikace úspěšná, je nutné zcela přesně vybrat trénovací soubor pro budoucí klasifikaci a je důležité ověření terénním průzkumem. Při výběru testovacího území musí být brán zřetel na to, aby obsahovalo všechny objekty, které chceme klasifikovat.

Pro zpřesnění identifikace jednotlivých objektů na povrchu Země je důležité modelování v oblasti DPZ. Jedná se o fyzikální modelování, jehož cílem je získat absolutní hodnoty odrazivosti. Dále pak empirické modelování, modelování příznakového prostoru (úprav míry separability a homogenity). Fyzikální modelování je využíváno pomocí spektrálních indexů, což jsou aritmetické operace s pásy multispektrálního obrazu a jejich cílem je zvýraznit nebo potlačit určitou složku obrazu (například vegetační složku). Spektrální indexy lze rozdělit na poměrové a ortogonální. (Dobrovolný, 1998). Pro studium zdravotního stavu vegetace se využívá poměrových indexů, a to konkrétně poměrový vegetační index (RVI) a normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI). Tyto indexy jsou sestavovány pro multispektrální data

z ETM+ pro pásma TM3 (odrazivost v pásu 630-690 nm) a TM4 (odrazivost v pásmu 760 – 900nm).

$$RVI = \frac{TM\ 4}{TM\ 3} \quad NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

Ortogonalní indexy jsou lineární kombinací původních pásem multispektrálního obrazu. Mezi tyto indexy patří kolmý vegetační index (PVI), pomocí něhož lze do značné míry odlišit odrazivost vegetace a půdního substrátu. Dále pak index TASSELED CUP ve kterém jsou z původních pásem vypočítaná nová, která zvýrazňují určité vlastnosti povrchů.

Při analýze příznakového prostoru jsou důležité hodnoty separability a homogenity. Separabilitou v tomto případě je míra odlišnosti neboli statistické měření vzdálenosti vždy mezi dvěma příznaky v příznakovém n-rozměrném prostoru. V metodice používané pro NIKM se pro toto zpracování používá výpočet transformované odchylky a Jeffries-Matusita test, což je kvalitativní měření vzdálenosti. (Padma, 2014) Pokud jsou všechny vybrané třídy dobře separovány, mohou být použity pro pravděpodobnostní klasifikaci. Pro kvalitní výsledek klasifikačního procesu je vhodné, aby analyzované příznaky (třídy) byly homogenní. Homogenitu lze posuzovat z hlediska spektrálního a tvarového.

Projekt NIKM se při výběru klasifikačního pravidla omezil pouze na příznakovou klasifikaci, která patří mezi základní metody v dálkovém průzkumu Země. Spektrální příznaky jsou sestaveny na základě multispektrálního (ale i hyperspektrálního) obrazu. Charakterizují změny radiační veličiny v závislosti na změně druhového či stavového parametru. Jelikož je výběr klasifikačního pravidla velmi důležitý pro možnou přesnost klasifikačního procesu, používají se v projektu NIKM jen řízené klasifikátory. Konkrétně klasifikátor největší pravděpodobnosti a pro některé speciální případy byla využita metoda zpracování dat na základě umělé neuronové sítě. Aby mohla být klasifikace prohlášena za dokončenou, je nutné stanovit její přesnost. Tato přesnost se stanovuje sestavením klasifikační chybové matice a hodnocením výsledku klasifikace s přímým použitím trénovacího souboru. Průměrná přesnost se v projektu NIKM pohybuje na 88,9%.

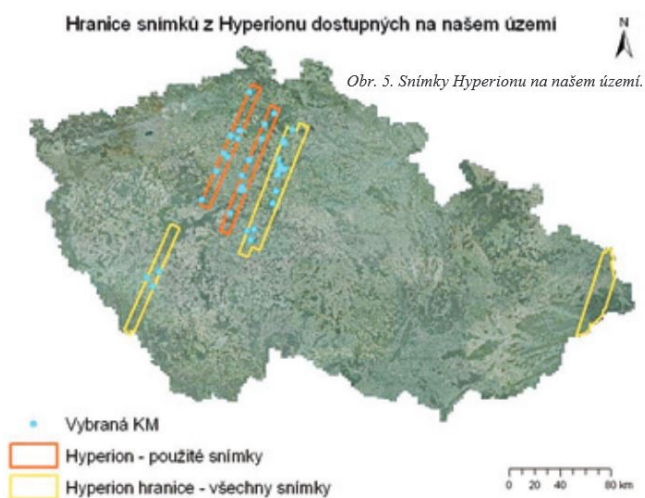
Výsledkem takovéto klasifikace je tzv. tematická mapa, kterou lze konvertovat do GISu. Jedná se o vektorovou vrstvu ve formátu SHP. Do GISu jsou výsledky multispektrální klasifikace importovány prostřednictvím nástroje NIKM editor, ve které jsou data i uložena. Dále byla vytvořena terénní aplikace NIKM client, která data stahuje ze serveru. (Doubrava, 2011)

Při analýze dat, se využívají digitální klasifikace, při nichž jsou informace odvozeny z číselných reprezentací obrázku. Klasifikace se dělí na 4 druhy: (Johnston, 1998)

- Prostorové rozpoznávání druhů
- Časové (temporální) rozpoznávání znaků
- Řízená klasifikace
 - i. Geometrická
 - ii. Pravděpodobnostní
 - iii. Hybridní
 - iv. Expertní
 - v. Umělé neuronové sítě ... (NIKM)
- Neřízená klasifikace

6.2.3. Zpracování hyperspektrálních dat

Hyperspektrální snímky poskytují dostatečný počet spektrálních informací k rozpoznávání spektrálně podobných ale typově odlišných materiálů. V důsledku toho poskytuje hyperspektrální snímání možnost přesnější a podrobnější extrakce informací, než je tomu u jiných typů dálkově snímaných dat. (Shippert, 2004) Hyperspektrální data jsou trojího typu – satelitní, letecká a laboratorní.



Obr. 6.5. Použité snímky z Hyperionu. (Zdroj: ArcReview, 3/2010)

6.2.3.1. Satelitní hyperspektrální data

Data použitá v projektu NIKM lze rozdělit na dvě skupiny – podkladová a testovací data. Jako podkladová data se používají letecké ortofotomapy. Mezi testovací data se řadí snímky z vědeckého senzoru Hyperion, letecké snímky senzoru AISA a laboratorní měření ručním

přístrojem FieldSpec3. Na stránkách USGS [<http://earthexplorer.usgs.gov/>] je možné si po registraci stáhnout snímky území České republiky z Hyperionu. Hyperion, neboli EO-1 je vědecká mise NASA, která započala 21.11.2000. Primárně je tato mise zaměřena na testování a vývoj nových technologií pro dálkový průzkum Země. Na oběžné dráze se tato družice pohybuje ve formaci s Landsat 7. Vznikají tak spárované snímky, které lze porovnávat. (Liews, 2001) Rozlišení snímků je 30m a oblast zachycená jedním snímkem je 7,5 x 100 km. Dokáže snímat ve velmi úzkých pásmech, jedno pásmo měří 10nm. Z celkových 242 pásem je kalibrovaných jen 198, která pokrývají část spektra od 357 do 2576 nm. Kalibrované kanály jsou 8 až 57 pro viditelné a blízké infračervené pásmo (VNIR) a 77 až 224 pro krátkovlnné infračervené pásmo (SWIR). Důvodem, proč není kalibrováno všech 242 pásem, je jejich nízká citlivost. (Beck, 2003)

Data z Hyperionu mohou být v těchto stupních předzpracování: (Doubrava, 2011)

- Level 0R – na data nebyly aplikované žádné korekce
- Level 1R – radiometricky opravená data
- Level 1Gs – radiometricky opravená data, převzorkovaná po geometrické korekci a transformovaná
- Level 1Gst – radiometricky opravená data, převzorkovaná po geometrické korekci a transformovaná, snímek je ortorektifikován s použitím výškového modelu (DEM)

Data jsou ve formátu GeoTIFF, který umožňuje záznam popisných dat, jako je například projekce, souřadnicový systém, referenční datum aj. Pro projekt NIKM byly vzaty snímky z roku 2006 a 2007 s předzpracováním Level 1R.

Pro předzpracování dat z Hyperionu se využívá Software ENVI, který nabízí nástroje pro atmosférické korekce založené na různých principech redukce vlivu atmosféry (empirická kalibrace, matematický model, určení parametrů ze scény, atd.) (Petruchová, 2010) Mezi takovéto metody patří například FLAASH, QUAC, Flat Field calibration, IAAR, Log residua aj. V projektu NIKM byla využita atmosférická korekce FLAASH a QUAC. FLAASH je nástroj, který upravuje vlnové délky od viditelného, přes NIR do SWIR a to až do 3 nm. Výstupem tohoto nástroje je rastr obsahující informaci o povrchové odrazivosti a rastr odhadnutého množství vodních par a typů mraků. Nástroj QUAC vychází z empirické zkušenosti, že průměrná odrazivost ze sbírky spekter jednotlivých materiálů je v podstatě nezávislá na scéně. (ENVI, 2009) Pro odstranění šumu na snímku se používá nástroj MNF (Maximum Noise Fraction), což je lineární transformace redukující rozměr hyperspektrálních dat. (Petruchová, 2010)

6.2.3.2. *Letecká hyperspektrální data*

Současné letecké skenery hyperspektrálního snímkování umožňují zaznamenat snímky ve velmi úzkých pásmech. Nejvíce těchto pásem je schopný zaznamenat skener AISA Eagle – 488. Dále pak CASI/SASI – 288 a HySpex – 160. V současné době je jediným poskytovatelem hyperspektrálních dat v ČR Czech Globe (který spadá pod Akademii věd ČR). (Zemek, 2014) Právě díky spolupráci s AV ČR Ústavem systémové biologie a ekologie v Brně mohlo být využito probíhajícího náletu letadla se skenerem AISA Eagle v červenci roku 2010. Skener AISA Eagle má spektrální rozsah 400-970 nm a prostorové rozlišení 0,4 – 6 m. Po předpracování byl pro další analýzy použit rozsah 450-850nm. (Doubrava, 2011) Stejně jako u družicových dat je nutná jistá míra korekce dat, tak i u leteckých hyperspektrálních dat je potřeba je nejprve předzpracovat, než je možné s nimi pracovat. Prvním krokem jsou radiometrické korekce, které převádí digitální hodnoty snímku na radiometrické. Tato korekce se provádí pomocí programu CaliGeo. Po provedení radiometrických a atmosférických korekcí obrazu jsou data vyjádřena v relativních jednotkách reflektance (odrazivosti) na úrovni zemského povrchu. Takto korigovaná data lze pak vzájemně porovnávat v časových řadách, případně je možné srovnávat data nasnímaná různými senzory. (Hanuš, 2015) V programu CaliGeo také dochází k následné georektifikaci do souřadnicového systému UTM.

K atmosférické korekci slouží snímač FODIS, který je umístěn na střeše letadla a snímá data o příchozí radiaci. Data z tohoto senzoru jsou ještě kalibrována na základě dat získaných s pozemního kontrolního měření spektrometrem FieldSpec 3. Pro další analýzu je také potřeba nasnímat lokality za dobré atmosférické situace, což znamená ve dnech, kdy nedochází k tvorbě oblačnosti.

6.2.3.3. *Laboratorní spektrální měření*

Pro aplikace vyžadující měření záření, odrazivosti, intenzity ozařování a propustnosti je vhodný spektrometr Field Spec 3, jelikož nemá vyměnitelný optický kabel a tím pádem přesnou výrobní kalibraci. Tento spektrometr je speciálně navrhnut pro terénní či laboratorní měření a zaznamenávání VNIR a SWIR části spektra v rozsahu 350 až 2500 nm. (Doubrava, 2011) Ve spolupráci s Katedrou pedologie a ochrany půd České zemědělské univerzity v Praze byla vytvořena knihovna vzorků materiálů, které se vyskytují na skládkách komunálního odpadu – plasty, textil, papír, sklo, dřevo, stavební materiály, kovy, atd. V rámci projektu byla také knihovna rozšířena o vzorky z navštívených kontaminovaných lokalit. (Petrušová, 2012)

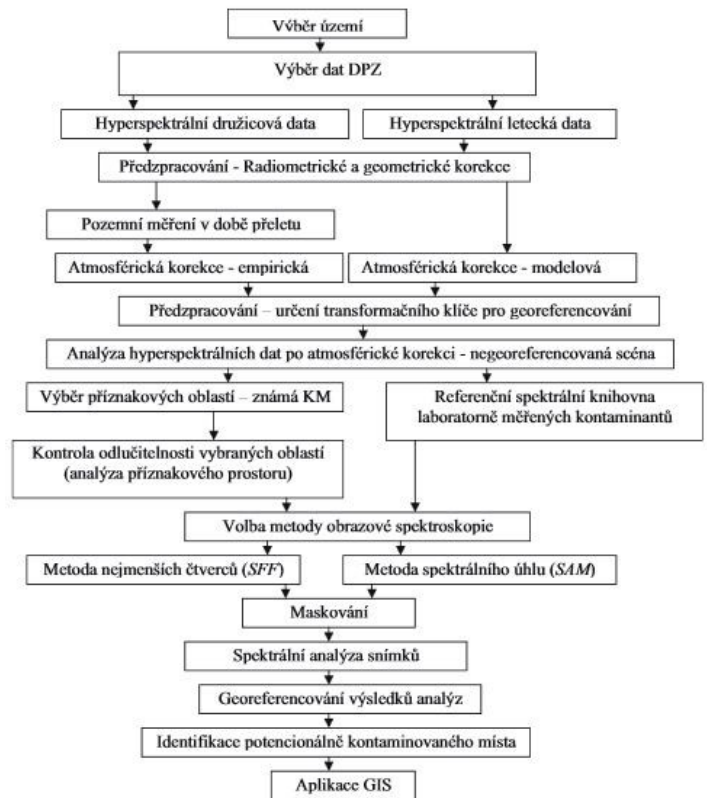
V druhé části projektu má být počet vzorků v knihovně ještě navýšen o vzorky odebrané na jednotlivých kontaminovaných místech zjištěných v první fázi projektu. Také budou podrobněji zkoumány spektrální vlastnosti kontaminantů. (Doubrava, 2011)

6.2.3.4. Metody spektrální analýzy

Pro zpracování hyperspektrálních dat se používají metody souhrnně označované jako spektrální analýzy. V průběhu těchto analýz se získávají kvantitativní a kvalitativní informace o materiálech, a to díky jejich známým spektrálním projevům (odlišné odrazivosti v závislosti na vlnové délce). Navíc materiály detekované touto metodou mohou být zcela libovolné jako půda, vegetace atd., tedy i kontaminanty. Konkrétně se jedná o metodu SAM (Spectral Angle Mapper) a SFF (Spectral Feature Fitting). (Petruřová, 2010)

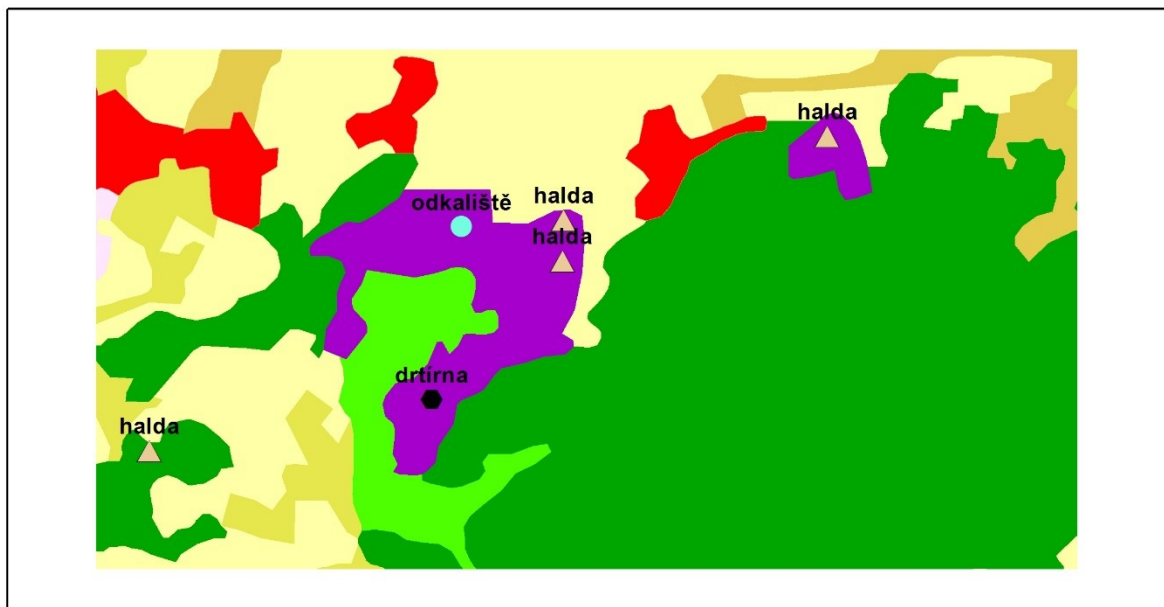
Metoda SAM neboli mapování úhlů mezi spektry, porovnává úhly mezi vektorem spektrálního projevu referenčního materiálu a vektoru neznámého materiálu. V programu ENVI je metoda SAM integrována do nástroje THOR, který identifikuje spektrální projev pixelu snímku nebo materiálů vytvořené spektrální knihovny s referenčními knihovnami. Součástí software ENVI je i několik velmi sofistikovaných spektrálních knihoven a to jmenovitě JPL (Jet Propulsion Laboratory), USGS (U.S. Geological Survey), IGCP (International Geological Correlation Program) a JHU (Johns Hopkins University).

Ke zjišťování shodnosti spektra snímku s referenčním spektrálním projevem prostřednictvím metody nejmenších čtverců je určena metoda SFF neboli porovnání spektrálních projevů. Tato metoda se zde využívá pro přímou identifikaci materiálů a je součástí nástrojů ENVI Spectral Analyst. Není ale vhodná k pro analýzu leteckých snímků (Doubrava, 2011)



Obr. 6.4. Schéma postupu při zpracování hyperspektrálních dat. (Zdroj: Doubrava, 2011)

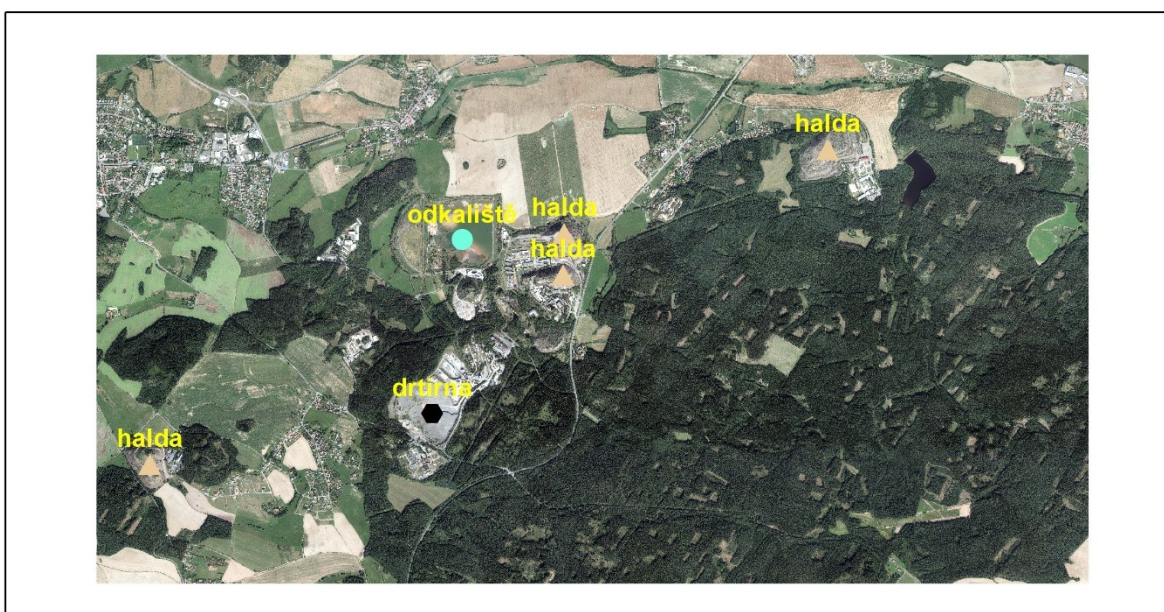
7. Výsledky



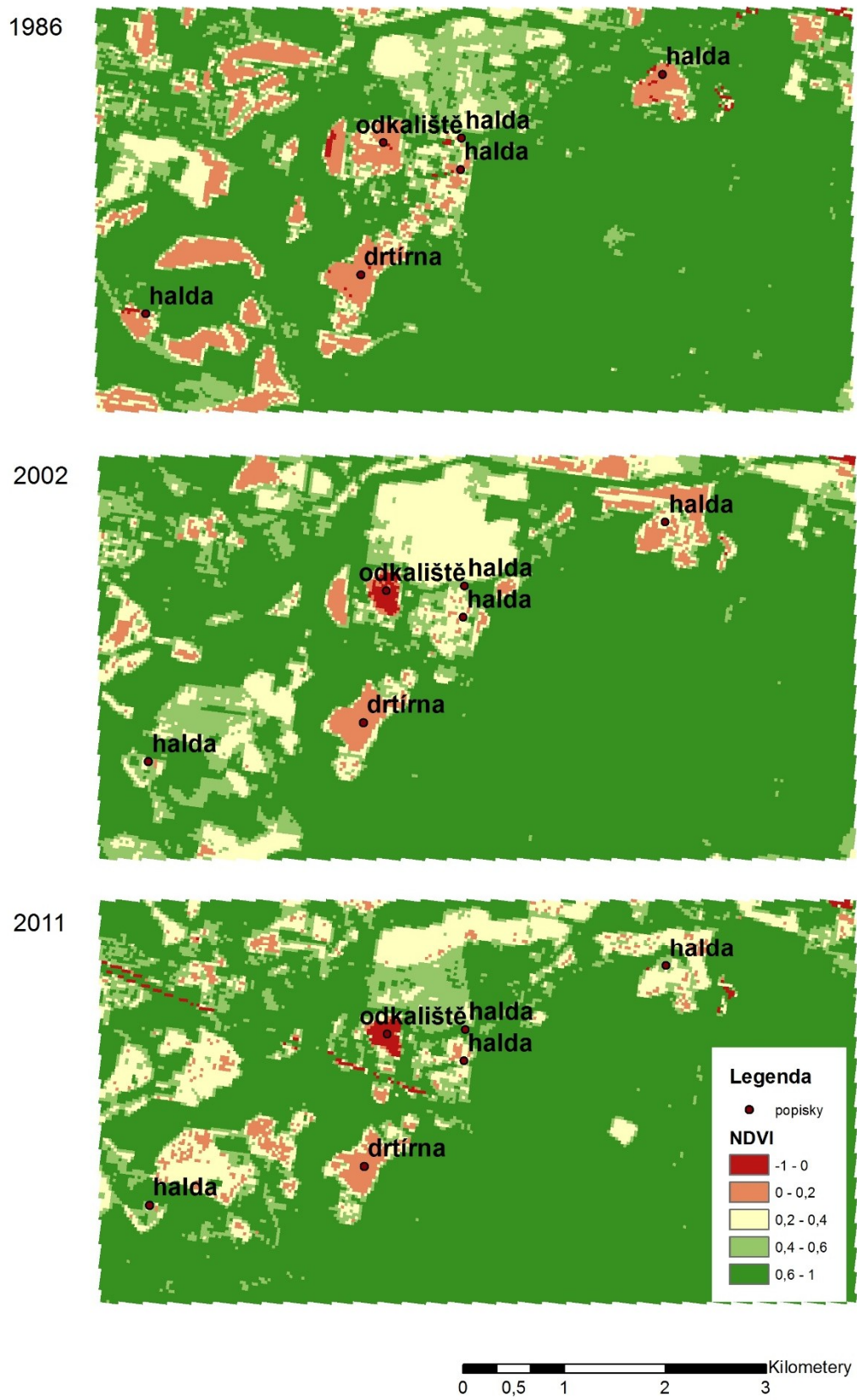
Legenda

kategorie

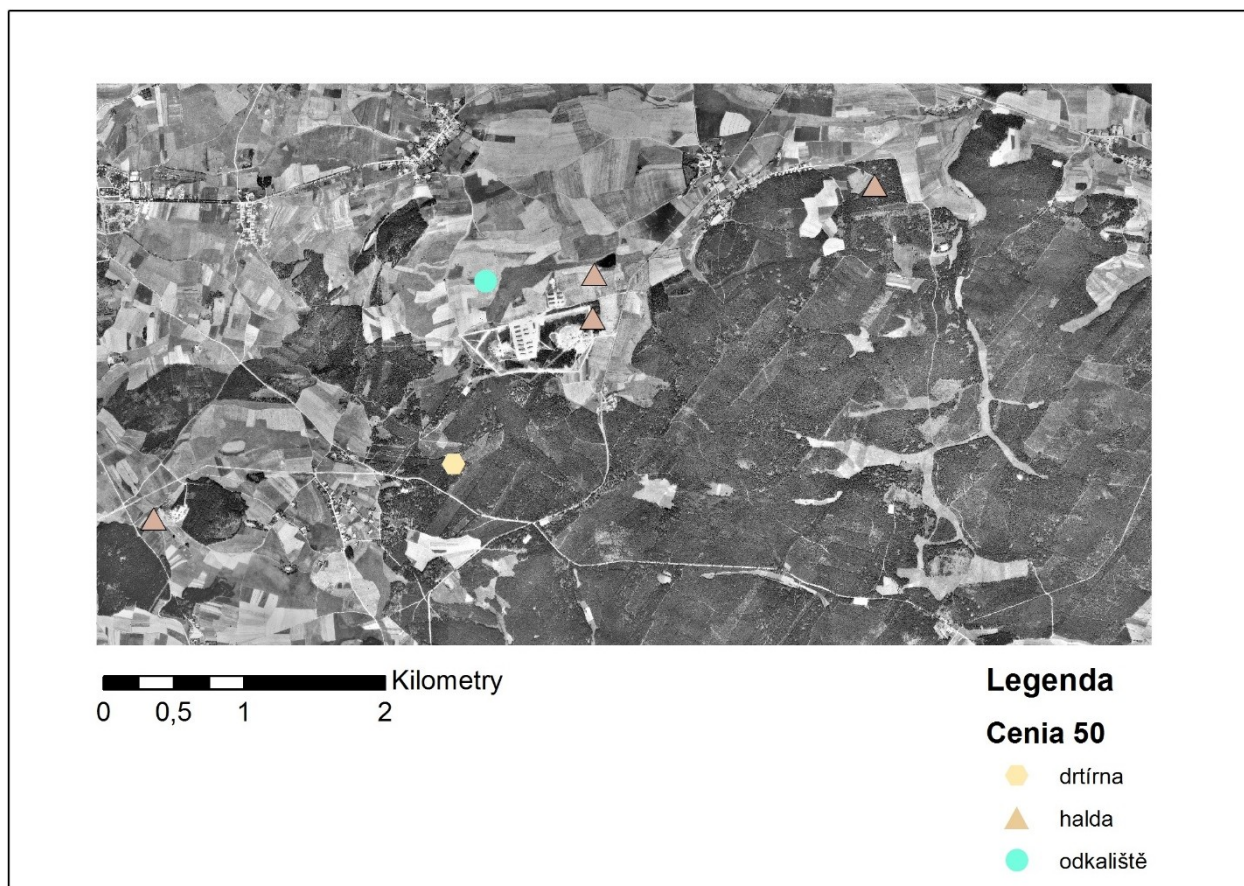
- 1.1.2. Nesouvislá městská zástavba
- 1.3.1. Oblasti současné těžby surovin
- 1.4.2. Sportovní a rekreační plochy
- 2.1.1. Nezavlažovaná orná půda
- 2.3.1. Louky a pastviny
- 2.4.3. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací
- 3.1.2. Jehličnaté lesy
- 3.1.3. Smíšené lesy



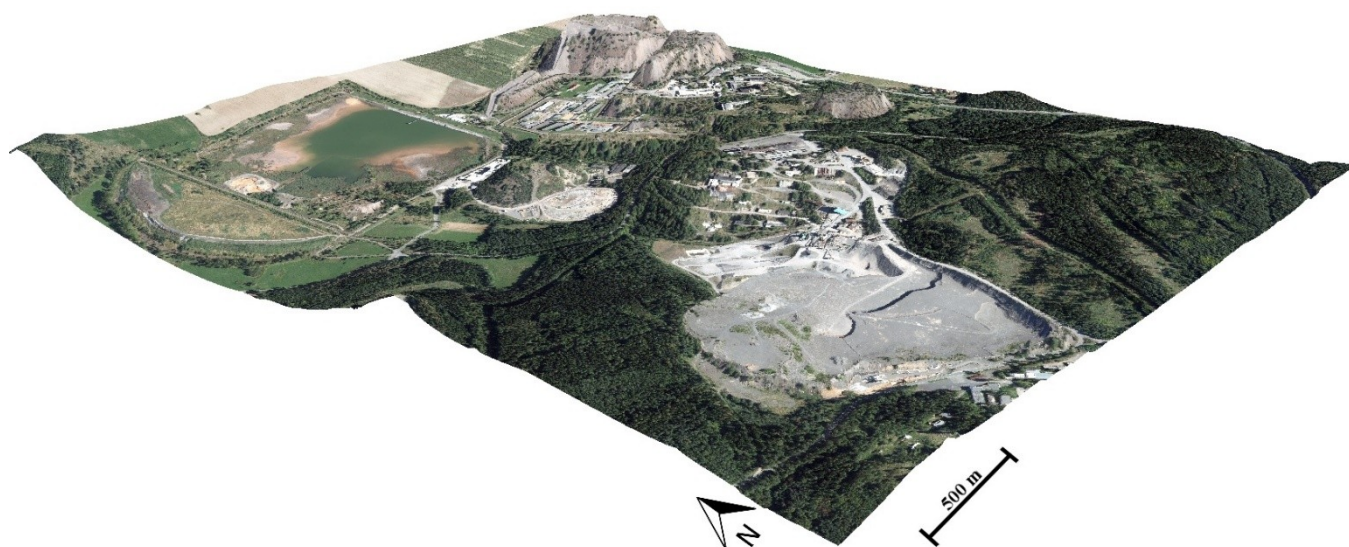
Obr. 7.1. Porovnání snímků z CORINE a leteckého ortofota. (Zdroj dat: CENIA a ČÚZK)



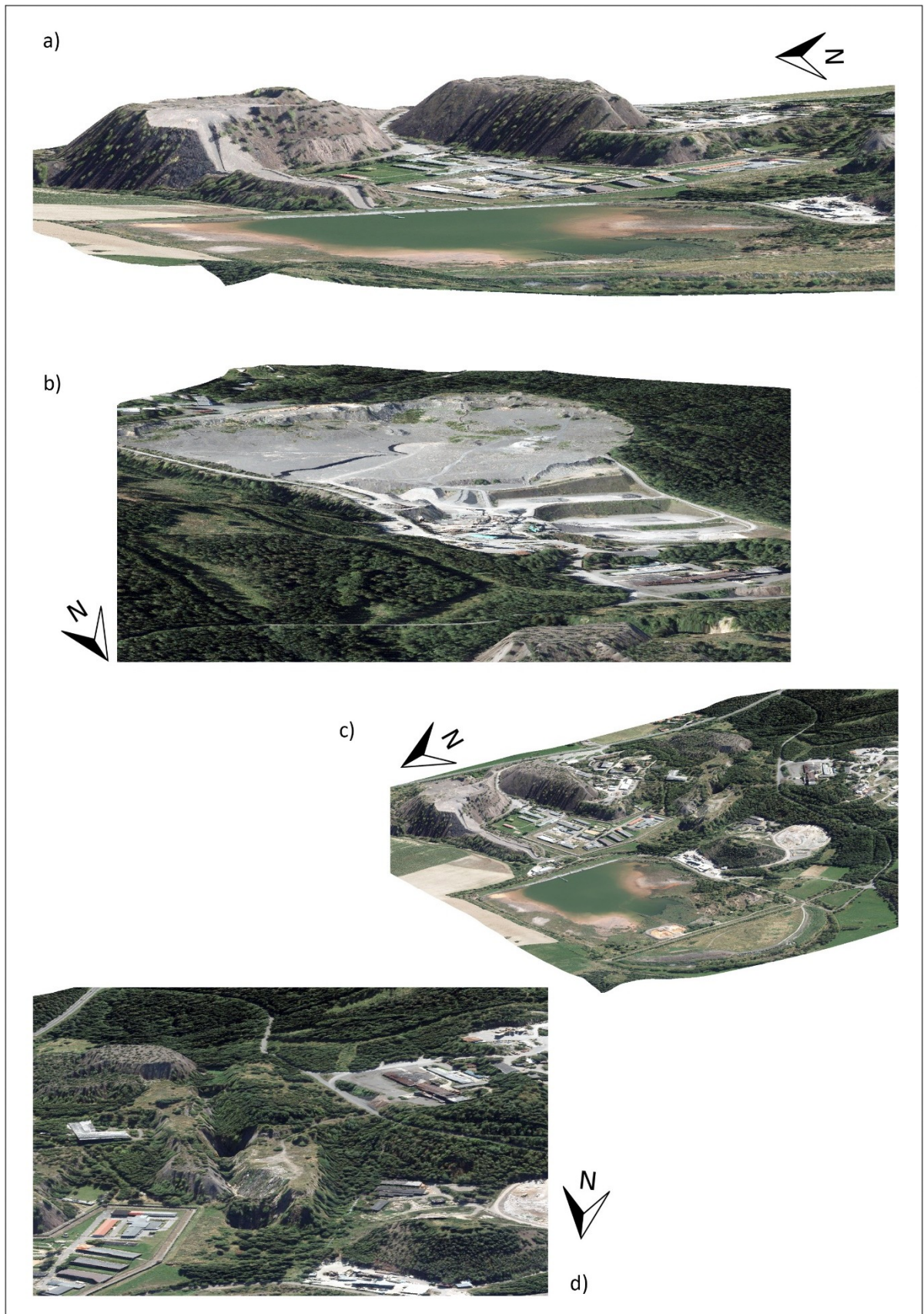
Obr. 7.2. Porovnání snímků zobrazující NDVI v letech 1986, 2002 a 2011 (Zdroj: USGS)



Obr. 7.3. Historické ortofoto z 50. let 19. století. (Zdroj dat: CENIA)



Obr. 7.4. Vytvořený digitální model terénu zkoumané lokality (Zdroj dat: ČÚZK)



Obr. 7.5. DEM – detaily lokality (Zdroj dat: CUZK)

Výše uvedené mapy zachycují lokalitu uranového dolu společnosti DIAMO z různých úhlů pohledu. Obr. 7.1. zobrazuje výsek z CORINE land cover 2012 pro mnou zkoumanou lokalitu v porovnání s ortofotem. Je vidět, že rozložení kategorií v CORINE přesně nereflektuje reálné umístění jednotlivých hald. Tato nepřesnost může být způsobena zejména nižším rozlišením – 30m. Data jsou volně stažitelná z Národního geoportálu INSPIRE. Data pro ortofota byla zapůjčena za manipulační poplatek 500 Kč z Geoportálu Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního.

Pro obrázek 7.2. zobrazující normalizovaný vegetační index, byla data získána z USGS a jsou opět volně stažitelná. Mapa vznikla po výpočtu přímo v GISu, jen bylo třeba změnit pořadí spektrálních kanálů. Červené lokality znázorňují místa bez vegetace. Zelené naopak znázorňují lesnaté plochy. Moje kompozice map také pokrývá různá časová období a snaží se poukázat na změnu ve využívání krajiny. Je vidět že oblasti dolu se výrazněji nemění, ale okolí pomalu zarůstá vegetací. Což může být následně problémem pro rozpoznání případných kontaminovaných míst.

Obrázek 7.3. zachycuje stejnou lokalitu během snímkování z padesátých let 20. století. Data pro tuto mapu jsou stažena z geoportálu CENIA, kde jsou k dispozici zdarma. Na mapě je jasně patrné, že v tomto období zde bývala věznice. V dubnu roku 1962 ale došlo k propadu jedné z šachet, která narušila areál této věznice. (Vězeňská služba ČR, 2012). Tento propad je detailněji znázorněn na obrázku 7.5.d). Z obrázku 7.3. lze také vyčíst že zde v tuto dobu ještě žádné haldy nebyly.

Obrázek 7.4. zachycuje celkový pohled na zkoumanou lokalitu ve 3D projekci. Tato projekce byla vytvořena na základě dat digitálního modelu terénu ČR 5. generace, která mi byla zapůjčena z geoportálu ČÚZK. Jedná se o dvojnásobné výškové zvětšení, aby byly výškové rozdíly lépe patrné. Tento typ mapy je výhodný díky své názornosti. Na ortofotomapách nemusí být vždy jasně patrné, zda se jedná o prostorovou nebo pouze pozemní strukturu. Na tomto modelu ale je jasně patrné, že haldy výrazně vyčnívají nad terén. Také je zde velmi přesně znázorněné prostorové uspořádání lokality, na které dochází k drčení kamene - obr. 7.5.b). Jedná se pouze o výřez, jelikož data jsou velmi kvalitní a objemná. Kdybych chtěla dělat model celého mého výběru, potřebovala bych mnohem výkonnější techniku, než jakou jsem měla k dispozici.

8. Závěr

Je zajímavé sledovat, jak se za posledních několik dekad vyvinula technika, která začínala fotografováním z balónu. Tehdy by si asi někdo jen těžko mohl představovat, že technika pokročí až do té úrovně, že bude možné identifikovat kontaminovaná místa na povrchu Země pomocí leteckých a satelitních snímků. Právě těchto snímků se snaží projekt NIKM využívat, aby zásadně zjednodušil a urychlil proces nalézání kontaminovaných míst. Získaná data je sice potřeba upravit a následně klasifikovat, ale i tyto procesy procházejí postupným vývojem. K identifikacím přispívá možnost snímat povrch Země v jiném než viditelném spektru. Takovéto snímky mají mnohdy vyšší vypovídající hodnotu a je snazší jim porozumět. Zejména pokud snímáme povrch ve více spektrálních pásmech, jako je tomu například u hyperspektrálního satelitního snímání.

Společně s vývojem nových senzorů a satelitních zařízení se také zlepšuje dostupnost snímků. Mnohé organizace uvolňují starší data k nekomerčnímu použití zdarma. Například USGS má rozsáhlou databázi různých Landsatových snímků, ale poskytuje i data z EO1 – Hyperionu. Snímky jsou dostupné i z různých českých zdrojů, jako je například geoportál INSPIRE. Tato dostupnost dále vede k novým výzkumům, které zkoumají různé aspekty vegetace a půdního pokryvu. A ty pak ve výsledku zase napomáhají různým projektům, mezi něž patří i projekt NIKM k následné lepší klasifikaci dat a k přesnějšímu zaměření PKM nebo KM. Stále je potřeba i pozemní monitoring, návštěva lokalit a odběr konkrétních vzorků pro rozbor. Ale díky těmto projektům je mnohem lépe vytipováno, na jaké lokality je třeba se více zaměřit. Do dnešních dnů neexistuje pro Českou republiku jednotná metodika sběru dat o kontaminovaných místech. To má ale projekt NIKM změnit. Výstupy z tohoto projektu lze použít jako zdroj informací pro odbornou i širokou veřejnost České republiky, ale také pro Evropskou Unii, vůči níž máme povinnost podávat zprávy o stavu životního prostředí.

9. Literatura

ArcRevue: informace pro uživatele software ESRI a Leica Geosystems. Praha: Arcdata Praha, 2010. ISBN 1211-2135

BALDRIDGE, A.M., S.J. HOOK, C.I. GROVE, G. RIVERA. 2009. The ASTER spectral library version 2.0. *Remote Sensing of Environment.* 113(4): 711-715.

BARDOS, P., H. KASAMAS a J. DENNER. 1999. *International Networks for Contaminated Land: Chapter in Risk Assessment For Contaminated Sites In Europe, Volume 2.*

BECK, Richard. *EO-1 User Guide*. 2003. Dostupné také z:
<http://eo1.usgs.gov/documents/EO1userguidev2pt320030715UC.pdf>

DATABÁZE LAND COVER ČESKÉ REPUBLIKY [online]. 2002 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z:
<http://www-1.sysnet.cz/projects/env.web/zamest.nsf/5eafc5e970f63e14c1256c5500784c48/8a7fb0bcc6f1ab39c125651d005c4e90!OpenDocument>

DOUBRAVA, Pavel. 2011. *Metody dálkového průzkumu v projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst: (příklady využití metod dálkového průzkumu Země pro řešení environmentální problematiky v České republice)*. Vyd. 1. Praha: CENIA, 96 s. ISBN 978-80-85087-91-8.

DOBROVOLNÝ, Petr. 1998. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

EEA.1995.*CORINE land cover* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z:
<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

Eionet. *About Eionet* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z:
<https://www.eionet.europa.eu/about>

EKOLA group. 2007. *Dokumentace EIA: Dobývací prostor Sazená* [online]. s. 41-42 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z:
http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01aUDE1MF9kb2t1bWVudGFjZURPQ18xLnBkZg/MZP150_dokumentace.pdf

ENVI. 2009. *Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide*. Dostupné také z:
https://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/Flaash_Module.pdf

Evropská unie. 2013. *Směrnice o odpovědnosti za životní prostředí: Ochrana přírodních zdrojů Evropy*. Luxembourg: Publications Office, s. 5. ISBN 9789279297502.

Evropská unie. 2014. *Progress in the management of contaminated sites in Europe*. Luxembourg: Publications Office. ISBN 978-927-9348-464. Dostupné také z: http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR26376EN.pdf

FONS, Jaume a Anna Rita GENTILE. 2006. *Towards an EEA Europe-wide assessment of areas under risk for soil contamination* [online]. In: . [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: https://www.eionet.europa.eu/software/prams/release1/PRA.MS_Manual.pdf

GRUNTORÁD, Jan. 2011. Národní inventarizace kontaminovaných míst -souvislosti a historický vývoj. *Acta environmentalica Universitatis Comenianae*. (19): 82-84. ISSN 1335-0285.

HANUŠ, J. a T. FABIÁNEK. 2015. *DPZ infrastruktura na CzechGlobe: konference GIS Ostrava* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2015/sbornik/papers/gis2015541a9ab2d3bb8.pdf

JOHNSTON, Carol A. 1998. *Geographic information systems in ecology*. Malden, MA: Blackwell Science, , s. 180-184. ISBN 0632038594.

KAČABOVÁ, Pavla. 2012. *Národní inventarizace kontaminovaných míst: Seminář „Podpora a propagace OPŽP oblasti podpory 4.2 – Odstraňování starých ekologických zátěží“* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://archiv.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/3_kacabova.pdf

KAČABOVÁ, Pavla a Jan GRUNTORÁD. *Projekt NIKM: Východiska pro zadání, očekávané cíle*. [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://archiv.ekomonitor.cz/sites/default/files/file/seminare/2010-04-27/prezentace/Kacabova_Gruntorad_100427.pdf

Katalog opatření: Staré ekologické zátěže [online]. 2005. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/36999/_8_stare_ekologicke_zateze.pdf

KOLÁŘ V. et al. 2006. Závěrečná zpráva z ukončení druhé etapy projektu SC/730/1/01 „Integrace informací o skládkách, zařízeních a starých zátěžích, hodnocení jejich rizikovosti a vlivu na ŽP, vývoj společné uživatelské platformy. (2001-2005, MZP/SC)“ [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.isvav.cz/resultDetail.do?rowId=RIV%2F00020711%3A_____2F06%3A00001050!RIV06-MZP-00020711

LIEW, S. C. *CRISP: EO-1 (Earth Observing - 1), USA* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/eo1.htm>

MARTÍNKOVÁ, M. a P. ECKHARDT. *Evidence kontaminovaných míst: Odborný seminář VÚV T.G.M.,v.v.i.* [online]. In: . [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2594929/>

Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní strategie regenerace brownfieldů* [online]. In: . 2008 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.czechinvest.org/data/files/strategie-regenerace-vlada-1079.pdf>

Ministerstvo životního prostředí. *Plnění Národního implementačního plánu Stockholmské úmluvy o persistentních organických polutantech (POPs)* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/plneni_webovych_stranek

OLEJNÍK, Petr. 2009. *Databáze kontaminovaných míst v České Republice*. Brno. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky.

PADMA, S. a S. SANJEEVI. 2014. JEFFRIES MATUSITA-SPECTRAL ANGLE MAPPER (JM-SAM) SPECTRAL MATCHING FOR SPECIES LEVEL MAPPING AT BHITARKANIKA, MUTHUPET AND PICHAVARAM MANGROVES. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. (40): 1045. Dostupné také z: <http://www.int-arch->

photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-8/1403/2014/isprsarchives-XL-8-1403-2014.pdf

PANAGOS, Panos, Marc Van LIEDEKERKE, Yusuf YIGINI a Luca MONTANARELLA. 2013. Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network. *Journal of Environmental and Public Health*. 1-11. DOI: 10.1155/2013/158764.

PETRUCHOVÁ, J. a L. JIRÁSKOVÁ. 2010. *Využití software ENVI 4.7 pro zpracování multispektrálních a hyperspektrálních dat v rámci projektu NIKM* [online]. [cit. 2015-05-17].

Dostupné z:

[http://www.cenia.cz/__C12572160037AA0F.nsf/\\$pid/CPRJ7RCKSQQ7/\\$FILE/vyuziti_software_envi_esri.pdf](http://www.cenia.cz/__C12572160037AA0F.nsf/$pid/CPRJ7RCKSQQ7/$FILE/vyuziti_software_envi_esri.pdf)

PETRUCHOVÁ, J. a L. JIRÁSKOVÁ. 2012. *Možnosti podpory plošné inventarizace kontaminovaných míst interpretací multi - a hyperspektrálního snímkování* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://archiv.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/20_jiraskova.pdf

PLÁKOVÁ, Š., L. KUBÍK a P. NĚMEC. 2014. *REGISTR KONTAMINOVANÝCH PLOCH: celkové obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách průběžná zpráva (1998 – 2013)* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/342115/ZZ_RKP_2013_final.pdf

PROKOP, Gundula, Martin SCHAMANN, Irene EDELGAARD a Anna Rita GENTILE (ed.). 2000. *Management of contaminated sites in Western Europe* [online]. 171 s. [cit. 2015-05-14]. Dostupné také z: http://www.eea.europa.eu/publications/Topic_report_No_131999

PELC, T. *Kvantitativní odhad vegetace pomocí metod obrazové spektroskopie*. Praha, 2013. Dostupné také z: http://gis.vsb.cz/GISacek/GISacek_2013/referaty/pelc.pdf. Diplomová práce.

QUERCIA, F., A. GENTILE, T. TARVAINEN, M. SCHAMANN, J. FONS-ESTEVE, M. WEPNER-BANKO, M. FALCONI, A. VECCHIO a A. ALTIERI. 2005. *Towards an EEA Europe-wide assessment of areas under risk for soil contamination: Possible monitoring of risk areas of EU concern* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://www.iccl.ch/download/meeting_paris_05/theme_4/t4-monitoring_of_risk_areas_in_eu.pdf

QUERCIA, F., A. GENTILE, T. TARVAINEN, M. SCHAMANN, J. FONS-ESTEVE, M FALCONI a A. VECCHIO. 2006. *Soil Inventory and Assessment Project: The EEA experience towards an Europe-wide assessment of areas under risk for soil contamination* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://www.clu-in.org/athens/download/Opening_Presentations/EU_EEA-Francesca_Quercia.ppt

ŘEŘIČHA, Jaroslav, Pevl DOUBRAVA, Zdeněk SUCHÁNEK a Šárka ROUŠAROVÁ. 2012. *Rastrová platforma: Celkové shrnutí v rámci projektu NIKM* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://archiv.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/19_rericha.pdf

SHIPPERT, P. 2004. Why Use Hyperspectral Imagery?. PHOTOGAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING [online]. [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: www.iro.umontreal.ca/~mignotte/IFT6150/ComplementCours/HyperspectralImagery.pdf

SUCHÁNEK, Zdeněk. *NIKM - Národní inventarizace kontaminovaných míst: projekt spolufinancovaný z OPŽP* [online]. In: . [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://archiv.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/9_suchanek.pdf

TEMIZ, Mahir Serhan a Sitki KÜLÜR. 2008. Rectification of digital close range images:: Sensor models, geometrical images transformations and resampling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*, (37): 92. Dostupné také z: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/15.pdf

Treasury Board of Canada Secretariat: Federal Contaminated Sites Inventory [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tbs-sct.gc.ca/fcsi-rscf/home-accueil-eng.aspx#what>

Usnesení vlády ČR: ze dne 25. června 1992 č. 455 [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://kormoran.odok.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/0/E4FD86DE25C119A9C12571B6006EF23D

Usnesení vlády ČR: ze dne 17. března 1993 č. 123 + P [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://kormoran.odok.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/0/B83691A0B5E87C2FC12571B6006DE2D6

Usnesení vlády ČR: ze dne 10. ledna 2001 č. 51 + P [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://kormoran.odok.cz/usneseni/usneseni_webtest.nsf/0/F6550A1DB8FE7A06C12571B60070E978

Vězeňská služba České republiky. 2012. *Historie Věznice Příbram (Bytíz)*. [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.vscr.cz/veznice-pribram-91/zakladni-informace-1097/historie-veznice-pribram-bytiz-5988>

ZEMEK, F. a kol. 2014. *Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. Brno: Centrum výzkumu globální změny AV ČR, s. 35-38. ISBN 978-80-87902-07-3.

9.1. Užitečné odkazy:

NATO/CCMS: <http://www.eugris.info/displayorganisation.asp?o=3775>

NICOLE: <http://www.nicole.org/>

CLARINET: <http://www.eugris.info/DisplayProject.asp?ProjectID=4420>

CARACAS: <http://www.eugris.info/displayproject.asp?Projectid=4575>

Brownfields: <http://www.cabernet.org.uk/index.asp?c=1124>

<http://www.brownfieldy.cz>

10. Použité zkratky:

CEFIC – The European Chemical Industry Council

CENIA – česká informační agentura životního prostředí

CORINE – coordination of information on the environment

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DEM – *digital elevation model*, digitální model terénu

DPZ – Dálkový průzkum Země

EEA – *European Environment Agency*, Evropská agentura pro ŽP

EIA – *Environmental Impact Assessment*, Vyhodnocení vlivu na životní prostředí

Eionet – European environment information and observation network

EM – Elektro magnetické (například záření)

ETC/S – *The European Topic Centre on Soil*

FNM – Fondu národního majetku

FODIS – *Fiber Optic Downwelling Irradiance Sensor*

GCP – Vlícovací body

INSPIRE – *Infrastructure for Spatial Information in the European Community*

ISEZ – Informačního systému environmentálních zátaží

IR – Infračervené záření (pásma)

J-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

KM – Kontaminované místo

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

NDVI – Normalizovaný diferenční vegetační index

NIKM – Národní inventarizace kontaminovaných míst

NIR – Blízké infračervenému pásmu

OÚ – Obecní úřad

OEŠ – Odbor ekologických škod

OPŽP – Operační program Životního prostředí

PAH – *Polyaromatic hydrocarbons*, Polyaromatické uhlovodíky

PCB – Polychlorované bifenyly

PKM – Potenciálně kontaminované místo

PreKM – Vektorová vrstva zájmových objektů

ROI – *Region of interest*, zájmové území

RVI – Relativní vegetační index

SEKM – Systém evidence kontaminovaných míst

SEZ – Stará ekologická zátěž

SHP – Formát geografických dat (shapefile)

SWIR – Krátkovlnné infračervené pásmo

USGS – Geologická služba Spojených států amerických

UTM – Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic

VOC – Volatile organic compounds, těkavé organické sloučeniny

WGS-84 – Světový geodetický systém 198

ŽP – Životní prostředí