

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



MOŽNOSTI VYUŽITÍ DAT Z DRUŽIC NA POLÁRNÍ DRÁZE NOAA

Bakalářská práce

Jan MIŠUREC

Vedoucí práce: Ing. Eva Štefanová

květen 2008

Praha

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím uvedených pramenů a literatury, na něž odkazuji. Jsem si vědom toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity. Souhlasím se zapůjčováním této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 15.5. 2008

Jan Mišurec

.....

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval několika lidem, kteří mi během zpracování této práce poskytli pomoc a podporu, bez níž by tato práce nemohla vzniknout. Jmenovitě děkuji RNDr. Martinu Setvákovi, CSc. a Martinu Blahovi za cenné rady v oblasti příjmu a zpracování družicových dat NOAA, Ing. Markétě Potůčkové, Ph.D. za pomoc při zpracování analýzy změn vegetačního indexu NDVI, Mgr. Stanislavu Grillovi za cenné rady v oblasti aplikace funkčních nástrojů ArcGIS a v neposlední řadě Ing. Evě Štefanové za odborné vedení mé bakalářské práce.

ABSTRAKT

Předmětem práce je zpracování snímků pořízených družicemi na polární dráze NOAA se zaměřením na možnosti využití metod detekce lesních požárů. Práce podává přehled o využití družicových dat s nízkým prostorovým rozlišením. Možnosti využití dat jsou prakticky demonstrovány na příkladu detekce lesních požárů pomocí vybraného detekčního algoritmu. Hlavním cílem praktické části této práce je prověření základních funkčních principů zvoleného algoritmu na základě jeho aplikace na vybraná archivní data. Dalším cílem práce je prověření možnosti aplikace zvoleného algoritmu v podmínkách České republiky. Součástí práce je také porovnání možností zpracování družicových dat NOAA/AVHRR pomocí volně šiřitelných software (HRPT Toolset, PCI Freeview).

Klíčová slova:

NOAA, AVHRR, analýza HANDS, hotspot, NDVI

ABSTRACT

The main theme of this research work is a survey of NOAA/AVHRR satellite data using, especially capabilities of using these data for wildlife fires detection. The project summarizes meteorological and non-meteorological applications using low-resolution satellite data. The main aim of this work is to prove basic principles of chosen fire detection algorithm. Capabilities of chosen fire detection algorithm are demonstrated by application on archive data with typical examples of large scale forest fires. The next aim of the work is a proof of chosen detection algorithm capabilities in conditions of Czech Republic. A part of this project is also a basic tests of freeware NOAA/AVHRR data processing softwares HRPT Toolset and PCI Freeview.

Key words:

NOAA, AVHRR, HANDS algorithm, hotspot, NDVI

OBSAH

Obsah	5
Seznam obrázků a tabulek	7
Seznam zkratk	8
1 Úvod	10
1.1 Úvodní slovo	10
1.2 Cíle práce	10
2 Současný stav řešené problematiky	12
2.1 Využití družicových dat pro potřeby monitoringu přírodních katastrof	13
3 Možnosti využití družicových dat	17
3.1 Využití družicových dat v meteorologických a nemeteorologických aplikacích	17
4 Systém družic na polární dráze NOAA.....	20
4.1 Základní charakteristika družic NOAA	20
4.2 Přístrojové vybavení družic NOAA	21
5 Detekce lesních požárů na základě dat dálkového průzkumu Země.....	24
5.1 Lesní požáry	24
5.2 Základní principy používaných metod k detekci lesních požárů	24
5.3 Současné metody detekce lesních požárů	27
6 Základní funkční principy detekční analýzy HANDS	29
7 Příprava dat pro analýzu HANDS.....	34
7.1 Vstupní data	34
7.2 Radiometrické korekce vstupních dat	35
7.2.1 Korekce na výšku Slunce.....	36
7.2.2 Odrazivost a jasová teplota	37
7.3 Geometrická korekce vstupních dat.....	39
8 Aplikace detekční metody HANDS na vybrané lesní požáry	42
8.1 Detekce hotspots	42
8.2 Potvrzení detekovaných hotspots pomocí změn NDVI	44
8.3 Aplikace metody HANDS na vybrané požáry na území České republiky	47
9 Distribuce a zpracování družicových dat NOAA	48
9.1 Distribuce dat poskytovaných družicemi NOAA	48
9.2 Příjem družicových dat pomocí systému EUMETCast	48

9.3 Zpracování dat pomocí volně šiřitelných programů	49
10 Výsledky	54
10.1 Shrnutí.....	57
11 Diskuse	59
12 Závěr	61
Seznam použitých pramenů a literatury	63
Seznam příloh.....	66

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky:

Obrázek 2.1: Příklad výstupu systému detekce požárů HMS

Obrázek 2.2: Rozdělení území Finska mezi jednotlivé havarijní dispečinky

Obrázek 3.1: Použití dat družic NOAA v meteorologických a klimatologických aplikacích

Obrázek 4.1: Spektrální kanály radiometru AVHRR

Obrázek 4.2: Přehled primárních přijímacích stanic pro příjem dat z družic NOAA

Obrázek 5.1: Vzhled hotspots na družicových snímcích

Obrázek 5.2: Glintový efekt

Obrázek 5.3: Sezónní změny hodnot vegetačního indexu NDVI

Obrázek 6.1: Vliv sluncem rozehrátých povrchů a glintového efektu

Obrázek 6.2: Funkční struktura detekčního algoritmu HANDS

Obrázek 6.3: Princip analýzy změn vegetačního indexu NDVI

Obrázek 7.1: Příklad kalibrovaného družicového snímku

Obrázek 7.2: Princip výpočtu délky kruhového oblouku

Obrázek 8.1: Schématické vyjádření funkčního modelu detekce hotspots

Obrázek 8.2: Vymezení oblastí pro výpočet parametrů detekce změn indexu NDVI

Obrázek 8.3: Schématické vyjádření funkčního modelu analýzy změn indexu NDVI

Obrázek 9.1: Schématické znázornění přenosu dat AVHRR v systému EUMETcast

Obrázek 9.2: Přehledová mapa software WX Track

Obrázek 9.3: Náhledová mapa software AVHRR Manager

Obrázek 9.4: Příklad výstupu software HRPT Reader

Obrázek 10.1: Přehled požárů detekovaných algoritmem HANDS

Obrázek 10.2: Přehled hotspots detekovaných na území České republiky

Obrázek 10.3: Výsledky analýzy změn vegetačního indexu NDVI

Tabulky:

Tabulka 4.1: Družice NOAA

Tabulka 4.2: Radiometr AVHRR – spektrální kanály

Tabulka 4.3: Radiometr AVHRR – technické parametry

Tabulka 5.1: Normalizovaný vegetační index

Tabulka 8.1: Vybrané lesní požáry na území ČR

SEZNAM ZKRATEK

ABBA	<i>Automated Biomass Burning Algorithm</i>
AMSU	<i>Advanced Microwave Sounding Unit</i>
AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
APT	<i>Automatic picture transmission</i>
CCRS	<i>Canada Center for Remote Sensing</i>
CFDA	<i>CCRS Fire Detection Algorithm</i>
CLASS	<i>Comprehensive Large Array Stewardship System</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
ECT	<i>External Calibration Target</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
FIMMA	<i>Fire Identification Mapping and Monitoring Algorithm</i>
FMI	<i>Finnish Meteorological Institute</i>
FRAC	<i>Full Resolution Area Coverage</i>
GAC	<i>Global Area Coverage</i>
GCP	<i>Ground Control Point</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellites</i>
HANDS	<i>Hotspots And NDVI Differencing Synergy</i>
HIRS	<i>High Resolution Infrared Radiation Sounder</i>
HMS	<i>Hazard Mapping System Fire and Smoke Product</i>
HRPT	<i>High Resolution Picture Transmission</i>
ICT	<i>Internal Calibration Target</i>
IGBP	<i>International Geosphere and Biosphere Programme</i>
LAC	<i>Local Area Coverage</i>
LSA	<i>Land and Surface Analysis</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Fire Algorithm</i>
MSG	<i>Meteosat Second Generation</i>
NDVI	<i>Normalizovaný vegetační index (Normalized Difference Vegetation Index)</i>
NDVIdiff	<i>rozdíl hodnot NDVI</i>
NESDIS	<i>National Environmental Satellite Data and Information Service</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OLS	<i>Operational Linescan System</i>
PRT	<i>Platinum Resistance Thermometer</i>
SAF	<i>Satellite Application Facilities</i>

SBUV	<i>Solar Backscatter Ultraviolet Spectral Radiometer</i>
SEM	<i>Space Environment Monitor</i>
SWIR	<i>Short wave infrared</i>
VIS	<i>Visible</i> (obor viditelného záření)
VIS _R	červená oblast viditelného záření
TLE	<i>Two Line Element</i>
TIR	<i>Thermal Infrared</i>
UT	<i>Universal Time</i>
WGS	<i>World Geodetic System</i>

A	odrazivost
α	velikost středového úhlu
C ₁₀	původní relativní hodnota pixelu v 10-bitovém tvaru
D ₁	hodnota NDVI v období před vypuknutím požáru
D ₂	hodnota NDVI v průběhu požáru resp. v období po uhašení požáru
θ	zenitová vzdálenost Slunce
I	parametr <i>intercept</i>
μ	aritmetický průměr
o	délka kruhového oblouku
p	hodnota pixelu po provedení korekce
p'	hodnota pixelu před provedením korekce
R	poloměr Země
R ₁	odrazivost ve spektrálním kanálu 1
R ₂	odrazivost ve spektrálním kanálu 2
S	parametr <i>slope</i>
σ	směrodatná odchylka
T ₃	jasová teplota ve spektrálním kanálu 3B
T ₄	jasová teplota ve spektrálním kanálu 4
T ₅	jasová teplota ve spektrálním kanálu 5

1 ÚVOD

1.1 Úvodní slovo

Velké lesní požáry, způsobené zejména katastrofálními suchy prohlubujícími se v důsledku postupných globálních klimatických změn a v neposlední řadě rovněž lidskou nedbalostí a neopatrností, se stávají díky vysokým škodám na majetku a na lidských životech často diskutovanou tématikou. Tímto druhem přírodních katastrof jsou postiženy zejména státy jižní Evropy, Austrálie a jižní části Spojených států Amerických. Rostoucí počet lesních požárů v posledních letech vede k intenzivnímu hledání cest, jakými by bylo možné provádět predikci, detekci a v závěru též hodnocení následků katastrofických událostí. Nárůst kapacit družicových systémů vedl již od prvních chvil k myšlence, jakým způsobem by bylo možné družicová data využít k monitoringu výskytu lesních požárů, který je důležitým prvkem pro případnou ochranu ohroženého obyvatelstva. Jednou z možností je využití dat poskytovaných družicemi s nízkým prostorovým rozlišením, jenž je však vyváženo možnostmi sledovat různé části světa několikrát za den. Díky vysoké frekvenci pořizování dat a jejich snadné distribuci se jeví metody detekce požárů založené na zpracování těchto dat jako velice perspektivní.

1.2 Cíle práce

Problematika detekce lesních požárů pomocí metod využívajících družicových dat o nízkém prostorovém rozlišení, pořizovaných americkými družicemi na polární dráze NOAA, je dnes často diskutována. V úvodu práce je nutné podat přehled o možnostech využití družicových dat NOAA a následně zhodnotit současný stav využití metod detekce lesních požárů.

Hlavním cílem práce je podat podrobný popis funkčního principu nové metody detekce požárů, jenž je označována jako *Hotspots And NDVI Differencing Synergy* (HANDS). Ta kombinuje metody detekce požárů založené na vyhledávání míst s abnormálně vysokou teplotou s metodami založenými na hodnocení změn vegetačního pokryvu v důsledku požáru. Praktická část práce je zaměřena na aplikaci této metody na vybrané lesní požáry ve světě. Cílem práce je rovněž odpovědět na otázku, zda je výše uvedená metoda použitelná i v podmínkách České republiky.

K tomuto účelu byla využita archivní data Národního úřadu pro atmosféru a oceány (*National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA*) zachycující dva velké lesní požáry, které postihly v roce 2007 Řecko a Kalifornii. Pro aplikaci výše uvedené metody v rámci České republiky byla využita data pořizovaná v době vybraných lesních požárů.

Hlavní cíle práce je možné vyjádřit v těchto základních bodech:

- podat stručný přehled možností využití družicových dat NOAA,
- podat souhrnný přehled používaných detekčních metod a základních principů, na kterém jsou tyto metody založeny,
- demonstrovat možnosti vizualizace družicových snímků NOAA s využitím volně šiřitelných programů (HRPT Toolset, PCI FreeView),
- prověřit možnosti vybrané detekční metody na příkladu velkých lesních požárů,
- prověřit možnosti aplikace této metody v podmínkách České republiky.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Problematika detekce lesních požárů na základě družicových dat patří mezi mladé obory v rámci dálkového průzkumu Země. Rozvoj metod detekce lesních požárů byl umožněn až s nárůstem kapacit družicových systémů. První studie na toto téma se objevily brzy potom, co byl uveden do provozu systém družic NOAA. Jedna z prvních prací na toto téma – *Forrest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR* – byla uveřejněna v roce 1986 v rámci *Canadian Journal of Remote Sensing* (PU et al., 2004).

Vzhledem k tomu, že se metody detekce požárů pomocí dat dálkového průzkumu Země staly v poslední době poměrně perspektivním oborem (zejména v zemích, které jsou velkými lesními požáry nejvíce postiženy), existuje celá řada prací, které se této problematice věnují. Nejvíce informací bylo získáno studiem článků v odborných časopisech věnujících se problematice využití dálkového průzkumu Země. Jednalo se zejména o: *Remote sensing of Environment* (FRASER, LI, CIHLAR, 2000), *International Journal of Wildlife Fire* (PU et al., 2004) a *International Journal of Remote Sensing* (LI, NADON, CIHLAR, 2000b nebo LI et al. 2000a).

V současné době se asi nejkompexněji problematikou detekce lesních požárů zabývá vědecký tým pod vedením prof. Zhanqing Li působící v rámci *Department of Atmospheric and Oceanic Science (University of Maryland)* ve spolupráci s *Canada Centre for Remote Sensing*. Tato skupina se věnuje především vývoji a testování algoritmů pro detekci lesních požárů pro data z různých typů družic. Pro tuto práci byl klíčový zejména článek PU et al. (2004) zabývající se funkčními principy detekčního algoritmu HANDS. Článek se věnuje především popisu a vysvětlení podstaty jednotlivých dílčích kroků, z nichž je celá analýza složena. Jiným zdrojem, věnujícím se analýze HANDS, byl článek FRASER, LI, CIHLAR (2000). Autoři se zabývají zejména teoretickým základem zmíněné metody a následně výsledkům dosaženým její aplikací na data za území Kanady z roku 1996.

Celkový přehled vývoje detekčních algoritmů, založených na zpracování dat NOAA/AVHRR je popsán ve dvojici článků: LI, NADON, CIHLAR (2000) a LI et al. (2000). V prvním článku se autoři zabývají zejména teoretickými základy algoritmů na detekci požárů a jejich důsledky pro jejich použití nad daty NOAA/AVHRR. Druhý článek je věnován zejména popisu a vzájemnému porovnání různých detekčních metod.

Pro aplikaci metod detekce lesních požárů bylo rovněž nutné získat informace o chování lesních požárů, stejně tak jako o dopadech lesních požárů na ekosystém. Tomuto tématu se věnuje článek DOMENIKIOTIS, LOUKAS, DALEZIOS (2003), který si všímá především rozdělení technik detekce požárů a vlivu požárů na hodnoty vegetačního indexu NDVI.

Základními zdroji dat technické povahy byly manuály vydávané úřadem NOAA GOODRUM, KIDWELL, WINSTON (2004) a KIDWELL (1998). Z těchto materiálů byly použity

zejména informace týkající se technických parametrů družic NOAA a kalibrace dat. Dalšími zdroji zejména technických poznatků především byly brožury a technické zprávy vydávané evropskou organizací EUMETSAT.

Z literatury v českém jazyce byla pro zpracování této práce použita především vysokoškolská skripta KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA (2000), a to zejména část věnující se základním principům zpracování družicových dat. Literatura zabývající se problematikou detekce lesních požárů z družicových dat psaná v českém jazyce zatím neexistuje.

2.1 Využití družicových dat pro potřeby monitoringu přírodních katastrof

Myšlenka využití družicových dat pro sledování aktivních požárů vznikla záhy poté, co byl uveden systém družic NOAA do operativního provozu. Většího rozšíření se však tato metoda dočkala až v posledním desetiletí. Ze současné doby je možné uvést několik konkrétních příkladů, které dobře ilustrují využití družicových dat o nízkém prostorovém rozlišení pro potřeby monitoringu přírodních katastrof.

Obecně je možné říci, že největší snahy o využití družicových dat pro detekci lesních požárů mají ty země, které jsou tímto typem přírodních katastrof nejvíce ohroženy. Druhým společným rysem je pak skutečnost, že jde o státy s poměrně velkým zastoupením rozsáhlých neobydlených ploch, kde není možné lesní požáry včas detekovat v rámci pozemního pozorování. Používané metody detekce jsou schopny odhalit pouze požáry poměrně velkých rozměrů. V hustě osídlených oblastech jsou lesní požáry detekovány zpravidla mnohem dříve, než dosáhnou potřebného rozsahu pro detekci pomocí družicových dat.

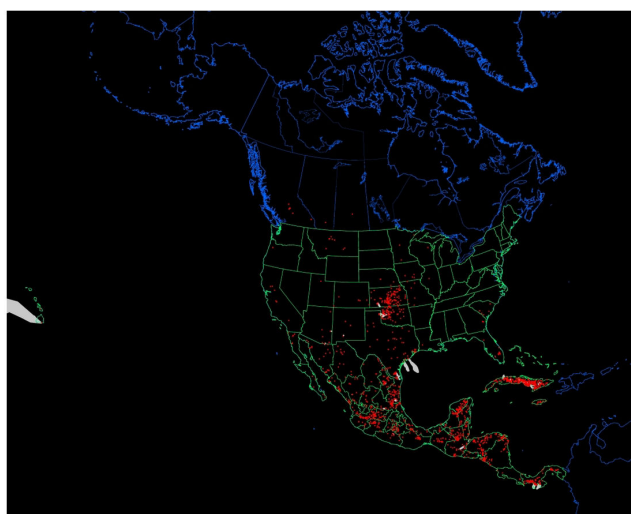
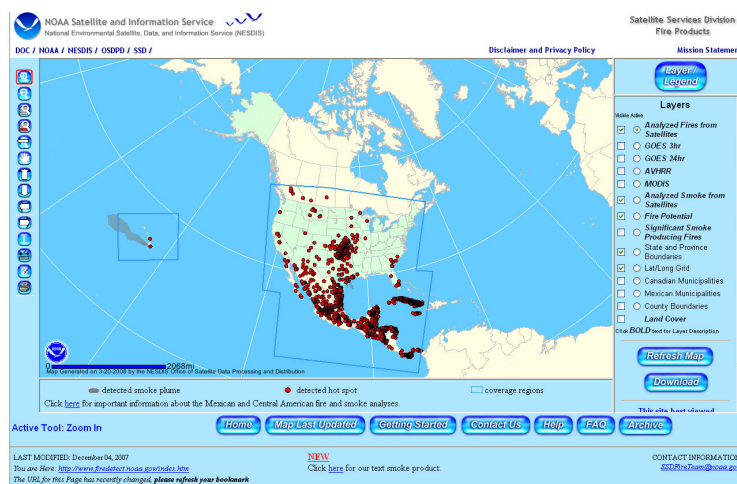
Detekci požárů nad severoamerickým kontinentem se věnuje provozovatel družic – úřad NOAA, respektive jedno z jeho četných oddělení označované jako NESDIS (*National Environmental Satellite Data and Information Service*). Toto oddělení je přímo zodpovědné za provoz satelitů NOAA (a GOES) a za správu a zpracování přijatých družicových dat. Jedním z úkolů oddělení NESDIS je příprava operativních produktů mezi nimiž je i systém detekce požárů označovaný jako HMS (*Hazard Mapping System Fire and Smoke Product*). Jedná se o interaktivní systém, jehož výstup je založený na vyhodnocení dat ze tří různých, plně automatizovaných, detekčních algoritmů navržených pro tři různé druhy družicových dat. Toto vyhodnocení je prováděno manuálně kvalifikovanými analytiky oddělení NESDIS (<http://ssd.noaa.gov/PS/FIRE/hms.html>, staženo 20.3.2008). Jedná se o algoritmy:

- **ABBA** (*Automated Biomass Burning Algorithm*) pro data družic GOES-East a GOES-West,
- **FIMMA** (*Fire Identification Mapping and Monitoring Algorithm*) pro data NOAA/AVHRR,

- **MODIS** (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Fire Algorithm*) pro data z přístroje MODIS,
- **OLS** (*Operational Linescan System*) pro data z družic DMSP.

(www.firedetect.noaa.gov/gettingstarted.htm, staženo 20.3.2008)

Výstupem celého systému je on-line přístupná GIS aplikace, pomocí které může uživatel získat okamžitý přehled o poloze detekovaných požárů a oblaků kouře. Příklad výstupu systému HMS ilustruje obrázek 2.1



Obrázek 2.1: Příklad výstupu systému detekce požárů HMS. On-line GIS aplikace umožňuje přístup k nejčerstvějším výsledkům vytvořeným na základě výstupů detekčních algoritmů ABBA, FIMMA, MODIS a OLS (nahore). Požáry detekované systémem HMS 20.3.2008.

Zdroj: <http://ssd.noaa.gov/PS/FIRE/hms.html>

O využití metod detekce lesních požárů mají v poslední době velký zájem rovněž evropské středomořské státy – zejména Portugalsko, Španělsko a Řecko. Detekce požárů v probíhá v rámci projektu SAF (*Satellite Application Facilities*), jenž probíhá v rámci členských států organizace EUMETSAT. Projekt využívá odborných kapacit jednotlivých členských států EUMETSATu k tvorbě produktů (klimatologické studie, krátkodobé předpovědi

počasí, stav ozonoféry, teplota mořské vody apod.) odvozených z dat poskytovaných družicemi, které EUMETSAT provozuje (MSG¹ a MetOp²). Data jsou z přijímacích stanic zasílána do centra v Darmstadtu odkud jsou prostřednictvím sítě EUMETCast odesílána do sídel jednotlivých programů SAF, kde jsou zpracována. Činnost jednotlivých programů SAF je organizována národními meteorologickými institucemi jednotlivých států. Detekce požárů je zahrnuta v činnosti programu pro studium zemského povrchu (LSA – *Land Surface Analysis*), jenž sídlí v Portugalsku (www.eumetsat.int/home/main/publications/Brochures/, staženo 20.3.2008). Jak je uvedeno v CALADO, DACAMARA (2006) program LSA-SAF byl uveden do pre-operačního provozu v lednu roku 2006. Na rozdíl od amerického systému HMS se tento program zabývá spíše sledováním následků požárů. Pro tuto činnost kombinuje data amerických družic NOAA a evropských družic MetOp a MSG. Dále využívá rovněž dat z přístroje MODIS (družice Aqua a Terra).

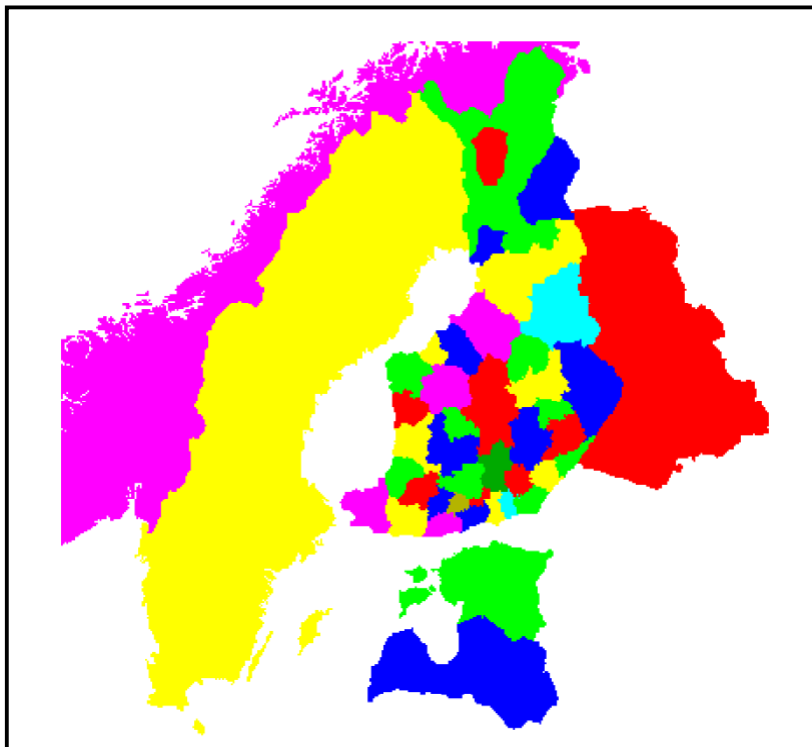
Systém pro detekci a monitoring lesních požárů provozuje rovněž Řecká národní meteorologická služba (*Hellenic National Meteorological Institute*). Družicová data v tomto případě slouží zejména pro detekci požárů v odlehlých a nedostupných místech, kde požáry není možné detekovat pozemním pozorováním. Výstupy pak slouží příslušnému dispečinku spíše jako jednoduchý přehled aktuálních požárů, díky kterému je možné snáze rozhodnout, kam nasadit dostupné síly k likvidaci požárů (www.wmo.ch/pages/prog/sat/CGMS/-Directoryofapplications/en/ap6_06.html, staženo 20.3.2008).

Jiným názorným příkladem systému detekce lesních požárů, založeným na zpracování družicových dat, paradoxně nalezneme mimo středomořské státy - ve Finsku. Ačkoliv se Finsko nenachází v suchých semiaridních oblastech, které jsou lesními požáry nejvíce ohroženy, je typickým příkladem země, kde v rozsáhlých neobydlených oblastech není možné detekovat lesní požáry pomocí pozemních pozorování. Z tohoto důvodu byl vyvinut naprosto unikátní systém detekce požárů, který je propojen s jednotkami finského záchranného systému. Systém je označován jako FF-OPRAT a jeho fungování spadá pod činnost Finského meteorologického ústavu (FMI – *Finnish Meteorological Institute*). Systém je založen na automatickém vyhodnocení přijatých družicových snímků (řetězcem geokódování-kalibrace-detekce hotspots-vyloučení falešných hotspots). Území celého Finska je rozděleno do oblastí, které spadají pod jednotlivé havarijní dispečinky. Systém je schopen automaticky určit, na území jakého dispečinku se požár nachází. Protože je spojen s databází faxových čísel na jednotlivé dispečinky, je po detekci požáru na příslušný dispečink odeslána faxová zpráva obsahující polohu požáru a mapu umožňující snadnější identifikaci zasažené oblasti

¹ MSG – *Meteosat Second Generation* – jedná se o družice Meteosat 8 a Meteosat 9, které jsou z důvodu zásadní konstrukční odlišnosti oproti starším družicím označovány jako „Meteosat druhé generace“.

² MetOp – Evropská družice na polární dráze provozovaná organizací EUMETSAT. Stejně jako družice NOAA je MetOp vybaven mechanickým radiometrem AVHRR.

(http://virtual.vtt.fi/virtual/space/firealert/ground_system.html, staženo 20.3.2008). Rozdělení území Finska mezi jednotlivé havarijní dispečinky ilustruje obrázek 2.2:



Obrázek 2.2: Rozdělení území Finska mezi jednotlivé havarijní dispečinky. V případě detekce požáru je příslušný dispečink informován formou faxové zprávy.

Zdroj: http://virtual.vtt.fi/virtual/space/firealert/ground_system.html

Situace na území České republiky je v ohledu využití družicových dat zcela odlišná. Podle e-mailu RNDr. Martina Setváka ze dne 20.3.2008: „...se u nás žádná instituce touto problematikou nezabývá“. Tento stav je s největší pravděpodobností zapříčiněn tím, že území České republiky je poměrně malé a zároveň hustě zalidněné.

3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT

3.1 Využití družicových dat v meteorologických a nemeteorologických aplikacích

V současné době se družicová data stávají stále běžnějším zdrojem informací o povrchu Země či zemské atmosféře. Od okamžiku vypuštění prvního umělého satelitu Země doznaly do dnešních dnů kosmické technologie podstatných změn. Jedním z mnoha typů satelitů, s jejichž údaji (buď ve zprostředkované podobě) se lidé setkávají prakticky každý den, jsou tzv. meteorologické družice. Meteorologické družice jsou satelity, jejichž hlavním úkolem je sledování atmosférických jevů a měření meteorologických veličin. V současné době jsou provozovány meteorologické družice dvou odlišných typů:

- **družice geostacionární** (např. družice řady Meteosat),
- **družice polární** (družice řady NOAA či MetOp).

Toto rozdělení vychází z charakteristik jejich oběžných drah kolem Země, jenž zcela zásadně ovlivňuje využití jimi pořízených dat. Charakteristickým rysem geostacionárních družic je to, že jejich oběžná rychlost je shodná s rychlostí rotace Země. Družice proto zdánlivě nehybně „visí“ nad jedním místem na povrchu Země ve výšce přibližně 36 000 km. Polární družice obíhají Zemi v mnohem menší výšce (typicky okolo 800 km), přičemž jejich dráha prochází v blízkosti zemských zeměpisných pólů.

Hlavním úkolem meteorologických družic je sledování meteorologických jevů. Jak je uvedeno v EUMETSAT polar system: „Družicová data hrají klíčovou úlohu v rámci meteorologických numerických modelů¹. Katastrofické meteorologické jevy mají obvykle vážné ekonomické důsledky a ohroženo je jimi i velké množství lidských životů. Vyhodnocování množství dat získaných za posledních několik dekad nám umožňuje lépe pochopit spletité vztahy a faktory vytvářející interakce mezi klimatem a našim životním prostředím.“

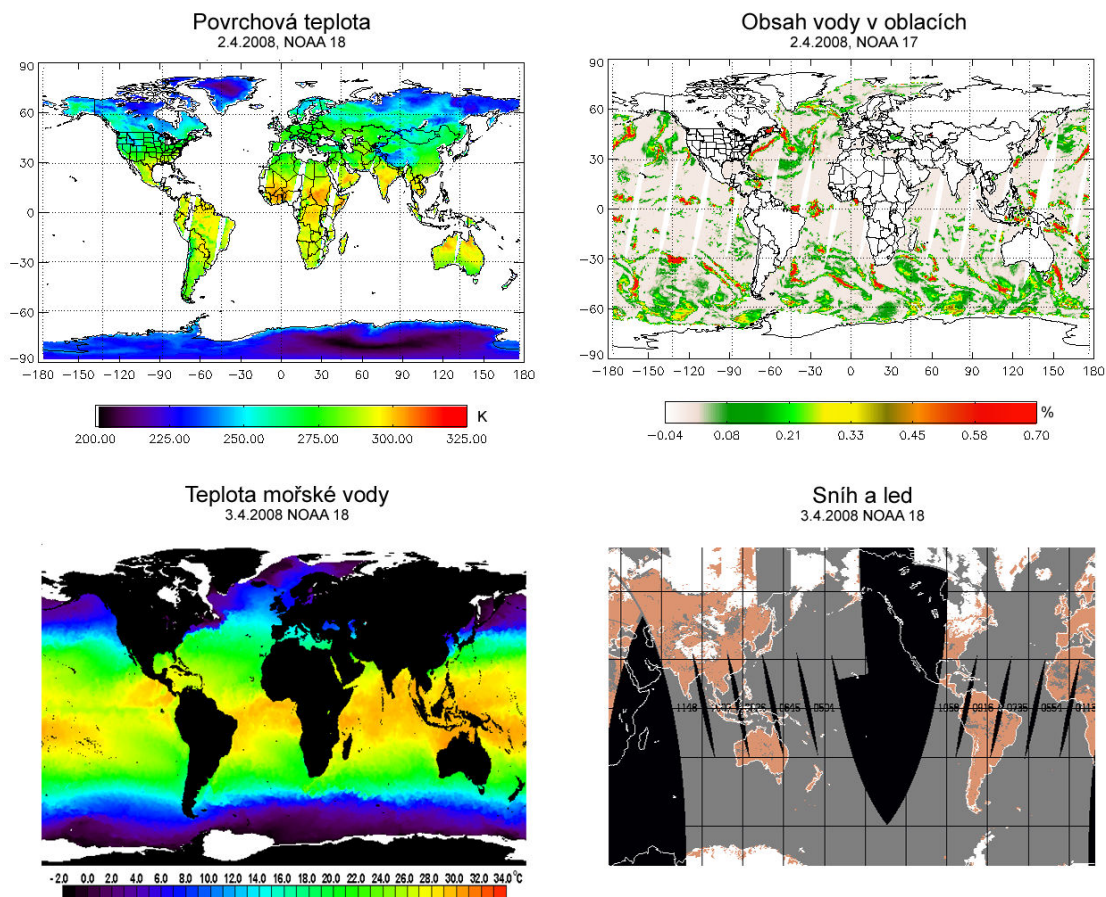
Mezi hlavní meteorologické aplikace patří zejména (EUMETSAT polar system, www.eumetsat.int, EUMETSAT satellite products list, www.eumetsat.int):

- studium oblačnosti - typ, složení, vertikální mocnost, obsah vody, teplota apod.,
- měření teploty zemského povrchu,
- měření teploty mořské vody,

¹ Modely založené na zpracování naměřených hodnot meteorologických veličin na základě matematických vztahů vyplývajících z fyziky atmosféry. Cílem numerických modelů je sestavení simulace pravděpodobného vývoje atmosféry (www.chmi.cz/meteo/ov/aladin/aboutnwp/index.html).

- měření optické propustnosti atmosféry a obsahu aerosolů,
- detekce sněhové pokrývky a rozsahu mořského ledu,
- měření množství ozonu v ozonoféře,
- měření vlhkosti vzduchu,
- vertikální teplotní a vlhkostní profily atmosféry.

Příklady vybraných meteorologických aplikací jsou uvedeny na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Použití dat družic NOAA v meteorologických a klimatologických aplikacích.

Zdroj: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>; http://data.nodc.noaa.gov/crw/CRW50km/current_sst.bmp

Kromě meteorologických aplikací je ovšem možné využít data meteorologických satelitů i v řadě nemeteorologických oborů. Díky tomu jsou meteorologické satelity jedním z nejuniverzálnějších typů družic vůbec. Mezi v současné době světově nejrozšířenější nemeteorologické aplikace, v nichž jsou využívána data meteorologických družic, patří (www.noaa.gov/satellites.html):

- sledování stavu vegetace v globálním měřítku,
- sledování čistoty vod,
- sledování stavu korálových útesů,
- detekce sopečných erupcí,
- monitoring povodní,
- detekce lesních požárů.

4 SYSTÉM DRUŽIC NA POLÁRNÍ DRÁZE NOAA

4.1 Základní charakteristika družic NOAA

Družice NOAA tvoří systém umělých satelitů Země sloužících především k meteorologickým a klimatologickým účelům. Označení těchto družic vychází z názvu vládní agentury Spojených států Amerických *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), která je provozovatelem těchto družic. Současně bývají tyto satelity označovány jako družice série Tiros-N (podle názvu první družice, jenž byla vypuštěna na oběžnou dráhu kolem Země v říjnu roku 1978) (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).

V roce 1998 byla zahájena éra nové generace družic NOAA vypuštěním satelitu NOAA-15 (NOAA-K¹), po němž následovaly další družice NOAA-16 (NOAA-L) a 17 (NOAA-M). Vzhledem ke konstrukčním odlišnostem od předchozích satelitů jsou tyto družice označovány jako družice série KLM. Zatím nejnovější družicí je satelit NOAA-18 (NOAA-N), konstrukčně odpovídající sérii KLM.

Družice NOAA jsou příkladem družic na polární dráze. Sklon jejich dráhy k rovině rovníku je zhruba 99°. Satelity tak neobíhají Zemi direktně (tj. od západu k východu), ale retrográdně (tj. od východu k západu). Díky tomu družice překračuje rovinu rovníku vždy o 25,5° západněji než při předchozím obletu (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004). Satelity se pohybují ve výšce okolo 850 km nad povrchem Země. Výška letu družice byla zvolena tak, aby bylo dosaženo optimální velikosti snímaného území pro jednotlivé přístroje. Této výšce odpovídá oběžná doba přibližně 102 minut². Dráha družic NOAA je heliosynchronní – družice přelétá dané místo vždy ve stejném místním slunečním čase (postavení družice-Země-Slunce je při všech obletech stejné). Údaje o drahách jednotlivých družic jsou shrnuty v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Družice NOAA				
označení	start	perigeum (km)	apogeum (km)	inklinace (°)
NOAA 15	13.5.1998	801	818	98,5
NOAA 16	21.9.2000	844	858	99,1
NOAA 17	24.6.2002	803	820	98,6
NOAA 18	20.5.2005	844	866	98,9

zdroj: www.heavens-above.com (2.3.2008)

¹ v době před startem je družice označována písmenem a teprve po dosažení plánované dráhy je přejmenována a označena číslicí. Označení NOAA KLM tedy odpovídá družicím NOAA 15,16,17, NOAA-N pak družici NOAA-18.

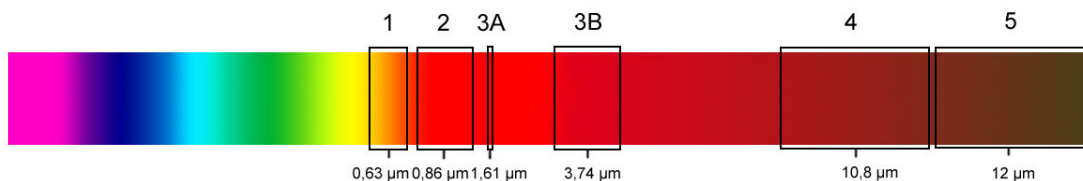
² Tento časový interval je označován jako uzlová perioda – vyjadřuje dobu mezi dvěma průchody stejným uzlem (tj. místem, kde rovina dráhy protíná rovinu zemského rovníku) dráhy. Tato doba se však liší od tzv. siderické periody, jež je vztažena k nehybnému bodu v nekonečnu na nebeské sféře (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).

4.2 Přístrojové vybavení družic NOAA

Hlavním přístrojem družic NOAA je mechanický radiometr *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). Družice série NOAA-KLM a družice NOAA-N nesou již třetí generaci tohoto přístroje, označovanou jako AVHRR/3. Data z tohoto přístroje jsou klíčovými podklady pro zpracování této práce. Radiometr AVHRR/3 snímá zemský povrch v šesti spektrálních pásmech – tabulka 4.2 a obrázek 4.1. V prvních třech kanálech se uplatňuje zejména odražené záření Slunce, v kanálech 4 a 5 pak tepelné záření emitované zemským povrchem. Kanál 3B je v denních hodinách kanálem smíšeným, v noci pak čistě tepelným (www.chmi.cz/meteo/sat/inf_noaa.html).

kanál	vlnová délka (μm)	obor
1	0,580-0,680	VIS-R
2	0,725-1,000	NIR
3A	1,580-1,640	SWIR
3B	3,550-3,930	SWIR/TIR
4	10,300-11,300	TIR
5	11,500-12,500	TIR

zdroj: GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004



Obrázek 4.1: Spektrální kanály radiometru AVHRR

Radiometr AVHRR snímá pás území vymezený zorným polem $\pm 55,4^\circ$ (od nadiru). Tento pás je tvořen 2048 hodnotami odpovídajícími jednotlivým obrazovým bodům (pixelům). Data jsou snímána (a následně vysílána) v 10-bitové formě – v každém kanále můžeme pro daný pixel rozlišit 1024 úrovní signálu. Snímání je pro každé spektrální pásmo prováděno tak, aby si jednotlivé pixely navzájem polohově odpovídaly – aby pixel o obrazových souřadnicích P,L (sloupec, řádka) v každém spektrálním pásmu vyjadřoval množství energie přicházející z jednoho místa na povrchu Země. Radiometr dosahuje v nadiru geometrického rozlišení $1,1 \times 1,1$ km. Optickou část radiometru tvoří zrcadlový objektiv typu Cassegrain o průměru 20,32 cm (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004). Technické parametry radiometru AVHRR/3 jsou shrnuty v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3: Radiometr AVHRR – technické parametry	
spektrální rozlišení	6 pásem
radiometrické rozlišení	10-bit (1024)
geometrické rozlišení (nadir)	1,1 km
celkové zorné pole	±55,4°
okamžité zorné pole	1,3 mrad
skenovací frekvence	39,936 Hz
objektiv	Cassegrain d=20,32 cm
zdroj: GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004	

Radiometr AVHRR/3 se od předchozí verze přístroje (AVHRR/2) liší přítomností kanálu 3A (v případě radiometru AVHRR/2 byl kanál 3B označován jako kanál 3). Vzhledem k přenosové kapacitě družice však není možné přenášet více než 5 pásem zároveň. Ve standardním přenosovém schématu je proto v denních hodinách aktivní kanál 3A, zatímco v nočních hodinách kanál 3B. Jak ale píše RNDr. Martin Setvák ve svém e-mailu ze dne 12.12.2007, „přepnutí na kanál 3A se uskutečňuje pouze u družice NOAA-17. NOAA-15 a NOAA-18 snímají po celých 24 hodin v kanálu 3B.“

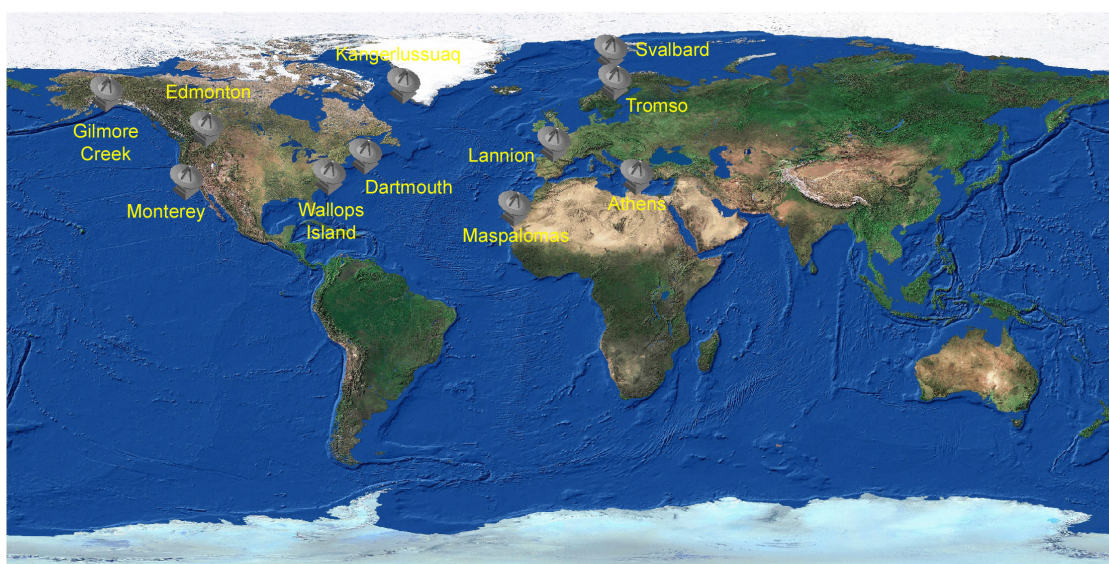
Data pořízená radiometrem jsou odesílána na zem digitálním přenosem označovaným jako *High Resolution Picture Transmission* (HRPT). V tomto případě jsou data odesílána ihned po naměření – v reálném čase. Z tohoto vyplývá, že data pomocí přenosu HRPT můžeme získat pouze z oblastí, které jsou v zorném poli družice v době, kdy družice sama je v místě přijímací stanice nad obzorem. Družice však zároveň veškerá naměřená data zaznamenává se sníženým geometrickým rozlišením (4×4 km) na palubní záznamová zařízení, odkud mohou být později odeslána k přijímací stanici. Tento formát dat je označován jako *Global Area Coverage* (GAC). Kromě toho jsou na palubní záznamová zařízení zaznamenávána data za vybrané oblasti v plném rozlišení. Tato data nesou označení *Local Area Coverage* (LAC). Díky tomu je tedy teoreticky možné získat data (ať v plném či sníženém geometrickém rozlišení) i z míst, kdy je družice pro naši přijímací stanici pod obzorem. Přehled primárních stanic pro příjem dat z družic NOAA je uveden na obrázku 4.2. Kromě digitálního přenosu HRPT vysílá družice data pomocí analogového přenosu označeného jako *Automatic Picture Transmission* (APT). V tomto případě je přenášena pouze každá třetí řádka, což ve výsledku opět znamená snížení geometrického rozlišení. Vzhledem k velmi nízkým technickým nárokům pro příjem dat z družic NOAA v režimu APT je tento systém přenosu využíván zejména amatéry.

Kromě mechanického radiometru AVHRR nesou družice NOAA další přístroje sloužící zejména pro sledování zemské atmosféry. Prvním z těchto přístrojů je mechanický radiometr *High Resolution Infrared Radiation Sounder* (HIRS/3) umožňující diskrétní měření záření zemské atmosféry ve 20 spektrálních pásmech (1 ve viditelném oboru, 7 v oboru blízkého infračerveného záření a 12 v oboru tepelného záření). Data jsou využívána k výpočtu výškového teplotního profilu atmosféry do výšky okolo 40 km (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).

Přístrojový modul *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU) obsahuje dvě nezávislé jednotky (AMSU-A a AMSU-B) umožňující sledování atmosféry Země v celkem 25

spektrálních pásmech (AMSU-A 20 pásem, AMSU-B 5 pásem). Tyto přístroje jsou využívány jednak pro výpočet vertikálního teplotního profilu atmosféry do výšky přibližně 45 km. Kromě toho poskytují informace o obsahu vody v různých vrstvách atmosféry ve všech skupenstvích³ (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).

Družice NOAA nesou rovněž spektrometr *Space Environment Monitor* (SEM-2) měřící intenzitu toku elektricky nabitých částic slunečního větru. Měření slouží zejména ke studiu chování zemské magnetosféry a jevů odehrávajících se ve vysokých vrstvách atmosféry (např. polární záře). Studium slunečního záření v blízkém ultrafialovém oboru probíhá na základě dat pořizovaných přístrojem *Solar Backscatter Ultraviolet Spectral Radiometer* (SBUV/2). Z těchto dat je možné sledovat například obsah ozonu v ozonosféře a dále vertikální rozložení ozonu v atmosféře (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).



Obrázek 4.2: Přehled primárních stanic pro příjem dat z družic NOAA

³ výjimku tvoří pouze malé ledové částičky, které jsou pro mikrovlnné záření průhledné (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON, 2004)

5 DETEKCE LESNÍCH POŽÁRŮ NA ZÁKLADĚ DAT DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ

5.1 Lesní požáry

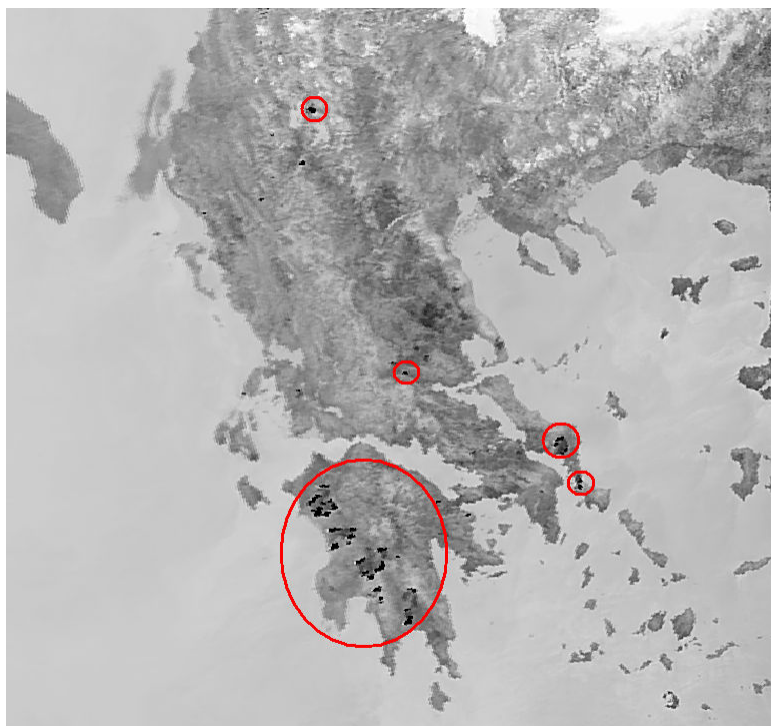
Lesní požáry mohou být pouze počátkem série procesů s negativním dopadem na celý ekosystém v místě požáru. Jedná se zejména o možnost degradace půd, zvýšení půdní eroze, poškození hydrologického cyklu v oblasti požáru či dezertifikace oblasti. Lesní požáry mohou též vyvolat lokální klimatické změny, přičemž v případě požárů skutečně velkých rozměrů můžeme hovořit i o vlivu na globální úrovni. Z tohoto pohledu jsou těmito procesy nejvíce zranitelné semiaridní oblasti, případně aridní oblasti. Monitoring výskytu požárů je proto velmi důležitý.

Pro zpracování této práce byly vybrány dva velké lesní požáry, na nichž byly demonstrovány základní principy detekce požárů založené na metodách dálkového průzkumu Země. Prvním je požár na Řeckém poloostrově Peloponésos z 23.8.2007, druhým je soustava velkých lesních požárů, jenž se odehrála na konci října roku 2007 v Kalifornii (22.10.2007). Obě sledované oblasti jsou si velmi podobné svými klimatickými podmínkami (náleží do oblastí s převládajícím mediteránním klimatem). Tato skutečnost je z hlediska zpracování této práce výhodná zejména proto, že je možné vyvarovat se chyb vyplývajících z různého chování lesních požárů v různých klimatických oblastech. Jak uvádějí DOMENIKIOTIS, LOUKAS a DALEZIOS (2002, s.115) „Lesní požáry, vyskytující se v mediteránních oblastech, zpravidla postihují borovicové a piniové lesy, křovinné porosty a někdy také zemědělské kultury. V Řecku je každoročně detekováno více než 2000 lesních požárů, jimž padne za oběť území o průměrné rozloze 500 km². Drtivá většina těchto požárů patří mezi tzv. požáry malého měřítka. Jako požáry velkého měřítka jsou v USA považovány ty požáry, které postihnou území o minimální rozloze 4 km², v Řecku 1 km². Požáry velkého měřítka tvoří pouhých 5,4 % z celkového množství všech požárů, avšak 72 % z hlediska celkové plochy požáry postižené.“

5.2 Základní principy používaných metod k detekci lesních požárů

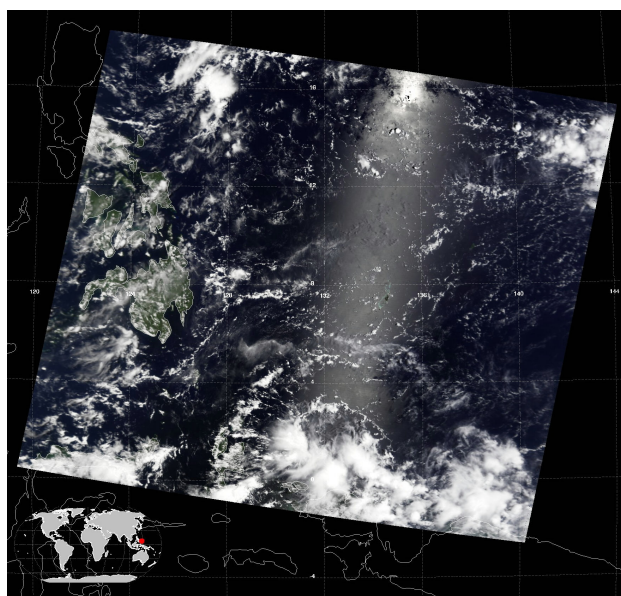
Současné metody detekce požárů mohou být rozděleny do dvou základních kategorií. První skupina se soustředí na detekci požárů pomocí vyhledávání míst s abnormálně vysokou teplotou. Tato místa jsou označována jako hotspots (horké skvrny – místa vykazující abnormálně vysokou povrchovou teplotu). Ty mohou, avšak nutně ještě nemusí, odpovídat aktivním požárům. Typický vzhled hotspots na družicových snímcích ilustruje obrázek 5.1

Podle FRASER, LI a CIHLAR (2000) je pro detekci hotspots v případě práce s daty NOAA/AVHRR rozhodující kanál 3B detekující záření v rozsahu vlnových délek 3,550-3,930 μm, jelikož je nejcitlivější v oblasti energie odpovídající teplotě hořící vegetace.



Obrázek 5.1: Vzhled hotspots na družicových snímcích – období požárů v Řecku (26.9.2007) družicí NOAA 18 ve spektrální kanále 3B.

Informace z ostatních kanálů jsou pak využity k redukci a eliminaci falešných hotspots vzniklých zejména vlivem objektů s vysokou odrazivostí, horkými povrchy a glintovým efektem. Glintový efekt je optický jev vznikající v případě, že se sluneční světlo odráží od hladiny oceánu pod stejným úhlem, pod kterým ji snímá senzor družice. Jev se projevuje ve formě jasného stříbřitého pásu případně skvrny (www.wikipedia.org, staženo 3.3.2008). Příklad glintového efektu názorně dokládá obrázek 5.2. Snímek byl pořízen družicí Terra (MODIS) 1.8.2007.



Obrázek 5.2: Glintový efekt Příklad vlivu tzv. glintového efektu na družicová data.
Zdroj: <http://modisatmos.gsfc.nasa.gov>

Druhá skupina algoritmů se soustředí na detekci poškození vegetace v důsledku požárů pomocí normalizovaného vegetačního indexu (NDVI).

Normalizovaný vegetační index je parametr založený na spektrálním chování vegetace v oboru blízkého infračerveného a viditelného záření. Jeho hodnota je v přímém vztahu k množství chlorofylu obsaženého v rostlinách. Díky tomu je možné pomocí tohoto indexu odhadnout hustotu, případně i fyzický stav vegetace na zájmovém území (poškozená vegetace se obvykle vyznačuje tím, že obsahuje jen malé množství chlorofylu). Normalizovaný vegetační index je vyjádřen vztahem (DOMENIKIOTIS, LOUKAS a DALEZIOS; 2002):

$$NDVI = \frac{NIR - VIS_R}{NIR + VIS_R},$$

kde

NIR...odrazivost povrchu v oboru blízkého infračerveného záření,

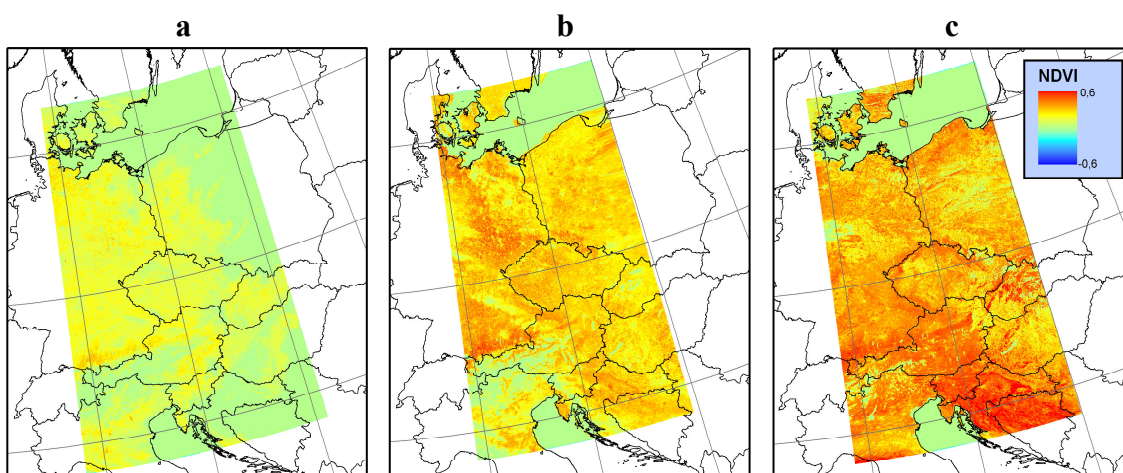
R...odrazivost v červené oblasti viditelného záření.

Zdravá zelená vegetace se vyznačuje tím, že její odrazivost je v červené oblasti viditelného záření poměrně nízká na rozdíl od blízkého infračerveného záření, kde je naopak velmi vysoká. Díky tomu, že je odrazivost vegetace v oblasti blízkého infračerveného záření vyšší než v červené oblasti viditelného záření, je i hodnota NDVI kladná. Naopak například v případě vody je odrazivost v oboru NIR mnohem nižší než v oblasti viditelného záření, a proto je v tomto případě hodnota NDVI záporná. Stručný přehled o přibližných hodnotách vegetačního indexu NDVI je uveden v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: Normalizovaný vegetační index	
povrch	NDVI
hustá vegetace	0,500
středně hustá vegetace	0,140
řídka vegetace	0,090
holá půda	0,025
oblačnost	0,002
sníh a led	-0,046
voda	-0,257
zdroj: DOMENIKIOTIS, LOUKAS, DALEZIOS (2002)	

Při práci s daty NOAA/AVHRR používáme pro výpočet vegetačního indexu data z kanálu 1 (VIS_R - 0,580-0,680 μm) a kanálu 2 (NIR - 0,725-1,000 μm). V případě požáru, při kterém je vegetace spálena, dochází ke zvýšení odrazivosti v oblasti viditelného záření (kanál 1) a naopak ke snížení v oblasti infračerveného záření (kanál 2). Výsledkem je tedy rapidní pokles hodnoty NDVI pro místa postižená požárem. Tyto poklesy hodnoty NDVI však mohou být způsobeny i jinými vlivy – suchem, sezónními změnami vegetace, sklizní dřeva apod. (FRASER, LI, CIHLAR; 2000). Vliv sezónních změn na hodnotu NDVI názorně demonstruje obrázek. 5.3.

Trojice snímků názorně ilustruje změny hodnoty vegetačního NDVI v různých ročních obdobích. První snímek (a) byl pořízen družicí NOAA 18 10.2.2008 ve 12:10 UT – tedy v době, kdy je většina vegetace v nezeleném stavu. Druhý snímek (b) zachycuje stejnou oblast 13.4.2007 (snímek pořízen družicí NOAA 18 ve 12:34 UT). Snímek zcela vpravo (c) byl pořízen družicí NOAA 18 16.7.2007 v 11:32 UT. Výrazný je zde především rozdíl mezi únorovým snímkem, pořízeným v době, kdy byla většina vegetace v nezeleném (klidovém) stavu, a dubnovým snímkem, na kterém již došlo k olistění vegetace a tudíž i k radiálnímu nárůstu hodnot indexu NDVI. Poměrně dobře je možné sledovat též ústup sněhu (s nízkým vegetačním indexem) především v oblasti Alp.



Obrázek 5.3: Sezónní změny hodnot vegetačního indexu NDVI

5.3 Současné metody detekce lesních požárů

Podle PU, et al. (2004) mohou být současné metody detekce požárů rozděleny podle technického zpracování družicových dat do dvou skupin. První skupina metod využívá empiricky odvozené prahové hodnoty zkoumaných parametrů, na jejichž základě jsou vybrány prvky s potenciálním výskytem aktivního požáru. Výhoda těchto metod spočívá především v relativní jednoduchosti jejich zpracování a snadnosti výpočtu. Jejich omezením je však to, že mohou být efektivně použity vždy jen lokálně pro konkrétní klimatickou a vegetační oblast pro níž byly navrženy (vzhledem k tomu, že se v různých typech ekosystémů chovají lesní požáry odlišně). Příkladem této skupiny detekčních metod může být algoritmus vyvinutý Kanadským centrem pro dálkový průzkum Země (*Canada Centre for Remote Sensing - CCRS*) označovaný jako *CCRS Fire Detection Algorithm (CFDA)* – LI et al. (2000a).

Druhá skupina detekčních metod je založena na pružné změně prahových hodnot měřených parametrů v závislosti na druhu ekosystému případně klimatických podmínkách, v nichž jsou dané metody aplikovány. V jednom výpočetním algoritmu je tak ošetřen vliv různých podmínek v různých částech světa, přičemž snahou autorů těchto algoritmů je možnost jejich globálního využití. Tyto metody jsou označovány jako kontextuální (PU et al., 2004).

Příkladem této skupiny metod je detekční algoritmus využívaný v rámci Mezinárodního programu pro geosféru a biosféru (*International Geosphere and Biosphere Programme - IGBP*) – LI et al. (2000a). Jiným příkladem kontextuálních detekčních algoritmů může být zcela nová metoda označovaná jako *Hotspots and NDVI Differencing Synergy* (HANDS), která na rozdíl od algoritmů CFDA a IGBP není založena pouze na detekci hotspots, avšak zároveň bere v úvahu také změny vegetace, k nimž díky požárům v zájmovém území došlo. Z tohoto důvodu se tato metoda zdá být v porovnání s předchozími algoritmy mnohem pružnější, přičemž umožňuje radikálně snížit množství tzv. falešných hotspots (hotspots, které nejsou způsobeny požárem, ale jinými vlivy – např. horkým povrchem na pozadí, vysoce odrazivou oblačností či glintovým efektem).

6 ZÁKLADNÍ PRINCIPY DETEKČNÍ ANALÝZY HANDS

Algoritmus HANDS byl vyvinut jako metoda komplexně propojující detekci horkých skvrn (hotspots) společně se sledováním změn vegetačního pokryvu v důsledku požáru. Tímto komplexním přístupem se tato metoda zcela zásadně odlišuje od starších algoritmů beroucích v úvahu vždy pouze jediný z těchto dvou parametrů. Druhou výhodou metody HANDS je skutečnost, že se jedná o metodu kontextuální – tedy pružně měnící prahové hodnoty jednotlivých sledovaných parametrů, na jejichž základě dochází k detekci míst s potenciálním výskytem požáru podle toho, v jakých klimatických a biosférických podmínkách je metoda aplikována.

Celý algoritmus je řetězcem navzájem na sebe navazujících podmínek, které musejí být splněny, aby mohl být daný obrazový bod klasifikován jako místo s výskytem aktivního požáru. V případě nesplnění těchto podmínek je pak daný pixel klasifikován buď jako místo, které požárem bylo postiženo, ale aktivní oheň se na něm již nenachází (typicky spáleniště po uhašení požáru) nebo místo, které nebylo nijak pozměněno. Tato klasifikace se odvíjí od výsledků aritmetických operací provedených mezi jednotlivými spektrálními kanály, přičemž tyto operace jsou vždy navrženy tak, aby dokázaly odhalit falešné hotspots, vznikající z různých důvodů. Předpokladem těchto aritmetických operací je kalibrace dat z relativních hodnot na odrazivost (v případě kanálů 1 a 2 v nichž se uplatňuje odražené sluneční záření), respektive na jasovou teplotu (u kanálů 3B, 4 a 5¹ v nichž převládá záření Země). Jasová teplota je teplota, jakou by měl zkoumaný povrchu o dané intenzitě vyzařování v případě, že by se jednalo o absolutně černé těleso (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA; 2000).

Analýza HANDS je složena ze dvou základních částí – detekce hotspots a následně potvrzení detekovaných hotspots pomocí změny NDVI. Požár velkých rozměrů je vždy spojen se změnou NDVI. V případě hotspots, jimž žádná změna NDVI neodpovídá, se jedná buď o falešné hotspots nebo o požáry malých rozměrů, které v měřítku geometrického rozlišení radiometru AVHRR (1100 m/pixel) nejsou doprovázeny signifikantní změnou vegetačního indexu. Detekce hotspots v rámci analýzy HANDS vychází z detekční metody označované jako CFDA (LI et al, 2000), jenž je v tomto případě doplněna o některé další testy.

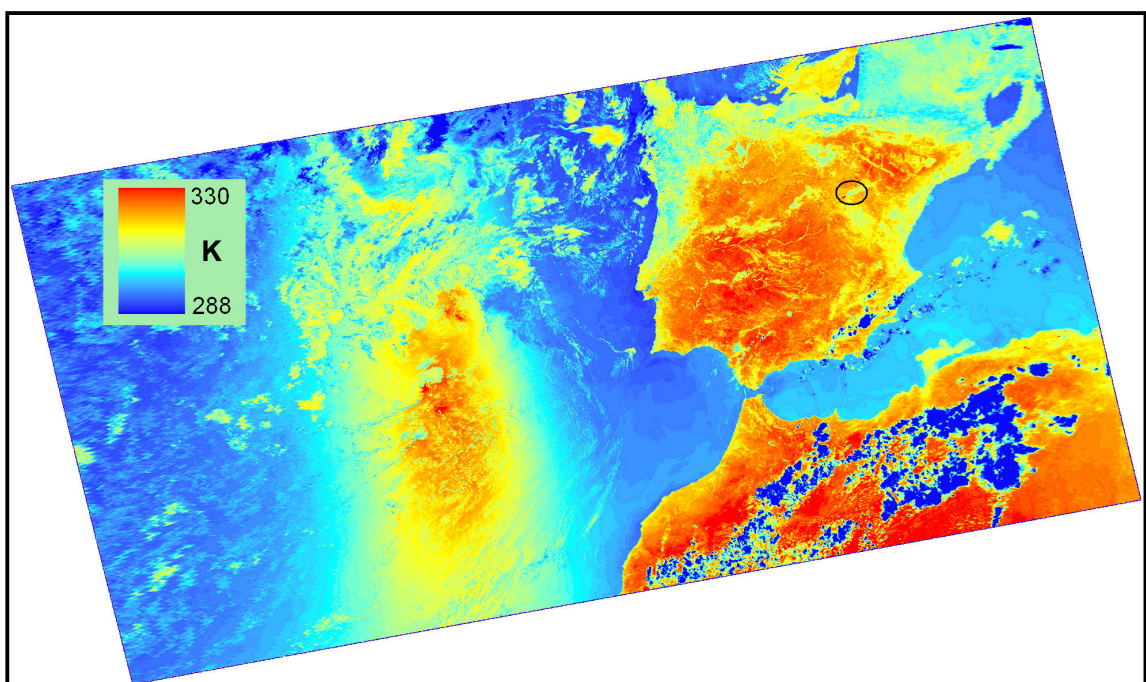
Celkový postup detekce hotspots pomocí metody HANDS může být podle (R.PU, et al. 2004, s. 277) shrnut v těchto základních krocích:

- **$T_3 \geq 315 \text{ K}$:** Spektrální kanál 3B detekuje záření o vlnové délce přibližně 3,7 μm . Maximální intenzita vyzařování v této vlnové délce odpovídá podle Planckova zákona vyzařování tělesům o teplotě přibližně 800 K, což je shodou okolností hodnota velmi

¹ v dalším textu odpovídají zkratky R_1 a R_2 odrazivosti spektrálních kanálů 1 a 2, resp. T_3 , T_4 a T_5 jasové teplotě spektrálních kanálů 3B, 4 a 5.

blízká teplotě hořící vegetace (LI, NADON, CIHLAR; 2000b). Radiometr AVHRR však není primárně konstruován k detekci požárů, a proto je jeho citlivost v této oblasti již velmi nízká. K saturaci čidla totiž dochází již při dopadání energie odpovídající jasové teplotě přibližně 320 K. Teplota hořící vegetace je přitom rozložena do poměrně širokého intervalu – od zhruba 500 K po více než 1000 K. Hodnota 315 K, rozhodující pro tento test, byla zvolena na základě empirických zkušeností přičemž umožňuje zachytit téměř všechny požáry v jasných oblastech nebo oblastech pokrytých tenkou vrstvou oblačnosti. Na druhou stranu však vede též k velkému množství falešných poplachů způsobených glintovým efektem, odrazivými povrchy, stárnutí detektoru apod.

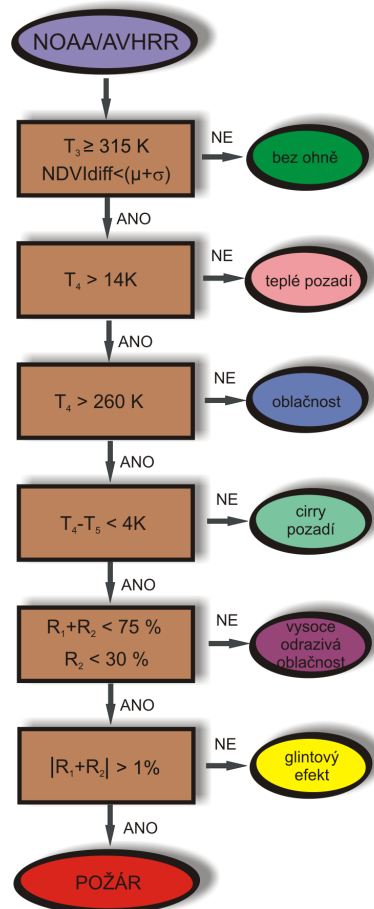
- **$T_3 - T_4 \geq 14$ K:** Rozdíl spektrálních kanálů 3 a 4 je určen k odstranění falešných hotspots vznikajícím díky přítomnosti horkých povrchů. Tato situace je typická zejména pro mediteránní oblasti – příkladem mohou být sluncem rozpálené holé povrchy v jižní Kalifornii. V případě skutečného požáru totiž detekujeme v kanále 3B mnohem více energie než v kanále 4, díky čemuž je jejich výsledný rozdíl vysoký. Také hodnota 14 K byla odvozena empiricky. Typický příklad situace, při které může být sluncem rozpálený povrch chybně vyhodnocen jako požár ilustruje obrázek 6.1. Snímek pořízený 16.7.2005 družicí NOAA 16 v průběhu požárů ve Španělsku. Jasová teplota Sluncem rozežřátého povrchu pevniny na Pyrenejském poloostrově a v severní Africe dosahuje hodnot blízkých prahové hodnotě 315 K, na níž je založena detekce požárů. Snímek též ilustruje skutečnost, že takto vysoké jasové teploty může být dosaženo i vlivem glintového efektu (vlevo). Vlastní požár se nachází v pravé horní části snímku (zvýrazněno).



Obrázek 6.1: Vliv sluncem rozežřátých povrchů a glintového efektu

- $T_4 \geq 260 \text{ K}$: Kombinace spektrálních kanálů 3B a 4 rovněž umožňuje vyloučit vliv oblačnosti. Spektrální kanál 3B se v denních hodinách chová jako smíšený kanál – uplatňuje se v něm jak odražené sluneční záření, tak i záření Země. V kanále 4 se uplatňuje pouze záření Země. Záření, které odráží oblačnost, může být v některých případech dostatečné na to, aby vedlo k saturaci kanálu 3B, avšak nikoliv kanálu 4.
- $T_4 - T_5 < 4 \text{ K}$ a $T_3 - T_4 > 19 \text{ K}$: V některých případech mohou tenké cirrovité mraky v kombinaci s vlivem horkých povrchů způsobit saturaci kanálu 3B, ale zároveň projít testem $T_3 - T_4 \geq 14 \text{ K}$. Pro cirrovitou oblačnost je typické, že její jasová teplota v kanálu 3B je poměrně vysoká, díky tomu, že se vedle samotného tepelného záření Země uplatňuje i odražené záření Slunce – cirrovitá oblačnost je typická poměrně vysokou odrazivostí.
- $R_1 + R_2 < 75 \%$ a $R_2 < 30 \%$: Tento test umožňuje eliminovat falešné hotspots způsobené oblačností a jinými objekty s vysokou odrazivostí, které prošly předchozími testy.
- $|R_1 - R_2| \geq 1 \%$ Test eliminuje falešné hotspots způsobené glintovým efektem.

Jednotlivé kroky detekční analýzy HANDS dokumentuje obrázek 6.2:



Obrázek 6.2: Funkční struktura detekčního algoritmu HANDS

Pro vyjádření změn vegetačního krytu způsobeného požárem je v případě metody HANDS použito porovnání hodnot NDVI. V praxi je v tomto případě využíváno několikadenních kompozic (až 30 dní) vzhledem k tomu, že metoda je určena pro kontinuální monitoring stavu lesních požárů na zájmovém území. Pro vyjádření příslušné podmínky, ovlivňující celkovou klasifikaci zkoumaného pixelu, je tedy nejprve nutné vytvořit rozdíl hodnot NDVI v období požáru a před ním. Zmíněná podmínka je pak definována jako (R.PU, et al., 2004):

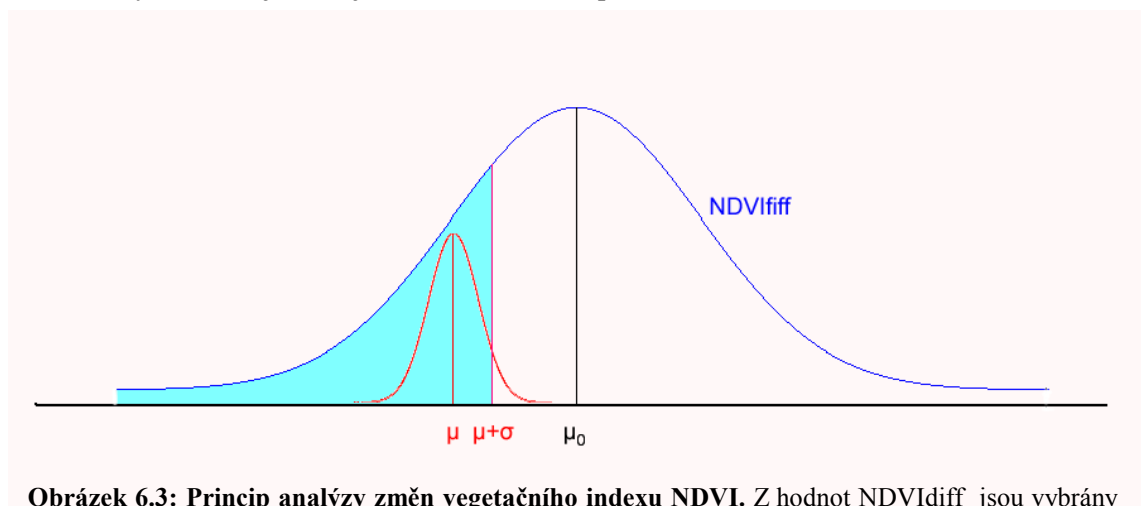
$$NDVI_{diff} < (\mu + \sigma),$$

kde

NDVI_{diff}...rozdíl hodnot NDVI v období po (resp. v průběhu) požáru, s hodnotami v období před vypuknutím požáru,

μ a σ ...statistické charakteristiky hodnot NDVI v plochách vymezených testem $T_3 \geq 315$ K. μ zde má význam aritmetického průměru těchto hodnot, σ pak jejich směrodatné odchylky.

Pro tento test je nejprve nutné vymežit oblasti potenciálních hotspots testem $T_3 \geq 315$ K. V takto vymezených oblastech vypočteme z rozdílu NDVI_{diff} průměrnou hodnotu změny vegetačního indexu (μ) a směrodatnou odchylku (σ) od tohoto průměru. Parametry μ a σ aplikujeme v rámci podmínky uvedené výše. Princip potvrzování hotspots s využitím změny NDVI ilustruje obrázek 6.3. Kromě potvrzování detekovaných hotspots je možné pomocí změn hodnot vegetačního indexu NDVI vymezovat celkový rozsah požárem postižených území. Tato část metody HANDS je však již mimo rámec této práce.



Obrázek 6.3: Princip analýzy změn vegetačního indexu NDVI. Z hodnot NDVI_{diff} jsou vybrány hodnoty odpovídající místům pro něž platí podmínka $T_3 \geq 315$ K (červeně). Následně je proveden výpočet $\mu + \sigma$. S tímto součtem jsou pak porovnány všechny hodnoty NDVI na základě podmínky $NDVI_{diff} < (\mu + \sigma)$.

Právě díky způsobu, jakým je podmínka pro změnu hodnot NDVI definována, je metoda HANDS zařazena mezi kontextuální detekční metody, neboť zde neexistuje, jako v případě detekce hotspots, žádná pevně daná prahová hodnota. Prahová hodnota rozhodující o tom, zda se v místě reprezentovaném daným pixelem nachází (případně nacházel) požár, je dána aktuální situací vegetace v místě našeho zájmu.

7 PŘÍPRAVA DAT PRO ANALÝZU HANDS

7.1 Vstupní data

Prvním krokem aplikace detekční metody HANDS bylo vyhledání a získání potřebných vstupních dat. Vzhledem k tomu, že celá tato práce je pojata jako ověřování možností výše zmíněné metody, byla vstupní data vybrána zcela cíleně tak, aby obsahovala území, na němž v době pořízení probíhal významný lesní požár. Informace o těchto významných požárech byly zjištěny prostřednictvím galerie archivních družicových snímků na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu (<http://www.chmi.cz/meteo/sat/galerie/gal.html>). Jako názorné příklady, odpovídající potřebám této práce, byly zvoleny požáry v Řecku (23.–27.8.2007). V průběhu přípravné fáze propukly velké požáry v Kalifornii (22.–27.10.2007).

Další součástí práce bylo vyhledání údajů o velkých lesních požárech, které se odehrály na území České republiky. K tomuto účelu byly využity údaje uvedené v diplomové práci Zuzany Jankovské (JANKOVSKÁ, 2006). Rozhodujícím činitelem pro výběr byla velikost plochy, kterou daný požár postihl. Z uvedených dat však vyšlo najevo, že drtivá většina lesních požárů v ČR postihla příliš malou plochu na to, aby mohly být na družicových snímcích NOAA rozlišitelné (typicky okolo 0,25 km²). Požáry, které postihly plochu větší než 1 km², se ve sledovaném období (1992–2004) odehrály pouze čtyři.

Jiným parametrem, který ovlivnil výběr dat pro další zpracování, byla oblačnost. Pro účely práce bylo nezbytné, aby v době požáru panovala jasná, bezoblačná obloha. Meteorologická situace v době jednotlivých požárů byla zjišťována pomocí náhledových map (*quicklook*) uveřejňovaných na webových stránkách přijímací stanice Dundee (*Dundee Satellite Receiving Station, University of Dundee, UK – Skotsko*; <http://www.sat.dundee.ac.uk/>; příloha 1). K dispozici jsou náhledy všech zde přijatých dat (od roku 1978) uspořádaných do přehledného archivu. Přístup k tomuto archivu vyžaduje bezplatnou registraci. Pomocí náhledových map a k nim přiložených informací bylo možné určit veškeré údaje potřebné k pozdějšímu dohledání požadovaných dat v archivu úřadu NOAA (jednalo se o datum a čas pořízení dat, družici, která data pořídila a číslo oběhu družice kolem Země).

Vybraná data byla získána z elektronického archivu úřadu NOAA označovaného jako *Comprehensive Large Array data Stewardship System* (CLASS). K nalezení potřebných datových souborů bylo využito údajů zjištěných pomocí náhledových map a přiložených informací na webových stránkách stanice Dundee. Příklad těchto náhledových map je uveden v příloze 1. Pro vyhledání dat v archivu CLASS je potřeba zadat datum (případně časové rozpětí) pořízení hledaných dat, formát dat (HRPT, LAC, GAC, FRAC¹) a družici, jenž hledaná data pořídila. Jako zcela zásadní se ukázalo vymezení zájmové oblasti na připojené orientační

¹ FRAC – *Full Resolution Area Coverage* – data pořizovaná radiometrem AVHRR na evropských družicích MetOp

mapce. V případě, že tato oblast nebyla vymezena, uvedl program ve výsledcích hledání pouze data týkající se území Spojených států Amerických. Z dat, která splňují naše vstupní podmínky (tj. datum, čas, družice, místo...), je možno jednoduše vybírat do „nákupního košíku“, který posléze odešleme ke zpracování. Každá objednávka dostane své identifikační číslo, pomocí něho může uživatel kdykoliv zjistit fázi zpracování, v němž se jeho požadavek právě nachází. V okamžiku, kdy je objednávka připravena, je uživatel vyrozuměn pomocí e-mailu. Data je možno ze serveru CLASS stáhnout pomocí FTP klienta (stažení dat pomocí FTP je v tomto případě zdarma, kromě toho je za poplatek možné nechat si požadovaná data zaslat na vybraném médiu).

7.2 Radiometrické korekce vstupních dat

Radiometrické korekce přijatých družicových dat byly nezbytným předpokladem pro jejich využití v rámci detekčního algoritmu HANDS. Tyto korekce mohou být rozděleny do dvou částí:

- korekce na výšku Slunce, odstraňující vliv různého úhlu dopadu slunečních paprsků v různých místech pořízené scény,
- kalibrace z relativní podoby na odrazivost (v případě spektrálních kanálů 1 a 2), respektive jasovou teplotu (spektrální kanály 3B, 4 a 5) - přijatá data v původní podobě nemají žádný fyzikální rozměr. Jednotlivé obrazové elementy nabývají hodnot 0-1023, což je dáno radiometrickou rozlišovací schopností radiometru AVHRR a způsobem kódování obrazu (10 bit).

Družicová data přístupná pomocí systému CLASS jsou poskytována ve formátu Level 1B. Drobnou komplikací je však to, že definice tohoto formátu není z hlediska různých institucí jednotná. Například definice ESA², uvedená na webových stránkách České kosmické kanceláře (<http://www.czechspace.cz/cs/pozorovani-zeme/datove-produkty>), definuje formát Level 1B jako: „radiometricky korigovaná a kalibrovaná data podaná ve fyzikálních jednotkách v plném rozlišení“. EUMETSAT pak uvádí, že: „na data jsou aplikovány kalibrační koeficienty potřebné k převedení dat na odrazivost resp. jasovou teplotu“ (EUMETSAT; AVHRR Level 1B product guide, s.13). Naproti tomu definice úřadu NOAA je značně odlišná. Podle ní se jedná o: „původní data jenž prošla kontrolou kvality. Údaje pro georeferenci a kalibraci jsou k datům připojeny, avšak nikoliv aplikovány.“ (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004). Kromě samotných obrazových dat tedy příslušný datový soubor obsahuje ještě tři textové segmenty obsahující informace o poloze družice v prostoru v době pořízení dat (*AVHRR Orbit segment*),

² ESA – *European Space Agency* – Evropská kosmická agentura

kalibračních údajích (*AVHRR Calibration/Orbital values*) a prostorovém zařazení dat (*Ground Control Points*) – příloha 2.

7.2.1 Korekce na výšku Slunce

Odrzivost objektů na zemském povrchu závisí na úhlu, pod kterým na ně dopadá sluneční záření. Výška Slunce nad obzorem se však mění jednak v průběhu roku a dále i v průběhu dne. U meteorologických družic nabývá tato problematika obzvláště velkého významu vzhledem k velké šířce zobrazovaného území, díky čemuž jsou i mezi různými místy na jednom snímku poměrně velké rozdíly. Z tohoto důvodu jsou jednotlivé hodnoty přepočítány tak, aby na všechna místa, reprezentovaná jednotlivými pixely, dopadalo sluneční záření zdánlivě kolmo. Korekce na výšku Slunce je založena na vztahu (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA; 2000) :

$$p = \frac{p'}{\cos \theta}$$

kde

p...hodnota pixelu po korekci,

p'...hodnota pixelu před korekcí,

θ ...úhlová vzdálenost Slunce od zenitu (doplňek výšky Slunce nad obzorem).

V našem případě, kdy časové rozdíly mezi jednotlivými snímky nebyly větší než 5 dní, je možné považovat pozici Slunce vzhledem ke změnám v průběhu roku za konstantní. Radiometrickou korekcí tak jsou řešeny zejména rozdíly vyplývající z různé denní doby pořízení dat, respektive ze zeměpisné polohy.

Aplikace radiometrických korekcí dat NOAA/AVHRR byla provedena v prostředí software PCI Geomatica 10.1, prostřednictvím balíku funkcí AVHRRAD. Ke zjištění hodnot úhlů θ pro jednotlivé pixely je zapotřebí znát polohu družice na oběžné dráze Země v době pořízení snímku a dále příslušné datum a čas. Tyto informace jsou obsaženy v textovém segmentu *Calibration/Orbital Values* (příloha 2). Nejdůležitější je identifikační označení satelitu, zeměpisné souřadnice středového pixelu snímku a časy pořízení prvního a posledního řádku obrazu. Při pokusu o provedení korekce pomocí balíku AVHRRAD se však vyskytl závažný problém, neboť používaná verze software PCI Geomatica neobsahovala informace o dráhových parametrech družic, jejichž data byla používána. Pomocí nápovědy příslušné funkce bylo zjištěno, že software obsahuje informace o oběžných drahách družic do NOAA 14. Údaje o dráhových elementech jednotlivých družic jsou uloženy ve formě tzv. TLE dat (*Two-Line-Element*) – příloha 3. Princip TLE dat je založen na tom, že každý řádek obsahuje informace o poloze družice v prostoru v určitém okamžiku. Z těchto informací (polohy družice

ve dvou různých časových okamžicích) je možné určit parametry dráhy satelitu. Pro další práci bylo proto nutné získat TLE data pro dráhy satelitů NOAA 17 a NOAA 18 (jejichž data byla využívána) a tato data do PCI Geomatica vložit. Zdrojem TLE dat byla internetová databáze přístupná na webových stránkách www.celestrak.com (pravidelně aktualizovaná databáze TLE dat pro různé satelity). Data jsou přístupná ve formě textového souboru (.txt). Pro použití v rámci balíku AVHRRAD bylo nutné nejprve příslušný soubor přejmenovat tak, aby jeho jméno odpovídalo identifikačnímu označení satelitu, uvedenému v kalibračním textovém segmentu, a dále jeho přeformátování (.2le). Další komplikace nastala v případě dat pořízených družicí NOAA 18. V jejich případě totiž kalibrační textové segmenty neobsahovaly identifikační označení satelitu. Proto bylo nutné nejprve tyto segmenty pomocí funkce TEXWRIT extrahovat, následně editovat (doplnit identifikační označení) a v závěru k datům opět připojit pomocí funkce TEXREAD. Po ošetření těchto problémů proběhla korekce na výšku Slunce bez dalších problémů.

7.2.2 Odrazivost a jasová teplota

Pro účely detekční metody HANDS je nutné veškerá vstupní data převést z relativního tvaru bezrozměrných čísel do absolutní podoby. Kalibrace družicových dat je obecně založena na hledání funkční závislosti mezi číselnými hodnotami zaznamenanými radiometrem a spektrální intenzitou záření přicházejícího ze snímané scény. V případě spektrálních kanálů, v nichž se uplatňuje především odražené záření Slunce (tj. kanály 1 a 2), provádíme kalibraci dat na odrazivost (vyjádřenou v %). Kanály, v nichž se uplatňuje především tepelné záření Země (tj. kanály 3B, 4 a 5), jsou převedeny na jasovou teplotu. Jasovou teplotu je možné popsat jako teplotu, kterou by těleso mělo v případě, že by jeho zářivé vlastnosti odpovídaly absolutně černému tělesu³.

Radiometr AVHRR družic NOAA je kalibrován před vypuštěním nosiče na oběžnou dráhu Země. Kalibrace kanálů 1 a 2 probíhá na principu osvětlování kulovité plochy o průměru 102 cm kalibračními lampami. Radiometr je vystaven záření, které je odraženo touto kulovou plochou. Tato předstartovní kalibrace je založena na hledání lineární závislosti mezi naměřenými hodnotami (v 10-bitové podobě) a odrazivostí kalibrační kulové plochy při různé intenzitě osvětlení podle vztahu (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004):

³ V případě absolutně černého tělesa je veškerá kinetická energie molekul přeměněna na záření, což ovšem u reálného tělesa splněno není. Spektrální intenzita vyzařování reálného tělesa je tak při dané teplotě nižší než spektrální intenzita vyzařování absolutně černého tělesa. Z toho vyplývá, že aby dosáhlo absolutně černé těleso stejné spektrální intenzity vyzařování jako těleso reálné, stačí, aby jeho teplota byla v porovnání s reálným tělesem nižší. Jasová teplota je tak vždy nižší než teplota skutečná (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA; 2000).

$$A = S \cdot C_{10} + I,$$

kde

A...odrazivost (%),

S (slope)...podíl procentuální odrazivosti k původní relativní hodnotě,

C₁₀...původní relativní hodnota pixelu v 10-bitovém tvaru,

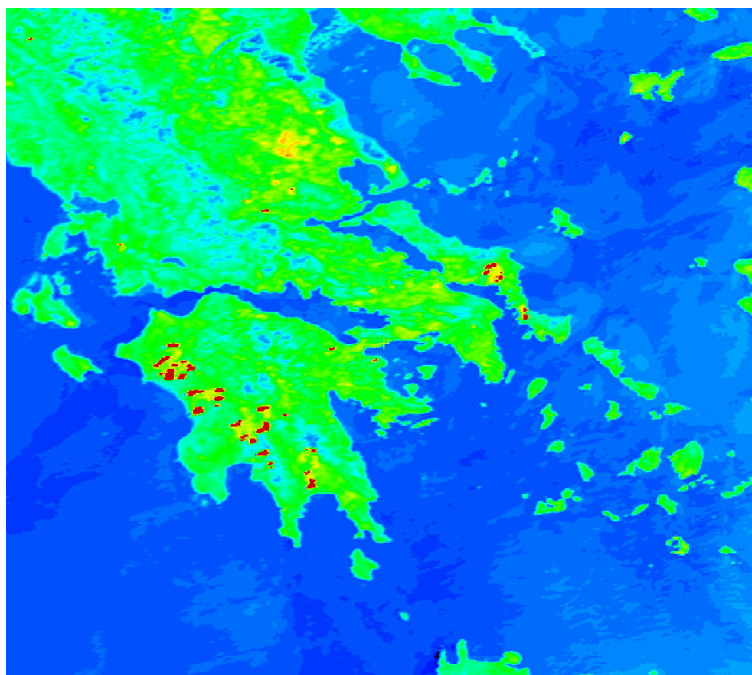
I (intercept)...procentuální odrazivost.

Hodnoty *slope* a *intercept* umožňují výpočet správné hodnoty odrazivosti jen v tom případě, že se vlastnosti čidla radiometru od poslední kalibrace nezměnily. To však v praxi splněno není, jelikož v průběhu času dochází ke změnám vlivem stárnutí radiometru. Tyto změny jsou pro spektrální kanály známy ze starších verzí radiometru AVHRR. Chování kanálu 3A je doposud neznámé (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).

Předstartovní kalibrace tepelných kanálů (3B, 4 a 5) probíhá ve speciálních vakuových komorách, kde je možné navodit podobné podmínky, v nichž je přístroj na oběžné dráze operativně nasazen. Radiometr je vystavován záření tří kalibračních těles, jejichž charakteristiky se blíží vlastnostem absolutně černého tělesa. První z nich (o teplotě 95 K) reprezentuje chladný kosmický prostor. Druhý, označovaný jako externí kalibrační cíl (*External Calibration Target - ECT*), reprezentuje povrch Země. Třetí těleso, označované jako interní kalibrační cíl (*Internal Calibration Target-ICN*), je součástí konstrukce radiometru, přičemž slouží k průběžné kalibraci na oběžné dráze. Teplota kalibračních cílů ECT a ICT je v laboratorních podmínkách zjišťována několika platinovými termometry (*Platinum Resistance Thermometer-PRT*). Kalibrace je pak provedena na základě vztahu naměřených relativních hodnot a hodnot teplot kalibračních těles určených pomocí termometrů PRT. Stejně tak jako parametry *slope* a *intercept* v případě kanálů 1, 2 a 3A, jsou hodnoty PRT pro kalibraci na jasovou teplotu rozhodující (GOODRUM, KIDWELL, WINSTON; 2004).

V prostředí používaného software PCI Geomatica v.10.1 je tento typ korekcí, stejně jako korekce na výšku Slunce, obsažen v balíku AVHRRAD. Opět je zde využito informací, jež jsou obsaženy v textovém segmentu připojeném k družicovým datům *Calibration/Orbital Values*. PCI Geomatica verze 10.1 obsahuje hodnoty parametrů S, I a PRT pouze pro družice do NOAA 14. Vzhledem k tomu, že tyto parametry jsou pro každý satelit jedinečné, bylo nutné je vyhledat a do textového segmentu doplnit (bez tohoto kroku program korekci neprovedl). Textové segmenty *Calibration/Orbital values* byly z datových souborů extrahovány pomocí funkce TEXWRIT do podoby běžného textového souboru. Hodnoty parametrů S, I a PRT byly zjištěny z NOAA KLM User's guide. Tyto parametry byly ve tvaru (jež byl zjištěn pomocí nápovědy PCI Geomatica) do textového segmentu doplněny a tento segment byl následně pomocí funkce TEXREAD k příslušným družicovým datům opět připojen (viz. příloha 2). Po tomto kroku proběhla kalibrace všech použitých dat bez problémů, přičemž vznikly zcela

nové datové vrstvy, ve kterých každý pixel nese hodnotu odpovídající výsledku kalibrace (pro spektrální kanály 1 a 2 se jedná o odrazivost vyjádřenou v procentech, pro kanály 3B, 4 a 5 jde o jasovou teplotu vyjádřenou v Kelvinech). Příklad kalibrovaných dat ilustruje obrázek 7.1:



Obrázek 7.1: Příklad kalibrovaného družicového snímku. Pseudobarevné vyjádření kalibrovaného snímku pořízeného ve spektrálním kanále 3B družicí NOAA 18 v průběhu požárů v Řecku (26.8.2007). Oproti zbytku pevniny vykazují místa požárů abnormálně vysokou teplotu (na snímku červeně)

7.3 Geometrická korekce vstupních dat

Geometrická korekce družicových dat spočívá v prostorovém zařazení jednotlivých hodnot naměřených v průběhu snímání zemského povrchu radiometrem do požadovaného souřadnicového systému. Každý obrazový prvek je možné polohově definovat na základě dvou souřadnic, ať už ve formě rovinných pravoúhlých nebo zeměpisných souřadnic. Tato poloha vyjadřuje umístění plochy, jíž daný pixel reprezentuje na povrchu Země. Jak je uvedeno v KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA (2000): „výsledkem geometrické korekce je vyhlazený, převzorkovaný obraz. Tento postup mění úroveň šedi původních dat, a proto mohou při další spektrální analýze vznikat další problémy. Z tohoto důvodu je lepší obraz převzorkovávat až po klasifikaci.“ Vzhledem k tomu, že geometrická korekce a převzorkování obrazu vede ke změnám původních hodnot jednotlivých obrazových elementů, předcházela v rámci zpracování této práce geometrické korekci korekce radiometrická.

V případě družicových dat NOAA šířených pomocí systému CLASS je možné provést prostorové zařazení dvěma způsoby:

1. Georeferencovat data na základě výpočtu polohy družice v prostoru v době pořízení dat. Pokud známe parametry oběžné dráhy družice kolem Země stejně tak jako časové rozpětí, v němž byla data pořízena, můžeme na základě technických parametrů

radiometru určit polohu jednotlivých pixelů obrazu na zemském povrchu. Tento způsob prostorového zařazení dat pak využívá informace, jenž jsou obsaženy v připojeném textovém segmentu *AVHRR Orbit segment*.

2. Použit geometrické ztotožnění provedené na základě sady vřícovacích bodů. Sada vřícovacích bodů je přiložena k obrazovým datům v textovém segmentu označeném jako *Ground Control Points (GCP)*. Segment obsahuje typicky 255 bodů, jejichž poloha v obraze je vyjádřena pixelovými souřadnicemi P a L (sloupec, řádek). Odpovídající umístění na povrchu Země je pak zadáno ve formě zeměpisné šířky a zeměpisné délky. Podle NOAA Polar Orbiter Data User's Guide (KIDWELL, 1998) jsou tyto souřadnice uvedeny v souřadném systému WGS 72.

Vzhledem k tomu, že použitý software PCI Geomatica v. 10.1 nedokázal korektně zpracovat údaje v textovém segmentu *AVHRR Orbit segment*, byla pro georeferenci dat zvolena polynomická transformace na základě vřícovacích bodů.

Vlastní geometrická korekce používaných dat proběhla v prostředí modulu *Ortho Engine* software PCI Geomatica 10.1. Pro další zpracování snímků byl zachován souřadnicový systém WGS 72 stejně tak, jako bylo zachováno geokódování obrazových dat ve formě zeměpisné šířky a zeměpisné délky. Zcela zásadním parametrem, jenž musel být před započítáním georeference zadán, byla hodnota geometrického rozlišení dat (tj. velikost plochy, jenž odpovídá jednomu pixelu v transformovaných datech). Vzhledem k tomu, že bylo zachováno geokódování obrazu na základě zeměpisné šířky a délky, musely být i rozměry obrazových bodů vyjádřeny v úhlové míře (tj. na základě délky kruhového oblouku a jemu příslušejícímu středovému úhlu – obrázek 7.2). Určení těchto hodnot bylo provedeno výpočtem na základě vztahu:

$$o = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \alpha}{360^\circ},$$

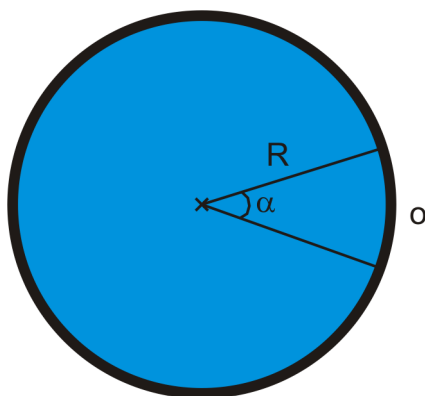
kde

o...délka kruhového oblouku reprezentujícího jeden pixel,

α ...velikost středového úhlu příslušející kruhovému oblouku o,

R...poloměr Země.

Pro tento výpočet byla Země považována za kouli o poloměru $R = 6371$ km. Touto cestou bylo zjištěno, že geometrickému rozlišení radiometru AVHRR, jenž v nadiru činí 1100 m/pixel, odpovídá středový úhel o velikosti $\alpha = 0^\circ 0' 36''$.



Obrázek 7.2: Princip výpočtu délky kruhového oblouku pro výpočet velikosti úhlu, jenž na povrchu Země přísluší délce kruhového oblouku o délce odpovídající velikosti jednoho pixelu obrazu na snímku NOAA/AVHRR ($R=6371$ km, $o=1,1$ km, $\alpha=0^{\circ}0'36''$).

Modul Ortho Engine umožňuje importovat sadu vlíčovacích bodů pouze z textových souborů. Z tohoto důvodu musel být textový segment GCP pomocí funkce GCP WRIT (v modulu *Focus*) extrahován a uložen jako samostatný textový soubor (.txt), s nímž již modul *Ortho Engine* dokáže pracovat. Poté již bylo nutné pouze zadat správné pořadí, v němž jsou jednotlivé údaje tohoto textového souboru uvedeny. Příklad vybraného textového segmentu GCP je uveden v příloze 2.

Podle PU et al. (2004, s. 277) „Při použití 6-10 vlíčovacích bodů byla georeference dat provedena s přesností lepší než 1 km.“ V rámci zpracování této práce byly pro georeferenci použity vždy veškeré dostupné vlíčovací body (celkem 255 bodů pro jeden datový soubor). Pro zpracování dat byla využita transformace 3. řádu. Díky vysokému počtu vlíčovacích bodů bylo dosaženo velmi vysoké přesnosti georeference. V drtivé většině případů byly chyby na jednotlivých vlíčovacích bodech menší než 0,5 pixelu (tj. méně než cca 550 m). Chyby větší než 1 pixel se vyskytovaly pouze výjimečně. Pro zachování co možná největší podrobnosti obrazových dat byla při geometrické transformaci použita metoda kubické konvoluce. Geometrické rozlišení dat zůstalo zachováno. Výsledky geometrických korekcí byly uloženy pro jednotlivé datové soubory ve formě textových výstupů (*residual report*). Příklad těchto reportů je uveden v příloze 4.

8 APLIKACE DETEKČNÍ METODY HANDS NA VYBRANÉ LESNÍ POŽÁRY

8.1 Detekce hotspots

Radiometricky a geometricky korigovaná a kalibrovaná družicová data je možné použít jako vstup pro detekční analýzu HANDS. Detekční analýza HANDS byla v praxi aplikována na data pořízená v průběhu série požárů, které postihly Řecko v období (23.-27.8.2007) a Kalifornii (22.-27.10.2007). V případě prvního požáru (Řecko) byl pro detekci hotspots použit snímek pořízený družicí NOAA 18 26.8.2007 v 10:52 UT. Pro detekci hotspots v průběhu požárů v Kalifornii byl použit snímek pořízený družicí NOAA 18 22.10.2007 ve 21:18 UT. Oba snímky byly cíleně vybrány tak, aby zachycovaly v požáry v období jejich maximálního rozsahu.

Prvním krokem byla příprava kombinací dat z jednotlivých spektrálních kanálů, které vstupují do procesu detekce hotspots (kapitola 6):

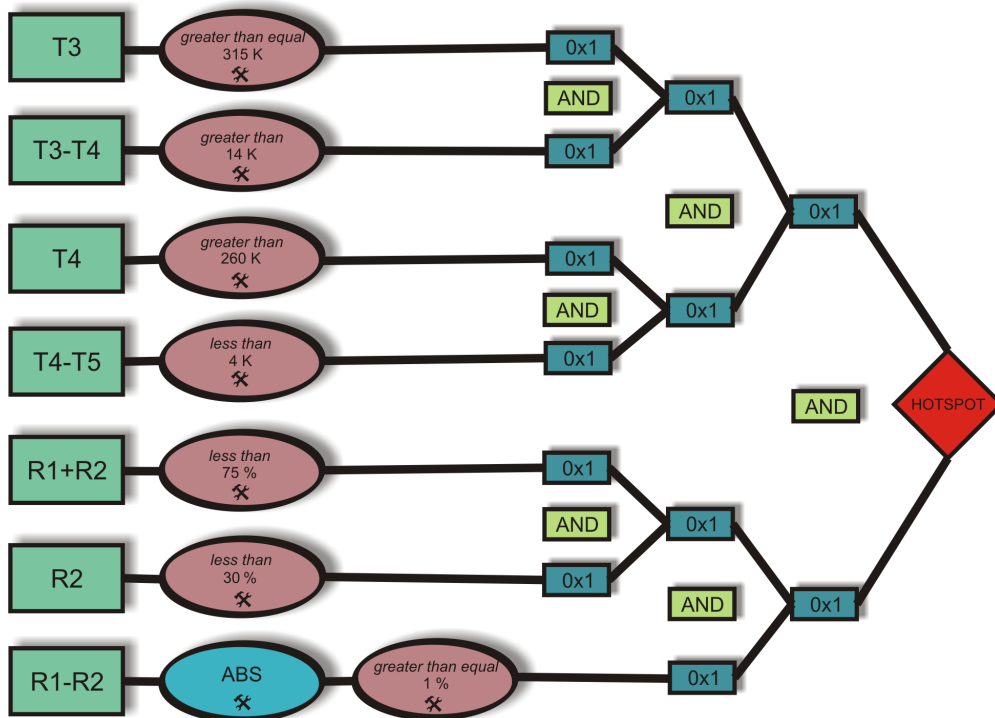
- jasovou teplotu v kanálu 3B,
- rozdíl jasových teplot kanálů 4 a 3B,
- jasovou teplotu v kanálu 4,
- rozdíl jasových teplot kanálů 4 a 5,
- součet odrazivostí kanálů 1 a 2,
- odrazivost v kanálu 2,
- rozdíl odrazivostí kanálů 1 a 2.

Aritmetické operace se spektrálními kanály, na jejichž základě byly získány výše popsané součty a rozdíly jednotlivých kanálů, byly provedeny prostřednictvím funkce ARI v rámci software PCI Geomatica v. 10.1. Vlastní analýza HANDS byla provedena pomocí nástrojů software ArcGIS 9.2. Při pokusu o načtení dat, připravených v software PCI Geomatica a uložených ve formátu .pix, však bylo zjištěno, že software ArcGIS nepodporuje geokódování tohoto datového formátu (data byla do programu načtena, avšak bez jakékoliv informace o prostorovém zařazení). Z tohoto důvodu byla data z PCI Geomatica exportována ve formě geokódovaných souborů TIFF (geotiff), s jehož geokódováním v ArcGIS problémy nebyly.

Detekce požárů v rámci analýzy HANDS má charakter řetězce postupných podmínek, které musí být splněny, aby bylo možné dané místo považovat za místo aktivního požáru (kapitola 6). Aby nebylo nutné provádět každý krok samostatně, byl pomocí modulu software ArcGIS 9.2 *Model Builder* připraven interaktivní model, jenž umožnil provedení celého řetězce podmínek najednou. Hodnoty jednotlivých pixelů obrazu jsou nejprve porovnávány s konstantní prahovou hodnotou pomocí funkcí extenze *Spatial Analyst* (*Greater than*, *Greater than equal*, *Less than*, *Less than equal*). Pomocí těchto relačních funkcí byl podle stanovených prahových

hodnot pro každou podmínku získán Boolovský rastr (je tvořen pouze hodnotami 0 – podmínka nebyla splněna, nebo 1 – podmínka byla splněna). V případě podmínky $|R_1 - R_2| \geq 1\%$ bylo nutné ještě před aplikací funkce *Greater than equal* určit absolutní hodnotu daného součtu pomocí funkce *Abs* (opět pod extenzí ArcGIS 9.2 – *Spatial Analyst*).

Na základě logických operací mezi nově vzniklými rastry bylo možné vyhledat místa, která splňují zároveň všechny požadované podmínky. Toho bylo dosaženo aplikací logické funkce *Boolean AND* extenze *Spatial Analyst*. Funkce má v tomto případě charakter násobení jednotlivých rastrů, což vychází ze skutečnosti, že pokud alespoň jedna z dílčích podmínek není splněna (rastr nabývá hodnoty 0), pak je i celkový výsledek násobení roven 0. Hodnotu 1 je možné získat pouze v případě, že u všech dílčích podmínek nabývá rastr hodnoty 1 (a podmínky jsou tudíž splněny). Jak bylo v praxi zjištěno, funkce *Boolean AND* neumožňuje porovnávání více než dvou podmínek zároveň. Jednou z možností, jak tento problém odstranit, bylo definovat příslušnou operaci pomocí funkce *Map Algebra*¹. Praktickým pokusem však bylo zjištěno, že ani v případě zadání operace pomocí funkce *Map Algebra* není možné porovnávat více jak dvě podmínky zároveň. Z tohoto důvodu musely být jednotlivé podmínky navzájem porovnávány vždy po dvojicích, čímž bylo dosaženo konečného výsledku. Strukturu použitého modelu názorně ilustruje obrázek 8.1.



Obrázek 8.1: Schématické vyjádření funkčního modelu detekce hotspots vytvořený pomocí modulu Model Builder software ArcGIS 9.2.

¹ Jedná se o jazyk, pomocí kterého je možné provádět matematické operace s rastrovými daty. Celá mapová algebra je založena na skutečnosti, že rastrová data jsou dvourozměrným numerickým polem maticí čísel) (BRAVENÝ, ŠTYCH, GRILL, 2006).

8.2. Potvrzení detekovaných hotspots pomocí změn NDVI

Detekované hotspots, které splnily veškeré podmínky testu popsaného v předchozím oddíle, byly dále testovány pomocí změn vegetačního indexu NDVI. Podstata tohoto testu je založena na skutečnosti, že v případě skutečného požáru dojde v daném místě ke změně hodnoty NDVI. Detekované hotspots, kterým žádná změna hodnoty NDVI v daném místě neodpovídá jsou:

- falešnými hotspots, které nebyly odstraněny v průběhu detekce,
- hotspots vyvolané požáry malých rozměrů, jenž nejsou spojeny s markantní změnou NDVI (v měřítku geometrického rozlišení radiometru AVHRR).

Základem potvrzení změn NDVI je rozdíl hodnot NDVI zjištěných v různých časových okamžicích. Tento rozdíl je definován:

$$NDVI_{diff} = D_2 - D_1,$$

kde:

NDVI_{diff}...rozdíl hodnot vegetačního indexu NDVI,

D₁... NDVI v období před vypuknutím požáru,

D₂... NDVI v průběhu požáru nebo v období po požáru.

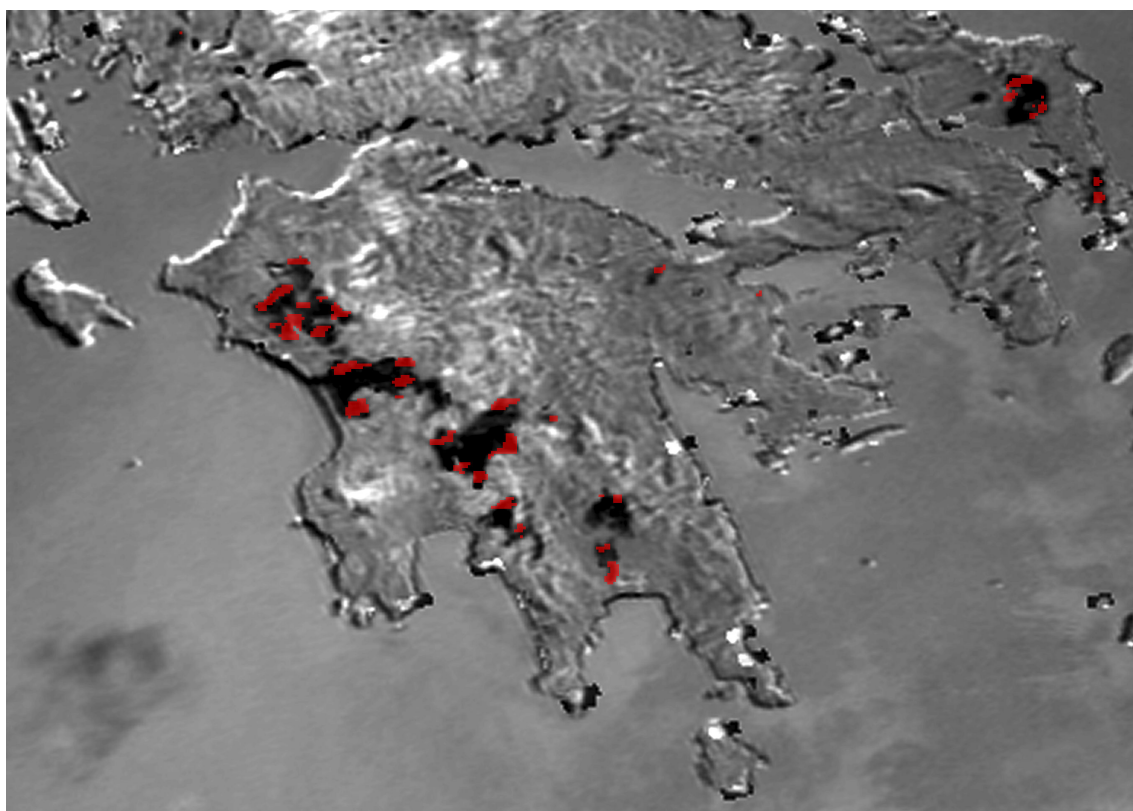
V případě zpětné analýzy archivních dat je jako D₂ možné použít hodnotu z období po požáru. Výhodou tohoto řešení je především to, že vypočtená hodnota NDVI není zkreslena vlivem kouře, který oblasti velkých lesních požárů často zcela zahaluje. V případě operativního nasazení metody je však zpravidla nutné provádět analýzu průběžně, tedy v době, kdy data „po uhašení“ požáru ještě nejsou k dispozici. V tomto případě je pro výpočet hodnoty D₂ použito stejného družicového snímku na základě kterého byla provedena detekce hotspots.

V rámci zpracování této práce byly vyzkoušeny obě možnosti. V případě požárů v Řecku byl rozdíl NDVI_{diff} vypočten takto: hodnota D₁ byla určena ze snímku pořízeného družicí NOAA 18 17.8.2007 v 10:45 UT (tedy cca 6 dní před vypuknutím prvních požárů). Hodnota D₂ byla vypočtena ze snímku pořízeného družicí NOAA 17 31.8.2007 v 9:08 UT (cca 4 dny po uhašení největších požárů). Hodnota NDVI_{diff} v tomto případě vyjadřuje změnu stavu vegetace v období po požáru vůči stavu v období před požárem.

V případě požárů v Kalifornii byl jako stav D₁ použit snímek pořízený družicí NOAA 18 19.10.2007 ve 20:10 UT. Jako stav D₂ byl na rozdíl od předchozího případu použit snímek z 22.10.2007, jenž byl pořízen družicí NOAA 18 ve 21:18 UT. Snímek v tomto případě zachycuje sledované území v době, kdy požáry dosahovaly největší intenzity. Jedná se o stejný snímek, na základě kterého byla provedena detekce hotspots.

Analýza změn hodnot NDVI byla prakticky provedena pomocí modulu *Model Builder* software ArcGIS 9.2, rozdíl NDVIDiff byl vypočten pomocí funkce ARI software PCI Geomatica. Prvním krokem testu bylo určení průměru (μ) a směrodatné odchylky (σ) hodnot NDVIDiff v místech vymezených testem $T_3 \geq 315$ K (v případě Řecka na snímku ze 26.8.2007, v případě Kalifornie na snímku z 22.10.2007). Na základě tohoto testu byla získána rastrová maska nabývajících hodnot 0 nebo 1 (podle toho zda podmínka $T_3 \geq 315$ K byla resp. nebyla splněna), pomocí níž bylo vymezení provedeno (obrázek 8.2). Pro výpočet potřebných statistických charakteristik v takto vymezených oblastech byla použita funkce modulu *Model Builder – Zonal Statistics*. Funkce vypočte požadovanou statistickou charakteristiku samostatně z hodnot, pro něž maska nabývá hodnoty 1 a dále z hodnot, kterým odpovídá hodnota masky 0.

Výsledky mohou být vyjádřeny formou tabulky (v jednom kroku je možné určit všechny hledané hodnoty) nebo formou další rastrové vrstvy. V případě reprezentace formou rastrové vrstvy je aplikací funkce *Zonal Statistics* získán opět dvouhodnotový rastr v závislosti na tom, zda použitá maska v daném místě nabývala hodnoty 0 nebo 1.



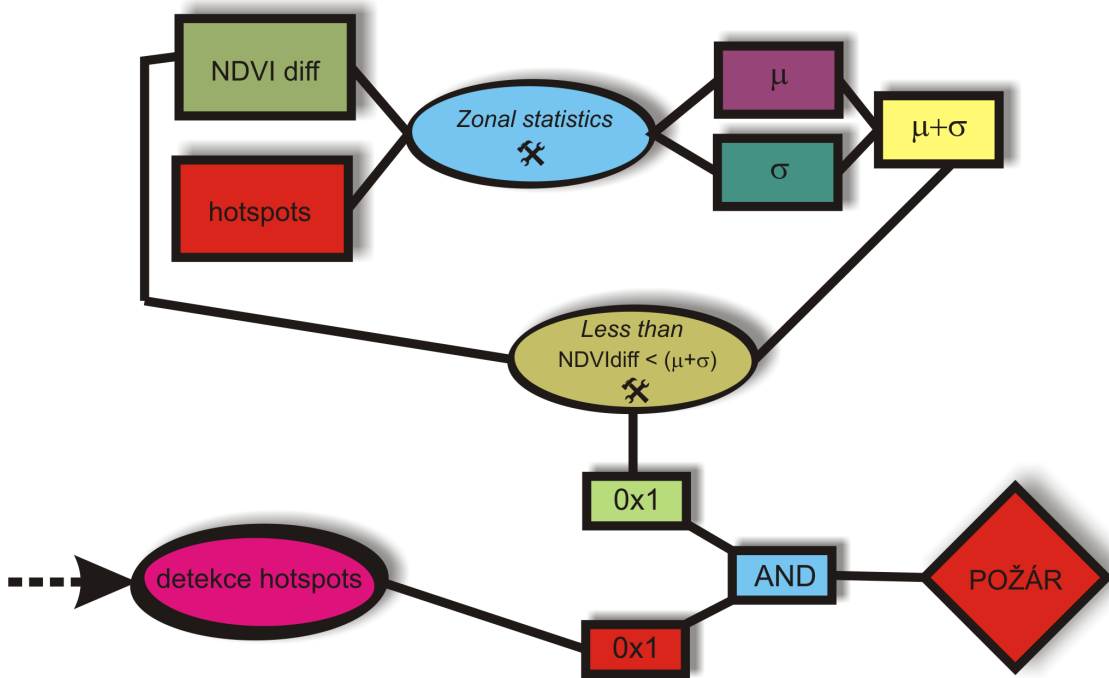
Obrázek 8.2: Vymezení oblastí pro výpočet parametrů detekce změn indexu NDVI.

Zjištěné hodnoty průměru a směrodatné odchylky byly sečteny, přičemž tento součet byl v dalších funkcích používán jako konstanta. Součet statistických charakteristik $\mu + \sigma$ byl použit v testu zadaném jako (princip tohoto testu je podrobněji popsán v kapitole 6):

$$NDVI_{diff} < (\mu + \sigma).$$

Test byl proveden pomocí funkce *Less than* extenze software ArcGIS 9.2 *Spatial Analyst*. Výsledkem testu byl opět rastr nabývající hodnot 1 nebo 0, podle toho, zda daný pixel podmínku splnil nebo nesplnil. Schéma modelu, použitého pro zpracování tohoto testu je uveden na obrázku 8.3.

Výsledný rastr byl pomocí funkce *Times* vynásoben s výsledkem detekce hotspots. Vzhledem k tomu, že oba rastry nabývají pouze hodnot 0 nebo 1, je po jejich vynásobení získána hodnota 1 pouze v místech, kde jsou splněny obě požadované podmínky – tedy je zde detekován hotspot a zároveň změny NDVI jsou natolik velké, že dané místo může být považováno za skutečný požár.



Obrázek 8.3: Schématické vyjádření funkčního modelu analýzy změn indexu NDVI. Model byl vytvořen pomocí modulu Model Builder software ArcGIS 9.2.

8.3 Aplikace metody HANDS na vybrané požáry na území České republiky

Detekční analýza HANDS byla aplikována na družicové snímky zachycující území České republiky v době výskytu vybraných lesních požárů. Informace o čase a poloze místa požáru byly převzaty z diplomové práce (Jankovská; 2006). Seznam studovaných požárů na území České republiky je uveden v tabulce 8.1.

datum	vznik	obec	plocha ² (km ²)	snímek (SEČ) ³	družice	poznámka ⁴
22.4.1996	12:40	Kraslice	4,00	13:09	NOAA 14	detekce aplikována
20.4.1996	13:15	Chomutov	1,00	13:31	NOAA 14	detekce aplikována
16.4.1996	15:10	Nové Sedlo	0,80	18:50	NOAA 12	detekce aplikována
22.8.2003	13:50	Aš	0,68			zataženo
30.3.1998	12:35	Toužim	0,60			zataženo
23.9.2003	6:00	Jince	0,50			zataženo
21.4.1996	16:30	Karviná	0,50	18:49	NOAA 12	detekce aplikována
3.5.1995	12:05	Hředle	0,40	12:58	NOAA 14	detekce aplikována
31.3.1998	17:40	Vyškov	0,38			snímek
22.4.1996	13:00	Prostějov	0,35	13:09	NOAA 14	detekce aplikována

Zdroj: JANKOVSKÁ; 2006

Vzhledem k malé rozloze plochy postižené požáry byla aplikována pouze první část detekční metody HANDS – detekce hotspots. K saturaci čidla radiometru AVHRR (ve spektrálním kanále 3B) dochází při snímání povrchu, jenž emituje energii odpovídající jasové teplotě okolo 320 K (LI, NADON, CIHLAR; 2000). Teplota hořící vegetace je však mnohem vyšší, a proto podle Planckova zákona vyzařování emituje daleko více energie. Díky tomu je výsledná hodnota pixelu obrazu požárem ovlivněna i v případě, že je hořící plocha menší v porovnání s územím, kterému odpovídá jeden pixel obrazu. Požáry by se měly v datech NOAA/AVHRR projevit v případě, že celková plocha požáru dosahuje alespoň 0,1 % rozlohy pixelu – cca 1200 m² – (*Canadian Wildland Fire Information System – Background information*; <http://cwis.cfs.nrcan.gc.ca/background>). V případě analýzy změn NDVI je pro získání relevantních výsledků nutné, aby plocha postižená požárem dosahovala rozlohy minimálně 10 km² (FRASER, LI, CIHLAR; 2000). Vzhledem k tomu, že žádný ze sledovaných požárů tuto podmínku nespĺňoval, nebyla v případě požárů na území České republiky analýza změn NDVI provedena. V případě jejího provedení by se mohlo stát, že detekovaný hotspot způsobený skutečným požárem by paradoxně byl označen za falešný hotspot, protože mu neodpovídá žádná výrazná změna NDVI.

² rozloha území, které požár postihnul

³ čas pořízení snímku družice, na jehož základě byla detekce aplikována

⁴ detekce aplikována – na data byla aplikována detekce hotspots; zataženo – v době požáru byla nad zájmovým územím oblačnost, jenž aplikaci detekční metody vylučuje; snímek – archiv neobsahuje snímek pořízený v době průběhu požáru.

9 DISTRIBUCE A ZPRACOVÁNÍ DRUŽICOVÝCH DAT NOAA

9.1 Distribuce dat poskytovaných družicemi NOAA

Příjem, zpracování a re-distribuce dat NOAA/AVHRR nejsou v současné době nijak licenčně omezeny. Díky tomu jsou data využívána nejen oficiálními institucemi, ale i velkým množstvím amatérů. Data z družic NOAA je možné získat buď přímo (pomocí vhodného přijímacího zařízení) nebo nepřímo např. pomocí elektronického archivu CLASS. Zde jsou k dispozici veškerá data získaná družicemi NOAA starší cca 24 hodin. Pro přístup je nutná pouze bezplatná registrace. Jinou možností je příjem družicových dat pomocí systému EUMETCast, který je provozován evropskou organizací EUMETSAT. Na využití tohoto systému je založen příjem družicových dat pomocí přijímací stanice Katedry aplikované geoinformatiky a kartografie Univerzity Karlovy v Praze.

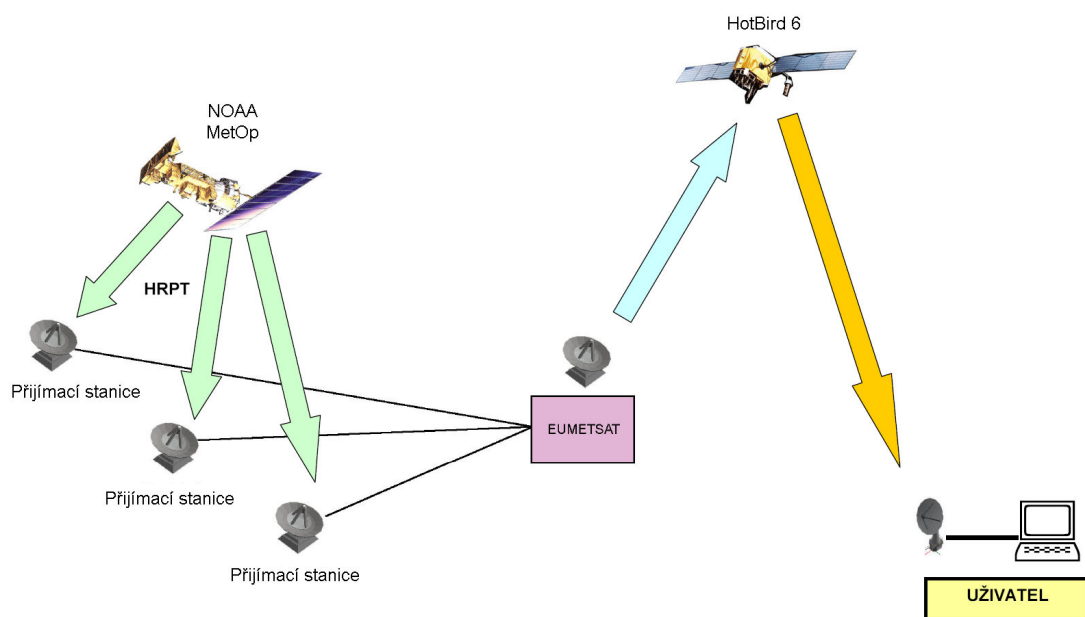
9.2 Příjem družicových dat pomocí systému EUMETCast

Systém EUMETCast je založen na distribuci vybraných typů družicových dat a odvozených produktů širokému okruhu uživatelů. Data pořízená družicí MSG jsou vysílána na Zem a jsou přijímána pozemní stanicí v německém Usingenu. Odtud jsou telekomunikačními linkami posílána do řídicího střediska v Darmstadtu. Zde jsou data přepočítána do standardní geostacionární projekce centrované na polohu 0° a kalibrována. Takto upravené snímky jsou distribuovány prostřednictvím komerční spojovací družice na geostacionární dráze (pro uživatele v Evropě se jedná o satelit HotBird 6). Ta je vysílá koncovým uživatelům stejně jako digitální televizní signál (podle normy DVB). Přístup k některým službám může být omezen s ohledem na datovou politiku jednotlivých institucí. Vysílání je rozděleno do pěti samostatných kanálů (EUMETCast – EUMETSAT's *Broadcast System for Environmental Data*, www.eumetsat.int):

- *TSL Announcement Channel* (technická data EUMETCastu),
- *EUMETSAT Channel 1* (data z družic NOAA a Meteosat 6),
- *EUMETSAT Channel 2* (data z družice Meteosat 8 v plné kvalitě po 15 minutách),
- *EUMETSAT Channel 3* (data z družic Meteosat 8 – 5 spektrálních pásem ve snížené, a Meteosat 7, další produkty odvozené z družicových dat),
- *DWDSAT* (služby *Deutsche Wetterdienst*).

Vysílaná data jsou kódována. Pro dekódování je nutné být držitelem USB hardwarového klíče *EUMETCast Key Unit*, který lze získat pouze na základě licenční smlouvy mezi uživatelem a organizací EUMETSAT (www.chmi.cz/meteo/sat/msg/msg05.html).

Data z družic na polárních drahách (tedy NOAA a MetOp) jsou rozdělena do menších částí, které jsou označovány jako segmenty. Podle EUMETSAT *Advanced Retransmission Service Technical description* (www.eumetsat.int) je tak dosaženo plynulejšího toku dat v síti. Dělení na jednotlivé segmenty má rovněž tu výhodu, že umožňuje vyloučit data z různých přijímacích stanic zobrazující stejné území. V případě této „duality“ je posouzena kvalita dat v segmentu z připojené textové zprávy. Centrální server EUMETSATu vyčká na přijetí všech segmentů zobrazující dané území (na jednotlivých přijímacích stanicích), přičemž na základě této kontroly kvality rozhodne, který ze segmentů bude odeslán do vysílání. Díky tomu má koncový uživatel k dispozici set segmentů nejvyšší kvality. Princip distribuce družicových dat pomocí systému EUMETCast je znázorněn na obrázku 9.1.



Obrázek 9.1: Schématické znázornění přenosu dat AVHRR v systému EUMETcast

9.3 Zpracování dat pomocí volně šiřitelných programů

Skutečnost, že příjem a používání dat družic NOAA není nijak administrativně omezeno, vede k tomu, že kromě oficiálních institucí se příjmem a zpracováním tohoto typu dat věnuje i velké množství amatérů. Ke zpracování přijatých družicových dat je zapotřebí speciální software. V současné době je na trhu celá řada komerčních programů, určených ke zpracování družicových dat (např. PCI Geomatica, Erdas Imagine, ENVI aj.). Vedle poměrně drahých komerčních programů však existují i software, které jsou buď zcela zdarma nebo je jejich cena výrazně nižší.

V rámci této práce byly otestovány celkem dva programy určené ke zpracování družicových dat:

- **PCI FreeView 10.0,**
- **HRPT Toolset.**

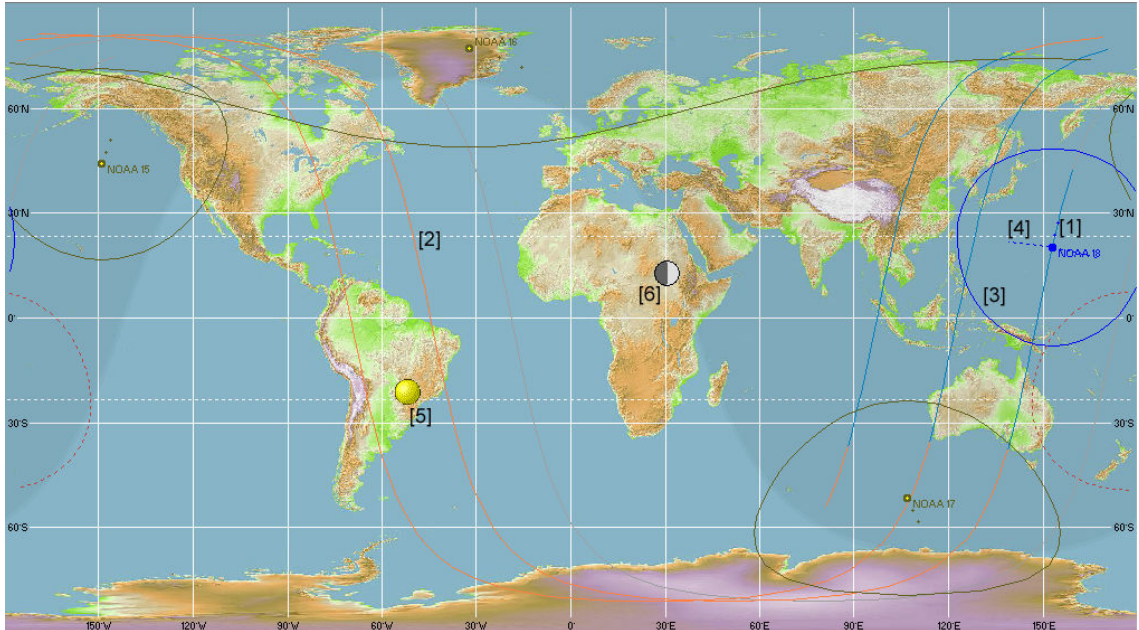
PCI FreeView10.0

Software PCI FreeView je silně zjednodušenou volně stažitelnou verzí již zmíněného programu PCI Geomatica. Jedná se o prohlížečku družicových dat umožňující jednoduché operace s daty různých formátů (celkově je možné pracovat s družicovými daty v cca 100 formátech). Program umožňuje jednoduché funkce zvýraznění obrazu pomocí úprav histogramů podle některé z předdefinovaných funkcí. Dalšími funkcemi jsou úpravy jasu a kontrastu obrazu. Software umožňuje vytvářet barevné kompozice na základě dat z různých spektrálních pásem. Upravená obrazová data je možné vytisknout, avšak i když program obsahuje (podobně jako plné verze PCI Geomatica) mód *Map View Mode*, tvorba mapového výstupu obsahujícího různé kompoziční prvky (severka, měřítko apod.) možná není. Výsledky operací s obrazovými daty rovněž nelze nijak uložit.

HRPT Toolset

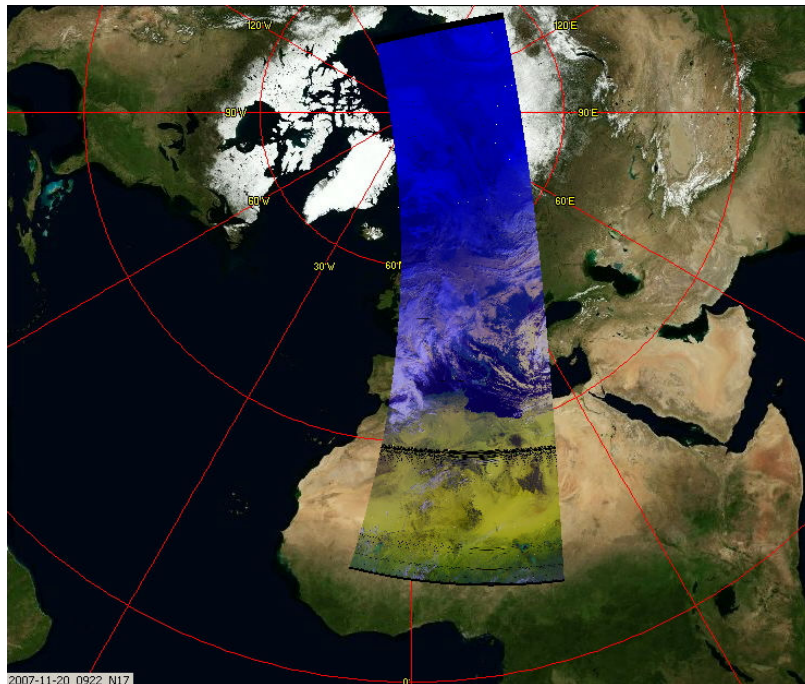
Software HRPT Toolset byl vyvinut Davidem Taylorem (*SatSignal, University of Edinburgh*) jako program určený zejména pro zpracování dat z družic NOAA, přijímaných pomocí systému EUMETCast. V rozšířené verzi HRPT Toolset+ je možné zpracovávat i data z evropské družice MetOp. Ve skutečnosti se jedná o celý balík programů, které jsou využívány v různých fázích zpracování přijatých družicových snímků. Jednotlivými komponentami software HRPT Toolset jsou:

- **Kepler Manager** je určen k získávání a správě dat o poloze družic. Poloha družic je určována na základě TLE dat, která je však potřeba průběžně aktualizovat. Aktualizace se provádí automaticky, má-li uživatel svůj vlastní účet v databázi TLE dat na serveru www.space-track.com).
- **WX Track** Program je určen k další práci s TLE daty staženými buď přímo nebo pomocí *Kepler Manageru*. Základní úlohou programu je formou přehledné mapy vyjádřit aktuální polohu jednotlivých družic a předpověď nejbližšího přeletu dané družice nad stanovištěm uživatele. Další funkcí je namodelování scény, kterou daná družice při konkrétním přeletu nasnímá. Uživatel tak má okamžitý přehled o tom, která území na snímku budou zobrazena (viz obrázek 9.2).



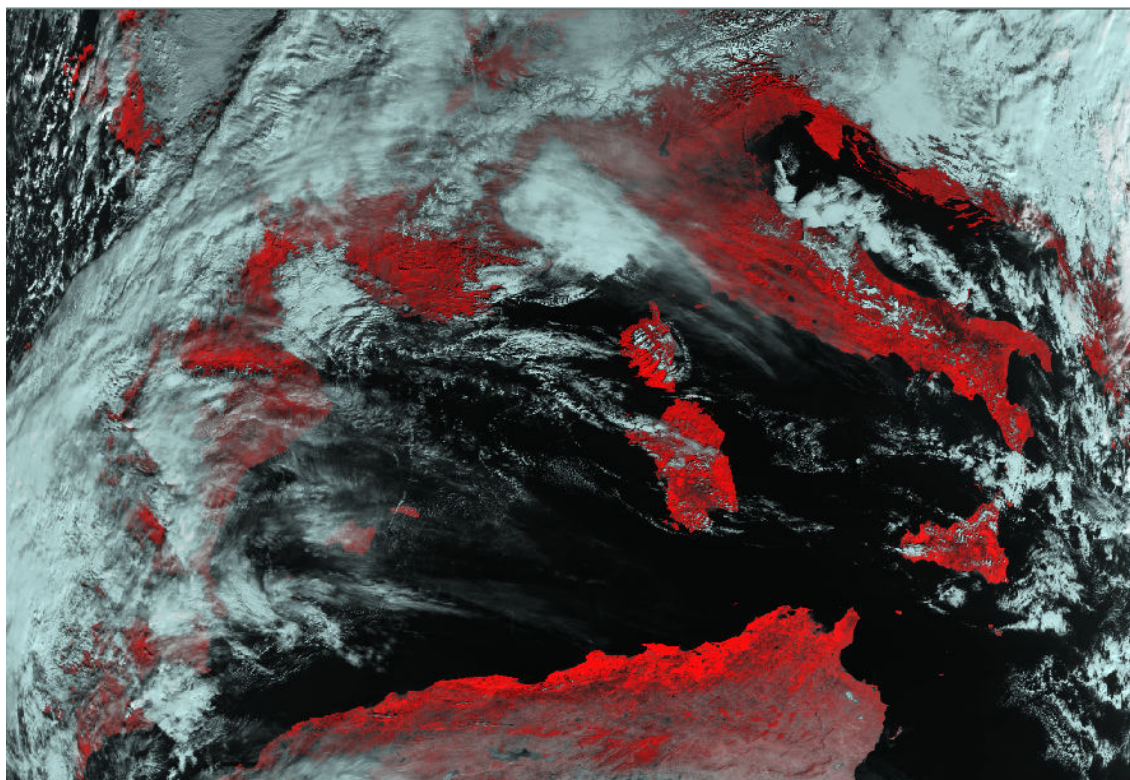
Obrázek 9.2: Přehledová mapa software WX Track. Hlavní výstup software WX Track zachycuje zejména aktuální polohu vybraných družic [1] s průměty jejich oběžných drah na povrch Země [2], území, na němž je družice aktuálně nad obzorem, a je tedy možný příjem dat pomocí přenosu HRPT [3], a území, které odpovídá právě scanované řádce obrazu [4]. Mapka dále zobrazuje aktuální polohu Slunce [5] a Měsíce [6] vůči zemskému povrchu (tj. místa, na nichž je Slunce a Měsíc právě v zenitu).

- **AVHRR Manager** umožňuje extrakci družicových dat z formátu bzip2 (v němž jsou data v rámci systému EUMETCast zasílána) a automatické zkompletování jednotlivých segmentů do jednoho snímku, který je pak uložen ve formátu .hpt. Program dále vytvoří náhledové mapy, pomocí nichž může uživatel ihned vidět, jakou část zemského povrchu snímek zachycuje (viz obrázek 9.3).



Obrázek 9.3: Náhledová mapa software AVHRR Manager zachycující umístění snímku pořízeného družicí NOAA 17 20.11.2007 přijatého přijímací stanicí Katedry aplikované geoinformatiky a kartografie Univerzity Karlovy v Praze.

- **HRPT Reader** slouží k vizualizaci a k obecně dalšímu zpracování přijatých a z jednotlivých segmentů zkompletovaných snímků. V rámci úprav obrazu jsou k dispozici předdefinované funkce zvýraznění, tvorba barevných syntéz v pravých a nepravých barvách a pseudobarevné zvýraznění. Dalšími funkcemi jsou různé algoritmy umožňující přípravu jednoduchých produktů, odvozených z původních dat. Sestava těchto algoritmů se však v různých verzích programu výrazně liší. V testované verzi software byly k dispozici nástroje pro vyjádření teploty mořské vody, jasové teploty povrchu, stav vegetace (pomocí vegetačního indexu NDVI) a výpočet rozdílu jasových teplot spektrálních kanálů 4 a 5¹. Jinou součástí programu je sada algoritmů určených ke studiu různých druhů oblačnosti. Veškeré výstupy je možné uložit do samostatného souboru a to buď v nekomprimovaném formátu .bmp nebo v komprimovaném .jpg. Příklad výstupů získaných zpracováním dat pomocí software *HRPT Reader* je uveden na obrázku 9.4.



Obrázek 9.4: Příklad výstupu software *HRPT Reader*. Snímek zachycuje oblast jižní Evropy a severní Afriky. Červenou barvou jsou zvýrazněna místa, která jsou pokryta vegetací. Snímek pořízený družicí NOAA 17 19.11.2007 byl přijat přijímací stanicí Katedry aplikované geoinformatiky a kartografie Univerzity Karlovy v Praze.

¹ Rozdíl spektrálních kanálů 4 a 5 je základem mikrofyzikálních produktů. Uvedený rozdíl se využívá ke zjišťování vertikální mohutnosti oblačnosti (www.chmi.cz/meteo/sat/avhrr/NM_info.html).

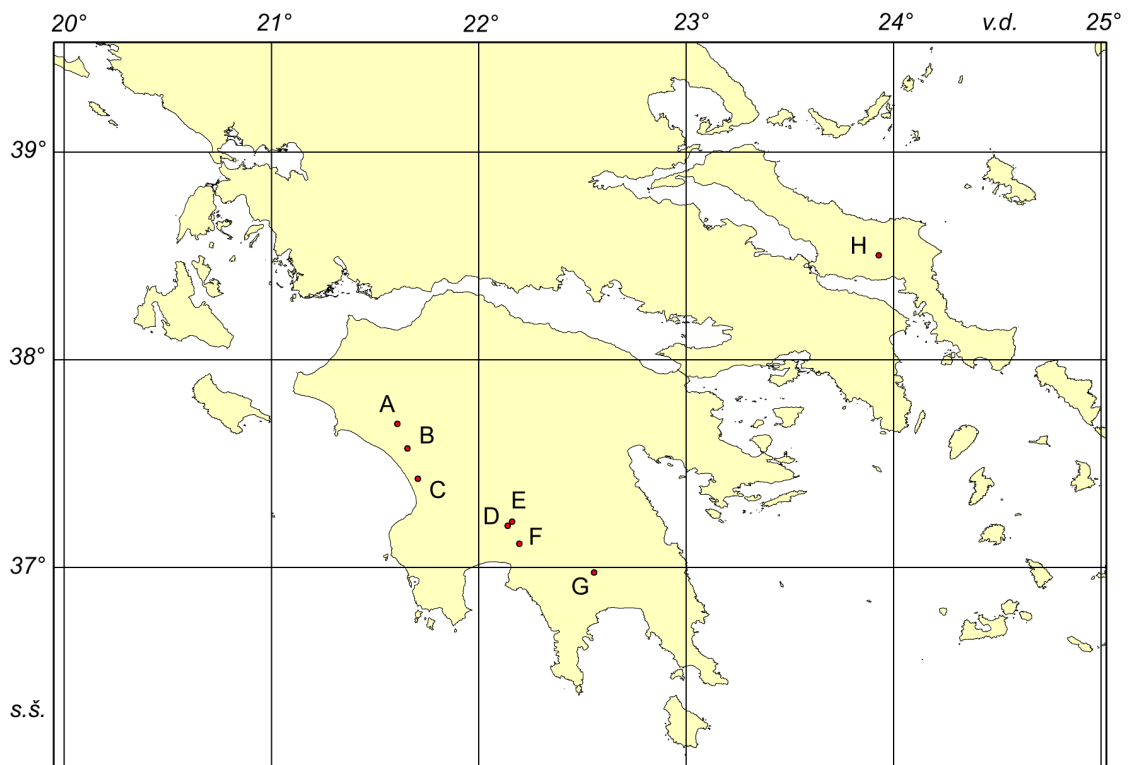
- **Ground Map** je určen ke geometrické transformaci grafických výstupů ze software *HRPT Reader* do zvoleného kartografického zobrazení. Geometrická korekce původních dat však možná není. Pomocí software Ground Map je rovněž možné vytvářet kompozice družicových snímků z více družic (resp. přeletů).

Balík HRPT Toolset je k dispozici zdarma v omezené 30-denní zkušební verzi. Plná verze programu je poskytována na komerčním základě. Cena balíku HRPT Toolset se pohybuje okolo 100 GBP (https://gbp.swreg.org/soft_shop). Alternativní možností je nákup vybraných komponent balíku, který je zpravidla finančně méně výhodný. Pro testování možností balíku HRPT Toolset byla využita data družic NOAA 17 a NOAA 18 přijatá pomocí stanice PCWINSAT-SG MSG XRIT² katedry aplikované geoinformatiky a kartografie Univerzity Karlovy v Praze. Příklady výsledků získaných v průběhu testování software jsou uvedeny v příloze 5.

² stanice byla dodána německou firmou UKW Technik Jeager přičemž umožňuje příjem dat z družic MSG, NOAA a MetOp prostřednictvím distribučního systému EUMETCast.

10 VÝSLEDKY

Sestavením funkčního modelu pomocí modulu *Model Builder* software ArcGIS 9.2 bylo možné aplikovat metodu detekce lesních požárů HANDS na vybraná družicová data. Pro ověření funkčnosti základních principů metody byla využita archivní data zachycující soustavu velkých lesních požárů, které postihly Řecko (srpen 2007) a Kalifornii (říjen 2007). Výsledkem aplikace použité metody jsou mapové výstupy zobrazující polohu detekovaných lesních požárů na zájmovém území. Pomocí výsledků bylo možné určit polohu ohniska požáru. Přehled detekovaných požárů a jejich poloha je rovněž součástí mapového výstupu. Příklady hlavních výsledků aplikace detekční metody HANDS dokumentuje obrázek 10.1. Hlavní část získaných výsledků je obsaženo v příloze 6 a příloze 7.

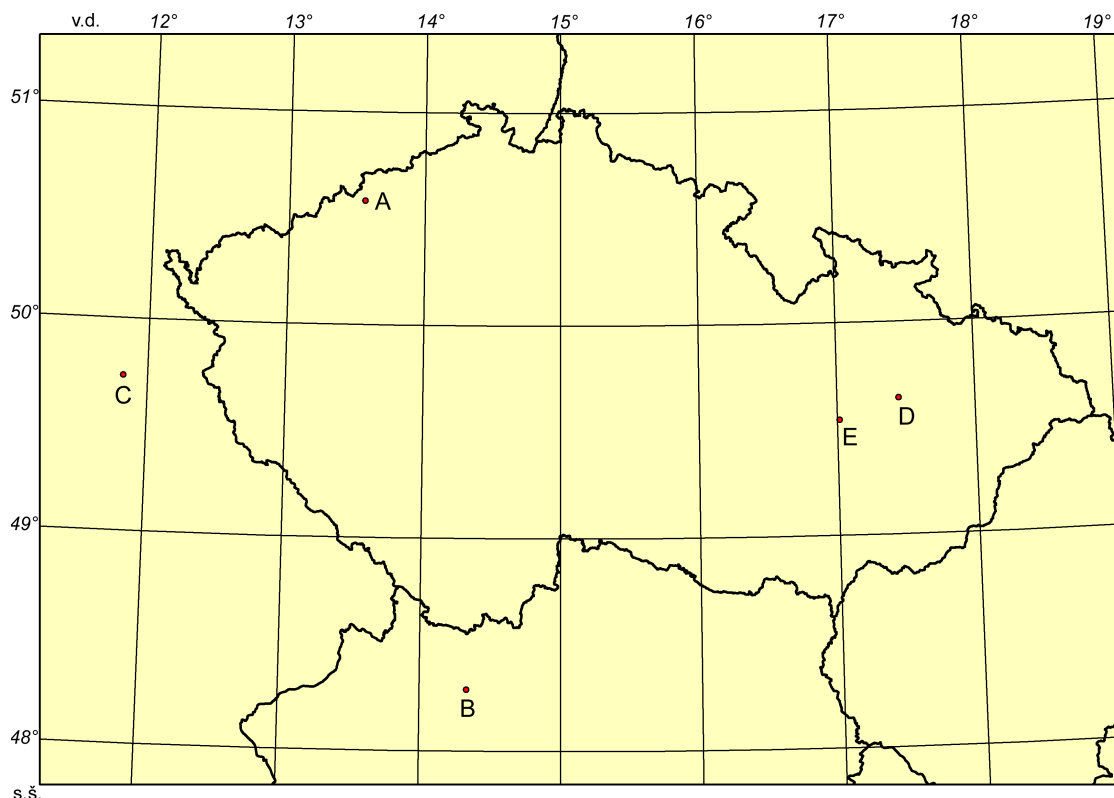


Obrázek 10.1: Přehled požárů detekovaných na algoritmem HANDS na základě družicových snímků z 26.8.2007 (detekce hotspots) a dvojice snímků ze 17.8 a 31.8.2007 (analýza změn hodnot vegetačního indexu NDVI). Požáry jsou reprezentovány jednotlivými body, které jsou pro odlišení označeny písmeny A-H.

V průběhu analýzy změn hodnot vegetačního indexu NDVI byly použity dva různé přístupy – detekce pomocí rozdílu hodnot NDVI v období po a před požárem (Řecko) a rozdílu hodnot NDVI v období požáru a před ním. Porovnáním obou výsledků bylo zjištěno, že změny hodnot NDVI jsou lépe vystiženy v případě, že jejich rozdíl $NDVI_{diff}$ je určen jako změna stavu v období po likvidaci požárů oproti stavu před jejich vypuknutím. V případě, že hodnotu $NDVI_{diff}$ určujeme z dat pořízených v průběhu požáru jsou změny NDVI značně zkresleny

oblaky kouře, které pokrývají široké okolí požáru, čímž dochází ke zkreslení statistik μ a σ vstupujících do procesu analýzy.

Aplikací detekce hotspots na data pořízená v průběhu vybraných požárů na území České republiky bylo detekováno několik hotspots. Příkladem může být výsledek aplikace metody HANDS na data pořízená dne 22.4.1996 družicí NOAA 14. Snímek zachycuje území České republiky v době, kdy na území obce Kraslice probíhal největší lesní požár uvedený v JANKOVSKÁ (2006). Na uvedeném snímku bylo detekováno celkem pět hotspots (obrázek 10.2, příloha 8).



Obrázek 10.2: Přehled hotspots detekovaných na území České republiky na snímku pořízeného družicí NOAA 14 22.4.1996. A: rafinérie Chemopetrol Litvínov, B: železářny Voestalpin AG Linz, C: Eschenbach in der Oberpfalz, D: lesní požár – Hlubočky u Olomouce, E: Stařechovice.

Porovnáním polohy bylo zjištěno, že některé z detekovaných hotspots mohou být přiřazeny k různým průmyslovým závodům, vyzařujícím teplo. V případě snímku ze 22.4.1996 se jedná o hotspots označené písmeny:

- **A** – rafinérie Chemopetrol Litvínov - Záluží u Litvínova,
- **B** – železářny Voestalpin AG – Linz,
- **C** – blíže neurčený průmyslový komplex u města Eschenbach in der Oberpfalz.

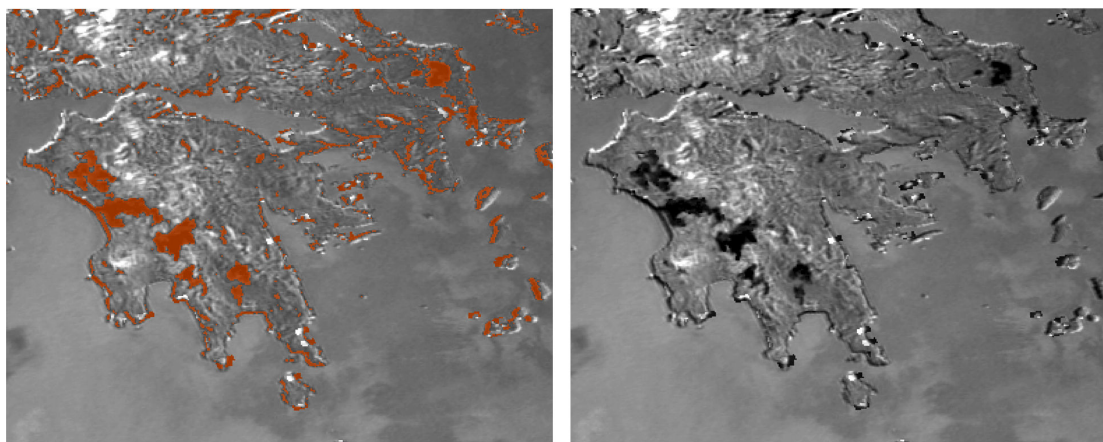
Jiná situace nastala v případě horké skvrny označené písmenem D, které polohově žádný průmyslový závod neodpovídal. Podrobnějším studiem seznamu požárů JANKOVSKÁ (2006) však bylo zjištěno, že v době pořízení snímku se na území České republiky odehrával ještě jeden lesní požár – u obce Hlubočky u Olomouce. Srovnání polohy bylo zjištěno, že místo požáru takřka přesně odpovídá poloze detekované horké skvrny. Detekovanou hotspot označenou písmenem D je tedy s velkou pravděpodobností možné považovat za skutečný lesní požár. Podle údajů uvedených v JANKOVSKÁ (2006) požár postihl území o rozloze 0,3 km². Tato poměrně malá hodnota je důvodem, proč požár nebyl uveden v rámci vybraných požárů. Charakter hotspot označené písmenem E se nepodařilo zjistit, neboť neodpovídá žádnému průmyslovému podniku ani žádnému požáru. Horká skvrna leží na území obce Stařechovice.

Požár, který v době pořízení snímku probíhal nedaleko obce Kraslice však paradoxně nebyl detekován. Vysvětlením může být skutečnost, že mezi vypuknutím požáru a pořízením snímku uplynula poměrně krátká doba (pouze 29 minut) a je otázkou jakých rozměrů v tuto dobu požár dosahoval. V dostupných statistikách jsou k dispozici pouze údaje o velikosti plochy, kterou požár postihnul. Tato hodnota však nic nevypovídá o tom, jakých rozměrů dosahoval požár v době pořízení snímku. Naopak detekcí zmíněných průmyslových podniků bylo prokázáno, že metoda detekce hotspots je schopná rozlišit i tepelné zdroje o velmi malé prostorové rozloze (vzhledem k prostorovému rozlišení radiometru AVHRR).

Jiných výsledků však bylo dosaženo v průběhu zpracování analýzy změn vegetačního indexu NDVI. Uvedená metoda dokáže poměrně přesně vymezit plochy, na nichž došlo ke zničení vegetace v důsledku požáru. Vzhledem ke svému kontextuálnímu charakteru (metoda nepoužívá žádnou pevně danou prahovou hodnotu – prahová hodnota je určena a základě porovnávání hodnot v místě požáru s hodnotami v jeho okolí) ji není možné aplikovat na velká území. Poměrně přesných výsledků je dosaženo pouze v blízkém okolí požárů. S rostoucí vzdáleností od místa požáru se v důsledku změn charakteru vegetace kvalita výsledků detekce radikálně zhoršuje. V případě operativního nasazení metody je tak nezbytné zpracovávat data po částech. Příklad výsledků analýzy změn NDVI je uveden na obrázku 10.3.

Nevětším problémem metody HANDS se zdá být velký rozdíl v tom, jak velký požár je možné detekovat pomocí hotspots (řádově tisíce m²) a jak velký je schopna potvrdit analýza změny indexu NDVI (minimálně 10 km²). Metodou HANDS v původní podobě je tak možné detekovat pouze velké požáry i když samotná detekce hotspots by byla schopna identifikovat i požáry mnohem menších rozměrů. V případě aplikace uvedené metody na území, pro něž jsou typické požáry malých rozměrů, je zde vysoké riziko vyloučení skutečných požárů, které ale postihly příliš malou plochu a to, aby mohly být detekovány na základě výrazné změny NDVI oproti okolí. Z tohoto pohledu se metoda HANDS ukazuje pro aplikaci v podmínkách České republiky zcela nevhodná. Prakticky využitelná by zde byla pouze detekce hotspots bez analyzování změn NDVI. Naopak v případě velkých požárů je možné hovořit o významném

přínosu metody HANDS, neboť v porovnání se staršími metodami detekce požárů přináší zcela nový mechanismus pro potvrzení požáru (a odstranění falešných hotspots). S ohledem na minimální rozlohu plochy postižené požárem se ale jeví analýza změn indexu NDVI vhodná zejména pro mapování rozsahu požárem poškozených ploch. V případě operativní detekce požárů je žádoucí odhalit nově vzniklý požár co nejdříve po vypuknutí, kdy ještě dosahuje poměrně malých rozměrů.



Obrázek 10.3: Výsledky analýzy změn vegetačního indexu NDVI. Místa splňující podmínku $NDVI_{diff} < (\mu + \sigma)$ jsou vyjádřena oranžovou barvou (vlevo). Skutečné rozložení ploch postižených požárem pro srovnání dokládá obrázek vpravo.

10.1 Shrnutí

Výsledky dosažené v průběhu zpracování této bakalářské práce je možné shrnout v následujících bodech:

- Metoda HANDS dobře detekuje požáry velkých rozměrů, přičemž účinně eliminuje výskyt falešných hotspots způsobených sluncem rozpálenými povrchy, vysoce odrazivou oblačností a glintovým efektem (kapitola 6, obrázek 6.1, příloha 6, příloha 7).
- Kombinace analýzy změn NDVI a detekce hotspots přináší zcela nový mechanismus pro rozpoznání hotspots, které nejsou způsobeny požáry (kapitola 6).
- Aplikace analýzy změn NDVI je však zároveň možná jen v podmínkách, pro něž jsou typické požáry velkých rozměrů (kapitola 8).
- V případě malých požárů hrozí paradoxně riziko, že detekovaný hotspot způsobený skutečným požárem bude označen za falešný hotspot díky tomu, že není spojen s výraznou změnou hodnoty NDVI (kapitola 8).
- Analýza změny NDVI je vhodná v rámci hodnocení škod způsobených požáry spíše než v průběhu samotné detekce požárů.

- Analýza změn NDVI je schopna poměrně přesně vyznačit plochy spálenišť. Vzhledem ke svému kontextuálnímu charakteru ji však není možné aplikovat na velká území v důsledku změn charakteru vegetace v různých částech sledovaného území (obrázek 10.3).
- Aplikací detekce hotspots bez analýzy změn hodnot vegetačního indexu NDVI na data získaná v době vybraných lesních požárů na území České republiky bylo prokázáno, že metoda detekce hotspots je schopna rozlišit i tepelné zdroje o velmi malé prostorové rozloze – detekce hotspots v místech průmyslových komplexů. Vzhledem k tomu by bylo obtížné aplikovat metodu zcela automaticky bez kontroly výsledků kvalifikovaným operátorem (obrázek 10.2, příloha 8).
- Na snímku pořízeném družicí NOAA 14 22.4.1996 byl detekován hotspot, který svou polohou odpovídá lesnímu požáru, jenž se odehrál na území obce Hlubočky u Olomouce. Naproti tomu žádný z předem vytipovaných požárů na území České republiky nebyl metodou zjištěn. Příčinou tohoto výsledku je zřejmě skutečnost, že mezi pořízením dat a vznikem požárů uplynula krátká doba, v níž se požár ještě nestačil rozvinout natolik, aby mohl být detekován (tabulka 8.1, obrázek 10.2, příloha 8).
- V České republice se v současné době nevyskytují požáry takových měřítek, aby bylo pro jejich detekci možné použít metodu analýzy změn vegetačního indexu NDVI (tabulka 8.1).
- Z dostupných statistik sice byla známa celková rozloha plochy, kterou daný požár postihнул. Tato hodnota však neříká nic o tom, jaké rozměry měl požár v době pořízení snímku, na jehož základě byla detekce provedena.
- Polohu požáru subpixelové velikosti nelze určit s přesností vyšší než je rozměr jednoho pixelu – tedy ideálně cca 1 km.
- V rámci zpracování práce byly testovány volně dostupné programy pro zpracování družicových dat NOAA/AVHRR PCI FreeView (freeware) a HRPT Toolset (trial). Výsledkem tohoto testování bylo zjištění, že balík programů HRPT Toolset nabízí poměrně širokou škálu funkčních nástrojů, díky nimž se software svými možnostmi blíží výrazně dražším komerčním programům (obrázek 9.2, obrázek 9.3, obrázek 9.4, příloha 5).

11 DISKUSE

Použitá metoda HANDS propojuje dva základní přístupy k detekce lesních požárů na základě družicových dat – lokalizaci hotspots a analýzu změn vegetace pomocí vegetačního indexu NDVI. Tímto propojením jsou metodou pokryty základní příznaky, jimiž se lesní požáry v přírodě projevují – uvolňování velkého množství tepelné energie a poškození vegetace. Hlavním cílem propojení obou principů je v tomto případě zpřesnění celého systému detekce tak, aby bylo odstraněno co nejvíce falešných hotspots. Použití metody HANDS by tedy mělo být ve srovnání se staršími detekčními algoritmy univerzálnější. Zjištění, zda je možné uvedenou metodu účinně aplikovat v podmínkách České republiky bylo jedním z hlavních cílů této práce.

Na základě dosažených výsledků bylo zjištěno několik skutečností, které brání nasazení konceptu detekce požárů na základě dat družic s nízkým prostorovým rozlišením v podmínkách České republiky, pro které jsou typické požáry malých (subpixelových) rozměrů. Podle FRASER, LI, CIHLAR (2000) je v případě malých požárů s krátkou dobou trvání největší problém v tom, že se mohou odehrát v době mezi pořízením dvou po sobě následujících snímků aniž by tím pádem byly zaregistrovány jako hotspots. Jak však bylo zjištěno v průběhu práce, existence požáru v době pořízení snímku ještě není dostatečnou podmínkou pro jeho zaregistrování. Pokud je snímek pořízen příliš krátce po vzniku požáru, požár nestačí dosáhnout potřebných rozměrů nutných pro detekci. Detekce lesního požáru ze dne 22.4.1996 u obce Hlubočky však zároveň dokázala, že detekce požárů subpixelové velikosti je v praxi možná.

Další limitující skutečností je fakt, že pro aplikaci detekce požárů je nutná jasná obloha nad sledovaným územím. A tak přestože družice NOAA pořizují data za dané území s několikadenní frekvencí, je pro účely detekce požárů vhodná jen poměrně malá část těchto dat. Řešením tohoto nedostatku by bylo zvýšit frekvenci pořizování dat – ideálně spojením více družic do integrovaného systému, tak aby bylo cílové území snímáno co nejčastěji. Svého využití by v tomto systému mohly mít kromě satelitů na polární dráze také družice na dráze geostacionární, jenž mohou sledovat zájmové území s ještě vyšší frekvencí než družice polární. Značnou perspektivu je proto možné vidět v zapojení družic MetOp (AVHRR), Aqua a Terra (MODIS). Jako ideální se pak zdá být tato kombinace v propojení na geostacionární družice MSG.

Jiným problémovým faktorem, limitujícím použití metody HANDS v podmínkách s převládajícími požáry subpixelové velikosti, je aplikace analýzy změn hodnot vegetačního indexu NDVI v důsledku požáru. Metoda je schopna odhalit plochy postižené požárem o minimální rozloze 10 km² (FRASER, LI, CIHLAR; 2000). Díky tomu je tato část metody HANDS v podmínkách České republiky jen ztěžlivě využitelná, vzhledem k tomu, že se na našem území takto velké požáry v současné době nevyskytují (tabulka 8.1). Zde si je však nutné

uvědomit, v jakých podmínkách metoda HANDS vznikala – byla vytvořena pro potřeby sledování požárů v Kanadě, kde 95 % lesních požárů postihuje území o rozloze větší než zmíněných 10 km² (FRASER, LI, CIHLAR; 2000). Z výše uvedených skutečností tedy zcela v souladu se závěry uvedenými ve FRASER, LI, CIHLAR (2000) vyplývá, že pro potřeby území, kde požáry zasahují plochy o menší rozloze, je nutné zajistit vyšší citlivost detekce změn NDVI. Toho by mohlo být v praxi využito nasazením dat MODIS – pro účely konstrukce vegetačního indexu NDVI by bylo možné použít spektrální kanály 1 (0,62-0,67 μm) a 2 (0,841-0,876 μm) o prostorovém rozlišení 250 m/pixel. Kromě toho uvádí FRASER, LI, CIHLAR (2000) možnost nahradit vegetační index NDVI jiným ukazatelem určeným na základě dat ze spektrálních kanálů 2 a 3A (AVHRR) v případě specifických ekosystémů.

V průběhu zpracování analýzy změn vegetačního indexu NDVI byla zjištěna zhoršující se kvalita výsledků detekce s rostoucí vzdáleností od centra požáru v důsledku změn skladby a charakteru vegetace. Toto zjištění je v plném souladu se závěry k nimž došel (FRASER, LI, CIHLAR; 2000). Pro odstranění těchto nepřesností zde autor navrhuje vyšetřování změn NDVI pouze v rámci území do vzdálenosti cca 100 km od centra požáru.

Zajímavostí je rozdílný přístup různých autorů k aplikaci analýzy změn NDVI v procesu potvrzování detekovaných hotspots. FRASER, LI, CIHLAR (2000) aplikuje tuto analýzu tím způsobem, že porovnává snímek pořízený v období po uhašení požáru se snímkem z období před požárem. Využívá tedy způsob, který byl v této práci zvolen pro zpracování dat pořízených během požárů v Řecku (srpen 2007). Naopak PU et al. (2004) bere pro výpočet hodnoty NDVIDiff jako stav D₂ snímek, na základě něhož provádíme detekci hotspots (tento způsob byl použit v případě zpracování dat zachycujících požáry v Kalifornii). Autor definuje podmínku pro účely potvrzování hotspots jako NDVIDiff < (μ+σ), avšak pro účely mapování spálenišť bere v úvahu podmínku NDVIDiff < (μ + 3,5·σ). Naproti tomu FRASER, LI, CIHLAR (2000) bere i v případě detekce spálenišť původní podmínku NDVIDiff < (μ+σ). Tato skutečnost je způsobená zřejmě odlišným přístupem obou autorů, kdy v případě FRASER, LI, CIHLAR (2000) je metoda používána spíše jako nástroj pro hodnocení následků požárů, zatímco v případě PU et al. (2004) se jedná o nasazení metody pro samotnou detekci aktivních požárů.

V průběhu zpracování práce vznikla myšlenka, zda by bylo možné určit alespoň přibližně velikost hořících ploch. Jak se však ukázalo, jedná se věc značně problematickou. Je možný jen hrubý odhad - počet pixelů obrazu, které jsou klasifikovány jako požár. Vzhledem k tomu, že velikost jednoho pixelu je v případě dat NOAA/AVHRR 1 km², je určení aktuálního rozsahu požáru možné pouze pomocí násobků této hodnoty. V případě požárů subpixelové velikosti je určení velikosti prakticky nemožné (hodnota daného pixelu je soubornou hodnotou vyjadřující velikost emitované energie celým územím 1x1 km).

12 ZÁVĚR

V úvodu práce bylo provedeno zhodnocení aplikací využívajících dat poskytovaných družicemi na polární dráze NOAA. Hlavním cílem práce bylo prověřit možnosti využití výše uvedených dat pro detekci lesních požárů. Nejprve byl proveden přehled základních funkčních principů, na nichž je detekce požárů pomocí dat dálkového průzkumu Země založena, a dále pak metod, které jsou z těchto principů odvozeny.

Praktickou částí práce bylo prověření funkčních principů detekčního algoritmu HANDS, jenž identifikuje požáry na základě jejich dvou nejtypičtějších projevů – tepelné energie a poškození vegetace. Tohoto cíle bylo dosaženo zpracováním vybraných družicových snímků pořízených v době velkých lesních požárů v Řecku (srpen 2007) a Kalifornii (říjen 2007). Na základě získaných výsledků bylo zjištěno, že použitá metoda velmi dobře detekuje požáry velkých rozměrů, přičemž je schopna poměrně přesně odlišit místa skutečných požárů od falešných hotspots různého původu.

Další řešenou otázkou byla možnost aplikace metody HANDS v podmínkách České republiky. Metoda HANDS byla v tomto případě aplikována na data zachycující území České republiky v době výskytu vybraných požárů. Pro výběr požárů byla s ohledem na prostorové rozlišení radiometru AVHRR, stejně tak jako na citlivost detekční metody, rozhodující rozloha plochy, která byla požárem zasažena. Žádný z takto předem vytipovaných požárů však nebyl použitou metodou detekován. Namísto toho byl na zjištěn požár, který nebyl do výše uvedeného výběru zahrnut z důvodu malé rozlohy požárem postižené plochy. Na stejném snímku byly dále zjištěny hotspots, jenž byly na základě polohy přiřazeny různým průmyslovým podnikům uvolňujícím teplo (např. železárny). Bylo tak ověřeno, že metoda detekce hotspots je schopná detekovat požáry subpixelové velikosti, stejně tak jako jiné tepelné zdroje malých plošných rozměrů. Toto zjištění vede k domněnce, že vytipované požáry nebyly detekovány nikoliv z důvodu nedostatečné citlivosti použité metody, ale v důsledku toho, že mezi vznikem požárů a pořízením snímků uplynula příliš krátká doba, v níž se požáry nestačily významněji rozvinout.

Jako další skutečnost významně limitující využití metody HANDS byla shledána v poměrně velkém rozporu mezi citlivostí detekce hotspots a analýzy změn vegetačního indexu NDVI. Z tohoto důvodu se metoda HANDS v původní podobě jeví pro nasazení v podmínkách České republiky jako nevhodná. Alternativním postupem, jakým by bylo možné zajistit větší citlivost analýzy změn NDVI je využití dat MODIS s vyšším prostorovým rozlišením. Tato možnost se může stát předmětem dalšího výzkumu.

Kromě problematiky detekce lesních požárů byly v rámci práce testovány možnosti využití dvou programů pro zpracování družicových dat NOAA/AVHRR – freeware PCI FreeView a časově omezenou trial verzi software HRPT Toolset. Balík HRPT obsahuje na rozdíl od prohlížeče PCI FreeView celou sadu jednoduchých nástrojů, čímž se již blíží

nesrovnatelně dražším komerčním programům. Software se ukázal jako velmi vhodný v případě zpracování dat přijatých prostřednictvím distribučního systému EUMETCAST. Z tohoto důvodu se Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie Univerzity Karlovy v Praze rozhodla zakoupit plnou verzi tohoto balíku pro základní zpracování snímků přijatých pomocí vlastní přijímací stanice.

SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ A LITERATURY

BRAVENÝ, L., ŠTYCH, P., GRILL, S., 2006, *Funkční nástroje ArcGIS 9.1: reprezentace vektorových a rastrových dat*, Praha, Akademie kosmických technologií CITT, 2006, 65 s.

CALADO, T., DaCAMARA, C., *A synergetic use of remote sensed data to assess the evolution of burnt area by wildlife fires in Portugal*, [on-line], poslední aktualizace [2005?], [cit.2008-03-20]dostupné z: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Publications/Conference_and_Workshop_Proceedings/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p48_s3_03_calado_v.pdf>

CANADA WILDLAND FIRE INFORMATION SYSTEM, *Background information*, [on-line], poslední aktualizace 20.6.2007, [cit. 2008-03-29], dostupné z: <<http://cwis.cfs.nrcan.gc.ca/background>>

ČESKÁ KOSMICKÁ KANCELÁŘ, *Datové produkty z pozorování Země*, [on-line], poslední aktualizace 1.8.2007, [cit. 2008-02-21], dostupné z: <<http://www.czechspace.cz/cs/pozorovani-zeme/datove-produkty>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, *Základní informace o družicích NOAA*, [on-line], poslední aktualizace 28.7.2006, [cit. 2008-03-12], dostupné z: <www.chmi.cz/meteo/sat/inf_noaa.html>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, *O numerické předpovědi počasí*, [on-line], poslední aktualizace 1.10.2004, [cit. 2008-03-30], dostupné z: <www.chmi.cz/meteo/ov/aladin/aboutnwp/index.html>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, *Galerie zajímavých družicových snímků*, [on-line], poslední aktualizace 30.8.2007, [cit. 2008-14-01], dostupné z: <<http://www.chmi.cz/meteo/sat/galerie/gal.html>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, *Meteosat Second Generation – typy dat a přijímacích stanic*, [on-line], poslední aktualizace 2.1.2007, [cit. 2008-03-30], dostupné z: <www.chmi.cz/meteo/sat/msg/msg05.html>

DOMENIKIOTIS, C., LOUKAS, A., DALEZIOS, N.R. 2003. *The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2003, roč. 3, č. 1/2, s. 115-128, ISSN 1561-8633

EUMETSAT, *AVHRR Level 1B product guide* [on-line], poslední aktualizace 24.8.2005, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <<http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/eps-pg/AVHRR>>

EUMETSAT, *EUMETSAT: Monitoring weather climate and the environment*, [on-line], poslední aktualizace říjen 2007, [cit. 20.3.2008], dostupné z: <www.eumetsat.int/home/main/publications/Brochures/>

EUMETSAT, *EUMETCast – EUMETSAT's Broadcast System for Environmental Data – Technical description*, [on-line], poslední aktualizace 4.8.2006, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <www.eumetsat.int/Home/Main/Publications/Technical_and_Scientific_Documentation>

EUMETSAT, *EUMETSAT polar system, taking meteorology to a new level*, [on-line], poslední aktualizace květen 2006, [cit. 2008-03-20], dostupné z <www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/satellites/EUMETSAT_Polar_System>

EUMETSAT, *Advanced Retransmission Service - Technical description*, [on-line], poslední aktualizace 10.4.2007, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <www.eumetsat.int/Home/Main/Publications/Technical_and_Scientific_Documentation>

EUMETSAT, *EUMETSAT Product list*, [on-line], poslední aktualizace 29.8.2006, [cit. 2008-04-05], dostupné z: <www.eumetsat.int/Home/Main/Access_to_Data/Meteosat_Meteorological_products/Product_list>

FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE, *Forrest Fire Detection Ground System*, [on-line], [cit. 2008-03-21], dostupné z: <http://virtual.vtt.fi/virtual/space/firealert/ground_system.html>

FRASER, R.H., LI, Z., CIHLAR, J., 2000. *Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forrest*. Remote sensing of environment, 2000, č. 74, s.362-375, ISSN 0034-4257

GOODRUM, G., KIDWELL, K., WINSTON, W., *NOAA KLM User's guide* [on-line], poslední aktualizace 5.4.2004, [cit. 2008-01-15], dostupné z: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm>>

HEAVENS-ABOVE, *Heavens-Above* [on-line], poslední aktualizace 2.3.2008, [cit. 2008-03-02], dostupné z: <www.heavens-above.com>

HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE, *Detection of Forrest Fires in Greece*, [on-line], [cit. 2008-03-20], dostupné z: <www.wmo.ch/pages/prog/sat/CGMS/Directoryofapplications/en/ap6_06.html>

JANKOVSKÁ, Z. 2006. *Lesní požáry v ČR (1992-2004): příčiny, dopady a prevence*, diplomová práce, Mendelova zemědělská a lesnická v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 94 s, 12 stran příloh., vedoucí prof. Ing. Emanuel Kula CSc.

KIDWELL, K., *NOAA Polar Orbiter Data User's guide* [on-line], poslední aktualizace listopad 1998, [cit. 2008-02-25], dostupné z: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/podug>>

KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. 2000. *Dálkový průzkum Země 10*, Praha, vydavatelství Českého vysokého učení technického, 2000, 164 s.

LI, Z., et al. 2000a. *Satellite based mapping of Canadian boreal forrest fires evaluation and comparison of algorithms*. International journal of remote sensing, 2000, roč. 21, č.16, s. 3071-3082, ISSN 1366-5901

LI, Z., NADON, S., CIHLAR, J. 2000b. *Satellite based detection of Canadian boreal forrest fires development and application of the algorithm*. International journal of remote sensing, 2000, roč. 21, č. 16, s. 3057-3069, ISSN 1366-5901

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), *MODIS Atmosphere*, [on-line], poslední aktualizace 3.3.2008, [cit. 2008-03-03], dostupné z: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/IMAGES/index_myd021km.html>

NATIONAL OCEANOGRAPHIC DATA CENTER (NODC), *Satellite Oceanography at NODC*, poslední aktualizace 3.4.2007, [cit. 2008-04-04], dostupné z: <http://data.nodc.noaa.gov/crw/CRW50km/current_sst.bmp>

NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE DATA AND INFORMATION SERVICE (NESDIS), *Hazard Mapping System: Analyzed fires from satelitte-getting started*, [on-line],

poslední aktualizace 22.6.2007, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <www.firedetect.noaa.gov/-gettingstarted.htm>

NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE DATA AND INFORMATION SERVICE (NESDIS), *Hazard Mapping System Fire and Smoke product* [on-line], poslední aktualizace 22.6.2007, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <<http://ssd.noaa.gov/PS/FIRE/hms.html>>

NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE DATA AND INFORMATION SERVICE (NESDIS), *Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm (ABBA)* [on-line], poslední aktualizace 22.6.2007, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <<http://ssd.noaa.gov/PS/FIRE/Layers/ABBA/abba.html>>

NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE DATA AND INFORMATION SERVICE (NESDIS), *AVHRR Fire Detects from the Fire Identification, Mapping and Monitoring Algorithm (FIMMA)*, [on-line], poslední aktualizace 22.6.2007, [cit. 2008-03-20], dostupné z: <<http://ssd.noaa.gov/PS/FIRE/Layers/FIMMA/fimma.html>>

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA), *Satellites*, [on-line], [cit. 2008-03-20], dostupné z: <www.noaa.gov/satellites.html>

PU, R. et al., 2004. *A dynamic algorithm for wildlife mapping with NOAA/AVHRR data*. International Journal of Wildlife Fire, 2004, č. 13, s. 275-285, ISSN 1049-8004

WIKIPEDIA, *Wikipedia – the free encyclopedia*, heslo „sunglint“, [on-line], poslední aktualizace 25.12.2006, [cit. 2008-03-03], dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Sunglint>>

Datové zdroje:

Elektronický archiv družicových snímků CLASS, National Oceanic and Atmospheric Administration, www.nsof.class.noaa.gov

Databáze TLE dat *Celestrak*, www.celestrak.com

Databáze TLE dat *Space-Track*, www.space-track.com

Barevné ortofoto, Česká informační agentura životního prostředí, <http://geoportal.cenia.cz>

Použité programy:

ArcGIS Desktop 9.2, ESRI Inc.

PCI Geomatica v. 10.1., PCI Geomatics

PCI FreeView 10, PCI Geomatics

HRPT Toolset, GeoSatSignal by David Taylor, Edinburg

Adobe Photoshop CS2, Adobe Systems Inc.

Corel DRAW 12, Corel corporation

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výběr družicových dat

Příloha 2: Textové segmenty

Příloha 3: Dráhové elementy

Příloha 4: Geometrická transformace

Příloha 5: HRPT Toolset

Příloha 6: Požáry v Řecku (26.8.2007)

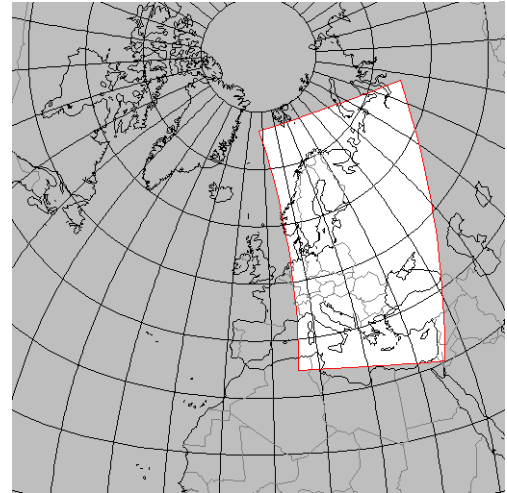
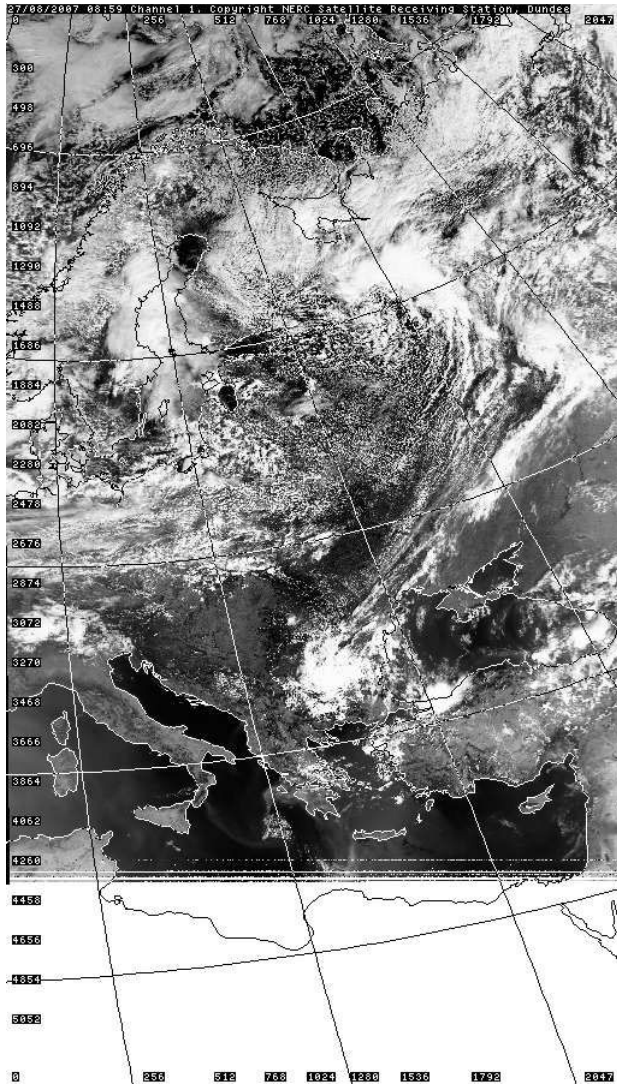
Příloha 7: Požáry v Kalifornii (22.10.2007)

Příloha 8: Aplikace HANDS v podmínkách ČR

PŘÍLOHY

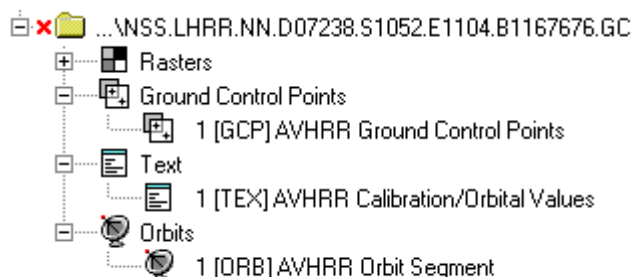
PŘÍLOHA1: VÝBĚR DRUŽICOVÝCH DAT

Příloha 1: Příklad náhledů družicových dat NOAA/AVHRR použitých pro zpracování této práce.
Zdroj: www.sat.dundee.ac.uk



PŘÍLOHA 2: TEXTOVÉ SEGMENTY

Příloha 2a: Přehled textových segmentů připojených k obrazovým datům NOAA/AVHRR poskytováných systémem CLASS.



Příloha 2b – Vlíčovací body (GCP): Textový segment obsahující souřadnice vličovacích bodů zaměřených v průběhu pořízení obrazových dat. Pomocí tohoto segmentu je možné provést geometrickou korekci snímku s velmi vysokou přesností. Segment obsahuje identifikační číslo bodu [1], polohu bodu ve formě zeměpisných souřadnic (souřadný systém WGS-72) [2] a polohu bodu v pixelových souřadnicích [3].

[1]

[2]

[3]

GCP Id	X2 (LONG/LAT E005)	Y2 (LONG/LAT E005)	Elev2 (METERS)	X1 (PIXEL)	Y1 (PIXEL)	Elev1 (METERS)
1	49.121300000000	30.823400000000	0.0	24.50	0.50	0.0
2	45.244500000000	30.598800000000	0.0	144.50	0.50	0.0
3	42.748900000000	30.392400000000	0.0	264.50	0.50	0.0
4	40.900300000000	30.208100000000	0.0	384.50	0.50	0.0
5	39.415100000000	30.040700000000	0.0	504.50	0.50	0.0
6	38.151700000000	29.884600000000	0.0	624.50	0.50	0.0
7	37.027800000000	29.735100000000	0.0	744.50	0.50	0.0
8	35.989600000000	29.588100000000	0.0	864.50	0.50	0.0
9	34.997600000000	29.439700000000	0.0	984.50	0.50	0.0
10	34.019200000000	29.285600000000	0.0	1104.50	0.50	0.0
11	33.023900000000	29.121000000000	0.0	1224.50	0.50	0.0
12	31.978300000000	28.939600000000	0.0	1344.50	0.50	0.0
13	30.841600000000	28.732300000000	0.0	1464.50	0.50	0.0
14	29.557200000000	28.485500000000	0.0	1584.50	0.50	0.0
15	28.036700000000	28.176100000000	0.0	1704.50	0.50	0.0
16	26.123700000000	27.760000000000	0.0	1824.50	0.50	0.0
17	23.489600000000	27.138100000000	0.0	1944.50	0.50	0.0
18	48.946400000000	32.197000000000	0.0	24.50	143.50	0.0
19	45.011400000000	31.984900000000	0.0	144.50	143.50	0.0
20	42.478300000000	31.783100000000	0.0	264.50	143.50	0.0
21	40.602400000000	31.600500000000	0.0	384.50	143.50	0.0
22	39.095500000000	31.433400000000	0.0	504.50	143.50	0.0
23	37.813800000000	31.276800000000	0.0	624.50	143.50	0.0
24	36.673900000000	31.126300000000	0.0	744.50	143.50	0.0
25	35.621200000000	30.977900000000	0.0	864.50	143.50	0.0
26	34.615500000000	30.827700000000	0.0	984.50	143.50	0.0
27	33.623800000000	30.671400000000	0.0	1104.50	143.50	0.0
28	32.615100000000	30.504200000000	0.0	1224.50	143.50	0.0
29	31.555800000000	30.319500000000	0.0	1344.50	143.50	0.0
30	30.404500000000	30.108100000000	0.0	1464.50	143.50	0.0
31	29.104100000000	29.856100000000	0.0	1584.50	143.50	0.0
32	27.565200000000	29.539600000000	0.0	1704.50	143.50	0.0
33	25.630200000000	29.113200000000	0.0	1824.50	143.50	0.0
34	22.968000000000	28.474600000000	0.0	1944.50	143.50	0.0

Příloha 2c – Kalibrace: Textový segment obsahuje veškeré údaje potřebné k provedení radiometrických korekcí dat.

```

! AVHRR Calibration/Orbital Data
!
[a] FORMAT:          AVHRR-KLM L1b LAC/HRPT
[b] SATID:          NOAA-18
[c] ORBIT:          11676
[d] YEAR:           2007
DAY:                238.457226227
!
! Single ground control point.
!
[e] GCP:            LONG = 34.6715000      LAT = 29.3892000
GCP:                X   = 1024.5000000    Y   = 0.5000000
!
! Epoch and orbital (ephemeris) elements.
!
[f] EPOCH:          007237.833333333
[g] INCLINATION:    98.834510
R.A.A.N.:           177.960440
[h] ARGUMENT OF PERIGEE: 47.567990
[i] ECCENTRICITY:   0.0014305
[j] SEMI MAJOR AXIS: 7222.633400
[k] MEAN ANOMALY:   54.695890
!
! Ascending or descending orbit. Also indicate whether the
! image has been rotated north-up or not.
!
[l] ASCEND/DESCEND: ASCEND
ROTATED:            NO
!
! Slopes and Intercepts
!
[m] SLOPES: 0.1020000 0.1030000 -0.0016797 -0.1790746
INTERCEPTS: -4.1300001 -4.2100000 1.6692461 157.2673558 178.9532614
!
! Platinum resistance temperature counts (PRT counts).
!
[n] PRT(1):         222.000000
PRT(2):            226.000000
PRT(3):            222.000000
PRT(4):            228.000000
!
! Internal target data counts (blackbody counts).
!
[o] BLACKBODY(3):   848.000000
BLACKBODY(4):      459.000000
BLACKBODY(5):      438.000000
!
! Space scan data counts.
!
[p] SPACE(1):       40.000000
SPACE(2):           39.000000
SPACE(3):           991.000000
SPACE(4):           991.000000
SPACE(5):           990.000000
!
! A-values
!
[q] AVALUES(1): 276.601 0.05090 1.657 E-06 0.0 0.0
AVALUES(2): 276.683 0.05101 1.482 E-06 0.0 0.0
AVALUES(3): 276.565 0.05117 1.313 E-06 0.0 0.0
AVALUES(4): 276.615 0.05103 1.484 E-06 0.0 0.0
!
END OF TEXT SEGMENT

```

[a]: formát dat (HRPT/GAC/LAC)

[b]: družice

[c]: číslo oběhu kolem Země

[d]: datum pořízení snímku

[e]: souřadnice středového pixelu

[f]: čas od vypuštění družice

[g]: sklon dráhy družice k rovině

rovníku

[h]: argument perigea

[i]: excentricita dráhy družice

[j]: velká poloosa dráhy družice

[k]: střední anomálie dráhy družice

[l]: typ přeletu (při pořízení snímku) –

sestupný/vzestupný

[m]: parametry slope a intercepts –

kalibrace spektrálních kanálů 1, 2 a

3A

[n]: parametry PRT – kalibrace

spektrálních kanálů 3B, 4 a 5

[o]: parametry blackbody – kalibrace

spektrálních kanálů 3B, 4 a 5

[p]: parametry space – kalibrace

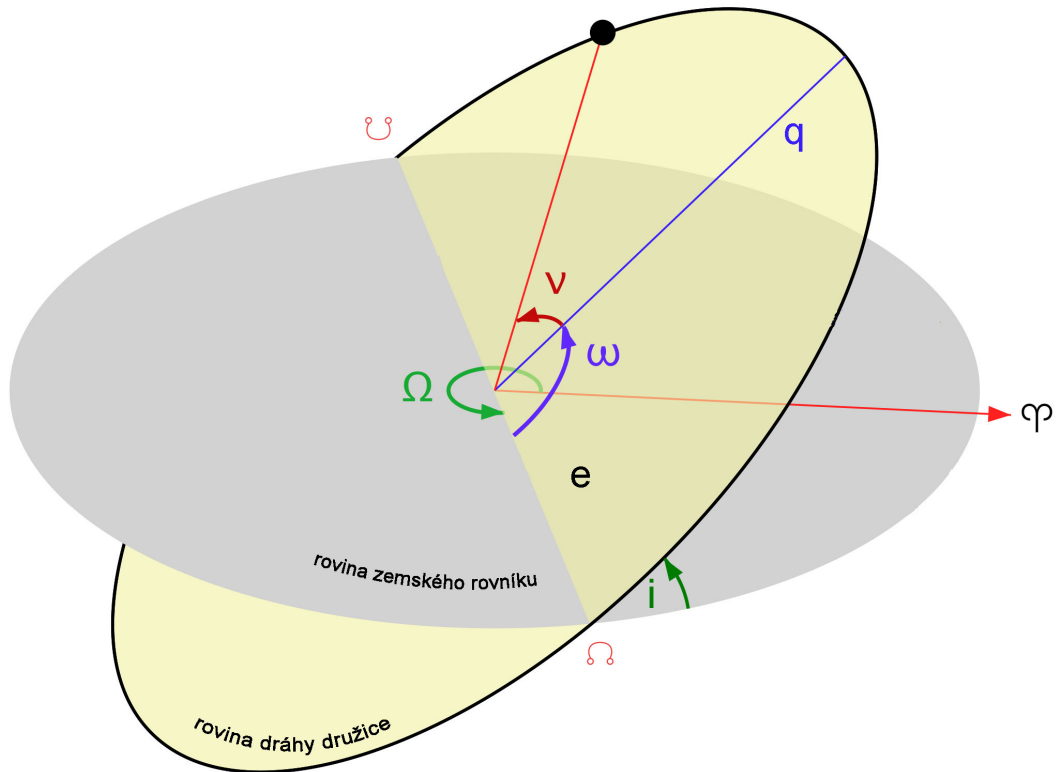
spektrálních kanálů 3B, 4 a 5

[q]: parametry A-values – kalibrace

spektrálních kanálů 3B, 4 a 5.

PŘÍLOHA 3: DRÁHOVÉ ELEMENTY

Příloha 3a: Dráhové elementy – parametry jednoznačně definující polohu družice na oběžné dráze Země. Tato sestava parametrů je pro účely zpracování družicových dat vyjádřena ve formě TLE dat.



- ♁ sestupný uzel: průsečík dráhy družice s rovinou zemského rovníku
- ♂ vzestupný uzel: průsečík dráhy družice s rovinou zemského rovníku
- φ směr k jarnímu bodu: průsečík roviny zemského rovníku a roviny oběhu Země kolem Slunce
- Ω délka výstupného uzlu: úhel svírající spojnice Země-jarní bod se spojnicí Země-výstupný uzel dráhy
- ω argument perigea: úhel svírající spojnice Země-perigeum dráhy se spojnicí Země-výstupný uzel dráhy
- v pravá anomálie: úhel který opiše průvodič družice za časový úsek t
- i inklinace: sklon dráhy družice k rovině zemského rovníku
- e excentricita: poměr lineární excentricity a délky velké poloosy dráhy
- q vzdálenost perigea: vzdálenost Země-družice v okamžiku průchodu perigeem

Příloha 3b: Příklady sad TLE dat pro družice NOAA 17 a NOAA 18.

```
NOAA 17 [+]
1 27453U 02032A 07361.75846117 .00000002 00000-0 19407-4 0 7326
2 27453 98.5596 66.2034 0010950 248.3449 111.6555 14.23936066286263

NOAA 18 [+]
1 28654U 05018A 07361.75671502 .00000255 00000-0 16559-3 0 2476
2 28654 98.8516 299.9733 0015219 81.6366 278.6535 14.11123208134157
```

PŘÍLOHA 4: GEOMETRICKÁ TRANSFORMACE

Příloha 4a: Výsledky geometrických transformací: Příklad výsledné zprávy udávající přesnost provedené geometrické korekce družicového snímku. Identifikační číslo bodu [1], polohová chyba bodu [2], polohová chyba bodu ve směru X [3], polohová chyba ve směru Y [4], snímková souřadnice bodu (X) [5], snímková souřadnice bodu (Y) [6], celková polohová chyba transformace ve směru X [7], celková chyba transformace ve směru Y [8]. Všechny hodnoty jsou vztaženy k velikosti 1 pixelu obrazu

```

Residual Error Report
Residual Units: Image pixels
Residual Summary for 1 Images
  GCPs: 36 X RMS 0.38 Y RMS 0.01
Check points: 0 X RMS Y RMS
Tie points: 0 X RMS Y RMS

Listing: GCPs only All images

Point ID   Res      Res X      Res Y      Type  Image ID      Image X      Image Y      Comp X      Comp Y
[1] 183      0.74      0.74      -0.00      GCP  26_08_2007      1464.5      1430.5      1465.2      1430.5
101      0.66      0.66      0.02      GCP  26_08_2007      1824.5      1824.5      1825.2      1825.2
166      0.63      0.63      0.00      GCP  26_08_2007      1464.5      1287.5      1465.1      1287.5
118      0.60      0.60      0.00      GCP  26_08_2007      1824.5      858.5      1825.1      858.5
149      0.54      0.54      0.01      GCP  26_08_2007      1464.5      1144.5      1465.0      1144.5
100      0.50      -0.50      -0.02      GCP  26_08_2007      1704.5      1704.5      1704.0      1704.5
185      0.49      -0.49      -0.02      GCP  26_08_2007      1704.5      1430.5      1704.0      1430.5
135      0.48      0.48      0.01      GCP  26_08_2007      1824.5      1001.5      1825.0      1001.5
99       0.46      -0.46      -0.01      GCP  26_08_2007      1584.5      1584.5      1584.0      1584.0
132      0.45      0.45      -0.01      GCP  26_08_2007      1464.5      1001.5      1465.0      1001.5
182      0.44      -0.44      0.02      GCP  26_08_2007      1344.5      1430.5      1344.1      1430.5
117      0.41      -0.41      0.01      GCP  26_08_2007      1704.5      858.5      1704.1      858.5
165      0.41      -0.41      0.00      GCP  26_08_2007      1344.5      1287.5      1344.1      1287.5
168      0.40      -0.40      0.00      GCP  26_08_2007      1704.5      1287.5      1704.1      1287.5
115      0.37      0.37      0.00      GCP  26_08_2007      1464.5      858.5      1464.9      858.5
134      0.36      -0.36      0.01      GCP  26_08_2007      1704.5      1001.5      1704.1      1001.5
151      0.35      -0.35      0.01      GCP  26_08_2007      1704.5      1144.5      1704.1      1144.5
152      0.33      0.33      0.01      GCP  26_08_2007      1824.5      1144.5      1824.8      1144.5
148      0.32      -0.32      -0.01      GCP  26_08_2007      1344.5      1144.5      1344.2      1144.5
116      0.32      -0.32      0.00      GCP  26_08_2007      1584.5      858.5      1584.2      858.5
98       0.31      0.31      0.01      GCP  26_08_2007      1464.5      715.5      1464.8      715.5
131      0.21      -0.21      -0.02      GCP  26_08_2007      1344.5      1001.5      1344.3      1001.5
187      0.21      0.21      0.02      GCP  26_08_2007      1944.5      1430.5      1944.7      1430.5
133      0.17      -0.17      0.01      GCP  26_08_2007      1584.5      1001.5      1584.3      1001.5
136      0.17      -0.17      -0.01      GCP  26_08_2007      1944.5      1001.5      1944.3      1001.5
119      0.16      -0.16      0.01      GCP  26_08_2007      1944.5      858.5      1944.3      858.5
153      0.14      -0.14      -0.02      GCP  26_08_2007      1944.5      1144.5      1944.4      1144.5
102      0.13      -0.13      0.01      GCP  26_08_2007      1944.5      715.5      1944.4      715.5
97       0.12      0.12      0.02      GCP  26_08_2007      1344.5      715.5      1344.6      715.5
169      0.12      0.12      0.00      GCP  26_08_2007      1824.5      1287.5      1824.6      1287.5
184      0.12      0.11      -0.01      GCP  26_08_2007      1584.5      1430.5      1584.6      1430.5
186      0.10      -0.10      0.00      GCP  26_08_2007      1824.5      1430.5      1824.4      1430.5
114      0.07      -0.07      -0.01      GCP  26_08_2007      1344.5      858.5      1344.4      858.5
150      0.05      -0.05      0.01      GCP  26_08_2007      1584.5      1144.5      1584.4      1144.5
167      0.04      0.04      -0.00      GCP  26_08_2007      1584.5      1287.5      1584.5      1287.5
170      0.04      -0.04      -0.02      GCP  26_08_2007      1944.5      1287.5      1944.5      1287.5

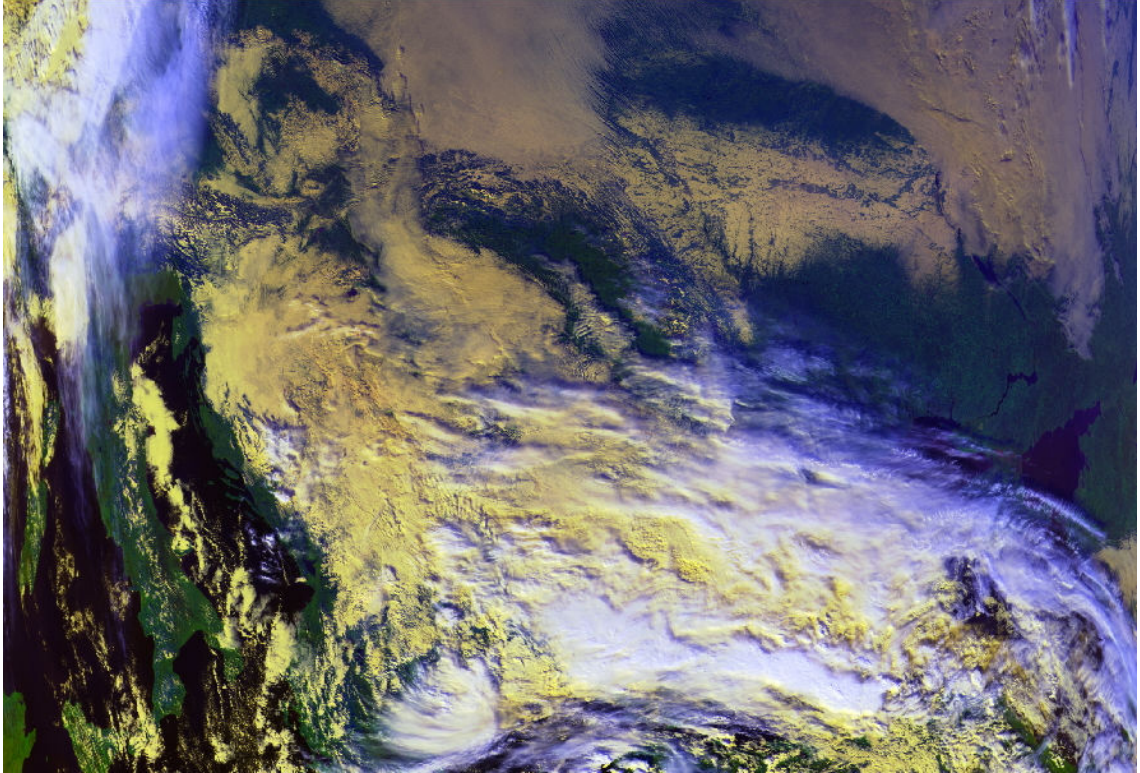
RMS (x, y) for worst 5% of points in list: 0.74, 0.00

Residual Summary for 26_08_2007
  GCPs: 36 X RMS 0.38 Y RMS 0.01
check points: 0 X RMS [7] Y RMS [8]

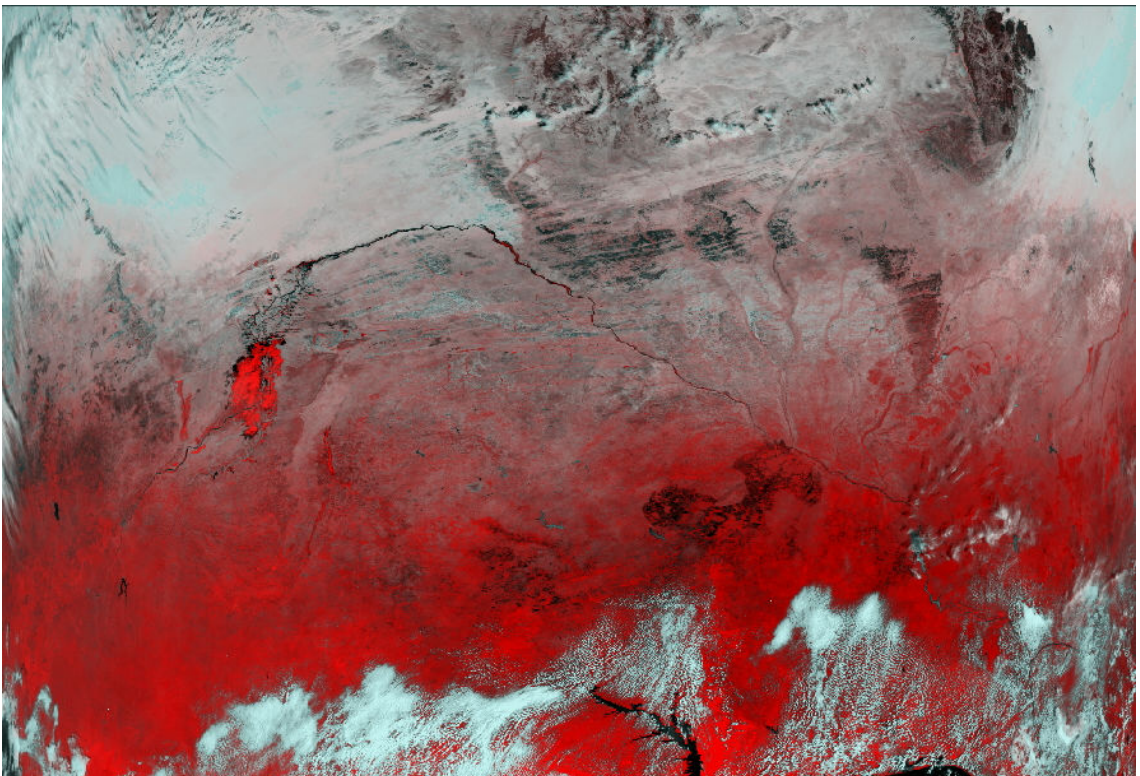
```


PŘÍLOHA 5: HRPT TOOLSET

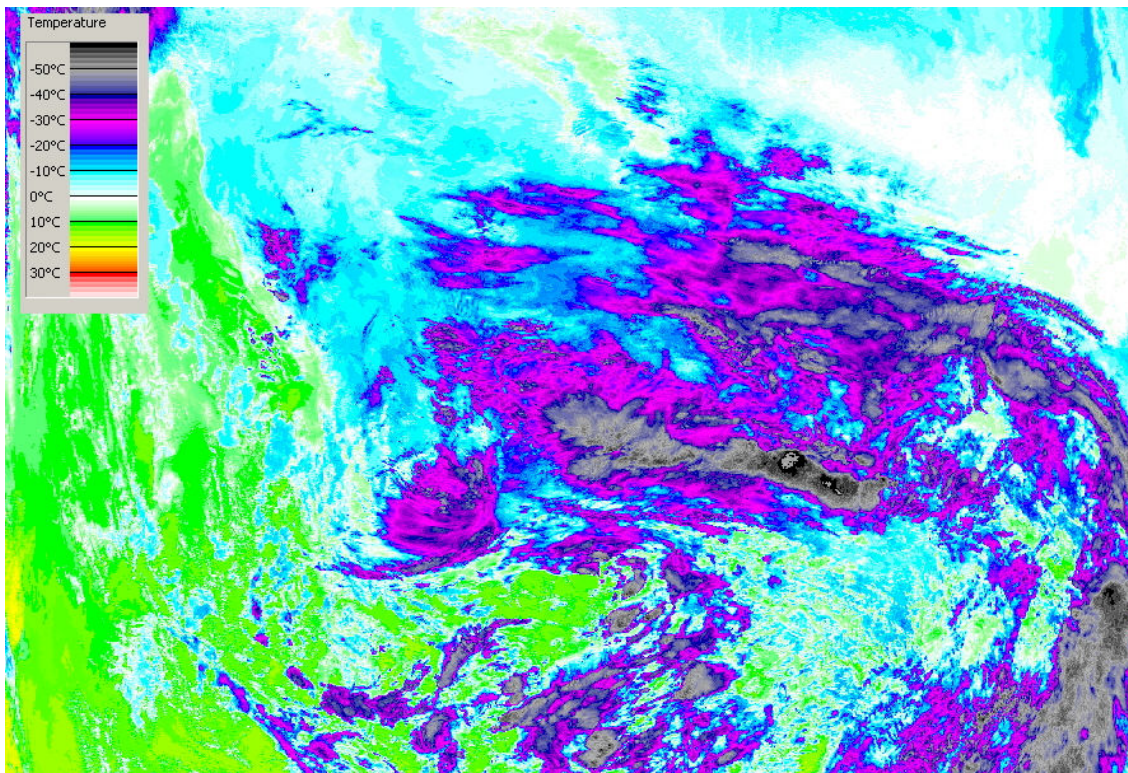
Příloha 5a: RGB kompozice vzniklá z dat pořízených 19.11.2007 družicí NOAA 18 a přijatých přijímací stanicí Katedry aplikované geoinformatiky a kartografie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.



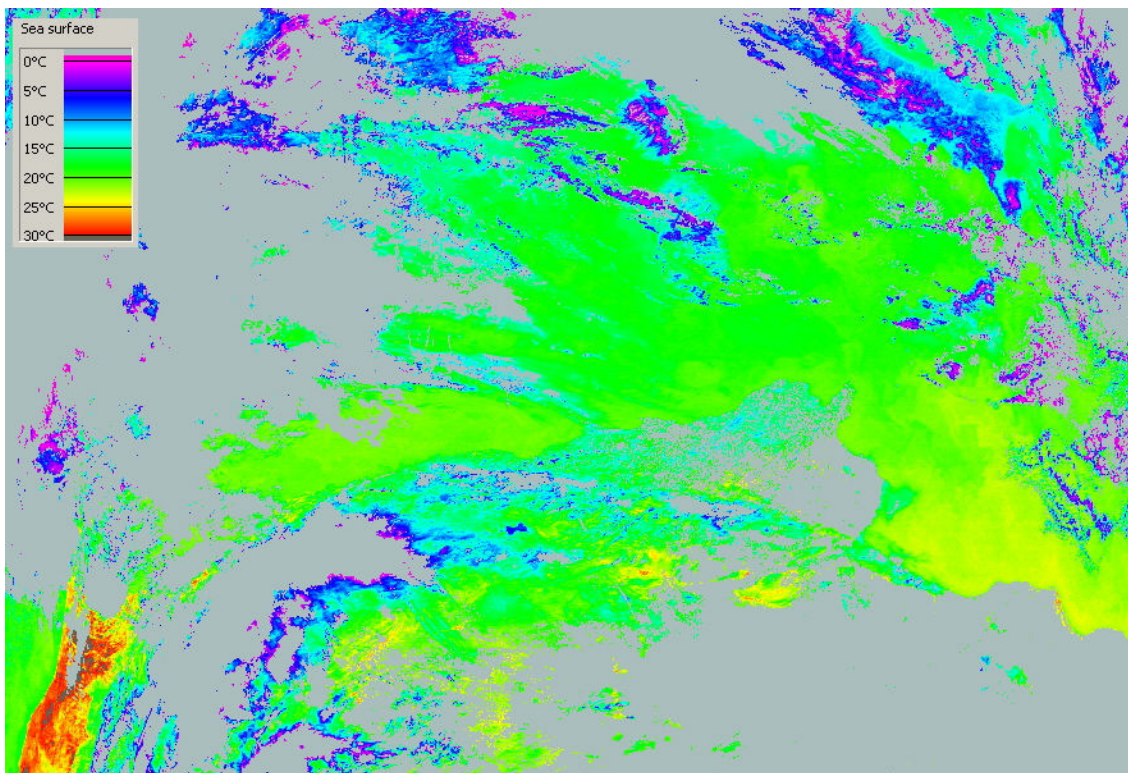
Příloha 5b: Pohled na vnitrozemskou deltu řeky Niger pořízený 19.11.2007 družicí NOAA 17. Data byla přijata pomocí stanice Katedry aplikované geoinformatiky a kartografie a zpracována pomocí software HRPT Toolset. Červená barva označuje místa pokrytá vegetací



Příloha 5c: Data pořízená 19.11.2007 družicí NOAA 18 přijatá pomocí stanice katedry aplikované geoinformatiky a kartografie. Snímek byl pomocí software HRPT Reader převeden na jasovou teplotu. Dobře rozlišitelná je zde chladná vysoká oblačnost (černě), teplejší oblačnost nižších pater (fialově) a relativně teplý povrch pevniny (zeleně a žlutě)

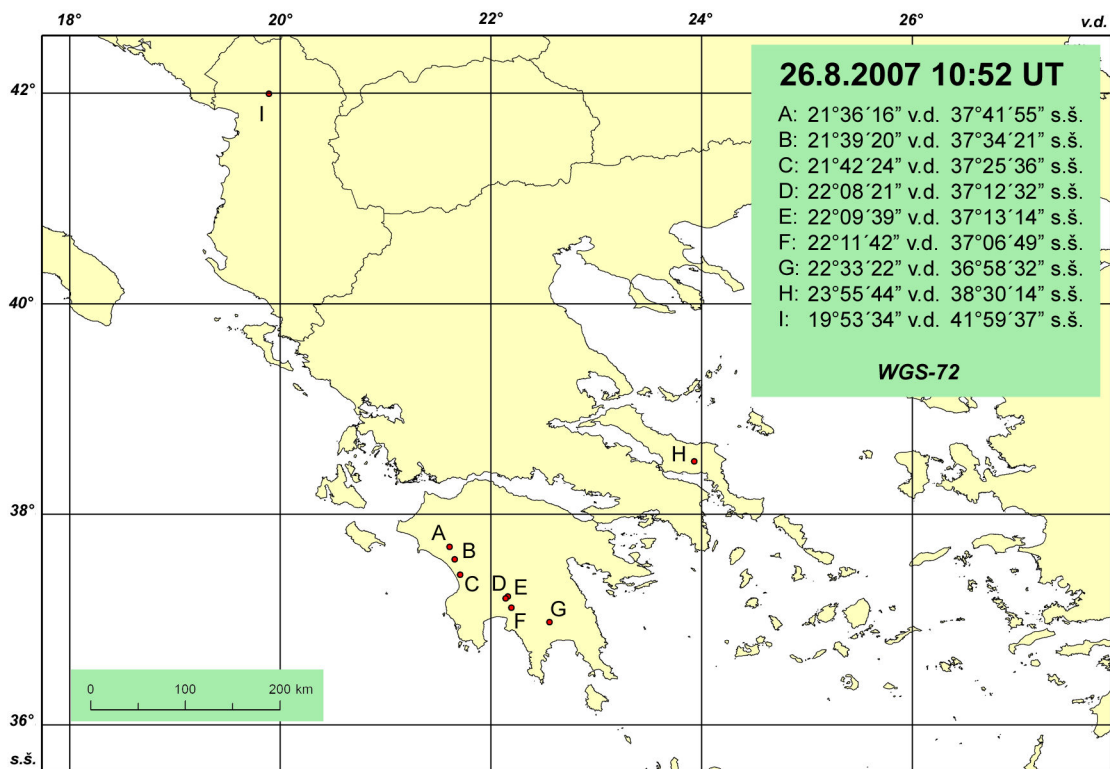
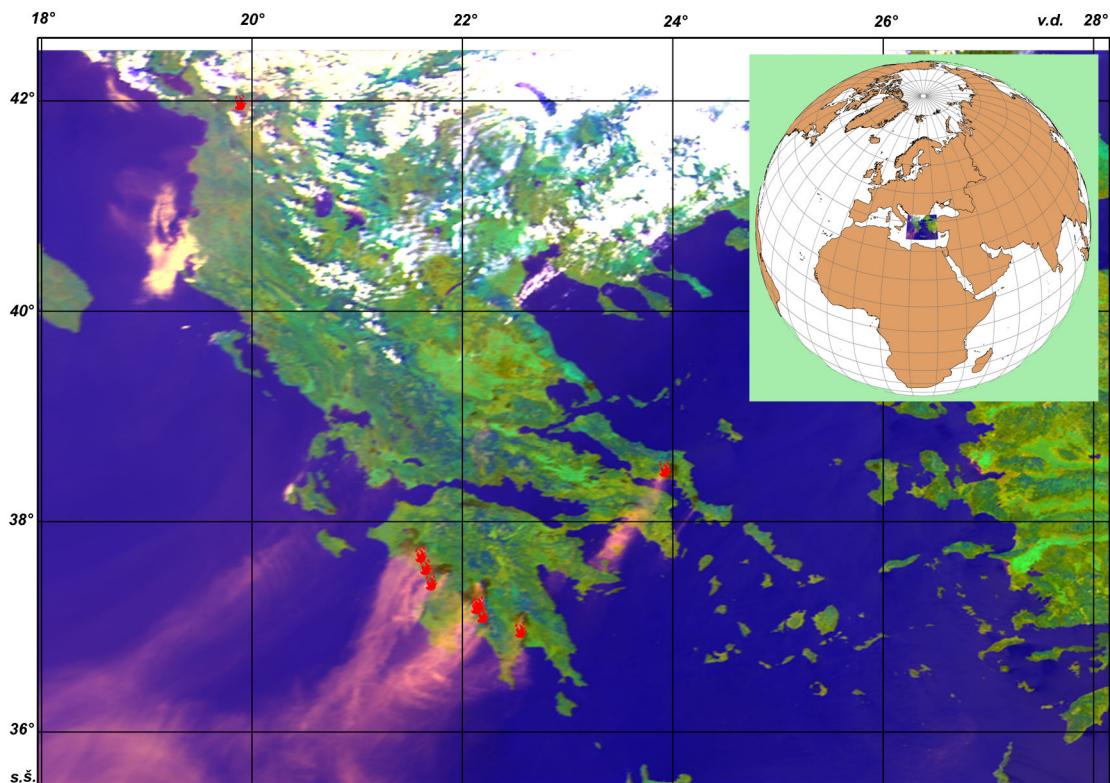


Příloha 5d: Pohled na oblast Středozemního moře. Na přijatá data byl v software HRPT Reader aplikován algoritmus pro určení teploty mořské vody. Data byla pořízena 19.11.2007 družicí NOAA 17 a přijata pomocí stanice Katedry aplikované geoinformatiky a kartografie.



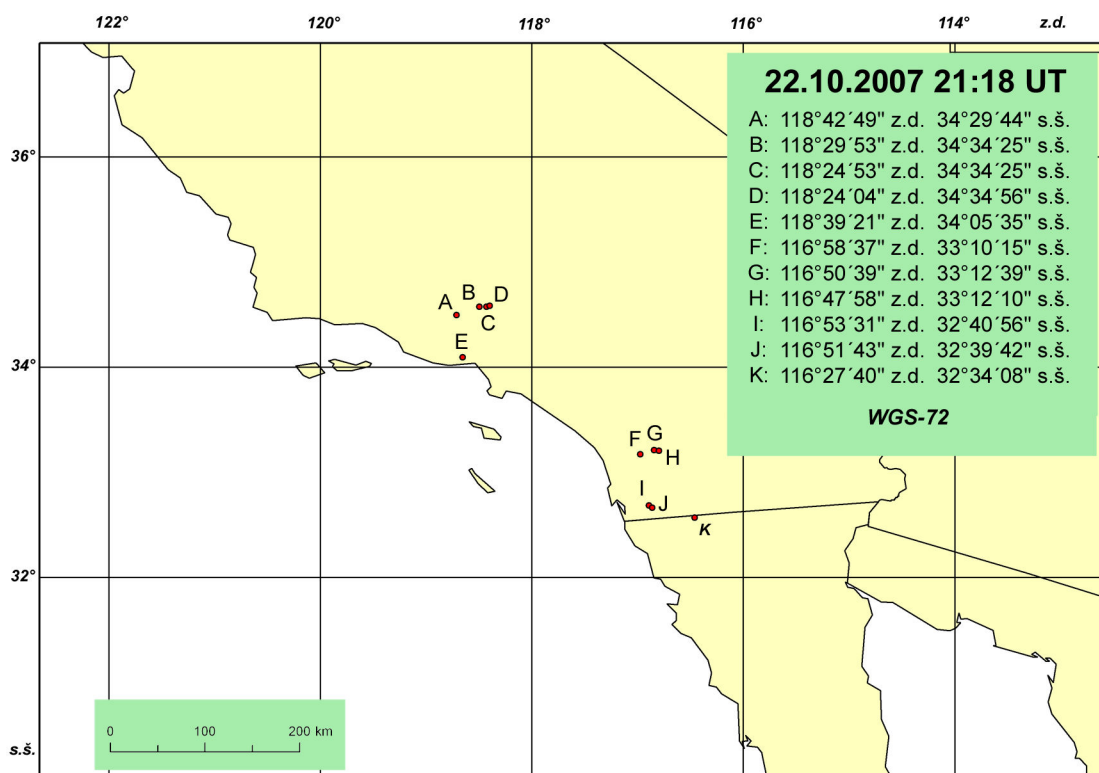
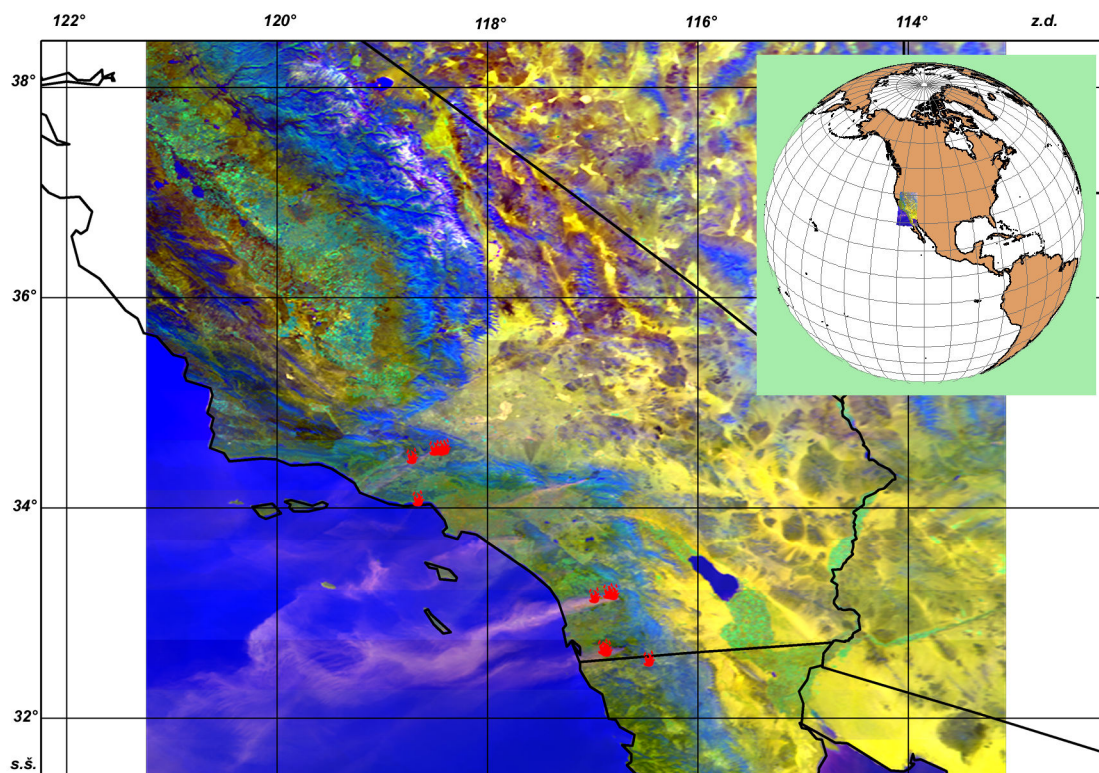
PŘÍLOHA 6: POŽÁRY V ŘECKU (26.8.2007)

Příloha 6: Požáry detekované algoritmem HANDS na družicovém snímku pořízeném družicí NOAA 18 26.8.2007.



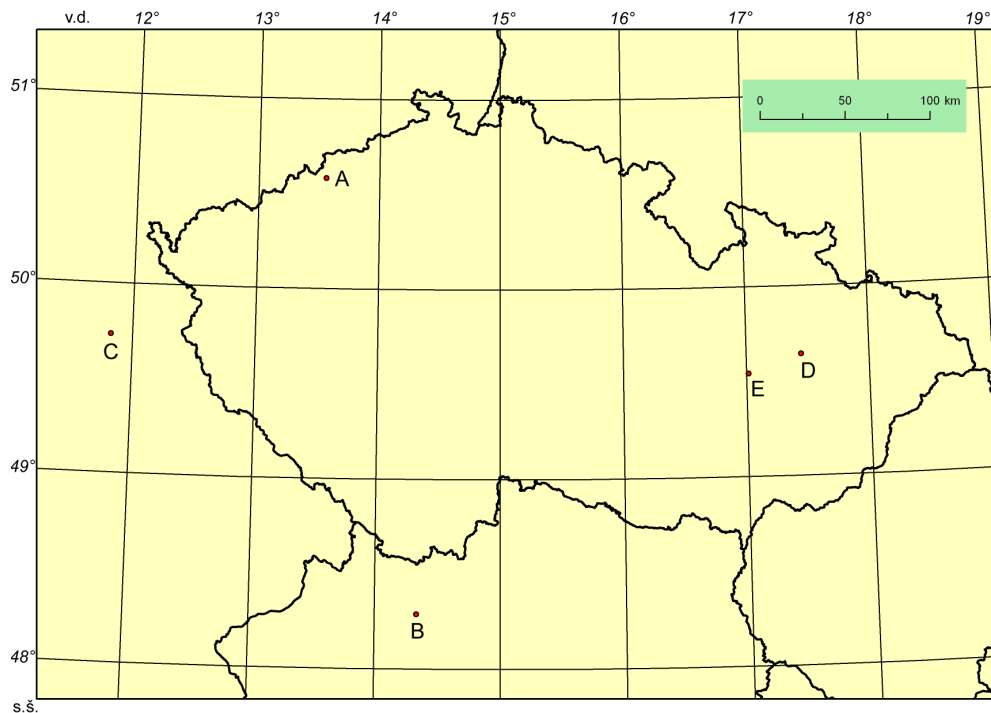
PŘÍLOHA 7: POŽÁRY V KALIFORNII (22.10.2007)

Příloha 7: Požáry detekované algoritmem HANDS na družicovém snímku pořízeném družicí NOAA 18 22.10.2007.



PŘÍLOHA 8: APLIKACE HANDS V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

Příloha 8a: Hotspots detekované na podkladě dat pořízených družicí NOAA 14 dne 22.4.1996. Na snímku bylo detekováno celkem 5 horkých skvrn (A-E). Zdrojem těchto hotspots jsou zejména průmyslové provozy produkující teplo – v tomto případě rafinérie Chemopetrol Litvínov (A), železárny Voestalpin AG Linz (B) a průmyslový komplex Eschenbach in der Oberpfalz. Hotspot označený písmenem D je způsoben skutečným lesním požárem, jenž v době pořízení snímku probíhal na území obce Hlubočky. Zdroj horké skvrny označené písmenem E na území obce Stařechovice se nepodařilo určit.



Příloha 8b: Poloha detekovaná hotspot způsobené lesním požárem na území obce Hlubočky. Červenou barvou jsou vyznačeny pixely použitého snímku NOAA/AVHRR, které byly detekční metodou klasifikovány jako hotspot. **Zdroj podkladového ortofota:** <http://geoportál.cenia.cz>

