

Využití GIS v procesu detekce lesních požárů velkého měřítka

Jan Mišurec, Eva Štefanová

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze
Albertov 6, 128 43, Praha, Česká republika
jmis@volny.cz
stefano1@natur.cuni.cz

Abstrakt: Zvyšující se počet živelných katastrof v důsledku extrémních přírodních jevů a činnosti člověka vede v souvislosti s rozvojem moderních technologií k hledání metod, jakými by bylo možné provádět odhad, sledování a také hodnocení následků různých katastrofických událostí. Jedním druhem těchto přírodních katastrof jsou i lesní požáry. Článek se zabývá možnostmi detekce lesních požárů na základě družicových snímků nízkého prostorového rozlišení (NOAA). Testována byla metoda detekce požárů označovaná jako *Hotspots and NDVI Differencing Synergy* (HANDS), která kombinuje metody založené na vyhledávání míst s abnormálně vysokou teplotou s metodami založenými na hodnocení změn vegetačního pokryvu v důsledku požáru. Detekční algoritmus HANDS byl prakticky aplikován na vybrané lesní požáry v Řecku (srpen 2007) a Kalifornii (říjen 2007) a také na území České republiky (duben 1996). Zpracování dat mělo charakter radiometrických a geometrických korekcí družicových snímků na něž navazovala tvorba a následná aplikace interaktivního modelu v prostředí GIS, pomocí kterého byly realizovány jednotlivé kroky detekčního algoritmu HANDS. Dosažené výsledky umožňují zhodnotit možnosti praktického využití algoritmu pro detekci požárů jak ve světě tak i na našem území.

Klíčová slova: NOAA, AVHRR, analýza HANDS, hotspot, NDVI

Abstract: Large scale forest fire detection using GIS. The increasing number of environmental disasters as a result of extreme natural phenomena and human activity lead to the development of new methods of forecasting, monitoring and damage assessing. Large scale forest fires are one of the specific kinds of the natural phenomena. This article describes possibilities of forest fire detection using satellite data NOAA/AVHRR. The main part is focused on the application of forest fire detection algorithm HANDS (*Hotspot and NDVI Differencing Synergy*). The large scale forest fires in Greece (August 2007), California (October 2007) and The Czech republic (April 1996) were chosen for testing of HANDS algorithm. Satellite data consisting of radiometric and geometric correction were followed by the development and application of an interactive GIS model based on HANDS algorithm. The project results in many valuable outcomes which were very useful for HANDS algorithm effectivity assessment – especially the situations when a successful application of it in the conditions of small scale forest fires was quite problematic.

Keywords: NOAA, AVHRR, HANDS algorithm, hotspot, NDVI

1 Úvod

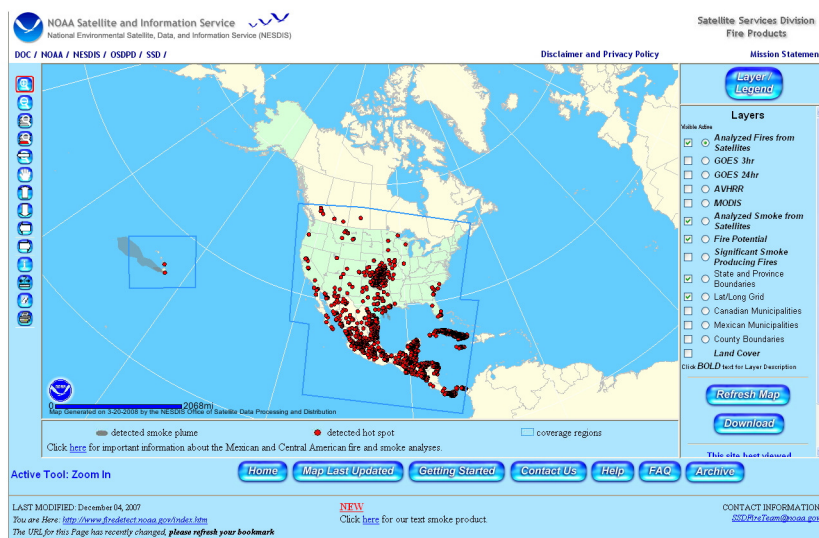
Velké lesní požáry, způsobené zejména katastrofálními suchy prohlubujícími se v důsledku globálních klimatických změn a v neposlední řadě rovněž lidskou neopatrností, se stávají díky vysokým škodám na majetku a na lidských životech často diskutovanou tematikou. Tímto druhem přírodních katastrof jsou postiženy zejména státy jižní Evropy, Austrálie a jižní části USA. Rostoucí počet lesních požárů velkého měřítka vede v posledních letech k intenzivnímu hledání metod jejich detekce. Tato snaha se soustředí především na požáry probíhající v rozsáhlých neobydlených oblastech, neboť v místech s vysokou hustotou obyvatelstva jsou požáry zpravidla detekovány mnohem dříve, než je možné je zaznamenat družicemi na oběžné dráze Země.

Podle kritérií užívaných v Evropě² jsou jako požáry velkého měřítka označovány požáry, které postihnou území o rozloze alespoň 1 km² [1]. Například v Řecku je každoročně detekováno okolo 5000 lesních požárů, z čehož jen 5,4 % náleží do kategorie požárů velkého měřítka. Tento poměrně malý počet požárů má na svědomí přes 72 % veškerých škod, které jsou požáry způsobeny [1].

² V USA patří do této kategorie požáry, jež postihnou území alespoň 4 km² [1]

2 Současné metody detekce lesních požárů

Myšlenka využití družicových dat pro potřeby detekce požárů vznikla záhy po uvedení družicového systému NOAA do operačního provozu. Většího rozšíření se však dočkala teprve v posledním desetiletí, přičemž nejdále jsou v tomto ohledu státy, kde je riziko výskytu velkých lesních požárů nejvyšší (tj. především Řecko, Španělsko, USA a Kanada). Příkladem může být americký systém *Hazard Mapping System* (HMS), který je založen na plně automatickém zpracování dat z různých družicových systémů (GOES, NOAA, MODIS a DMSP). Výsledkem je on-line přístupná GIS aplikace, pomocí které je uživatel schopen získat okamžitý přehled o detekovaných požárech (viz. obr. 1).



Obr.1: Příklad výstupu systému detekce požárů HMS

Současné detekční metody jsou založeny na dvou základních projevech lesních požárů:

1. vysoké povrchové teplotě,
2. poškození vegetace v místě požáru.

V prvním případě je možné v místě požáru detekovat abnormální množství tepelné energie, vyzařované zemským povrchem, jenž se v družicovém snímku (pořízeném ve vhodném spektrálním pásmu) projevuje přítomností tzv. hotspots (viz. obr. 2). Teplota hořící vegetace je zpravidla cca 800 K. Podle Planckova zákona vyzařování odpovídá této teplotě maximum vyzařování na vlnové délce okolo 3,7 μm , což je zároveň vlnová délka, v níž je zemský povrch snímán radiometrem AVHRR (spektrální kanál 3B), umístěným na družicích NOAA a MetOp [4]. Radiometr AVHRR však není primárně určen pro potřeby detekce požárů. Jeho čidlo je saturováno již při dopadání energie odpovídající jasové teplotě³ 320 K [4]. Proto jsou kromě skutečných požárů jako hotspots detekovány také objekty, které se skutečnými požáry nemají nic společného (sluncem rozpálené povrchy, vysoce odrazivá oblačnost, glintový jev apod⁴). Z tohoto důvodu je třeba informací z dalších spektrálních kanálů, na základě nichž je možné tyto tzv. falešné hotspots odstranit.

Druhým přístupem je sledování poškození vegetace, které velké lesní požáry vždy provází. Metoda je založena na vyhodnocování změn normalizovaného vegetačního indexu (NDVI). Vegetace obsahující chlorofyl je vysoce odrazivá v oblasti blízkého infračerveného záření a naopak poměrně málo odrazivá v červené oblasti viditelného oboru. Normalizovaný vegetační index je definován [1]:

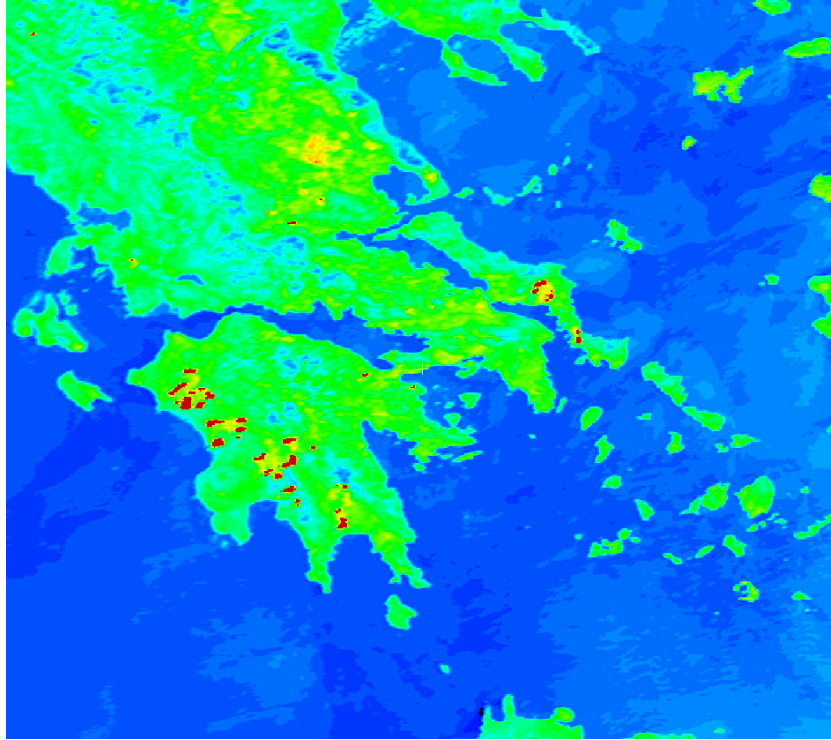
$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS},$$

³ teplota, jakou by povrch měl pokud by charakteristiky jeho vyzařování odpovídaly absolutně černému tělesu

⁴ glintový jev – odraz Slunce na vodní (zejména mořské) hladině.

kde NIR je odrazivost povrchu v blízkém infračerveném oboru (pro data AVHRR spektrální kanál 2) a VIS je odrazivost povrchu v červené oblasti viditelného záření (pro data AVHRR spektrální kanál 1).

V případě, že je povrch pokryt hustou zelenou vegetací, je NDVI vysoký. Po požáru se však jeho hodnota velmi výrazně snižuje. Stejně jako v případě hotspots může být pokles NDVI způsoben také jinými vlivy – např. sklizní dřeva či sezónními změnami vegetace.



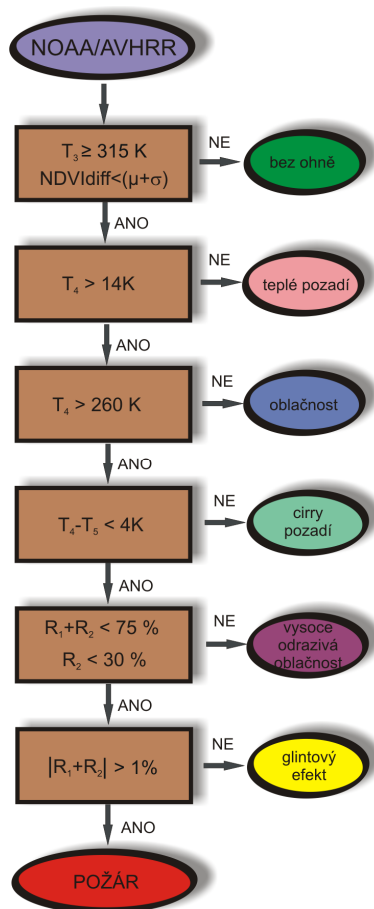
Obr.2: Typický vzhled hotspots na družicovém snímku pořízeném radiometrem AVHRR ve spektrálním kanálu 3B. Snímek byl pořízen 26.8.2007 družicí NOAA 18.

Z hlediska technického řešení je možné detekční metody rozdělit rovněž do dvou základních skupin. První skupina využívá pevné prahové hodnoty (zpravidla empiricky odvozené) pro jednotlivé zkoumané parametry, na jejichž základě jsou vymezena místa s potenciálním výskytem požárů. Výhoda těchto metod je zejména v jejich jednoduchosti a snadnosti výpočtu. Nevýhodou je skutečnost, že mohou být použity pouze lokálně, neboť v každé vegetační oblasti se požáry chovají jinak [4].

Druhá skupina algoritmů je založena na pružné změně kritických prahových hodnot v závislosti na vegetační oblasti, na kterou je daná metoda aplikována. Tyto algoritmy jsou označovány jako kontextuální, přičemž by jejich použití mělo být mnohem univerzálnější [4]. Nevýhodou je jejich vyšší složitost a tím i komplikovanost výpočtu.

3 Základní principy analýzy HANDS

Algoritmus HANDS byl vyvinut jako metoda komplexně propojující detekci hotspots se sledováním změn vegetace pomocí NDVI. Tímto se tato metoda odlišuje od všech starších detekčních algoritmů, které vždy zohledňovaly pouze jeden z těchto parametrů. V případě HANDS je vyhledávání hotspots založeno na principu pevných prahových hodnot, analýza změn NDVI je tedy kontextuální. Celý algoritmus je založen na principu řetězce na sebe navzájem navazujících podmínek, které musí být splněny, aby bylo možné dané místo označit za aktivní požár. Podle [6] může být celý algoritmus shrnut do kroků, které jsou znázorněny na obr. 3, kde T představuje jasovou teplotu v daném spektrálním kanále a R odrazivost (%) v daném spektrálním kanále.



Obr.3: Struktura detekční metody HANDS

Analýza změn vegetačního indexu v důsledku požárů je definována [2]:

$$NDVldiff < (\mu + \sigma)$$

NDVldiff označuje rozdíl aktuální hodnoty indexu NDVI s hodnotou před vypuknutím požáru. Pro tento test je nejprve nutné vymezit oblasti potenciálních požárů podmínkou $T_3 \geq 315$ K. V takto vymezených oblastech je následně vypočtena průměrná hodnota změny vegetačního indexu (μ) a její směrodatná odchylka (σ) [4].

4 Aplikace algoritmu HANDS na vybrané lesní požáry

Družicová data je před aplikací detekčního algoritmu HANDS nutné radiometricky a geometricky korigovat. V případě radiometrických korekcí je nutné provést korekci na výšku Slunce (matematicky upravit hodnoty jednotlivých pixelů tak, jako kdyby ve všech místech snímku dopadalo sluneční záření kolmo na zemský povrch). Druhým krokem je kalibrace dat na jasovou teplotu (spektrální kanály 3B, 4 a 5) a odrazivost (kanály 1 a 2). V rámci geometrické transformace byla data umístěna do souřadnicového systému WGS – 72 na základě připojené sady 255 vlíčovacích bodů. Vzhledem k dostatečnému množství vlíčovacích bodů byla zvolena polynomická transformace 3. stupně, díky čemuž bylo dosaženo na drtivé většině vlíčovacích bodů polohové chyby menší než 0,5 pixelu (cca 500 m). Předzpracování družicových dat bylo provedeno pomocí software PCI Geomatica 10.1.

Analýza HANDS byla připravena jako interaktivní model v prostředí ArcGIS 9.2 pomocí modulu *Model Builder*. Celý model byl navržen tak, aby uživatel mohl zadat cesty k souborům⁵, které obsahují kalibrovaná a georeferencovaná data z požadovaného spektrálního kanálu AVHRR. Výsledek je ve formě rastrové bitmapy (rastr nabývající hodnot 0 nebo 1) zobrazující výskyt jednotlivých požárů.

V případě metody HANDS hledáme místa, která zároveň splňují určitou sadu podmínek, odpovídajícím jednotlivým krokům na obr. 3. Hodnoty jednotlivých pixelů byly nejprve porovnávány danou podmínkou pomocí funkcí *less than* (*less than equal*) a *greater than* (*greater than equal*). Pomocí těchto funkcí byl pro každou podmínku získán rastr obsahující pouze hodnoty 0 nebo 1 (0 v místech, kde podmínka splněna nebyla a 1 v místech, kde podmínka splněna byla). Na základě takto vzniklých rastrů bylo možné pomocí logické funkce *AND* možné vyhledat místa, kde jsou zároveň splněny všechny požadované podmínky. Tento způsob je založen na skutečnosti, že hodnotu 1 je ve výsledku možné získat jen v místech, kde u všech dílčích podmínek nabývá rastr rovněž hodnoty 1. Ve všech ostatních případech (kdy jsou splněny jen některé podmínky) je výsledkem hodnota 0. Problémem byla skutečnost, že pomocí funkcí ArcGIS 9.2 není možné porovnávat více než dvě podmínky současně. Proto musela být funkce *AND* v modelu aplikována opakovaně – podmínky byly porovnávány postupně po dvojicích tak dlouho, až bylo dosaženo konečného výsledku.

Pro potvrzení detekovaných hotspots pomocí analýzy NDVI byly nejprve vymezeny oblasti, kde platila podmínka $T_3 \geq 315$ K. V takto vymezených zónách byly aplikací funkce *Zonal statistics* určeny hodnoty μ a σ , které byly následně použity v testu $NDVI_{diff} < (\mu + \sigma)$. Výsledkem byl opět dvouhodnotový (0 a 1) rastr, který byl pronásoben s výsledkem detekce hotspots. Výsledkem je bitmapa, na které se hodnota 1 vyskytuje v místech, kde byl detekován hotspot a zároveň jsou zde změny vegetace natolik velké, že je možné předpokládat výskyt požáru.

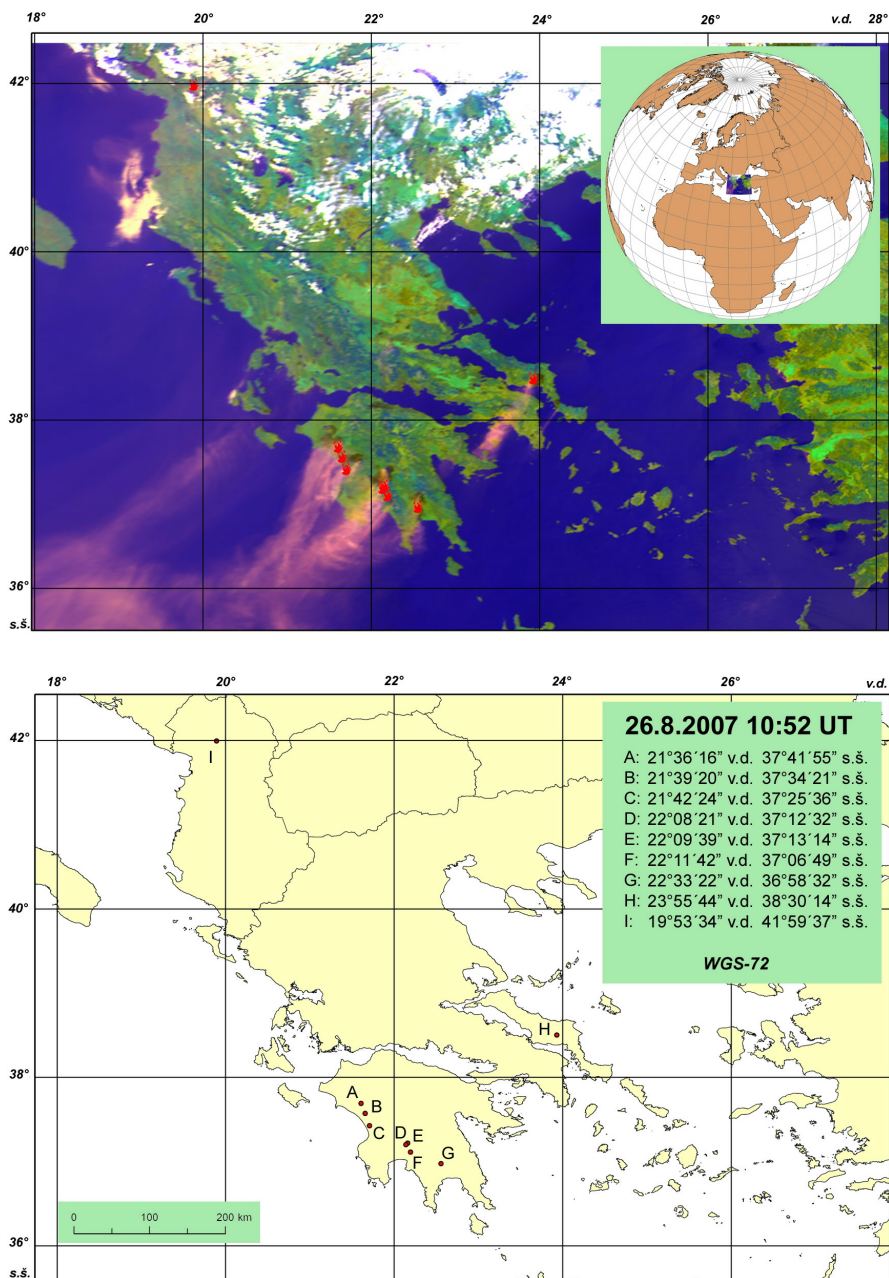
5 Výsledky

Model vytvořený na základě funkčních principů detekčního algoritmu HANDS byl aplikován na velké požáry v Řecku (26. srpna 2007), v Kalifornii (22.10. 2007) a v České republice (duben 1996). Na základě získaných výsledků bylo zjištěno, že uvedená metoda velmi dobře detekuje požáry velkého měřítka, přičemž efektivně odstraňuje falešné hotspots různého původu. Zároveň bylo prokázáno, že metodu analýzy indexu NDVI i přes její kontextuální charakter není možné aplikovat zcela globálně [5]. V blízkém okolí požárů takto postavená metoda dokáže velmi dobře vymežit místa, kde došlo ke změně vegetace v důsledku požárů, avšak s rostoucí vzdáleností úspěšnost analýzy rapidně klesá. Z tohoto důvodu je velmi vhodné výpočet příslušné podmínky omezit do určité vzdálenosti od centra požáru. Vzhledem k tomu, že byla zpracovávána archivní data, bylo možné porovnat, jak se bude výsledek analýzy indexu NDVI lišit v případě, že rozdíl $NDVI_{diff}$ bude vypočten jako rozdíl hodnoty NDVI v okamžiku požáru a hodnoty před požárem (aplikováno na požáry v Kalifornii) od situace, kdy bude vypočten rozdíl hodnoty po uhašení požáru a hodnoty před požárem (aplikováno v případě požárů v Řecku). Hodnoty indexu NDVI jsou totiž v průběhu požáru značně zkresleny oblaky kouře, které zahalují rozsáhlé okolí požáru. Rozdíly panují v používání analýzy NDVI i mezi samotnými autory. Zatímco [2] využívá první možnosti (porovnání hodnot před a po požáru), [6] odlišuje samotnou detekci požáru (při které používá podmínku $NDVI_{diff} < (\mu + \sigma)$) od mapování spálenišť po uhašení ohně (zde používá podmínku $NDVI_{diff} < (\mu + 3,5\sigma)$). Ukázka dosažených výsledků je znázorněna na obr. 4.

Současně byla testována možnost aplikace této detekční metody na požáry v České republice. Za tímto účelem byly vytipovány lesní požáry, které postihly poměrně velké území, aby je bylo možné následně na družicových snímcích rozlišit. Výsledky testování ukázaly, že využití metody HANDS je pro detekci malých požárů velmi nevhodné. Podle [2] je pro detekci požáru pomocí metody HANDS (resp. analýzy NDVI) za potřebí požár, jenž postihl území minimálně 10 km². Menší požáry nejsou doprovázeny tak signifikantními změnami indexu NDVI, a proto jsou paradoxně klasifikovány chybně jako falešné hotspots (je detekován hotspot, ale chybí dostatečné poškození vegetace). Prakticky bylo prokázáno, že při vynechání analýzy NDVI je metoda schopná detekovat tepelné zdroje o velmi malé prostorové rozloze. Příkladem může být snímek pořízený 22.4.1996 družicí NOAA 14. Snímek zachycuje území České republiky v době vůbec největšího lesního požáru na našem území. Tento požár (jenž se odehrál v blízkosti Kraslic a zasáhl území o rozloze 4 km²) však paradoxně nebyl detekován – pravděpodobně proto, že snímek byl pořízen pouze 20 minut od vypuknutí požáru (požár

⁵ Pro aplikaci vytvořeného modelu je tedy zapotřebí celkem 6 souborů: odrazivost ve spektrálním kanále 1 (R_1), odrazivost ve spektrálním kanále 2 (R_2), jasová teplota v e sektrálním kanále 3B (T_3), jasová teplota ve spektrálním kanále 4 (R_4), jasová teplota ve spektrálním kanále 5 (R_5) a rozdíl $NDVI_{diff}$.

se tak ještě nestačil dostatečně rozvinout). Detekovány byly jiné hotspots, které byly později přiřazeny různým průmyslovým podnikům produkujícím teplo (viz. obr. 5). Současně byl detekován i jeden skutečný požár, který shodou okolností ve stejnou dobu probíhal u obce Hlubočky u Olomouce. Jak bylo zjištěno, požár v době největšího rozsahu dosahoval rozlohy pohých $0,36 \text{ km}^2$ [3]. Na základě tohoto zjištění je možné říci, že uvedená metoda je v původní podobě pro detekci malých požárů v praxi nepoužitelná. Řešením by mohlo být například zvýšení rozlišovací schopnosti při výpočtu změn indexu NDVI, které by mohlo být dosaženo například použitím dat z družic Terra a Aqua (MODIS) s prostorovým rozlišením 250 m (oproti 1000 m v případě AVHRR) [5].



Obr.4: Ukázka výsledků získaných nasazením detekční metody HANDS na družicové snímky pořízené v průběhu požárů v Řecku (26.8.2007)

Reference

1. Domenikiotis, Loukas, Dalezios. 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
2. Fraser, Li, Cihlar. Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, 2000, č.74, s. 362-375, ISSN 0034-4257
3. Jankovská. Lesní požáry v ČR (1992-2004): příčiny, dopady a prevence, diplomová práce, *Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta*, 94 s., 12 stran příloh, vedoucí prof. Ing. Emanuel Kula CSc.
4. Li, Nadon, Cihlar. Satellite based detection of Canadian boreal forest fires: development and application of the algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, roč. 21, č. 16, s. 3057-3069, ISSN 1366-5901
5. Mišurec. Možnosti využití dat z družic na olární dráze NOAA, bakalářská práce, 2008, *Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikovaná geoinformatiky a kartografie*, 66. s, 10 stran příloh, vedoucí Ing. Eva Štefanová Ph.D.
6. Pu et al. A dynamic algorithm for wildlife mapping with NOAA/AVHRR data, *International Journal of Wildlife Fire*, 2004, č. 13, s. 275-285, ISSN 1049-8004