

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GEODEZIJE  
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

**ALJAŽ JAUŠOVEC**

**ZAZNAVANJE NARAVNIH POŽAROV S SATELITSKIH  
POSNETKOV**

Diplomska naloga št.: 892/G

**DETECTION OF FOREST FIRES USING SATELLITES  
IMAGERY**

Graduation thesis No.: 892/G

**Mentorica:**  
doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

**Predsednik komisije:**  
izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 28. 5. 2012

## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ALJAŽ JAUŠOVEC** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»ZAZNAVANJE NARAVNIH POŽAROV S SATELITSKIH POSNETKOV«.**

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitorju UL FGG.

Ljubljana, marec 2012.

.....

(podpis)



---

**ERRATA****Stran z napako****Vrstica z napako****Namesto****Naj bo**



**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	614.841.42:528.8(043.2)
<b>Avtor:</b>	Aljaž Jaušovec
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
<b>Naslov:</b>	Zaznavanje naravnih požarov s satelitskih posnetkov
<b>Tip dokumenta:</b>	Diplomska naloga
<b>Obseg in oprema:</b>	62 str., 14 pregl., 4graf., 31 sl., 4 pril., 15 en.
<b>Ključne besede:</b>	SEVIRI, MODIS, požari v naravi, MPEF FIRG, temperaturna anomalija, kontekstualno orodje

**Izvleček**

V diplomski nalogi obravnavamo orodja in satelitske sisteme, namenjene spremljanju temperaturnih anomalij na površju Zemlje. Izbrali smo 5 požarov, na osnovi katerih predstavimo orodje MPEF FIRG (EUMETSAT) in orodje Nase, namenjeno podatkom senzorja MODIS. Predstavimo razlike med obema orodjema, ki imata skupni namen, vendar uporabljata povsem različen satelitski sistem. Rezultatom obeh globalnih orodij dodamo rezultate posameznih detajlnih analiz, izvedenih na osnovi podatkov geostacionarnega satelita MSG1 in MSG2. V nalogi obravnavamo požare: Komen (21.7.2006), Dubrovnik (5.-8.8.2007), Tolmin (1.1.2008), Škofja Loka (31.3.2011) in Pivka (13.7.2011).

V nalogi uporabimo podatke termalnih kanalov senzorjev satelitov, ki ne dajejo visoke prostorske ločljivosti, tako lahko območja določimo le približno.

Podnebne spremembe prinašajo specifično podnebje, ki ga nismo bili vajeni, naravne nesreče, tudi požari, postajajo stalnica v sušnih obdobjih. Hkrati močno ogrožajo življenje in ekosistem, zato je nujno, da se vzpostavijo sistemi, ki te nesreče zaznajo v skoraj realnem času in omogočajo hitro ukrepanje. Sateliti vsekakor ponujajo to možnost, ki se prodorno razvija in izkorišča že od leta 1980.

---

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 614.841.42:528.8(043.2)  
**Author:** Aljaž Jaušovec  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph.D.  
**Title:** Detection of forest fires using satellites imagery  
**Document type:** Graduation thesis – university studies  
**Notes:** 62p., 14 tab., 4 graph., 31 fig., 4 ann., 15 eq.  
**Key words:** SEVIRI, MODIS, forest fires, MPEF FIRG, temperature anomaly, contextual tools

**Abstract**

In graduation thesis the use of EUMETSAT's MPEF FIRG and NASA's forest fires tool is discussed. Study area are 5 forest fires chosen by their characteristics, this fires are: Komen (21.7.2006), Dubrovnik (5.-8.8.2007), Tolmin (1.1.2008), Škofja Loka (31.3.2011) and Pivka (13.7.2011). Additionally to comparison of EUMETSAT's and NASA's tool, a discussion of thermal channels is made, using MSG1 and MSG2 data.

Climate changes poses specific climate, which we aren't used to. Very high temperatures and dry seasons are seen every year, in this specific conditions number of forest fires is increasing. Our main goal is to detect fires as soon as possible. Satellite imagery and specific algorithms are valuable tools in thermal anomaly detection. Satellite fire detection is used from 1980.

---

## ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras za vodstvo, usmerjanje in pomoč pri izvedbi diplomske naloge.

Zahvaljujem se izr. prof. dr. Krištofu Oštirju za pomoč in odgovore na moja vprašanja.

Zahvaljujem se mag. Mateji Iršič Žibert za strokovno podporo, nasvete in idejo.

Zahvaljujem se Znanstveno raziskovalnemu centru Slovenske Akademije Znanosti in

Umetnosti (ZRC SAZU) za uporabo programske opreme in Agenciji Republike Slovenije za  
Okolje (ARSO) za pridobljene podatke in uporabo programske opreme.

Hvala tudi družini za razumevanje in potrpljenje.



---

**PRILOGE**

- A Razdelitev sinusoidne projekcije na cone.
  
- B Časovni prikaz slikovnih rezultatov enokanalne analize in razlike kanalov za požar v Komnu.
  
- C Časovni prikaz slikovnih rezultatov enokanalne analize in razlike kanalov za požar v Dubrovniku.
  
- D Tabela numerično pridobljenih rezultatov za požar v Dubrovniku.

## KAZALO

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNE OSNOVE ZAZNAVANJA POŽAROV</b>	<b>3</b>
2.1 Daljinsko zaznavanje	3
2.2 Elektromagnetno valovanje	4
2.3 Tirnice satelitov	5
2.4 Interakcija	7
2.5 Ločljivost snemalnih sistemov	8
2.6 Fizikalne osnove zaznavanja požarov	9
2.7 Zaznavanje senzorja	12
<b>3 SATELITSKI SISTEMI IN ALGORITMI ZA ZAZNAVANJE POŽAROV V NARAVI</b>	<b>14</b>
3.1 Vrste orodij	14
3.2 EUMETSAT MSG	16
3.2.1 Senzor SEVIRI	17
3.2.2 MPEF FIRG	18
3.3 NASA Terra in Aqua	20
3.3.1 Senzor MODIS	20
3.3.2 Algoritem NASA	21
<b>4. UPORABLJENI PODATKI, METODOLOGIJA IN PROGRAMSKA OPREMA</b>	<b>24</b>
4.1 Opis podatkov	24
4.1.1 Podatki o požarih	24
4.1.2 Podatki EUMETSAT MPEF (ASCII, GRIB)	24
4.1.3 Podatki EUMETSAT MSG (H5)	26
4.1.4 Podatki MODIS (HDF)	26
4.2 Metodologija	29
4.2.1 Izbira podatkov	29
4.2.2 Opis podatkov MPEF FIRG	29
4.2.3 Opis podatkov senzorja MODIS	30
4.2.4 Postopek enokanalne določitve	30

---

4.2.5 Postopek razlik kanalov	31
4.2.6 Postopek večkanalne določitve	32
4.2.7 Določitev geografskega položaja	33
4.3 Programska oprema	34
<b>5. REZULTATI</b>	<b>35</b>
5.1 Izbira dogodkov	35
5.2 Rezultati uporabe orodja MPEF	36
5.3 Rezultati uporabe posnetkov MODIS	37
5.4 Rezultati enokanalne analize podatkov satelita MSG	42
5.5 Rezultati razlik kanalov 4 in 9 senzorja SEVIRI	44
5.6 Rezultati večkanalne analize podatkov satelita MSG	46
<b>6. RAZPRAVA</b>	<b>52</b>
6.1 Primerjave geostacionarnih in polarno orbitalnih satelitov	52
6.2 Komentar orodij MPEF FIRG in NASA	53
6.3 Komentar enokanalne in večkanalne analize	56
6.4 Nadaljnje možnosti	61

**VIRI**

**Kazalo slik**

Slika 1: Spekter EMV. (Vir: Wikipedia, 2011)	5
Slika 2: Geostacionarna tirnica. (Vir: ESA, 2011)	6
Slika 3: Skoraj polarna tirnica. (Vir: CSA, 2011)	6
Slika 4: Transmisijska okna. (Vir: CRISP, 2011)	7
Slika 5: Wienov zakon. (Vir: Egglecliffe, 2011)	10
Slika 6: Izsevana energija Sonca in Zemlje. (Vir: EUMETSAT, 2004)	11
Slika 7: Odvisnost temperaturne razlike med kanaloma od pokritosti piksla s požarom. (Vir: EUMETSAT, 2004)	12
Slika 8: Satelit MSG1 in MSG2 ter območje opazovanja. (Vir: EUMETSAT, 2012)	17
Slika 9: Pogovorno okno spletne aplikacije za naročanje podatkov EUMETSAT.	25
Slika 10: a) Izbira formata ter b) izbira datuma in časa izbranih podatkov.	25
Slika 11: Izbira načina kompresiranja in potrditev naročila.	26
Slika 12: Pogovorno okno Reverb ECHO za naročanje podatkov NASA.	27
Slika 13: Naročeni podatki.	27
Slika 14: Diagram poteka zaznave požara z večkanalno analizo.	32
Slika 15: Prikaz zaznanega požara v Dubrovniku s širšo okolico. (© ARSO)	36
Slika 16: Prikaz ožjega območja zaznanega požara. (© ARSO)	37
Slika 17: Območje preleta (rumena šrafura) in izbrano območje analize (oranžen pravokotnik).	37
Slika 18: SWATH podatki s satelita Terra.	38
Slika 19: Maska požara s senzorja MODIS (Aqua), območje severnega Jadrana.	39
Slika 20: Povečano območje požara na območju Komna s satelita Aqua in Terra.	39
Slika 21: Območje posnetka, del Italije in Balkana (Terra).	40
Slika 22: Požar v Dubrovniku (na sredini), posnet s satelitom Terra.	40
Slika 23: Prelet satelita Aqua in Terra čez Evropo z dne 1.1.2008. (Vir: SSEC, 2012)	41
Slika 24: Prelet satelita Aqua in Terra čez Evropo z dne 31.3.2011. (Vir: SSEC, 2012)	41
Slika 25: Prelet satelita AQUA in Terra čez Evropo dne 13.7.2011. (Vir: SSEC, 2012)	42
Slika 26: Požar v Komnu, zaznan na posnetku ob 22.15 (UTC), s temperaturno skalo v Kelvinih. (© ARSO)	43
Slika 27: Požar v Dubrovniku, zaznan kot temperaturna anomalija na kanalu 4 senzorja SEVIRI. (© ARSO)	44
Slika 28: Temperaturna razlika med kanaloma 4 in 9, senzorja SEVIRI, v Kelvinih. (© ARSO)	45
Slika 29: Temperaturna razlika kanalov 4 in 9 senzorja SEVIRI na posnetku Dubrovnika. (© ARSO)	46

---

Slika 30: Temperatura površja Slovenije dne 21.7.2006 ob 21.15 (UTC). Podatki so pridobljeni s kanala 4 senzorja SEVIRI. (© ARSO)	57
Slika 31: Oblačnost nad požarom v Dubrovniku. (© ARSO)	57

---

**Kazalo preglednic**

Preglednica 1: Lastnosti satelita MSG1 in MSG2.	16
Preglednica 2: Lastnosti senzorja SEVIRI (MSG).	18
Preglednica 3: Lastnosti senzorja MODIS.	21
Preglednica 4: Kanali senzorja MODIS, ki se uporabijo v orodju.	22
Preglednica 5: Razredi pikslov produkta MODIS Thermal Anomaly.	30
Preglednica 6: Verjetnost požara v posameznem razredu.	30
Preglednica 7: Vrednosti izidov uporabljene v večkanalni analizi.	33
Preglednica 8: Požari, obravnavani v diplomski nalogi.	35
Preglednica 9: Uspešnost orodij in analiz v posameznem primeru.	35
Preglednica 10: Geografske koordinate območja požara.	38
Preglednica 11: Geografske koordinate območja požara.	40
Preglednica 12: Podatki za izvedbo večkanalne analize požara v Komnu.	47
Preglednica 13: Piksli pri katerih smo zaznali temperaturno anomalijo.	47
Preglednica 14: Rezultati posameznega testa večkanalne analize.	48
Preglednica 15: Območja zaznana kot možni požari in požari v posameznem časovnem obdobju.	48
Preglednica 16: Rezultati primerjave senzorjev v Španiji (vir: Philip, 2007).	55

---

**Kazalo grafikonov**

Grafikon 1: Število pikslov zaznanih kot požar v prehodnem obdobju med nočjo in dnevom. .....	49
Grafikon 2: Število pikslov zaznanih kot požar v prehodnem obdobju med dnevom in nočjo. .....	49
Grafikon 3: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v jutranjem prehodnem obdobju. ....	50
Grafikon 4: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v jutranjem prehodnem obdobju. ....	50
Grafikon 5: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v večernem prehodnem obdobju. ....	51
Grafikon 6: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v večernem prehodnem obdobju. ....	51

## 1 UVOD

### *Motivacija*

Danes je ena izmed najpomembnejših dejavnosti na svetu varovanje okolja, dnevno se srečujemo s temami kot so globalno segrevanje, onesnaženje in naravne nesreče. Klimatske spremembe povzročajo širom sveta in tudi v naši okolici pogoje, ki jih pred časom še nismo bili vajeni. V poletjih smo tako lahko priča dolgim obdobjem vročine in suše, ki povzročijo odlične pogoje za požare v naravi. Tako se tudi število požarov iz leta v leto povečuje. Na pogoriščih ne ostane nič vegetacije in potrebnih je veliko let, da si narava zopet opomore. S tem praktično izginja naravno okolje, ki skrbi za normalno delovanje ekosistema. Osnovni cilj je čim hitrejše zaznavanje požarov in s tem njihovo omejevanje, da povzročijo čim manj škode.

### *Predstavitev problema in ciljev*

S pomočjo predvsem meteoroloških dejavnikov lahko predvidimo oz. ocenimo stopnjo požarne ogroženosti določenega območja. To lahko predstavlja izhodišče pri zgodnjem odkrivanju požarov, ker pa so to zelo velika območja, obstaja verjetnost, da požar ne bo odkrit takoj ob izbruhu. Želeli bi si, da lahko opazujemo celotno območje v realnem času, tako bi lahko požar odkrili v zgodnji fazi. To možnost nam danes nudijo sateliti, ki neprestano opazujejo površje. V zadnjih dvajsetih letih so se začela izdelovati razna orodja, ki bi na osnovi satelitskih posnetkov dala uporabne podatke o zaznanih požarih. Zaznava požara je začetna naloga v procesu spremljanja požarov v naravi. Opazujemo tudi požgano območje, kjer spremljamo obnavljanje vegetacije.

Namen diplomske naloge je spoznati in predstaviti orodja daljinskega zaznavanja, ki so namenjena zaznavanju požarov v naravi. V nalogi sem izdelal pregled in primerjavo teh orodij, ki jih lahko uporabimo za obdelavo podob različnih satelitskih sistemov. Predstaviti sem želel celoten postopek zajema, in sicer od zajema požara do spremljanja pogorišča. Izbrana orodja sem uporabil tudi na praktičnih primerih, kjer sem preizkusil njihovo uporabo in primernost za podobe različnih satelitskih posnetkov.

### *Sorodna dela*

Ker je tematika splošna in praktično uporabna, je objavljenih precej člankov in študij s področja spremljanja naravnih nesreč s pomočjo daljinskega zaznavanja.



Manyangadze (2009) je preizkusila orodja za zaznavanje temperaturnih anomalij v skoraj realnem času na osnovi posnetkov geostacionarnih satelitov. V raziskavi je uporabila Meteosat Second Generation (MSG) satelit ter orodje MPEF FIRG, ki ga je primerjala z več slikovnim orodjem.

Philip (2007) je primerjala operativne senzorje polarno orbitalnih (MODIS, AVHRR) in geostacionarnih satelitov. Primerjavo je naredila na osnovi požarov na Portugalskem.

Strelec Mahović (2010) je s pomočjo orodja MPEF FIRG analizirala požar v Dubrovniku (2007), ki je predstavljen v diplomski nalogi.

### *Organizacija diplomske naloge*

Diplomska naloga je sestavljena iz osmih poglavij. V uvodnem poglavju predstavimo motivacijo, problem in cilje, ki jih želimo doseči ter sorodna dela, ki so nam bila v pomoč pri sestavi naloge. Poglavje 2 poda teoretične in fizikalne osnove zaznavanja temperaturnih anomalij, navedene so lastnosti dogodkov in sprejemnikov, ki nam nudijo potencial za uspešno zaznavo. V poglavju 3 predstavimo značilnosti obeh obravnavanih satelitskih sistemov (MSG, NASA) in operativna orodja (MPEF FIRG, orodje MODIS) teh sistemov. V 4. poglavju predstavimo metodologijo, podatke in programsko opremo, ki smo jo uporabili. Po korakih predstavimo postopke, ki smo jih uporabili za doseg cilja, detajlno predstavimo tudi posamezne požare, na katerih smo izvedli analizo. V poglavju 5 predstavimo rezultate postopkov, ki jih v poglavju 6 komentiramo. V slednjem poglavju predstavimo tudi spoznanja, do katerih smo prišli, ter predloge za bodoče delo. Nalogo zaokrožimo z navedbo uporabljene literature in zaključimo s prilogami, v katerih predstavimo slikovni potek požarov.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE ZAZNAVANJA POŽAROV

Požari v naravi se pojavljajo tako ob urbanih območjih, kot tudi daleč stran od naselij. Slednji nimajo neposrednega vpliva na človekovo varnost, vplivajo pa na okolje. Na svetu zato stremimo k njihovem čim hitrejšemu odkrivanju. To lahko dosežemo s stalnim opazovanjem celotnega območja, kar je s človeškim nadzorom praktično neizvedljivo. S pomočjo satelitskih sistemov, ki so že operativni, in z detajlnim poznavanjem lastnosti požarov v naravi lahko to nalogo uspešno opravljamo. Potencial, ki ga nudijo satelitski sistemi, je izredno velik, zato se pojavlja vse več nalog, ki jih lahko z njihovo pomočjo opravimo. Razvoj te naloge oz. orodij se je začel s prvimi termalnimi (infra rdečimi - IR) kanali na senzorjih satelitov.

### 2.1 Daljinsko zaznavanje

Daljinsko zaznavanje je relativno mlada znanost, njeni začetki segajo v sredino 19. stoletja. V zadnjem času pridobiva na pomenu, saj je uporabna praktično na vseh področjih. Njeno bistvo bom najbolj opisal z dvema definicijama.

Daljinsko zaznavanje je znanost pridobivanja informacij o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposreden stik. Pri tem zaznavamo in zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valovanje (EMV), ga obdelujemo, analiziramo in uporabimo v različnih aplikacijah. (Oštir, 2006, 13).

»Photogrammetry and Remote Sensing is the art, science, and technology of obtaining reliable information, from noncontact imaging and other sensor systems, about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analysing and representation.« (ISPRS, 2012)

Fotogrametrija in daljinsko zaznavanje sta znanost in tehnologija pridobivanja podatkov s pomočjo brez kontaktnega in senzorskega zaznavanja. Podatke o okolju in objektih pridobimo na osnovi snemanja, merjenja in analiziranja količin (prevod ISPRS definicije).

Iz obeh definicij je razvidno, da zaznani objekt in senzor nista v stiku. Posledica tega je, da EMV potuje skozi prostor, kateri nanj vpliva. Za uspešno interpretacijo moramo te vplive poznati. Prav tako mora to valovanje biti sposobno razširjati se v tem prostoru, v primeru, da

se ne razširja, tako valovanje ne bo prišlo do senzorja in ga ne bo moč zaznati. Atmosfera in površje sta bistvena dejavnika pri uspešnosti izvedbe opazovanja.

## 2.2 Elektromagnetno valovanje

Elektromagnetno valovanje (EMV) je valovanje električnega in magnetnega polja. Za širjenje ne potrebuje sredstva, lahko se širi po praznem prostoru – vesolju. Vir EMV so delci z električnim nabojem, ki se gibljejo pospešeno. Opišemo ga lahko na dva načina, in sicer kot valovanje s hitrostjo razširjanja ( $c$ ) in valovno dolžino ( $\lambda$ ) oz. frekvenco ( $\nu$ ) in kot energijo (Kladnik, 1991).

Mehanični opis s hitrostjo, valovno dolžino in frekvenco opisuje enačba (1):

$$c = \lambda \nu \quad (1)$$

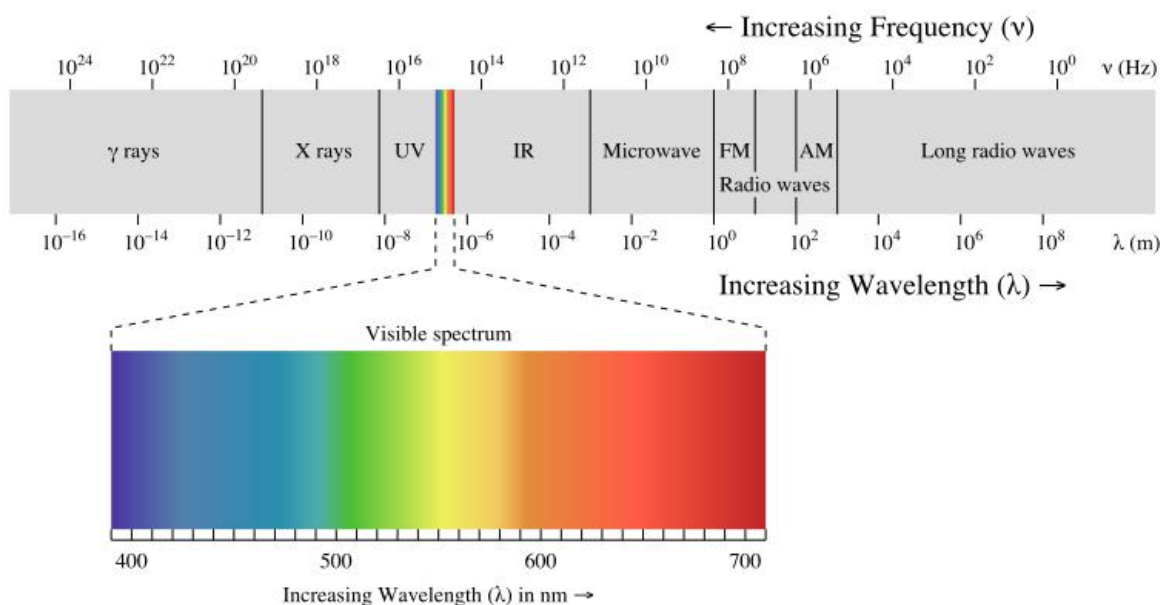
EMV pa lahko opišemo tudi kot curek fotonov. Fotoni so kvantizirani delci EMV – paketi energije. Govorimo o energiji ( $E$ ) valovanja, ki ga to valovanje nosi. Nosilca energije sta električno in magnetno polje, vsako polje nosi polovico energije. Energija valovanja je neposredno povezana s frekvenco preko Planckove konstante ( $h$ ).

$$\begin{aligned} \text{Enačba energije valovanja:} \quad E &= h\nu & (2) \\ h &= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned}$$

Med obema interpretacijama obstajajo fizikalne povezave. Opazimo, da je valovna dolžina obratno sorazmerna z energijo. Torej valovanje z daljšo valovno dolžino nosi s sabo manj energije. Valovanja z višjo energijo (manjšo valovno dolžino) so nevarnejša za žive organizme, njihova energija je tako velika, da lahko ionizirajo celice.

Spekter EMV je razpon, ki ga zavzema EMV. Z našimi čutili lahko zaznamo le majhen del tega spektra. V vsakdanjem življenju nam je najbolj poznan del spektra, ki zajema vidno svetlobo. Vidna svetloba zavzema vrednosti valovnih dolžin od 400 nm do 750 nm, zaznavamo jo z očmi, in se nadaljuje v IR del spektra, katerega del zaznamo kot toploto. Kanali s področja termalnega IR dela spektra so predmet obravnave v nalogi.

V primeru zaznavanja požarov se izkaže kot zelo uporaben IR del spektra. Termalno področje ima veliko uporabno vrednost tudi za številne druge naloge (meteorologija, oceanografija...).



**Slika 1: Spekter EMV. (Vir: Wikipedia, 2011)**

Slika 1 prikazuje celoten spekter EMV, spekter razdeli na glavne skupine valovanj ter poda njihove značilne frekvence in valovne dolžine. Posebej izpostavljen je del spektra vidne svetlobe.

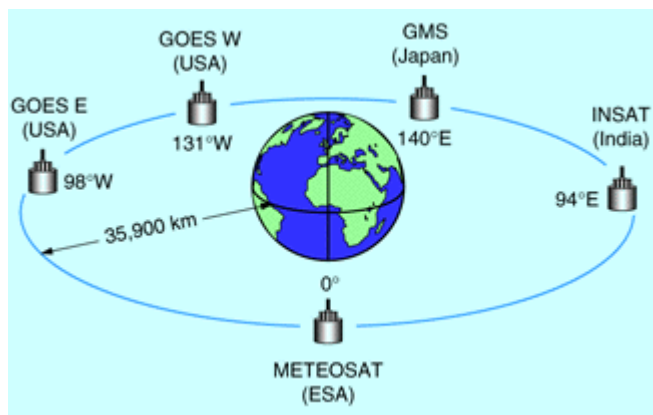
### 2.3 Tirnice satelitov

Nad nami kroži mnogo satelitov, ki imajo različne naloge. Nekateri služijo za meteorološke potrebe, drugi za telekomunikacijske, opazovanje kopnega, oceanov... Torej naloga nekaterih satelitov je, da stalno opazujejo isti del površja, drugih pa, da posnamejo celotno površje Zemlje. Glede na njihovo nalogo imajo določeno tirnico (pot satelita). Danes imajo sateliti bodisi geostacionarno tirnico, bodisi skoraj polarno tirnico.

#### a) Geostacionarna tirnica

Tirnica satelitov, ki so stalno nad isto točko, to so večinoma meteorološki in telekomunikacijski sateliti. Razporejeni so vzdolž celotne geografske dolžine, ampak vedno nad ekvatorjem. Višina kroženja je okoli 36 000 km, hitrost kroženja pa ustreza kotni hitrosti vrtenja Zemlje. Njihova velika oddaljenost povzroča slabšo prostorsko ločljivost senzorja,

hkrati pa omogoči opazovanje velikih površin. Zaradi možnosti opazovanja velikih površin je število teh satelitov relativno majhno, glede na število drugih satelitov.

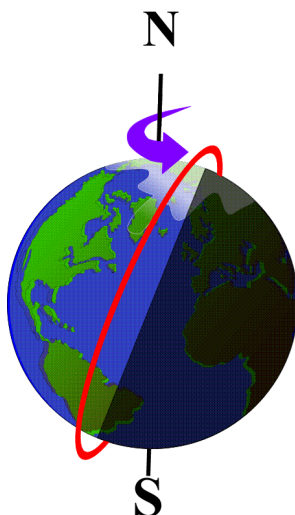


Slika 2: Geostacionarna tirnica. (Vir: ESA, 2011)

#### b) Skoraj polarna tirnica

Te tirnice so bistveno nižje od geostacionarnih, sateliti krožijo na višini do 800 km. Premica, ki gre skozi severni in južni pol, ne sovпада z ravnino kroženja satelita s skoraj polarno tirnico. Njegova ravnina je nekoliko zamaknjena. Običajno za nekaj stopinj ( $8^\circ$ ), kar pomeni oddaljenost od pola po loku meridiana za okoli 1000km.

Tirnica je usmerjena v smeri sever-jug, kar pomeni, da se satelit giblje v tej smeri, hkrati pa izkorišča vrtenje Zemlje, ki je v smeri zahod-vzhod. S tem lahko pokrije celotno površje v razmeroma kratkem času. Nekatere skoraj polarne tirnice so sončno sinhrono, kar pomeni, da je krajevni čas zajema vedno enak, torej je osvetlitev podob enaka, kar je zaželeno pri opazovanju kopnih površin z vidnim delom spektra.



Slika 3: Skoraj polarna tirnica. (Vir: CSA, 2011)

Nižje tirnice imajo boljšo prostorsko ločljivost in nekoliko slabšo časovno ločljivost. Predvsem čas ponovnega obiska je lahko predolg za kontinuirano spremljanje nekega procesa.

## 2.4 Interakcija

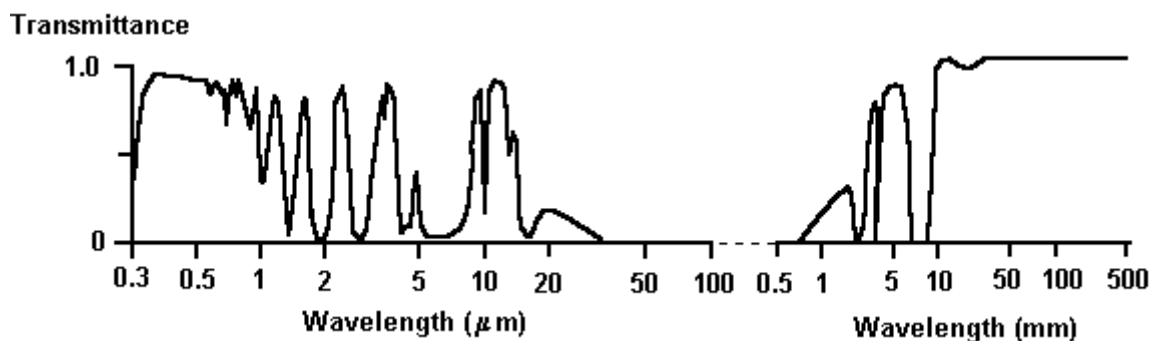
Proces daljinskega zaznavanja se dogaja v okolju, ki nanj vpliva. EMV prehaja atmosfero, s katero interagira, prav tako pa interagira tudi s površino, ki jo opazujemo. Ločimo interakcijo s površjem in interakcijo z atmosfero, ki je v procesu zaznavanja požarov pomembnejša. Interakcijo z atmosfero opišemo s tremi pojavi: s sipanjem, lomom in absorpcijo EMV. Slednja je najbolj kritična za opazovanje, saj lahko plini v atmosferi absorbirajo določeno valovno dolžino EMV, s tem pa onemogočijo opazovanje objekta. Površje Zemlje lahko opazujemo zgolj z valovnimi dolžinami, ki prehajajo atmosfero. Glavni absorberji v atmosferi so:

- ozon, ki absorbira UV svetlobo,
- CO<sub>2</sub>, ki absorbira IR sevanje,
- vodna para, ki absorbira dolgovalovno IR sevanje in mikrovalove.

Interakcija s površjem je pomembnejša pri meritvah, ki temeljijo na merjenju časa, to sta npr. RADAR in LiDAR. Opišemo jo z absorpcijo, transmisijo in odbojem.

V primeru zaznavanja požarov v naravi merimo lastno sevano energijo, torej je v tem primeru najpomembnejša absorpcija pri interakciji z atmosfero. Ker opazujemo z IR sevanjem, je najpomembnejši absorber CO<sub>2</sub>.

Vsi dejavniki vplivajo negativno na jakost energije valovanja. V praksi si želimo, da določeno valovanje prepotuje atmosfero s čim manj vplivi. Intervale valovnih dolžin, ki jih atmosfera prepušča, imenujemo transmissijska okna; samo te valovne dolžine bomo lahko zaznali.



Slika 4: Transmissijska okna. (Vir: CRISP, 2011)

Na sliki 4 je prikazana propustnost atmosfere za valovanja od 0,3  $\mu\text{m}$  do 500 mm. V konkretnem primeru zaznavanja požarov sta pomembni valovni dolžini okoli 4  $\mu\text{m}$  in 11  $\mu\text{m}$ , ki imata dobro propustnost. Kljub temu so lahko meritve v okolici 4  $\mu\text{m}$  obremenjene zaradi absorpcije v  $\text{CO}_2$  in vodno paro ter zaradi odboja Sončne svetlobe čez dan.

## 2.5 Ločljivost snemalnih sistemov

Z daljinskim zaznavanjem spremljamo razne pojave, kateri lahko imajo zelo specifične lastnosti. Za uspešno zaznavo morajo biti senzori prirejeni tem zahtevam, tako se po svojih lastnostih močno razlikujejo med sabo. Poleg števila kanalov in območju zaznavanja se razlikujejo po ločljivostih.

### a) Prostorska ločljivost

S prostorsko ločljivostjo označimo velikost opazovanega območja. To polje je odvisno od razdalje med senzorjem in površjem ter od vidnega kota sensorja. Območje imenujemo tudi resolucijska oz. ločljivostna celica in določa stopnjo podrobnosti. Stopnja podrobnosti opredeli najmanjše še vidne elemente na površju. Objekti, ki so manjši, na podobi ne bodo vidni, ker je celica osnovna enota z eno vrednostjo, ki najbolje predstavlja vrednosti v tej celici. V primerih, ko je odbojnost značilna, lahko prepoznamo manjše objekte od ločljivostne celice – to imenujemo podpikselsko prepoznavanje.

Prostorska ločljivost senzorjev je različna od namena satelitov. Vremenski sateliti imajo praviloma slabšo prostorsko ločljivost, ker zajemajo podatke na večjem prostoru.

### b) Spektralna ločljivost

To je podatek, ki nam pove, kako dobro zna senzor ločiti med valovnimi dolžinami spektra. Višja spektralna ločljivost pomeni, da lahko senzor zazna več valovnih dolžin (barv). S črno-belim senzorjem zaznavamo samo eno vrednost – povprečje.

Senzorjem, ki merijo več valovnih dolžin, pravimo multi-spektralni. Zaznavajo lahko zelo ozke pasove valovnih dolžin. Še boljši so hiper - spektralni senzori, ki so sposobni zaznati več sto pasov. Večja kot je spektralna ločljivost, manjše razlike bomo lahko ločili. Rezultat je spektralni podpis, ki bo bolje opisal lastnosti, če bo zaznan z več kanali.

## c) Radiometrična ločljivost

Radiometrična ločljivost poda količino informacij, ki jo lahko podaja piksel oziroma podoba. Pove, kako dobro loči majhne razlike v energiji valovanja.

## d) Časovna ločljivost

Časovna ločljivost pove, kako pogosto snemamo ista območja. Odvisna je od lastnosti snemalnega sistema – možnosti zasuka in od stopnje prekrivanja tirnice – na to vpliva geografska širina.

Absolutna časovna ločljivost je čas ponovnega obiska. Omogoča kontinuirano spremljanje sprememb oz. stanja.

## 2.6 Fizikalne osnove zaznavanja požarov

Zaznavanje požarov v naravi temelji na tem, da gorijo naravni materiali, katerih toplotne kapacitete poznamo. S poznavanjem lastnosti teh materialov lahko ocenimo temperature požarov. S pomočjo temperature požara in predpostavke, da telo seva kot črno telo, lahko s pomočjo Wienovega zakona izračunamo izsevno valovno dolžino svetlobe.

V nadaljevanju poglavja so natančneje zapisane fizikalne osnove, ki jih izkoriščamo oz. uporabimo v posameznih orodjih. Orodja se med sabo nekoliko razlikujejo, do razlik prihaja predvsem zaradi različnih območij za katera so namenjena. Ideja je pri vseh enaka.

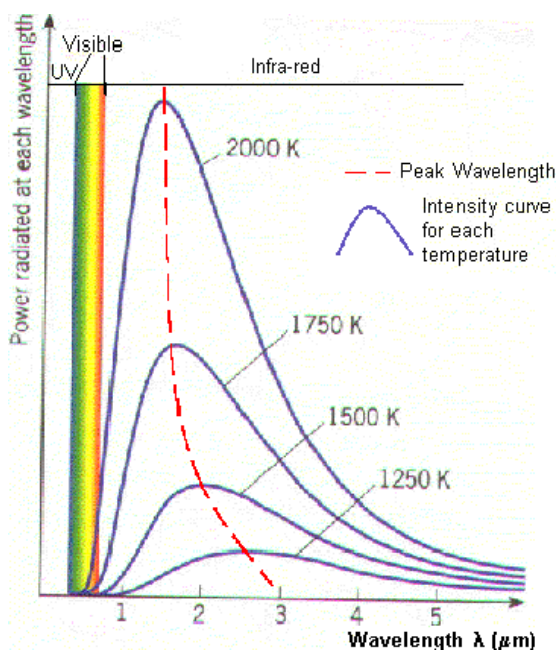
Vsako telo seva lastno energijo, ki je odvisna od temperature telesa. Kot poenostavitev vzamemo, da telo seva kot črno telo. Tako lahko uporabimo Wienov zakon, ki povezuje temperaturo telesa z valovno dolžino izsevane energije. Po enačbi 3 dobimo valovno dolžino, ki je najbolj zastopana v celotnem izsevanem spektru – valovno dolžino, ki ustreza vrhu na krivulji izsevane energije (slika 5).

$$\text{Wienov zakon} \quad \lambda = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}] \quad (3)$$

Kjer je:       $\lambda$       ...valovna dolžina vrha izsevanega valovanja [ $\mu\text{m}$ ]  
                    $T$       ...temperatura sevalnega telesa [K]  
                   2898    ...konstanta [ $\text{K}\mu\text{m}$ ]

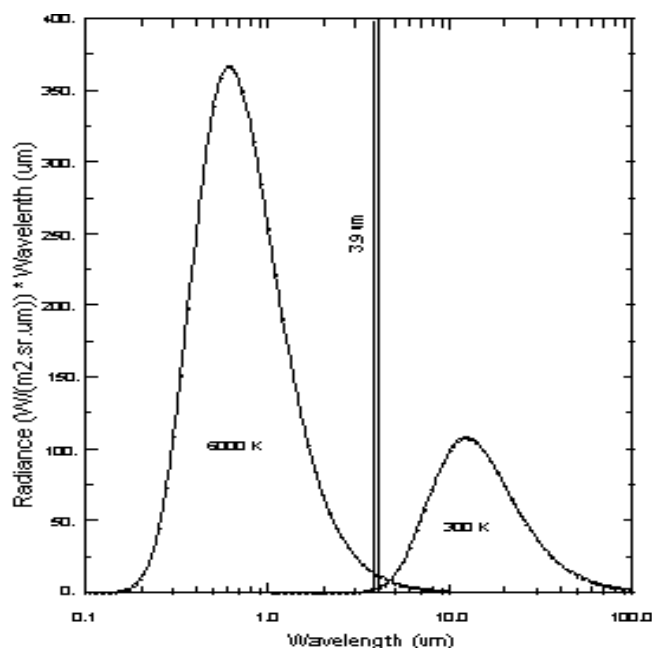


Ob upoštevanju, da je temperatura površja v normalnih pogojih okoli 290 K, dobimo izsevano valovno dolžino okoli 10  $\mu\text{m}$ . Požari v naravi imajo tipične temperature med 500 K in 1000 K, tako dobimo izsevano valovno dolžino v primeru požara okoli 4  $\mu\text{m}$ . Torej za zaznavo teh temperatur bosta uporabna kanala, ki bosta imela valovno dolžino okoli 4  $\mu\text{m}$  in 10  $\mu\text{m}$ , torej z IR dela spektra.



Slika 5: Wienov zakon. (Vir: Egglecliffe, 2011)

V praksi se najpogosteje uporabljata kanala z valovnimi dolžinama 3,9  $\mu\text{m}$  in 10,8  $\mu\text{m}$  (SEVIRI, MODIS). Poleg sevanje Zemlje, lahko zaznata tudi odbito sevanje Sonca. Sonce ima temperaturo okoli 6000 K in ga lahko obravnavamo kot črno telo, tako je njegova krivulja intenzitete izsevanega sevanja glede na valovno dolžino pomaknjena proti levi. Torej, Sonce bo izsevalo veliko več valovne dolžine 3,9  $\mu\text{m}$ , kot pa valovne dolžine 10,8  $\mu\text{m}$ . Kanal z valovno dolžino 3,9  $\mu\text{m}$  bo čez dan dobil energijo Sonca in izsevano energijo Zemlje, ki je hladnejša in seva v tem področju, ponoči pa le izsevane energijo Zemlje. Ker Sonce ne izseva valovne dolžine 10,8  $\mu\text{m}$ , bo ta kanal podnevi in ponoči prejemal le energijo Zemlje. Izsevane energije drugih sevalcev povzročata motnje v opazovanjih in napačno interpretacijo.



Slika 6: Izsevana energija Sonca in Zemlje. (Vir: EUMETSAT, 2004)

Tipalo posameznega kanala na sensorju ima sposobnost zaznati valovne dolžine, ki jih človeško oko ne vidi.

Prostorska ločljivost med sateliti se razlikuje, odvisna je od lastnosti sensorja in tirnice. Kljub različnim prostorskim ločljivostim sensorja je želja zaznati čim manjše požare. Kanal z valovno dolžino 3,9 μm je izredno občutljiv na spremembo temperature, zato lahko z njim zaznamo požare podpikselske velikosti. Izkoriščamo dejstvo, da je odziv kanala pri krajših valovnih dolžinah močnejši od odziva pri daljših. Pri krajših valovnih dolžinah (3,9 μm) je odziv na spremembo temperature močno ne-linearen, pri daljših je že bolj linearen. Spreminja se po enačbi:

$$B \propto T^{\frac{\alpha}{\lambda}} \quad (4)$$

zaradi manjše valovne dolžine v imenovalcu eksponenta pride do velikega eksponenta, kar povečuje nelinearnost. Eksponent je tudi pozitivno število, zato razlike naraščajo v pozitivnem smislu. V primeru različnih temperatur znotraj piksla, se temperatura na posameznem kanalu izračuna po enačbi 4. Pri tem upoštevamo, da je radianca B, linearna kombinacija radianc  $B_i$ , kjer je  $i$  posamezen del piksla. Torej:

$$B = \sum_{i=1}^n \beta_i B_i \quad (5)$$

$$B_i \propto T_i^{\frac{\alpha}{\lambda}} \quad (6)$$

Kjer je:

B ...radianca [ $W/(m^2sr)$ ]

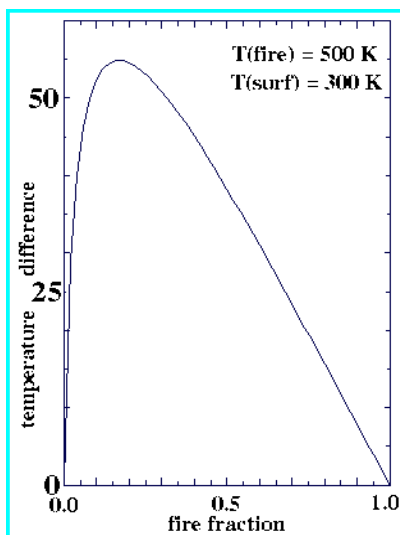
$\beta_i$  ...i - ti površinski delež piksla [ $m^2$ ]

$T_i$  ...temperatura i - tega dela piksla [K]

$\alpha$  ...valovna dolžina

$\lambda$  ...valovna dolžina kanala [m]

V primeru homogene temperature na območju piksla bosta temperaturi na obeh kanalih enaki. Ko pa se pojavi anomalija v temperaturi, bomo zaradi nelinearnosti enačb dobili temperaturno razliko med kanaloma, ki je osnova testov v algoritmih. Ker je ta razlika občutna, lahko zaznamo požare, ki so (veliko) manjši od piksla.



Slika 7: Odvisnost temperaturne razlike med kanaloma od pokritosti piksla s požarom. (Vir: EUMETSAT, 2004)

V primeru, da je s požarom pokrit večji delež piksla, oba kanala zaznata požar. Pri teh majhnih požarih se kaže prednost kanala  $3,9 \mu m$ , saj je zelo občutljiv na spremembe temperature. To pa je po drugi strani težava, ker se zaradi tega kaže več šuma na tem kanalu. Že mala sprememba v radianci bo povzročila veliko spremembo temperature. Tako je ta kanal uporaben predvsem za zaznavanje vročih predelov.

## 2.7 Zaznavanje senzorja

Multispektralni senzorji omogočajo zaznavo večih valovnih dolžin, vsi senzorji omenjeni v nalogi (SEVIRI, MODIS, AVHRR) so multispektralni. Zaznavanje je odvisno od valovne

dolžine, ki jo opazujemo, zaznava vidnega dela spektra se razlikuje od zaznave termalnega dela.

Termalni del spektra ( $3\ \mu\text{m}$  –  $15\ \mu\text{m}$ ) opazujemo s fotodetektorji, ki so ohlajeni na temperaturo blizu absolutne ničle, na svoji površini zaznajo vpadle fotone. Ker želimo kot rezultat absolutno temperaturo, morajo biti senzorji kalibrirani, torej poznati moramo, kakšno napetost povzroči vpadli foton s posamezno valovno dolžino. Kanali s pripadajočimi valovnimi dolžinami senzorja povzročijo največjo napetost pri fotonih s to valovno dolžino. Rezultat zaznave je termogram, to je sivinski zapis podobe, kjer svetli toni predstavljajo visoke temperature, temnejši pa nižje. Slaba lastnost toplotnih senzorjev je, da imajo slabo prostorsko ločljivost, ki je posledica želje zajeti čim večjo gostoto energije, ki jo potrebujemo za dobro meritev. Energija se z večanjem valovne dolžine zmanjšuje, tako obstaja možnost, da pri višjih valovnih dolžinah ne moremo zaznati dovolj energije. Praktično je to rešeno z večjim kotom pogleda (angl. Instantaneous Field of View - IFOV), kar povzroči slabšo prostorsko ločljivost. Izsevana energija določenega območja vpliva na več pikslov, ker se med sabo prekrivajo (Calle, Gonzáles-Alonso, Merino de Miguel, 2008)

Temperatura saturacije je lastnost senzorja in posameznega kanala. Velikostni red trenutno aktualnih saturacijskih temperatur je okoli 330 K, pri tem ima običajno kanal z daljšo valovno dolžino nekoliko višjo temperaturo. Slabost nizkih temperatur saturacije je, da lahko kanal doseže saturacijo v okoliščinah, kjer ni požara, običajno jo povzročita odboj sončevega sevanja in visok albedo območja. Visoke temperature saturacije pa imajo več šuma v opazovanjih (Vir: NRCAN, 2012).

### 3 SATELITSKI SISTEMI IN ALGORITMI ZA ZAZNAVANJE POŽAROV V NARAVI

V tem poglavju sta opisana izbrana satelitska sistema, katerih podatke in orodja bomo uporabili v diplomski nalogi. Satelitov med sabo ne bomo primerjali, saj imamo na eni strani geostacionarni satelit na drugi pa polarno orbitalni satelit, predstavili bomo zgolj prednosti in slabosti obeh glede na zadano nalogo.

#### 3.1 Vrste orodij

Zaznavanje temperaturnih anomalij je možno z uporabo kanalov s termalnega dela spektra, prav tako lahko požare zaznamo s pomočjo vidnega dela spektra, predvsem lahko opazimo oblake dima. V avtomatiziranih orodjih uporabljamo termalne kanale IR dela spektra, orodja razvrstimo v tri skupine:

- enokanalna orodja,
- večkanalna orodja,
- kontekstualna orodja.

##### *Enokanalna orodja*

Uporaba enokanalnih orodij temelji na zaznani temperaturi kanala s srednjega dela IR sevanja, večinoma se uporablja valovna dolžina okoli 3,9  $\mu\text{m}$  (SEVIRI, MODIS), uporabljajo pa se tudi druge valovne dolžine (3,75  $\mu\text{m}$ , AVHRR).

Zaznano temperaturo površja, ki ga pokriva piksel, je potrebno pravilno interpretirati, visoka temperatura je lahko posledica različnih dejavnikov. Uporabnost enokanalnega orodja je omejena, največja uporabnost se pokaže pri zaznavanju temperaturnih anomalij v hladnejšem okolju in v večernih preletih polarno orbitalnih satelitov.

Napačno interpretacijo lahko povzroči visok albedo. Albedo je razmerje med vpadajočim in odbitim sončnim sevanjem. Gozdne površine imajo nizek albedo, okoli 5%, torej napačne interpretacije v teh okoljih niso pogoste. Z manjšanjem gostote vegetacije se albedo povečuje, kar povzroča napačno interpretacijo zaznanih podatkov. Poleg albeda ima negativen vpliv na kakovost zaznave tudi odboj sončnega sevanja, ki se časovno spreminja.

##### *Večkanalna orodja*

Večkanalna orodja odpravljajo nekatere pomanjkljivosti enokanalnih, sestavljena so iz treh korakov: zaznava možnih požarov, izločanje oblakov in izločanje pregretyh površin. Prav tako kot enokanalna orodja tudi večkanalna orodja temeljijo na konstantnih izidih testov, ti izidi so

določeni za posamezna območja, glede na vegetacijo. Uporabljajo se na večjih območjih, regionalnem in kontinentalnem nivoju.

Za določitev možnih požarov uporabimo kanal z valovno dolžino srednjega dela spektra IR svetlobe. Za izločanje oblakov, ki so nižje temperature, prav tako uporabimo termalni kanal, vendar z daljšo valovno dolžino (10,8  $\mu\text{m}$  SEVIRI). Pregreto površje izločimo s pomočjo razlike teh dveh kanalov. V tem primeru je razlika kanalov majhna kljub zaznani visoki temperaturi posameznega kanala. Majhna razlika je posledica homogene temperature območja kjer ni žarišč z bistveno drugačno temperaturo, tako tudi z manj občutljivim kanalom zaznamo podobno temperaturo.

Nekatera orodja imajo dodane še druge teste, ki izločajo specifične vrste oblakov in upoštevajo odbojnost površja. V osnovi ta orodja ne izboljšujejo občutljivosti na odbojnost površja enokanalnih orodij.

Razlika srednje IR in termalnega kanala (4 in 9 SEVIRI) je učinkovit test za odstranjevanje lažnih alarmov, razlika v zaznanih vrednosti se pojavi zaradi:

- različnih vplivov atmosfere na posamezen kanal,
- različnih emisivnosti,
- sončevega odboja,
- nehomogenega požara.

Izmed naštetih faktorjev ima največji vpliv nehomogenost požara. Zaradi nelinearne odvisnosti radiance in temperature (enačba 4) lahko majhna heterogenost temperature požara povzroči veliko temperaturno razliko. Test je manj učinkovit na satelitskih posnetkih višje prostorske ločljivosti (LANDSAT/TM), kjer požar pogosto prekrije velik del piksla. V skrajnem primeru, kjer bi bil celoten piksel pokrit s požarom homogene temperature, ta test ne bi imel pomena, saj bi bila razlika zaznanih temperatur na kanalih 0, oba kanala bi zaznala enako temperaturo (Li in sod., 2000).

#### *Kontekstualna orodja*

Kontekstualna orodja so nadgrajena večkanalna orodja, njihova najpomembnejša lastnost je, da nimajo konstantnih izidov testov. Izid testa je odvisen od trenutnega časa in položaja opazovanega piksla.

Analiza opazovanega območja se izvede v dveh korakih, kjer je prvi podoben postopku večkanalnega orodja, z nekoliko blažjimi izidi, da zajamemo tudi manj verjetne temperaturne anomalije. Drugi korak temelji na izračunanih standardnih deviacijah, standardna deviacija se izračuna okoli posameznega piksla na osnovi (okna) matrike velikosti 3x3 do 21x21 (v primeru MPEF FIRG je matrika velikosti 3x3). Majhen standardni odklon za opazovani piksel pomeni, da se temperatura sosednjih pikslov ne razlikuje veliko od temperature

opazovanega piksla. Manjše temperaturne razlike ne pomenijo temperaturnih anomalij (požarov), v primerih anomalij so pričakovani višji standardni odkloni.

Predstavljeni orodja se uporabljajo na regionalnem in globalnem nivoju.

#### *Večslikovna orodja*

Van der Bergh in Frost sta leta 2005 predstavila več slikovno metodo, ki je temeljila na MSG posnetkih. Rezultat so bila območja, ki so imela velika odstopanja med izmerjenimi in napovedanimi vrednostmi, označena so bila kot možni požari.

V letu 2007 sta Koltunov in Ustin ubrala drugačen pristop do zaznave požarov v naravi, namesto analiz na enem posnetku sta opravila analize na več posnetkih hkrati in primerjala njihovo spreminjanje skozi čas. Kljub temu se njuna metoda ni izkazala za primerno.

V istem letu je Mazzeo s sodelavci razvil svojo metodo, za katero je trdil, da je zelo občutljiva in daje zanesljive rezultate. O metodi niso bili podani jasni podatki (Manyangadze, 2009).

Večslikovna orodja predstavljajo drugačen pristop, ki pa se ni uveljavil v praksi. Sodobna orodja so kontekstualna.

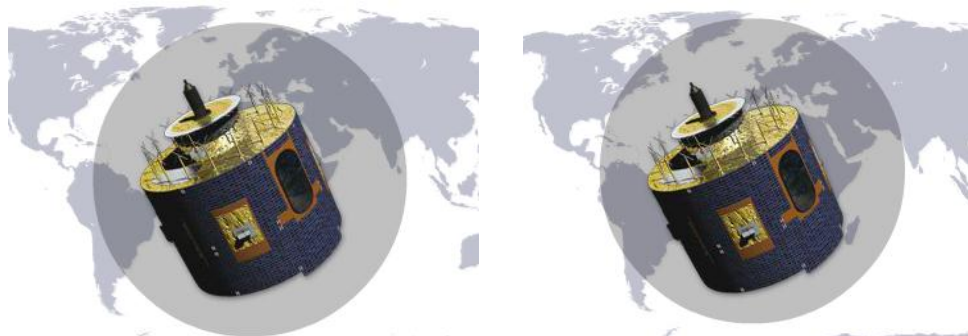
### **3.2 EUMETSAT MSG**

EUMETSAT je evropska agencija za opazovanje atmosfere in okolja. Upravljajo sistem satelitov in skrbijo za ažurne satelitske podatke za potrebe meteorologije in spremljanje okolja. Trenutno imajo v vesolju dve generaciji geostacionarnih satelitov, polarno orbitalni satelit za spremljanje celotnega površja in polarno orbitalni satelit za opazovanje oceanov.

V nalogi bomo uporabili podatke s satelita Meteosat Second Generation (MSG), to je najnaprednejši operativni geostacionarni satelit omenjene agencije.

**Preglednica 1: Lastnosti satelita MSG1 in MSG2.**

Satelit	Meteosat Second Generation (MSG1)	Meteosat Second Generation (MSG2)
Tirnica	Geostacionarna	Geostacionarna
Položaj satelita (N, E, h)	0°, 9,5°, 35800m	0°, 0°, 35600m
Senzor	SEVIRI	SEVIRI
Doba operativnosti	2002-2018	2005-2022



Slika 8: Satelit MSG1 in MSG2 ter območje opazovanja. (Vir: EUMETSAT, 2012)

### *Lastnosti geostacionarnih satelitov*

Satelita sta bila izstreljena leta 2002 in 2005 v Francoski Gvajani, utirjena sta v ravnini ekvatorja, njun položaj prikazuje preglednica 1.

Senzor zajame podobo s pomočjo zrcala in vrtenjem okoli lastne osi, cikel snemanja in kalibracije traja 15 minut. Zrcalo se premika v smeri jug-sever, in sicer se v vsakem obratu premakne za 125,8  $\mu$ rad. Vrtenje satelita in premik zrcala povzročita snemanje podobe po vrsticah, torej 100 vrstic v minuti. Celotna podoba je iz okoli 1250 vrstic, torej cikel snemanja traja okoli 12 minut. Preostali čas se porabi za premik zrcala v začetno lego in kalibracijo sistema (Oštir, 2006).

Zaradi vrstičnega snemanja je območje posneto ob različnih časih, območja na geografskih širinah Slovenije so posneta okoli 10 minut po začetku snemanja. Tudi prostorska ločljivost se spreminja z oddaljevanjem od točke pod satelitom, na območju Slovenije piksel predstavlja površino okoli 3 km x 5 km.

### **3.2.1 Senzor SEVIRI**

Z najnovejšim senzorjem SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) sta opremljena oba satelita 2. generacije (MSG).

Senzor SEVIRI je trenutno najnaprednejši senzor Meteosat satelitov, nameščen bo tudi na njihovih satelitih tretje generacije. Senzor z 12 kanali je namenjen opazovanju atmosfere in površja. Kanali so z vidnega in IR dela spektra. Njihova prostorska ločljivost je slaba, piksel zavzema na površju velikost 3 km, kanal 12 (HRV) ima boljšo prostorsko ločljivost, in sicer 1 km. Prostorska ločljivost je definirana v točki pod satelitom. Časovna ločljivost je 15 minut, kar omogoča kontinuirano opazovanja v skoraj realnem času.



**Preglednica 2: Lastnosti senzorja SEVIRI (MSG).**

Kanal	Pas	Razpon valovne dolžine [ $\mu\text{m}$ ]
1	VIS 0,6	0,56-0,71
2	VIS 0,8	0,74-0,88
3	IR 1,6	1,50-1,78
4	IR 3,9	3,48-4,36
5	WV 6,2	5,35-7,15
6	WV 7,3	6,85-7,85
7	IR 8,7	8,30-9,10
8	IR 9,7	9,38-9,94
9	IR 10,8	9,80-11,80
10	IR 12,0	11,00-13,00
11	IR 13,4	12,40-14,40
12	HRV	0,4-1,1

### 3.2.2 MPEF FIRG

Orodje MPEF FIRG je prirejeno zaznavi požarov na osnovi podatkov geostacionarnega satelita MSG, ki opazuje veliko območje. V analizo so vključeni podatki kanalov 4 (3,9  $\mu\text{m}$ ), 7 (8,7  $\mu\text{m}$ ) in 9 (10,8  $\mu\text{m}$ ), kjer je kanal 7 le za pomoč v pripravi območja, ki vstopi v nadaljnjo analizo.

Pogoji:

- piksel zavzema kopno površino;
- piksel je poraščen z vegetacijo; podatek pridobimo z maske kopnega in morja; razlika temperatur na kanalih 7 in 9 mora biti manjša od 4 K;
- piksel je oddaljen za vsaj en piksel od morja ali jezera;
- čez dan je odbojnost na kanalu VIS0,6 manjša od 15%;
- kot odboja Sonca je vsaj 3°.

Vhodni podatki:

- geografska širina in dolžina,
- zenitna razdalja Sonca,
- odbojnost s kanala VIS0,6,
- maska kopnega in morja,
- karta emisivnosti površine za določeno obdobje,
- podatki napovedi in RTM modela,
- temperature posameznih kanalov.

Namen orodja je zaznati temperaturne anomalije na celotnem vidnem polju satelita, torej na globalnem nivoju, hkrati pa povzročiti čim manj lažnih alarmov. Iz analize orodje izloči vse vodne površine, manjše otoke ter območja z nezadostno vegetacijo. Za neizločena območja se opravita dve skupini testov, za možne požare in požare. Testi v obeh skupinah so zastavljeni enako, razlikujejo se le v vrednostih izidov.

#### *Test 1*

Odkrijemo območja, ki imajo veliko višjo temperaturo od pričakovane, uporabimo vrednosti s kanala 4.

#### *Test 2*

Kanal 9 je manj občutljiv na temperaturne spremembe kot kanal 4, torej pričakujemo na kanalu 9 nižjo temperaturo. Razlika med kanaloma 4 in 9 je za območja požarov višja kot razlika na območjih brez požara.

#### *Test 3*

Standardna deviacija, izračunana na kanalu 4, je v primeru požara precej višja od standardne deviacije na kanalu 9, torej bo njuna razlika velika in pozitivna. V primeru homogene temperature na celotnem območju, sta standardni deviaciji obeh kanalov približno enaki, torej bo njuna razlika blizu nič. Oblaki povzročijo večjo standardno deviacijo na kanalu 9, torej bo razlika standardnih deviacij kanala 4 in 9 negativna.

#### *Test 4*

Standardna deviacija kanala 4, izračunana na osnovi matrik velikosti 3x3, je v primerih temperaturnih anomalij večja od območij homogenih temperatur. S pomočjo testa izločimo območja homogenih temperatur.

### Test 5

Standardna deviacija kanala 9 v primeru požara ostane nizka.

Izidi, ki nastopajo v testih, niso konstantni, spreminjajo se lokalno in časovno, parametri se spreminjajo na osnovi ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast) napovedi. V prvem koraku je radianca na vrhu atmosfere pridobljena iz RTTOV modela, ki predpostavlja emisivnost 1 za vsak piksel na vseh kanalih. To vrednost popravimo zaradi emisivnosti površja, ki je lokalna lastnost in odvisna od valovne dolžine (kanala). Popravljen radianca je odvisna od lokacije in valovne dolžine kanala s katerim opazujemo. S pomočjo Planckovega zakona pretvorimo radianco v temperaturo, ki jo uporabimo za izračun izidov testov.

## 3.3 NASA Terra in Aqua

NASA (National Aeronautics and Space Administration) je ameriška vesoljska agencija, ki ima v vesolju satelite za opazovanje Zemlje in atmosfere. Leta 1997 so začeli s programom Earth Observing System (EOS), v katerega sta vključena tudi satelita Terra in Aqua.

### *Aqua*

Nasin program Aqua je namenjen opazovanju vodnih površin in vodnega cikla na Zemlji, ki se je pričel z izstrelitvijo satelita maja 2002. Tirnica satelita je polarno orbitalna, ki ekvator prečka v smeri jug-sever v popoldanskem času. Površje Zemlje in atmosfero opazuje s šestimi senzorji, v nalogi bomo uporabili podatke senzorja MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

### *Terra*

Program Terra je plod sodelovanja več agencij, poleg NASA tudi japonska in kanadska vesoljska agencija, katere namen je opazovanje kopnega površja. Začetek delovanja je bil februarja leta 2000. Tako kot Aqua je tudi Terra polarno orbitalni satelit, ki prečka ekvator v smeri sever-jug v dopoldanskem času. V nalogi smo uporabili podatke senzorja MODIS.

### 3.3.1 Senzor MODIS

MODIS je eden izmed senzorjev nameščenih na satelitih Terra in Aqua, površje in atmosfero lahko opazuje s 36 kanali, v razponu valovnih dolžin med 0,4  $\mu\text{m}$  in 14,4  $\mu\text{m}$ . Glede na to, da sta oba satelita skoraj polarno orbitalna imata boljšo prostorsko ločljivost, ki pa se razlikuje

po posameznih kanalih. Dva kanala imata prostorsko ločljivost 250 m, 5 kanalov ima prostorsko ločljivost 500 m ostalih 29 kanalov pa 1000 m. Celotno površino Zemlje posnameta v 1-2 dni.

**Preglednica 3: Lastnosti senzorja MODIS.**

Kanal	Razpon valovne dolžine [ $\mu\text{m}$ ]	Prostorska ločljivost [m]	Kanal	Razpon valovne dolžine [ $\mu\text{m}$ ]	Prostorska ločljivost [m]
1	620-670	250	19	915-965	1000
2	841-876	250	20	3,660-3,840	1000
3	459-479	500	21	3,929-3,989	1000
4	545-565	500	22	3,929-3,989	1000
5	1230-1250	500	23	4,020-4,080	1000
6	1628-1652	500	24	4,433-4,498	1000
7	2105-2155	500	25	4,482-4,549	1000
8	405-420	1000	26	1,360-1,390	1000
9	438-448	1000	27	6,535-6,895	1000
10	483-493	1000	28	7,175-7,475	1000
11	526-536	1000	29	8,400-8,700	1000
12	546-556	1000	30	9,580-9,880	1000
13	662-672	1000	31	10,780-11,280	1000
14	673-683	1000	32	11,770-12,270	1000
15	743-753	1000	33	13,185-13,485	1000
16	862-877	1000	34	13,485-13,785	1000
17	890-920	1000	35	13,785-14,085	1000
18	931-941	1000	36	14,085-14,385	1000

### 3.3.2 Algoritem NASA

Z uporabo algoritmov v praktičnih namenih se le-ti stalno spreminjajo, začetni algoritem za podatke MODIS je temeljil na algoritmu AVHRR, ki nima najprimernejše razporeditve valovnih dolžin. Tako je danes v uporabi že izboljššan algoritem za podatke MODIS.

**Preglednica 4: Kanali senzorja MODIS, ki se uporabijo v orodju.**

Kanal	Srednja valovna dolžina [ $\mu\text{m}$ ]	Uporaba
1	0,65	zmanjšanje lažnih alarmov zaradi sončevega odboja, obalnih območij in maska oblakov
2	0,86	zmanjšanje lažnih alarmov zaradi sončevega odboja, obalnih območij, svetlih površin in maska oblakov
7	2,10	zmanjšanje lažnih alarmov zaradi sončevega odboja, obalnih območij
21	4,00	zaznava aktivnih požarov
22	4,00	zaznava aktivnih požarov
31	11,00	zaznava aktivnih požarov, maska oblakov
32	12,00	maska oblakov

V uporabi sta dva kanala (21 in 22) z enako valovno dolžino 3,9  $\mu\text{m}$ , v praksi se uporablja kanal 22, ker ima manj šuma (nižjo saturacijo). Kanal 21 se uporabi v primeru, da s kanalom 22 ni bilo moč pridobiti podatke ali pa je dosegel temperaturo saturacije.

Orodje loči med opazovanjem površja podnevi in ponoči, noč je definirana z lokalno zenitno razdaljo Sonca večjo ali enako 85°.

#### *Maska vode in oblačnosti*

Masko oblačnosti pridobimo na osnovi odbojnosti kanala 1 ( $\rho_1$ ) in 2 ( $\rho_2$ ) ter temperature na kanalu 32 ( $T_{32}$ ). Enačba 7 velja za dnevne razmere, ponoči je dovolj, da je temperatura na kanalu 32 nižja od 265 K.

$$(\rho_1 + \rho_2 < 0,9) \text{ ali } (T_{32} < 265 \text{ K}) \text{ ali } (\rho_1 + \rho_2 < 0,7 \text{ in } T_{32} < 285 \text{ K}) \quad (7)$$

Maska vode je pridobljena neodvisno.

#### *Možni požari*

Izločijo se piksli, ki očitno ne predstavljajo temperaturnih anomalij, preostali piksli so testirani s strožimi testi. Piksle, ki zadostijo pogojem enačbe 8 (podnevi), ne izločimo. Ponoči mora biti temperatura kanala 22 višja od 305 K.

$$T_{22} > 310 \text{ K}, T_{22} - T_{31} > 10 \text{ K}, \rho_2 < 0,3 \quad (8)$$

#### *Požari*

Ločimo večkanalni (absolutni) in kontekstualni test, osnove obeh so zapisane v poglavju 3.1.

#### *Absolutni test*

$$T_{22} > 360 \text{ K (ponoči 320 K)} \quad (9)$$

## Površje

Standardne deviacije širšega območja požara se izračunajo za piksele, ki:

- so uporabni,
- zajemajo kopno površje,
- niso zaznani kot oblaki,
- niso zaznani kot požar v absolutnem testu.

Poleg naštetih lastnosti morajo zadostiti pogoju 10.

$$\text{Podnevi: } T_{22} > 325 \text{ K in } T_{22} - T_{31} > 20 \text{ K in ponoči } T_{22} > 310 \text{ K in } T_{22} - T_{31} > 10 \text{ K} \quad (10)$$

Standardne deviacije se izračuna za (okna) matrike velikosti 3 x 3 do 21 x 21, kar predstavlja območje do okoli 20 km od centralnega piksla. Podatki o standardnih deviacijah se uporabijo v kontekstualnem delo orodja.

## Kontekstualni test

$$\Delta T > \Delta T_{\text{pov}} + 3,5 \delta_{\Delta T} \quad (11)$$

$$\Delta T > \Delta T_{\text{pov}} + 6 \text{ K} \quad (12)$$

$$T_{22} > T_{22\text{pov}} + 3 \delta_{22} \quad (13)$$

$$T_{31} > T_{31\text{pov}} + 3 \delta_{31} - 4 \text{ K} \quad (14)$$

$$\delta'_{22} > 5 \text{ K} \quad (15)$$

Enačbe 11, 12 in 13 ločijo požare od pregretega površja, enačba 13 izloči manjše konvekcijske oblake. Enačba 14 lahko v primeru večjih požarov le teh ne zazna, saj je tudi na kanalu 31 temperatura visoka, zato se uporabi enačba 15, ki onemogoči enačbo 14 v takšnih primerih.

Podnevi je piksel kategoriziran kot požar, če je zadoščeno enačbi 9 ali je zadoščeno enačbam 11, 12, 13 in enačbi 14 ali 15, drugače piksel ni spoznan kot požar.

Ponoči je piksel označen kot požar, če velja enačba 9 ali enačbe 11, 12 in 13.

(Povzeto po Giglio in sod., 2003)

## **4. UPORABLJENI PODATKI, METODOLOGIJA IN PROGRAMSKA OPREMA**

V poglavju so predstavljeni uporabljeni podatki, postopki in metode za določitev požarov v naravi ter uporabljena programska oprema.

### **4.1 Opis podatkov**

V diplomski nalogi so predstavljeni izbrani požari na osnovi različnih satelitskih posnetkov. Ločimo lahko dve vrsti podatkov, in sicer podatke o požarih, ki jih bomo prikazali, in satelitske podatke. Za izbiro požarov bomo uporabili podatkovno bazo o naravnih nesrečah. Za prikaz požarov uporabimo posnetke geostacionarnega satelita MSG (EUMETSAT) in polarno orbitalnih satelitov Terra in Aqua (NASA).

#### **4.1.1 Podatki o požarih**

Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje ima na spletnih straneh vzpostavljeno prosto dostopno bazo o nesrečah, med katerimi so tudi podatki o intervencijah v primeru požarov. V bazi najdemo podatke od vključno leta 2005, kjer je predstavljene celotna statistika dogodkov. Za podrobnejše informacije lahko pregledamo dnevni bilten, ki vsebuje krajša poročila teh dogodkov. Tako lahko za posamezen požar pridobimo podatke o lokaciji, velikosti, trajanju in vrsti požara.

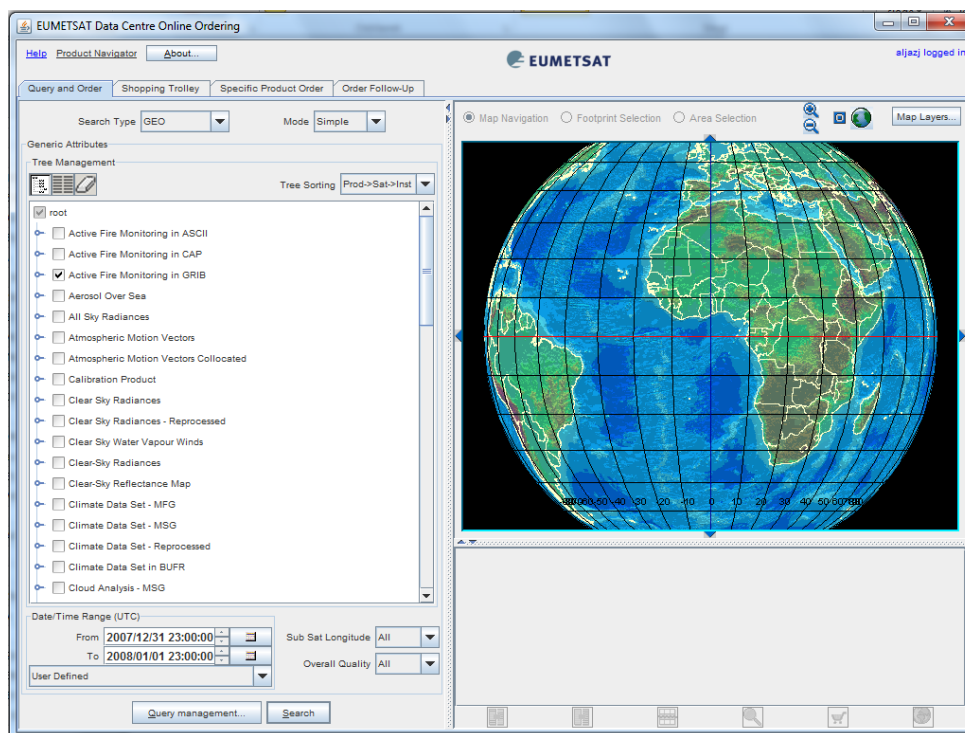
#### **4.1.2 Podatki EUMETSAT MPEF (ASCII, GRIB)**

V diplomski nalogi smo uporabili dve vrsti podatkov, ki jih zagotavlja organizacija EUMETSAT. Podatki njihovih izdelkov so prosto dostopni, na osnovi registracije, podatki s kanalov senzorja SEVIRI niso prosto dostopni, za potrebe diplomske naloge jih je priskrbelo Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).

Za predstavitev orodja MPEF FIR je bilo potrebno naročilo prosto dostopnih podatkov s pomočjo njihove aplikacije. Potrebna je namestitev aplikacije Java in registracija uporabnika, kjer navedemo namen uporabe podatkov.

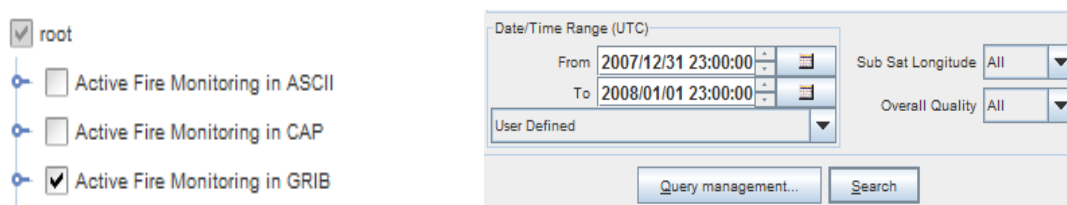
V spletni aplikaciji označimo produkt, vrsto in datum podatkov, ki jih želimo pridobiti. Iskanje poda vse rezultate za vnesene parametre, zadetke označimo in jih izvozimo v nakup, kjer

označimo način stiskanja in potrdimo format zapisa. Pri načinu dostave označimo spletni prenos in potrdimo nakup. Za manjše količine naročenih podatkov so le ti pripravljene že v istem dnevu, preko spletne pošte dobimo spletno povezavo s katere naložimo podatke na svoj računalnik.



Slika 9: Pogovorno okno spletne aplikacije za naročanje podatkov EUMETSAT.

Za produkt MPEF FIRG so na voljo trije različni formati podatkov: CAP, ASCII in GRIB. Izberemo format, ki ga podpira programska oprema, v kateri izvedemo prikaz. Naročili smo podatke v GRIB in ASCII formatu, ker je bila predstavitev izvedena v dveh programih.



a)

b)

Slika 10: a) Izbira formata ter b) izbira datuma in časa izbranih podatkov.

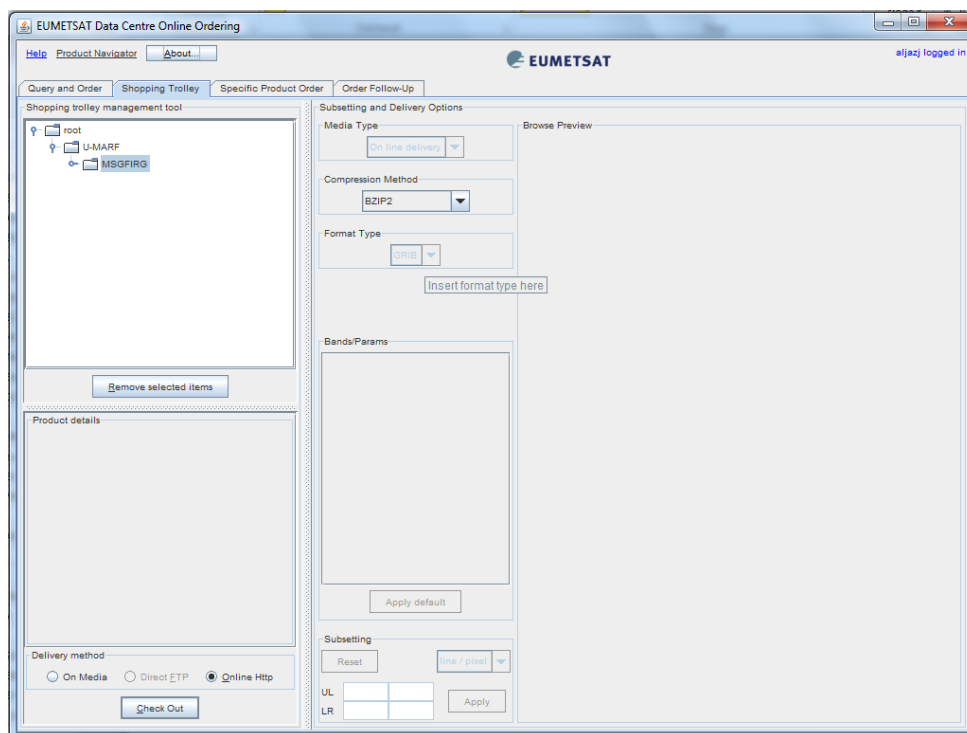
*ASCII (American Standard Code for Information Interchange)*

Ameriški standardni 7-bitni nabor znakov za izmenjavo informacij.



### GRIB (GRIdded Binary)

Format zapisa, ki se uporablja v meteorologiji in je standardiziran s strani Svetovne meteorološke organizacije (WMO). Datoteka v formatu grib je sestavljena iz dveh delov, v glavi je opis podatkov, jedro pa predstavljajo podatki v binarnem zapisu.



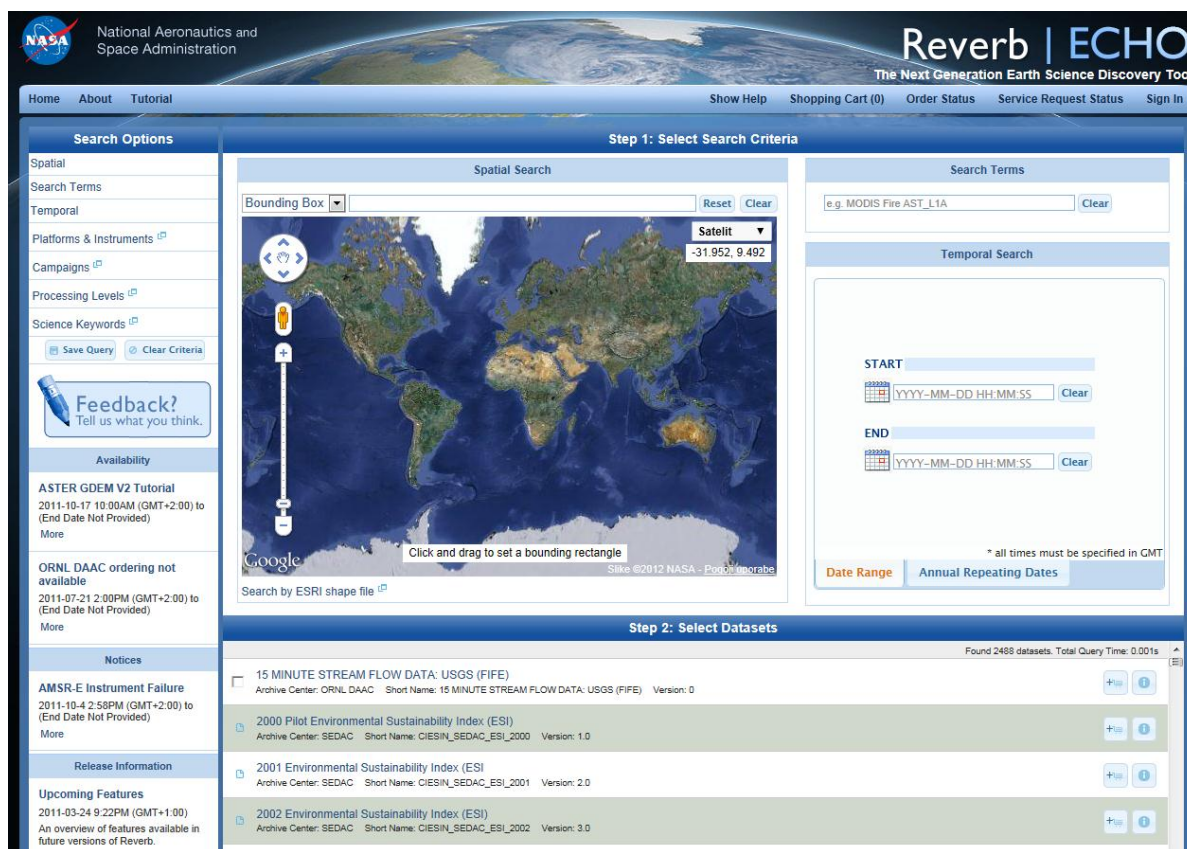
Slika 11: Izbira načina kompresiranja in potrditev naročila.

#### 4.1.3 Podatki EUMETSAT MSG (H5)

Za izvedeno samostojno analizo smo uporabili podatke s posameznih kanalov senzorja SEVIRI. Posamezen cikel snemanja je zajet v eni datoteki, ker gre za velike količine podatkov, ne samo podatki kanalov temveč tudi podatki o položaju, kalibraciji... so le-ti zapisani v datoteki .h5. To je peta generacija datoteke HDF (Hierarchical Data Format), ki imajo razvejano strukturo podatkov, njihov pogled je možen v specifičnih programih.

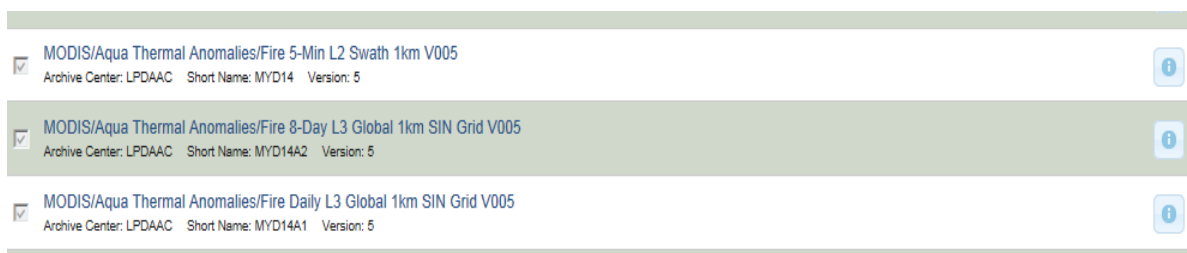
#### 4.1.4 Podatki MODIS (HDF)

NASA ima za pregled in pridobivanje satelitskih podatkov pripravljeno spletno aplikacijo Reverb ECHO v katero se ni potrebno registrirati. V naboru iskalnih kriterijev izberemo primerne za nalogo, ki jo opravljamo.



Slika 12: Pogovorno okno Reverb ECHO za naročanje podatkov NASA.

Uporabili smo podatke s senzorja MODIS, ki je nameščen na satelitih Aqua in Terra, relevantne podatke najdemo pod bazo podatkov temperaturne anomalije. V naboru vseh baz podatkov se pojavijo trije produkti, ki so označeni kot temperaturne anomalije.



Slika 13: Naročeni podatki.

### Fire 5-Min L2 Swath

Dnevno zagotovljeni podatki z ločljivostjo 1 km. Datoteka vsebuje masko požara, kakovost algoritma, moč sevanja in vrsto podatkov o pikslih maske požara. Med temi podatki so tudi geografske koordinate.

---

*Fire 8-Day L3 Global*

Osem dnevni kompozit mask požarov z ločljivostjo 1 km v sinusoidni projekciji. Datoteka vsebuje podatke o maski požara in kakovosti algoritma.

*Fire Daily L3 Global*

Produkt, izveden za obdobje osem dni, z ločljivostjo 1 km v sinusoidni projekciji. Datoteka vsebuje podatke o maski požara, kakovosti algoritma.

V rezultatih poizvedbe dobimo sliko predogleda območja in ustrezno datoteko hdf s podatki, poleg tega so pripete povezave do opisa podatkov.

## 4.2 Metodologija

Osnovo obravnavane teme predstavljajo primerni izhodiščni podatki, to so požari, ki jih je moč zaznati s pomočjo orodij satelitskih agencij. Z definiranimi lokacijami in datumi požarov smo preverili ali orodja posrednikov podatkov zaznajo te požare. V nadaljevanju smo s postopkoma enokanalne in večkanalne zaznave analizirali pridobljene podatke, z namenom odkritja temperaturnih anomalij.

V podpoglavju metodologija navedemo celoten postopek zaznave od izbire primernih požarov do zaznave na več načinov.

### 4.2.1 Izbira podatkov

Izhodišče za izbiro podatkov predstavlja dnevni bilten Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje, rezultat pregleda je bil ožji izbor požarov, ki jih bomo obravnavali. Izbor je temeljil predvsem na velikosti požara, kjer je bilo zaželeno, da je bil požar razširjen po celotni površini in ne več manjših gorišč. Na izbor sta vplivala še datum požara in gorivo, zaželeno je bilo, da so požari gozdni.

Za posamezen dogodek smo pripravili naslednje podatke:

- Eumetsatov produkt MPEF FIR (ASCII),
- Eumetsatov produkt MPEF FIR (GRIB),
- MODIS L2 Thermal anomaly (HDF),
- MODIS L3 Thermal anomaly 8-day kompozit (HDF),
- MODIS L3 Thermal anomaly daily (HDF),
- Eumetsat podatki s kanalov (H5).

### 4.2.2 Opis podatkov MPEF FIRG

Podatki MPEF FIRG so rezultat najnovejšega orodja organizacije EUMETSAT, opisanega v poglavju 3.2.2. Podatke grib smo vnesli v program Visual Weather, kjer smo za vsak časovni interval preverili ali je bila zaznana temperaturna anomalija. Orodje na osnovi testov loči med potencialnimi in dejanskimi požari, pričakujemo dve vrsti podatkov. S kontinuiranimi podatki pripravimo celoten časovni potek požara in njegovo širjenje.

Format podatkov ASCII smo uporabili za primerjavo z rezultati večkanalne analize. V datoteki imamo podatke o geografskih koordinatah pikslov, ki so bili zaznani kot požari.

### 4.2.3 Opis podatkov senzorja MODIS

Podatke senzorja MODIS s satelita Aqua in Terra smo pridobili v formatu zapisa HDF, katerega uspešno prepozna program ENVI. Podatke smo vnesli v program, kjer smo s funkcijo Compute statistics pridobili podatke o vrednosti (razredu) in številu pikslov. Vrednosti pikslov v produktu maske požara (fire mask) zavzemajo vrednosti od 3 do 9, pomen vrednosti je prikazan preglednici 5. Izbor teh območji opravimo s funkcijo ROI (Region Of Interest), naredimo poizvedbo po posameznih vrednostih piksla. Glede na vrednosti določimo ustrezno barvno paleto.

**Preglednica 5: Razredi pikslov produkta MODIS Thermal Anomaly.**

Razred	Pomen
3	Voda
4	Oblaki
5	Površje brez požara
6	Neznano
7	Nizka verjetnost požara
8	Osnovna verjetnost požara
9	Visoka verjetnost požara

Orodje zaznane požare klasificira v tri razrede, njihova verjetnost (C) je prikazana v preglednici 6. Vrednost verjetnosti C se določi na osnovi izračunanih vrednosti izidov v postopku analize (Giglio, 2010).

**Preglednica 6: Verjetnost požara v posameznem razredu.**

Verjetnost	Razred
$0\% \leq C < 30\%$	7 (nizka verjetnost)
$30\% \leq C < 80\%$	8 (osnovna verjetnost)
$80\% \leq C < 100\%$	9 (visoka verjetnost)

Rezultat poizvedbe so piksli na podobi, poznamo vrstico in stolpec, ki ga piksel zavzema v matriki. Za potrditev požara na določenem območju potrebujemo geografske koordinate območja, ki ga piksel predstavlja. Določimo jih s pomočjo programa MODLAND, katerega vhodni podatki so cona sinusoidne projekcije, slikovne koordinate (položaj piksla) in velikost piksla.

### 4.2.4 Postopek enokanalne določitve

Enostavnejši princip določanja območij s temperaturnimi anomalijami temelji na pričakovanih temperaturah površja. V nalogi smo prikaz postopka naredili na osnovi EUMETSAT-ovih

podatkov, in sicer s srednjo IR svetlobo. Uporabili smo kanal 4 z valovno dolžino 3,9  $\mu\text{m}$ , ki je najbolj odziven na spremembo temperatur.

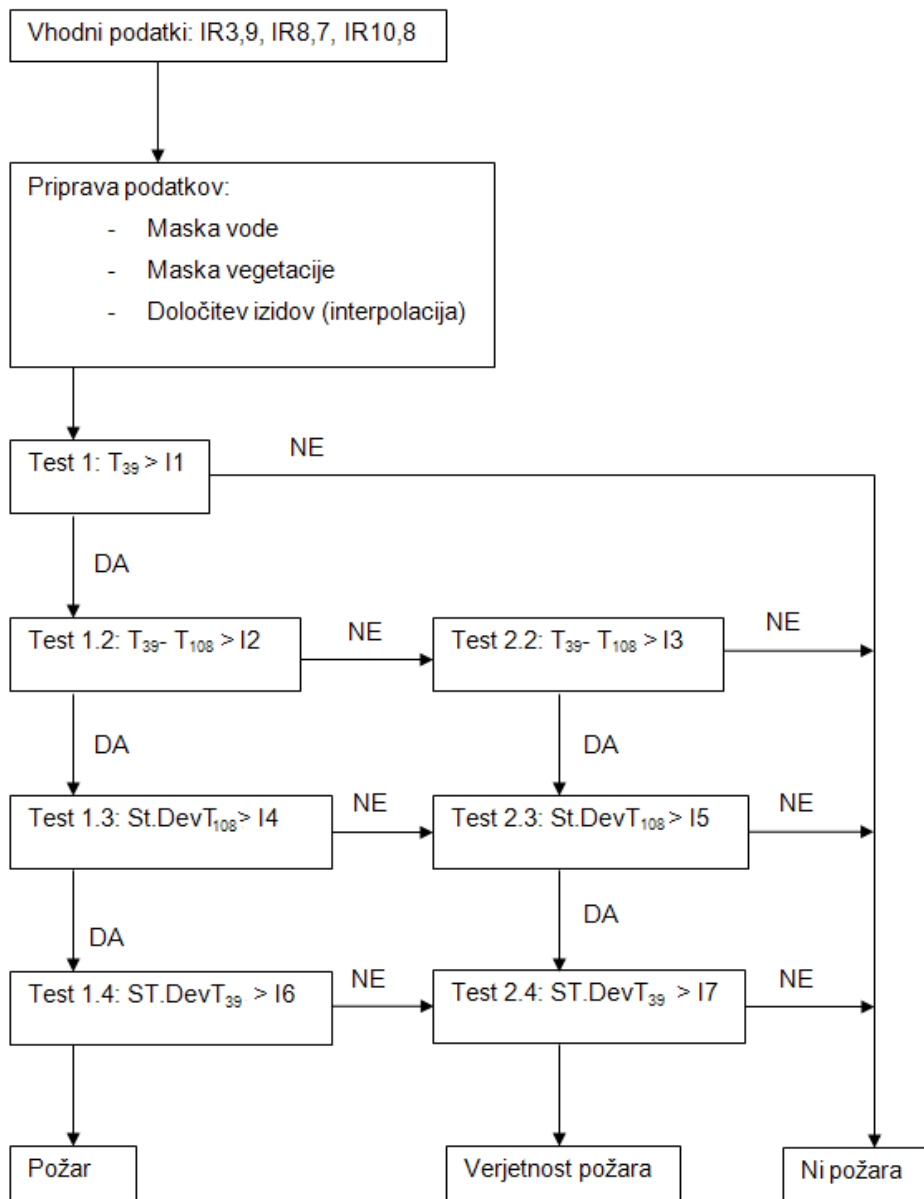
Vhodni podatek je območje, sestavljeno iz pikslov, kateri imajo pripisano zaznano povprečno temperaturo, njen izračun je opisan v poglavju 2.6. Pomemben dejavnik sta tudi datum in čas dogodka, na podlagi tega določimo pričakovane temperature okolja in s tem definiramo barvno paleto prikaza. Z vizualno interpretacijo podob poiščemo posamezne ali skupine pikslov, ki pripadajo določenemu razredu palete. Podrobnejši opis postopka je v poglavju 3.1.

#### **4.2.5 Postopek razlik kanalov**

Postopek je nadgradnja enokanalnega postopka, uporabimo še IR kanal z daljšo valovno dolžino (kanal 9; 10,8  $\mu\text{m}$ ). Zaradi različne občutljivosti kanalov na temperaturne anomalije lahko s tem postopkom odkrijemo manjše požare, saj se bo kanal 4 močnejše odzval na spremembo temperature kot kanal 9. Poleg tega lahko s postopkom izločimo pregreta območja, ki imajo visoko in homogeno temperaturo, kljub visokim zaznanim temperaturam bo razlika ostala nesorazmerno manjša.

Vhodna podatka sta bili temperaturi z obeh kanalov, ki smo jih odšteli s pomočjo programa Visual Weather.

#### 4.2.6 Postopek večkanalne določitve



Slika 14: Diagram poteka zaznave požara z večkanalno analizo.

Vhodni podatki so kanali 4, 7 in 9 s področja IR dela spektra. V pripravi podatkov izločimo piksele, ki ne vstopijo v analizo. S pomočjo maske vode izločimo vse vodne površine, z razliko kanalov 7 in 9 izločimo površine, ki nimajo vegetacije primerne gostote.

V analizi nastopajo v naprej določeni izidi testov, s katerimi ugotavljamo temperaturne anomalije. Izidi za analizo dnevnih in nočnih podatkov se razlikujejo, dan je definiran z zenitno razdaljo Sonca manjšo od  $70^\circ$ , noč pa z zenitno razdaljo Sonca več kot  $90^\circ$  (Joro in sod., 2008). Znotraj intervala  $[70^\circ, 90^\circ]$  izide izračunamo s pomočjo linearne interpolacije.

Podatke za interpolacijo pridobimo na spletni strani ameriškega astronomskega observatorija.

Temperatura kanala IR3,9 je pokazatelj povprečne temperature piksla, zaradi njene občutljivosti je možno zaznati temperaturne anomalije, ki jih povzročijo požari, ki so lahko manjši od velikosti piksla. Odvisnost zaznane temperature s temperaturami znotraj piksla je opisana v poglavju 2.6.

Kanal 9 je manj občutljiv na spremembe temperature, kljub temperaturnim anomalijam znotraj opazovanega piksla ne bo zaznal bistvenih sprememb. Pričakujemo, da se v primeru požara zaznani temperaturi razlikujeta, torej bo njuna razlika, IR3,9-IR10,8, zavzela pozitivno vrednost, ki bo odvisna predvsem od velikosti in jakosti temperaturne anomalije. Razlika zaznane temperature je prikazana na sliki 7 v poglavju 2.6

Standardna deviacija je izračunana na osnovi matrik velikosti 3x3, za rob posnetka vrednosti standardne deviacije ne izračunamo. Z njeno vrednostjo podajamo razmerje centralnega piksla s sosednjimi piksli. Standardna deviacija kanala 3,9 omogoči ločevanje med resničnimi vročimi območji in povišano temperaturo površja. Vrednosti na kanalu IR10,8 so tudi v primeru požarov precej konstante, zato pričakujemo nižjo standardno deviacijo.

**Preglednica 7: Vrednosti izidov uporabljene v večkanalni analizi.**

	Požar		Možen požar	
	dan	noč	dan	noč
$T_{39}$	>310	>290	>310	>290
$T_{39}-T_{108}$	>8	>0	>5	>-1
$StDev_{108}$	<1	<1	<1	<1
$StDev_{39}$	>4	>4	>2	>2

V preglednici 7 so predstavljene vrednosti izidov, ki smo jih uporabili v večkanalni analizi. Vrednosti, ki smo jih uporabili v času med dnevom in nočjo smo linearno interpolirali.

#### 4.2.7 Določitev geografskega položaja

Večkanalno analizo smo izvedli na osnovi matrike podatkov, posamezna vrednost v matriki je predstavljala vrednost na ustreznem pikslu, območje je prestrukturirano v mrežo kvadratnih pikslorov dimenzije 6 km. Rezultat te analize je bilo območje piksla oz. skupine pikslorov, za potrditev dejanskega požara v naravi smo tem pikslom določili geografske koordinate oz. ga umestili v prostor. Ker natančni podatki o geografskih koordinatah požarov ne obstajajo, prav tako je prostorska ločljivost slaba, se izvede približna umestitev v prostor.



### *Umestitev v prostor*

Središče celotnega satelitskega posnetka ima geografske koordinate: 14°00' vzhodne geografske dolžine in 46°00' severne geografske širine (to je območje Idrije), tem geografskim koordinatam ustreza srednji element matrike, to je element 134, 81. Položaj posameznega požara pridobimo na osnovi odmika piksla od srednjega piksla, podatka o velikosti piksla in od vrednosti te dolžine v ločnih enotah.

## **4.3 Programska oprema**

### *Envi 4.5*

Program podjetja EXELIS za potrebe daljinskega zaznavanja. Uporabili smo ga pri prikazu podatkov v HDF formatu s senzorja MODIS.

### *Visual Weather 3.4.12*

Program podjetja ibl software engineering za prikazovanje in obdelavo meteoroloških podatkov. S programom je bil izveden prikaz orodja MPEF FIRG v grib formatu podatkov ter razlika kanalov, enokanalna in večkanalna analiza podatkov MSG satelita.

### *Matlab*

Program podjetja MathWorks, ki je primeren za numerične analize. Uporabili smo ga za pregled strukture HDF datotek in analizo rezultatov.

### *Modland*

Pripomoček za preračun slikovnih koordinat posnetkov senzorja MODIS v geografske koordinate. Vhodni podatki so vrstica in stolpec matrike posnetka ter cona sinusoidne projekcije, razdelitev je prikazana v prilogi A.

## 5. REZULTATI

V poglavju so predstavljeni rezultati praktičnega dela diplomske naloge. V podpoglavju 5.1 Izbira dogodkov so navedeni požari, ki jih v nadaljnjih poglavjih predstavim na osnovi izvedenih analiz.

### 5.1 Izbira dogodkov

Izbral sem pet požarov, ki so se zgodili v letih od 2006 do 2011 in so predstavljeni v preglednici 8. Izbira je temeljila na čim večji raznolikosti, ki omogoči spoznati prednosti in slabosti posameznih orodij in pristopov.

**Preglednica 8: Požari, obravnavani v diplomski nalogi.**

Lokacija	Površina [ha]	Datum
Komen pri Novi Gorici	707	21.7.2006
Dubrovnik	3000	5.-8.8.2007
Mrzli vrh pri Tolminu	350	1.1.2008
Škofja Loka	20	31.3.2011
Pivka	12	13.7.2011

Poleg lokacije in datuma je v preglednici 8 navedena tudi površina posameznega požara, ki se močno razlikuje. Dubrovniški požar sem izbral namenoma zaradi velike obsežnosti, prav tako tudi požar v Komnu. V diplomski nalogi ta dva požara predstavljata jedro analize. Z ostalimi požari dopolnim množico dogodkov z namenom celovitejše predstavitve problema zaznave.

V preglednici 9 je podana uspešnost posamezne analize za posamezen dogodek, podrobnejši rezultati sledijo v nadaljnjih podpoglavjih.

**Preglednica 9: Uspešnost orodij in analiz v posameznem primeru.**

Požar	MPEF FIRG	MODIS	Enokanalna. analiza	Razlike kanalov	Večkanalna analiza
Komen pri Novi Gorici	NE	DA	DA	DA	DA
Dubrovnik	DA	DA	DA	DA	DA
Mrzli vrh pri Tolminu	NE	NE	NE	NE	NE
Škofja Loka	NE	NE	NE	NE	NE
Pivka	NE	NE	NE	NE	NE

## 5.2 Rezultati uporabe orodja MPEF

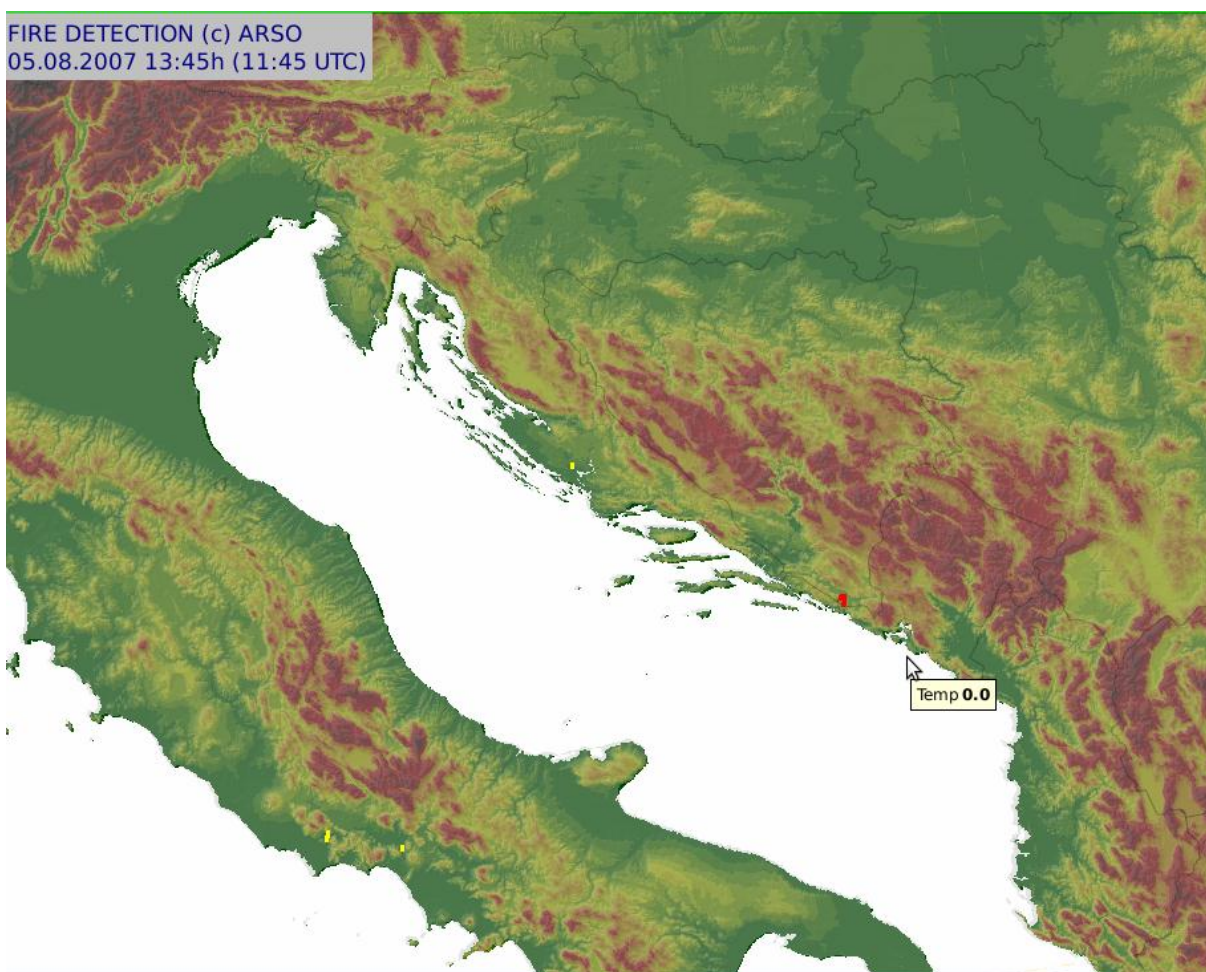
Kontekstualno orodje MPEF FIRG je bilo posodobljeno decembra 2006, kot nadgradnja večkanalnega orodja. Princip delovanja orodja je opisan v poglavju 3.2.2.

### *Komen*

Požar v Komnu se je zgodil pred datumom, ko je bilo vzpostavljeno orodje MPEF FIRG, zato ga ni bilo mogoče zaznati.

### *Dubrovnik*

Sliki 15 in 16 prikazujeta požar ob 11.45 po UTC v tem trenutku je bil zajet z višjo verjetnostjo, kar pomeni, da so bili izpolnjeni strožji testi opisani v poglavju 3.2.2. Na sliki 15 vidimo na območju Italije piksele obarvane z rumeno barvo, kar pomeni manjšo verjetnost požara, vrednosti pikselov so zadostile blažjim testom.



Slika 15: Prikaz zaznanega požara v Dubrovniko s širšo okolico. (© ARSO)



Slika 16: Prikaz ožjega območja zaznanega požara. (© ARSO)

### *Tolmin, Škofja Loka in Pivka*

Na ustreznih lokacijah ob času dogodkov nisem zaznal temperaturnih anomalij. Požar v Tolminu sem spremljal zgolj v začetni fazi (začetni 2 uri), preostala požara sta precej manjša in zato težje zaznana.

### 5.3 Rezultati uporabe posnetkov MODIS

Polarno orbitalni sateliti niso stalno nad isto točko Zemlje, tako se pojavi prvi pogoj za uspešno zaznavo posameznega dogodka, da mora satelit preleteti območje v času dogodka.



Slika 17: Območje preleta (rumena šrafura) in izbrano območje analize (oranžen pravokotnik).

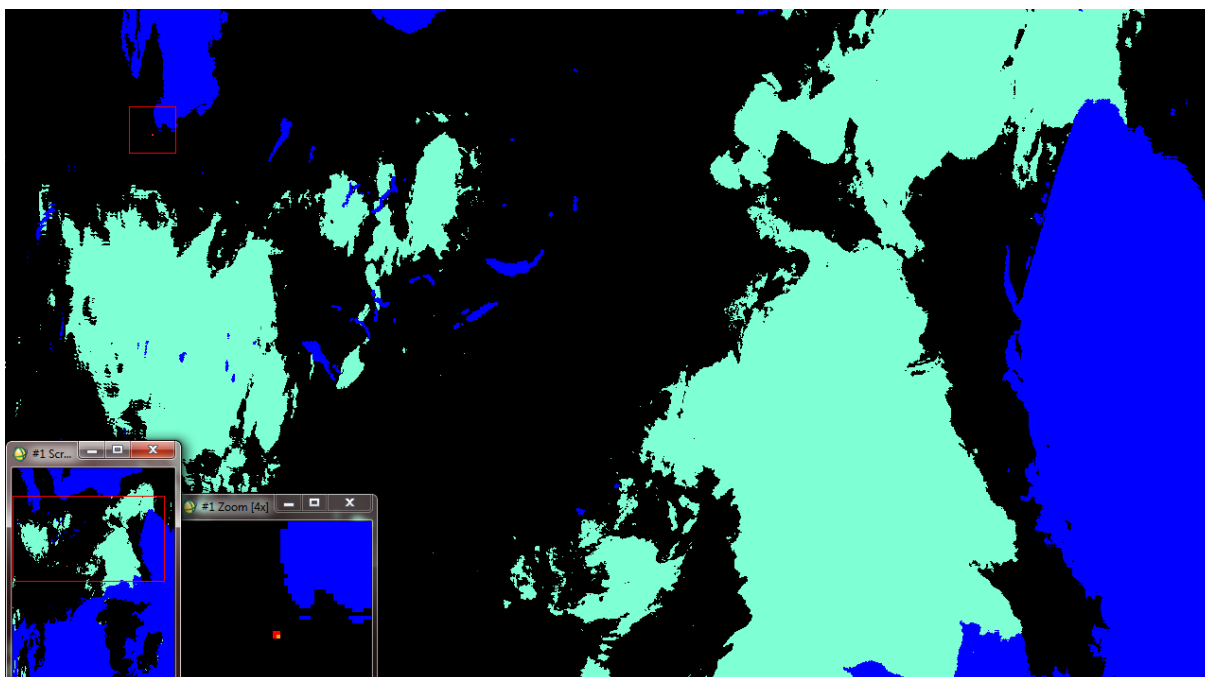
S pomočjo satelita Aqua in Terra sem od izbranih požarov zaznal požar v Komnu in v Dubrovniku, ostali so ostali neodkriti.

### *Komen*

Nasina satelita sta območje Komna preletela in posnela v času požara. Ker je bil požar relativno velik, sta ga oba uspešno zaznala. Na sliki 20 sta prikazani območji, kot sta jih

zaznala omenjena satelita, razlikujeta se, ker nista bili posneti ob istem času. Na sliki 19 je prikazan severni del Jadranskega morja, z namenom širše umestitve dogodka v prostor, osnova karte je sinusoidna projekcija. Območje požara spada v cono 4/18, razvidno iz priloge A.

Osnovo predstavljajo SWATH podatki, ki so prostorske ločljivosti 1 km in prikazani brez projekcije. Na sliki 18 so predstavljeni SWATH podatki s satelita Terra, severni del Jadranskega morja predstavlja modra površina v zgornjem levem kotu, z rdečim štirikotnikom je obkroženo širše območje požara.



Slika 18: SWATH podatki s satelita Terra.

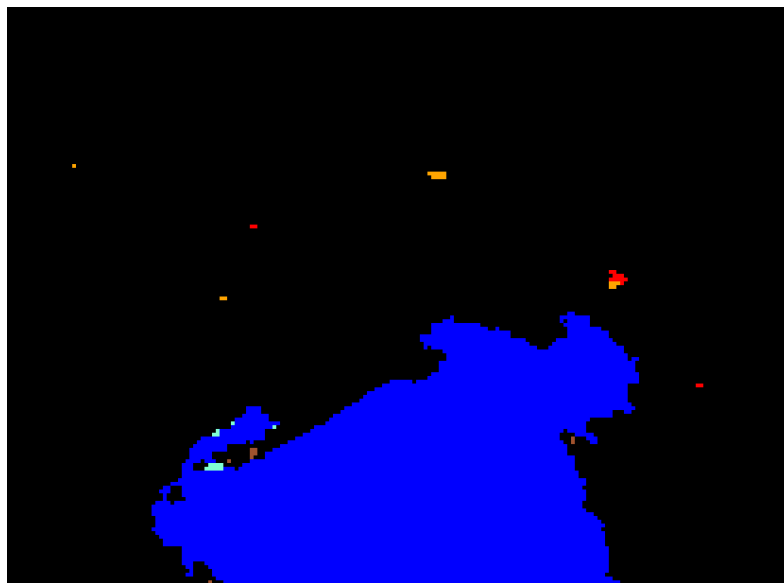
Požar je določen na osnovi pikselske analize, v preglednici 10 so predstavljeni piksli, ki so bili v analizi označeni kot požar. Podatki so s satelita Terra.

Preglednica 10: Geografske koordinate območja požara.

vrstica	stolpec	geografska dolžina	geografska širina
497	1153	13,8014	45,8542
498	1148	13,7400	45,8458
498	1149	13,7515	45,8458
498	1150	13,7634	45,8458
498	1151	13,7754	45,8458
498	1152	13,7874	45,8458
498	1153	13,7993	45,8458
499	1149	13,7494	45,8375
499	1150	13,7614	45,8375

se nadaljuje...

499	1151	13,7733	45,8375
499	1152	13,7853	45,8375
499	1153	13,7973	45,8375
499	1154	13,8092	45,8375
500	1149	13,7474	45,8292
500	1150	13,7593	45,8292
500	1151	13,7713	45,8292
500	1152	13,7832	45,8292
500	1153	13,7152	45,8292
500	1154	13,8072	45,8292

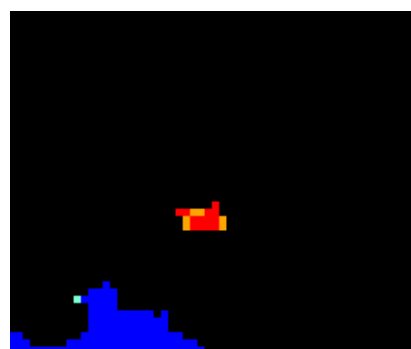


voda	oblaki	površje	neznano	Požar c1	Požar c2	Požar c3

Slika 19: Maska požara s senzorja MODIS (Aqua), območje severnega Jadrana.



Aqua



Terra

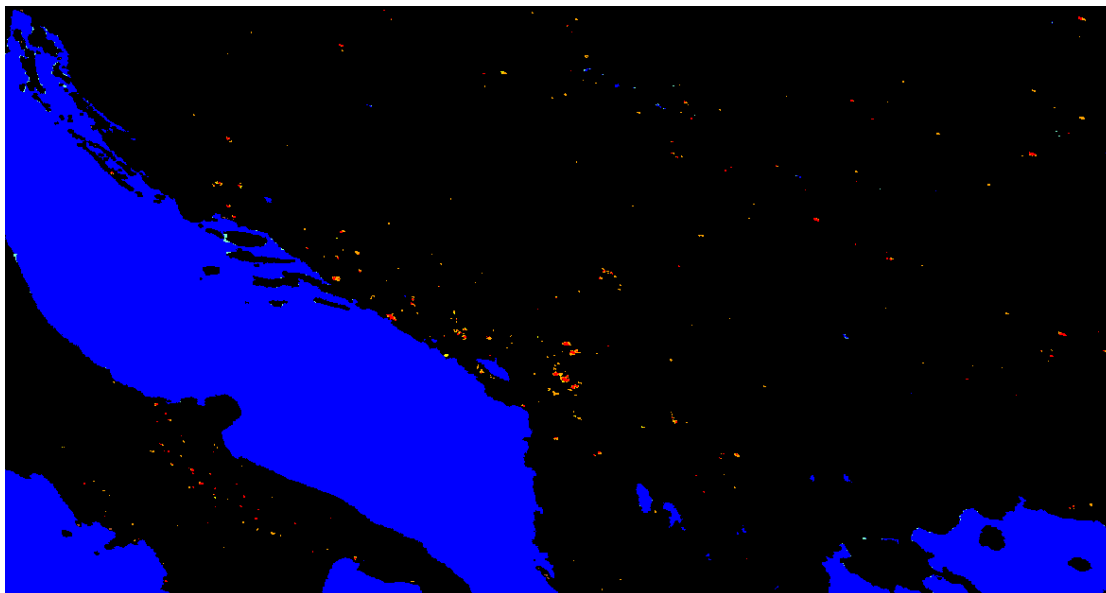
Slika 20: Povečano območje požara na območju Komna s satelita Aqua in Terra.

Dubrovnik

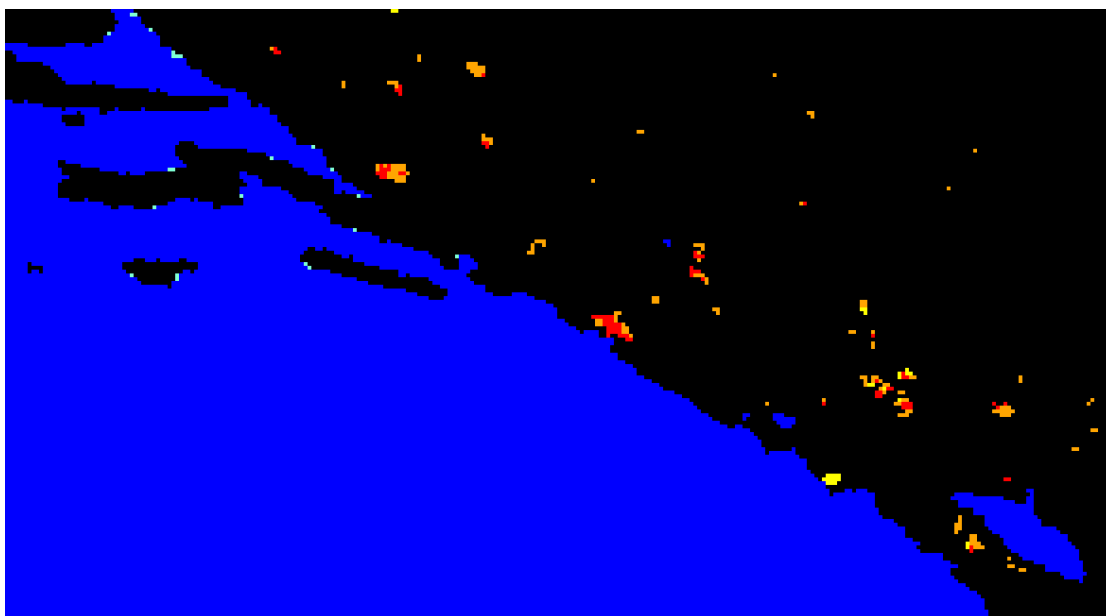
Dubrovniški požar je trajal več dni in je bil velike razsežnosti, tako je bil enostavno zaznan z orodjem Nasa za zaznavo požarov v naravi. V preglednici 11 so podatki o razsežnosti požara pridobljeni s satelita Terra za dan 5.8.2007. Zaradi obsežnosti in spreminjajoče površine požara so navedene zgolj skrajne točke površine.

Preglednica 11: Geografske koordinate območja požara.

Vrstica	Stolpec	Geografska dolžina	Geografska širina
875	396	18,1042	42,7042
875	407	18,2290	42,7042
883	396	18,0848	42,6375
883	407	18,2094	42,6375

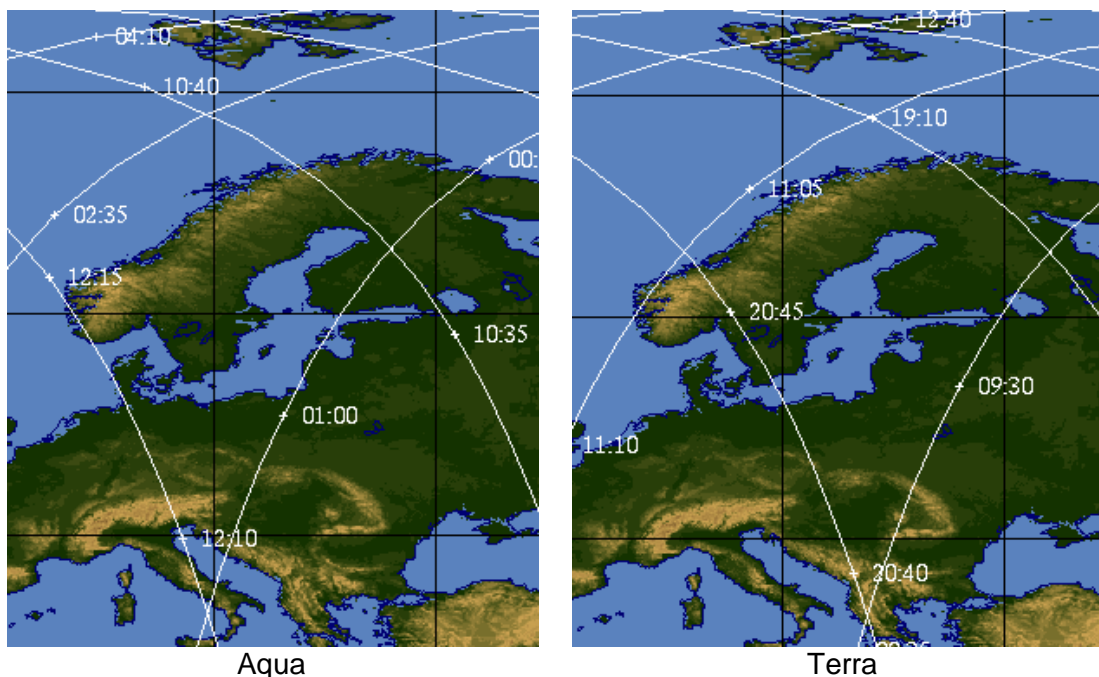


Slika 21: Območje posnetka, del Italije in Balkana (Terra).



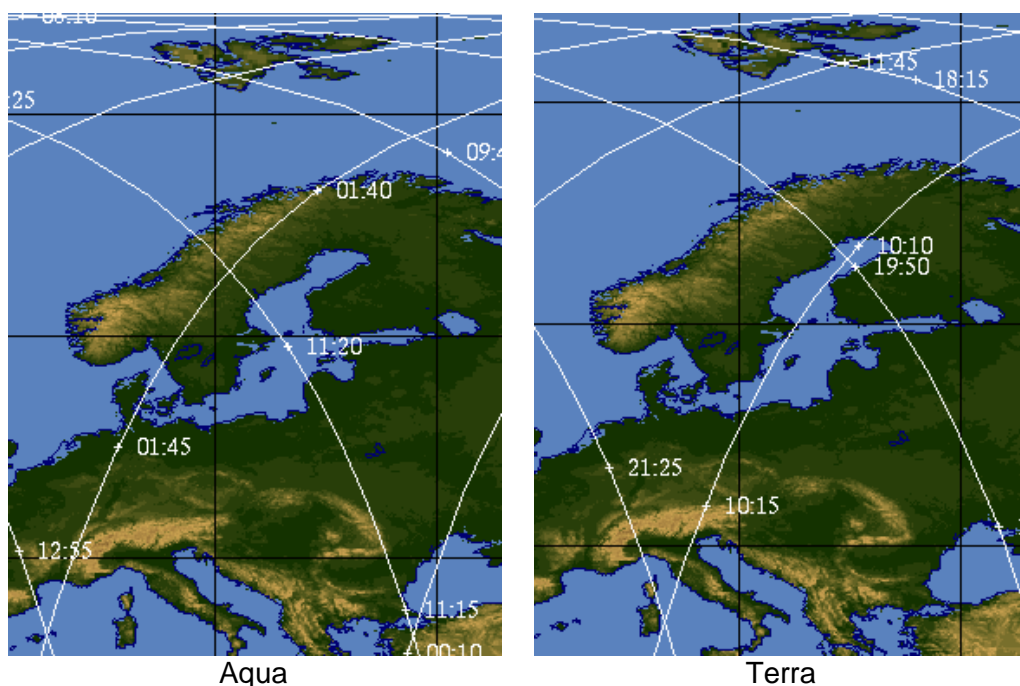
						
voda	oblaki	površje	neznano	Požar c1	Požar c2	Požar c3

Slika 22: Požar v Dubrovniku (na sredini), posnet s satelitom Terra.

*Tolmin*

Slika 23: Prelet satelita Aqua in Terra čez Evropo z dne 1.1.2008. (Vir: SSEC, 2012)

Požar v Tolminu ni bilo mogoče zaznati, saj nobeden od satelitov ni preletel območja ob ustreznih urah (slika 23).

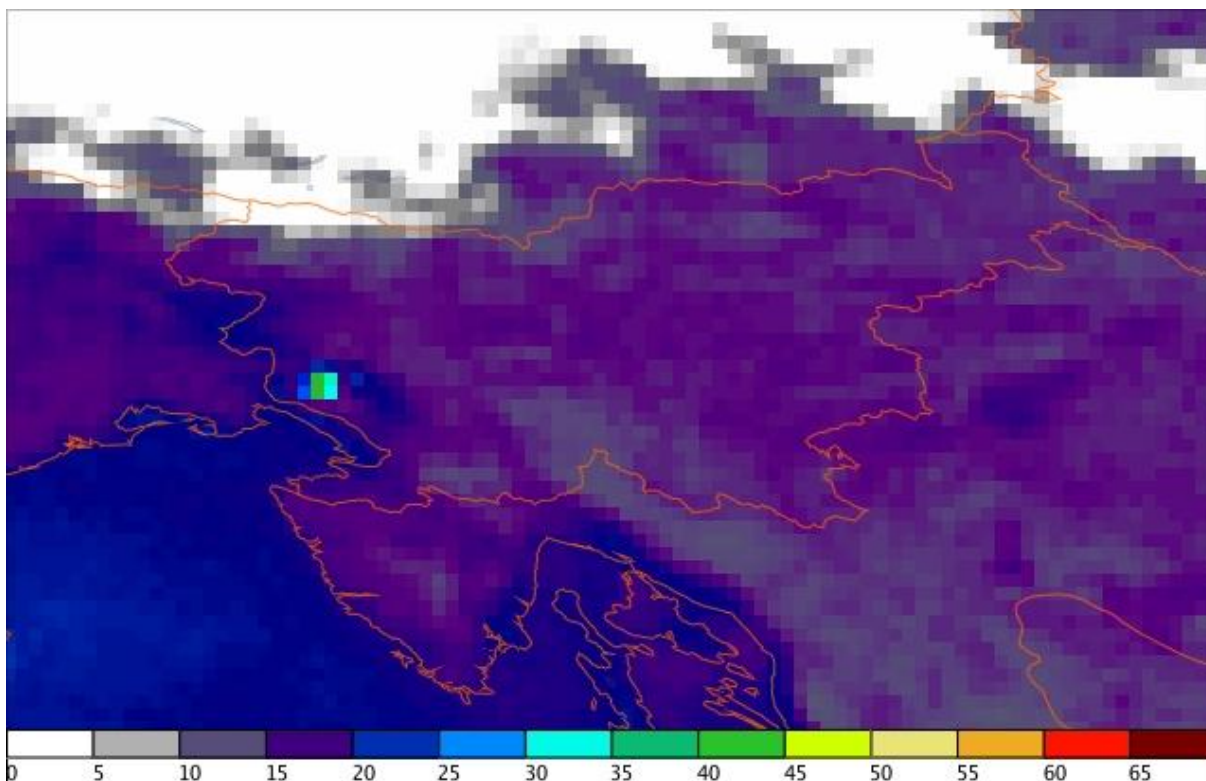
*Škofja Loka*

Slika 24: Prelet satelita Aqua in Terra čez Evropo z dne 31.3.2011. (Vir: SSEC, 2012)





tako velik, temveč je imel požar vpliv na vse te piksele. Celoten časovni potek je prikazan v prilogi B.

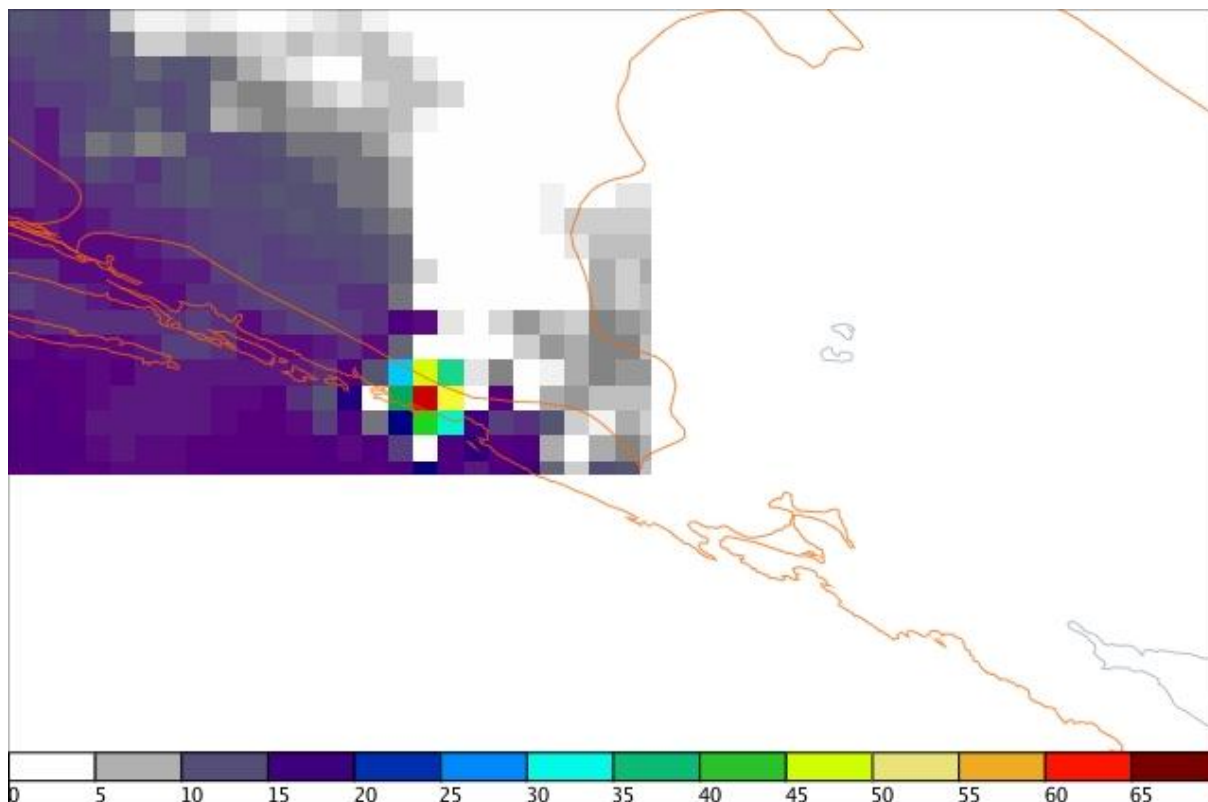


Slika 26: Požar v Komnu, zaznan na posnetku ob 22.15 (UTC), s temperaturno skalo v Kelvinih. (© ARSO)

### *Dubrovnik*

Večdnevni požar v Dubrovniku sem zaradi njegove velikosti in intenzitete enostavno zaznal. Pridobljeni podatki in analiza sta bili izvedeni za datum 5.8.2007, požara tako nismo prikazali od začetka do konca trajanja požara.

Najvišjo temperaturo sem zaznal na posnetku ob 17.45 (UTC), kjer je dosegla vrednost 63,7°C. Območje je bilo zelo spremenljivo in težko določljivo, temperaturno anomalijo sem zaznal v do 30 pikslih. Celoten časovni potek požara zaznan s enokanalno analizo je prikazan v prilogi C.



Slika 27: Požar v Dubrovniku, zaznan kot temperaturna anomalija na kanalu 4 senzorja SEVIRI. (© ARSO)

#### *Tolmin, Škofja Loka in Pivka*

Z enokanalno analizo na danih podatkih nisem uspel zaznati temperaturnih anomalij na ustreznih območjih v danem času.

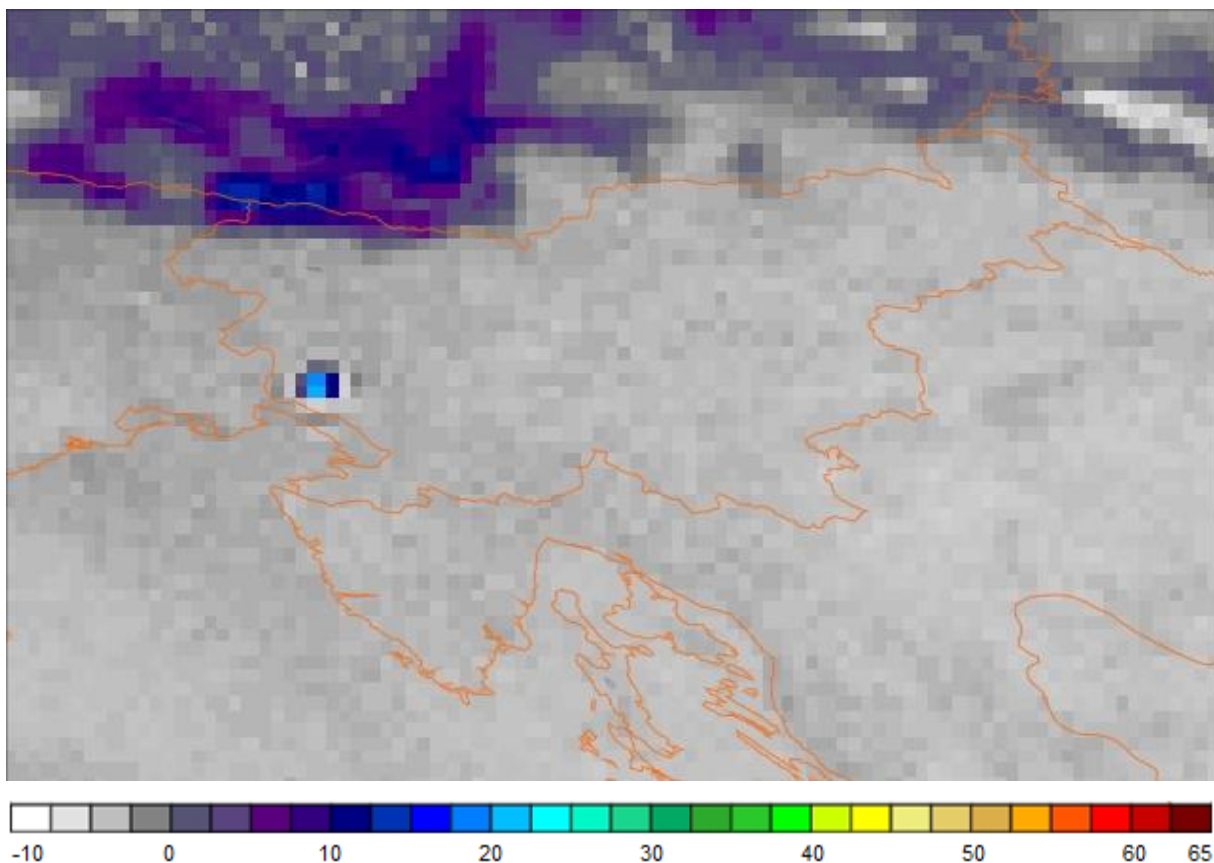
### 5.5 Rezultati razlik kanalov 4 in 9 senzorja SEVIRI

S pomočjo razlike med zaznanima temperaturama na kanalu 4 in 9, ločim vroče točke (angl. hot spots) od temperature okolice, zaradi različnega odziva na temperaturo obeh kanalov opisano v poglavju 2.6.

S to analizo sem zaznal požar v Komnu in v Dubrovniku, preostali požari so s tem postopkom ostali neodkriti.

#### *Komen*

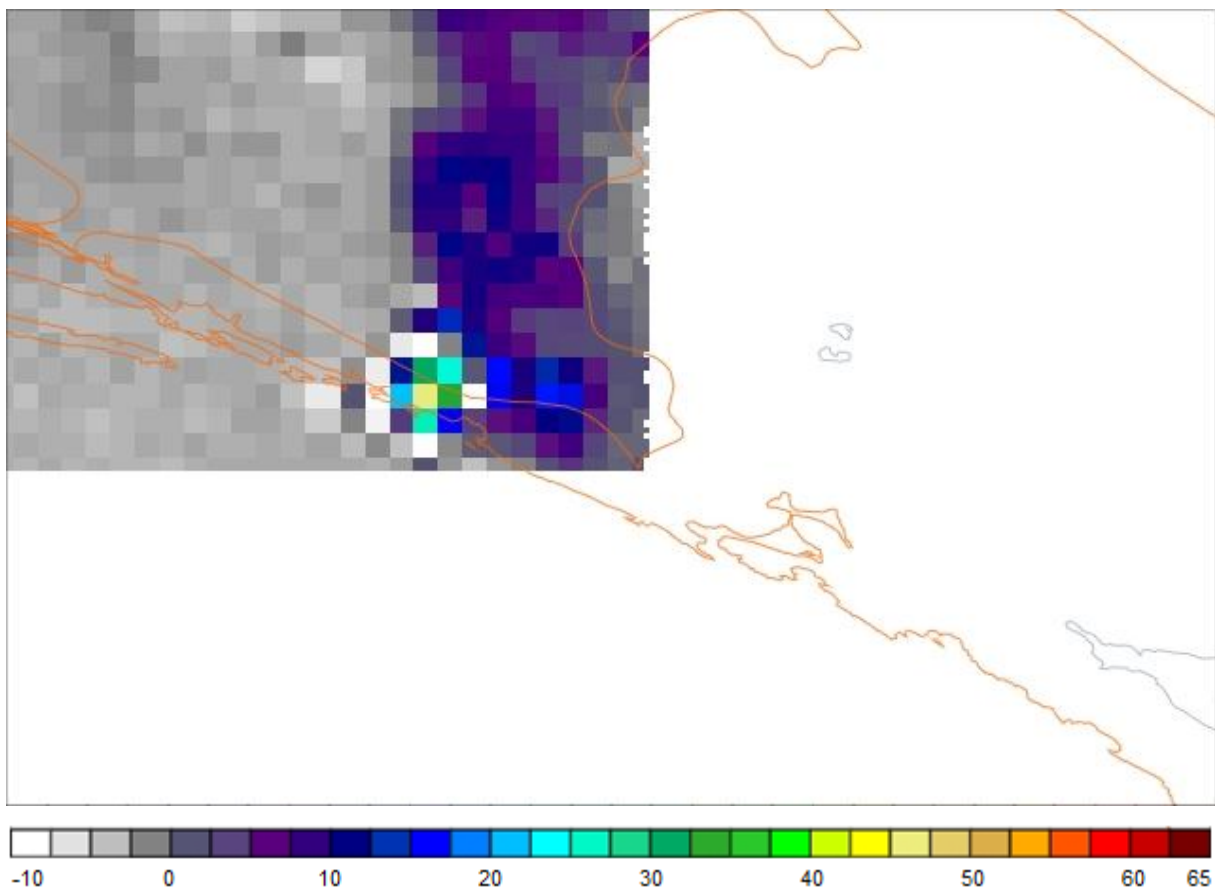
Požar se je zgodil v večernih urah, kjer je zunanja temperatura relativno nizka, prisotnost vira z višjo temperaturo je omogočila zaznavo razlike med temperaturama opazovanih kanalov. Najvišjo temperaturno razliko sem zaznal na posnetku ob 22.15 (UTC), torej na istem posnetku kot je bila zaznana najvišja temperatura kanala 4. Najvišja razlika je znašala 18 K. Celoten časovni potek temperaturnih razlik je predstavljen v prilogi B.



Slika 28: Temperaturna razlika med kanaloma 4 in 9, senzorja SEVIRI, v Kelvinih. (© ARSO)

### *Dubrovnik*

Temperaturna razlika v primeru požara v Dubrovniku je bila težje določljiva, saj so se na tem območju v času dogodka zadrževali oblaki, ki so povzročili njeno spreminjanje. Kljub temu test jasno kaže na požar, saj sem zaznal najvišjo temperaturno razliko 40 K. Celoten časovni potek temperaturnih razlik je predstavljen v prilogi C.



Slika 29: Temperaturna razlika kanalov 4 in 9 senzorja SEVIRI na posnetku Dubrovnika. (© ARSO)

### *Tolmin in Škofja Loka*

Temperaturnih anomalij za dogodka z analizo razlike kanalov nisem uspel zaznati.

### *Pivka*

Na območju požara se je pokazala temperaturna anomalija, ki ni bila izrazita in je lahko posledica šuma.

## 5.6 Rezultati večkanalne analize podatkov satelita MSG

Večkanalno analizo sem izvedel numerično s pomočjo programa, napisanega s programsko opremo Matlab, rezultat so podatki o pikslu, na katerem sem zaznal temperaturno anomalijo. Za posamezen požar so v tabelah prikazani mejne vrednosti, katerim so morale neenačbe zadostiti.

Na začetku sem izvedel analizo vegetacije, piksli katerih razlika kanalov 4 in 7 je bila višja od 4 K sem izločil iz nadaljnje analize. Večina obravnavanega območja (Slovenija) ima bujno

vegetacijo, tako na območjih požarov nisem zaznal razlike temperature med kanaloma 4 in 7 višje od 4 K. S tem pogojem nisem izločil nobenega piksla.

### Komen

Požar sem s pomočjo satelitskih posnetkov spremljal od 20.00 (UTC) do 23.45 (UTC), pri tem sem upošteval vrednost lokalne zenitne razdalje Sonca in ustrezno linearno interpoliral izide testov. V obravnavanem času zavzema lokalna zenitna razdalja Sonca vrednost med 70° in 90° do 20.45 ure (UTC), vrednosti izidov so prikazane v preglednici 12.

**Preglednica 12: Podatki za izvedbo večkanalne analize požara v Komnu.**

	20.00	20.15	20.30	20.45	od 21.00 dalje
LZRS* [°]	83,0	85,3	87,6	89,6	
T <sub>39</sub> [K] (požar)	297,0	294,7	292,4	290,4	290,0
T <sub>39</sub> -T <sub>108</sub> [K] (požar)	2,8	1,9	1,0	0,2	0,0
T <sub>39</sub> [K] (možen požar)	297,0	294,7	292,4	290,4	290,0
T <sub>39</sub> -T <sub>108</sub> [K] (možen požar)	1,1	0,4	-0,3	-1,0	-1,0

\*kjer je LZRS lokalna zenitna razdalja Sonca.

Temperaturne anomalije smo zaznavali na dveh nivojih, kot je opisano v poglavju 4.2.5, in sicer kot možne požare in požare. V preglednici 13 so predstavljeni piksli na katerih sem zaznal posamezno temperaturno anomalijo.

**Preglednica 13: Piksli pri katerih smo zaznali temperaturno anomalijo.**

UTC	Možen požar	Požar
21.30		129/83 129/84 130/83
21.45		129/83 129/84 130/83
22.00		129/83 129/84 130/83
22.15	128/83	128/84 129/83 129/84 130/83
22.30		128/83 128/84 129/83 129/84 130/83
22.45		129/83 129/84 130/83
23.00		129/83 129/84 130/83
23.15	129/83	
23.30	128/83 130/83	129/83 129/84
23.45	128/83 130/83	

Iz preglednice 13 je razvidno, da se temperaturne anomalije pojavljajo na pikslih 128-130/83-84, ki predstavljajo:

- vzhodno geografsko dolžino: 13°39' – 13°49',
- severno geografsko širino: 45°44' – 45°53'.

V preglednici 14 so navedeni rezultati posameznega testa večkanalne analize, to je število pikslov, ki so bili označeni kot požar. V analizo sem vključil 42 pikslov, in sicer 126-132/81-86.

**Preglednica 14: Rezultati posameznega testa večkanalne analize.**

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
20 <sup>00</sup>	0	0	0	0
20 <sup>15</sup>	0	0	0	0
20 <sup>30</sup>	0	0	0	0
20 <sup>45</sup>	12	0	0	0
21 <sup>00</sup>	16	0	0	0
21 <sup>15</sup>	17	0	0	0
21 <sup>30</sup>	19	4	3	3
21 <sup>45</sup>	18	4	3	3
22 <sup>00</sup>	18	4	3	3
22 <sup>15</sup>	19	5	4	4
22 <sup>30</sup>	21	6	5	5
22 <sup>45</sup>	21	3	3	3
23 <sup>00</sup>	21	4	3	3
23 <sup>15</sup>	21	2	1	0
23 <sup>30</sup>	19	3	2	2
23 <sup>45</sup>	19	2	1	0

*Dubrovnik*

Večdnevni požar sem glede na njegovo intenziteto in obsežnost pričakovano zaznal, spremljal sem ga en dan (5.8.2007) od 0.00 do 23.45 (UTC) v 15 – minutnih intervalih. Spremljanje je tako potekalo v vseh treh fazah: ponoči, podnevi in v času, ki ne ustreza definiciji (EUMETSAT) dneva in noči. V preglednici 15 so predstavljeni intervali dneva, noči in vmesnega časa ter skupine pikslov, ki so bile označene kot možni požari ali požari.

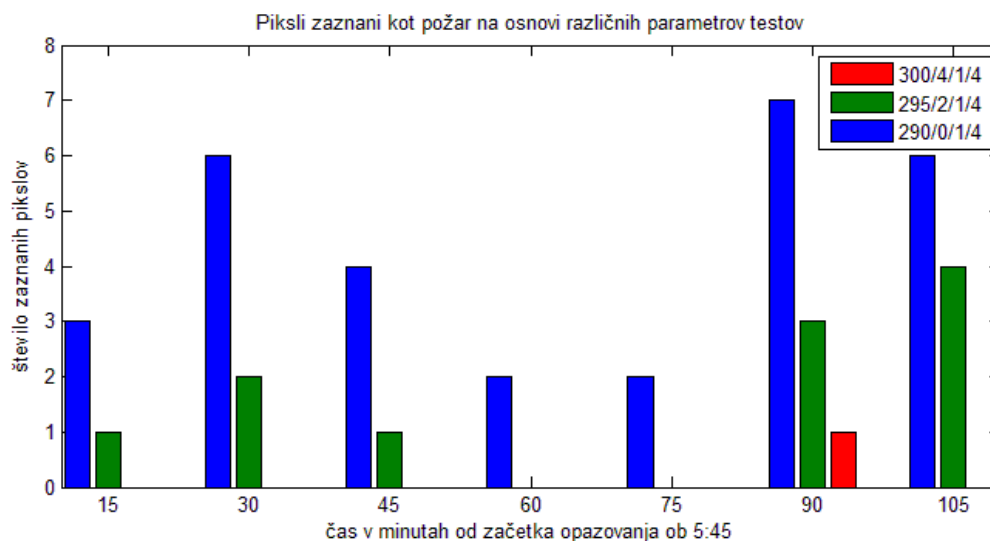
**Preglednica 15: Območja zaznana kot možni požari in požari v posameznem časovnem obdobju.**

	Čas (UTC)	Piksli možen požar	Piksli požar
Noč	0 <sup>00</sup> -5 <sup>30</sup>	258/157-158 259-260/157-159 261/159-160 262/159	258/157-158 259-260/157-159 261/159-160 262/159
	5 <sup>45</sup> -7 <sup>30</sup>	258-259/157-158 260/158 261/159	258/259/157-158 260/158 261/159
Dan	7 <sup>45</sup> -18 <sup>00</sup>	258-259/157-158	258-259/157-158
	18 <sup>15</sup> -20 <sup>00</sup>	258/159 259/158	258/159 259/158
Noč	20 <sup>15</sup> -23 <sup>45</sup>	/	/

Skupine pikslov iz preglednice 15 predstavljajo območje z geografskimi koordinatami:

- vzhodne geografske dolžine: 17°55' – 18°15',
- severne geografske širine: 42°30' – 42°50'.

V primeru požara v Dubrovniku sem opravil analizo parametrov, ki sem jih uporabil v večkanalni analizi. Priporočene vrednosti sem nadomestil s svojimi, rezultati za posamezno časovno obdobje so predstavljeni na grafikonu 1 in grafikonu 2.

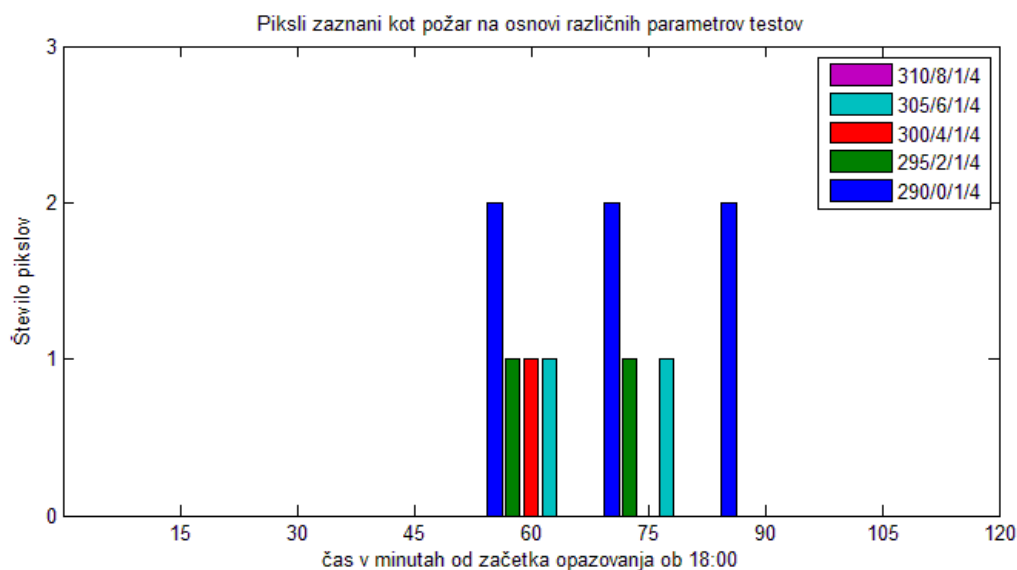


**Grafikon 1:** Število pikslov zaznanih kot požar v prehodnem obdobju med nočjo in dnevom.

Grafikon 1 predstavlja analizo uporabljenih parametrov v jutranjem prehodnem časovnem obdobju. Izhodišče predstavlja čas 5:30 UTC, na abscisni osi so nanešeni časovni intervali posnetkov. V tem obdobju sem uporabil 3 skupine parametrov, vsaka skupina vsebuje 4 parametre, ki so mejne vrednosti posameznega testa. Skupina 290/0/1/4 predstavlja mejno vrednost 290 K za test 1, 0 K za test 2, 1 K za test 3 in 4 K za test 4.

Grafikon 2 predstavlja analizo parametrov za večerno prehodno obdobje, z začetkom ob 18:00 UTC, analizo sem izvedel na osnovi petih skupin parametrov.

Rezultat je število pikslov, ki so zadostili vsem štirim kriterijem.

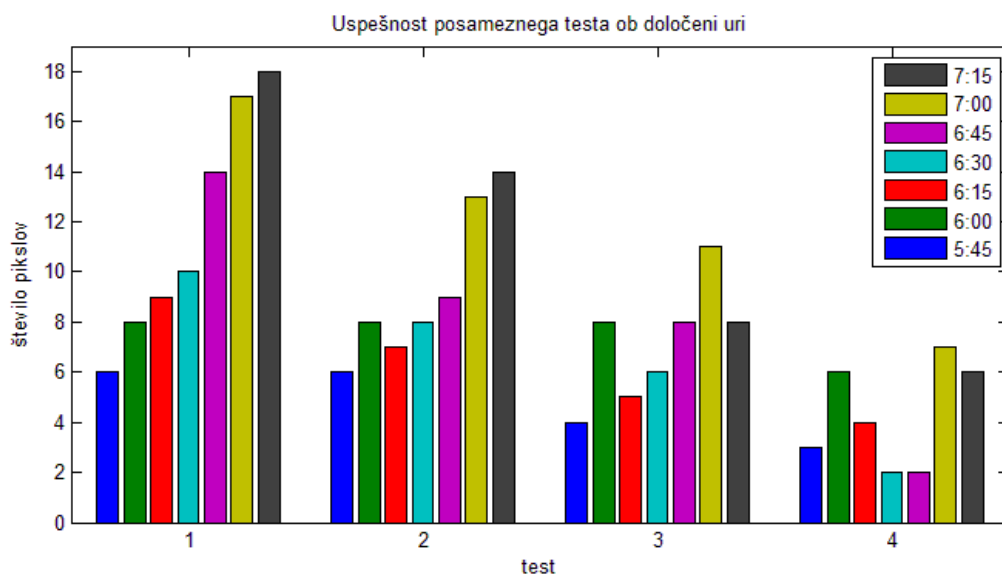


**Grafikon 2:** Število pikslov zaznanih kot požar v prehodnem obdobju med dnevom in nočjo.

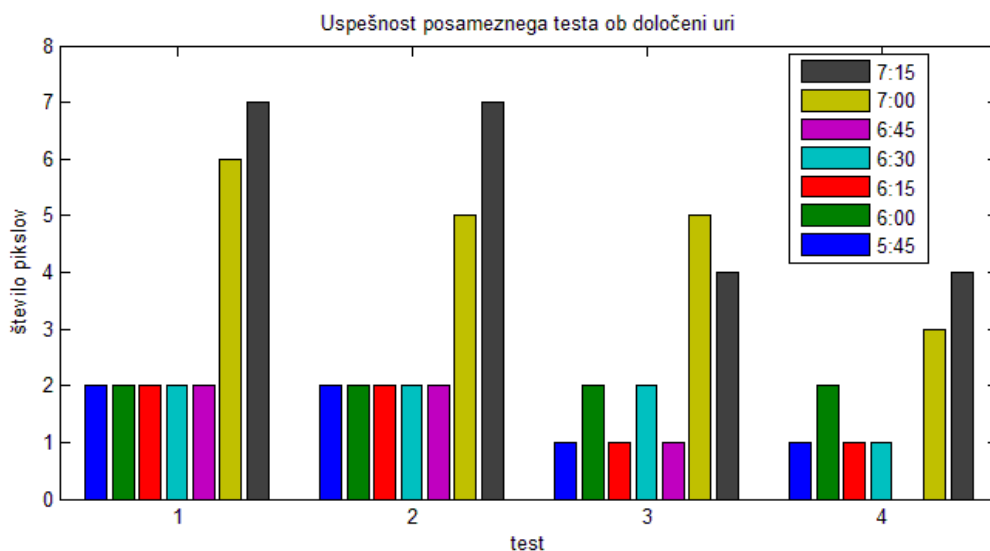


Grafikoni 3, 4, 5 in 6 predstavljajo uspešnost testa za posamezno skupino pikslov pri določenih parametrih analize. Analizo sem izvedel za posamezen časovni interval za obe prehodni obdobji.

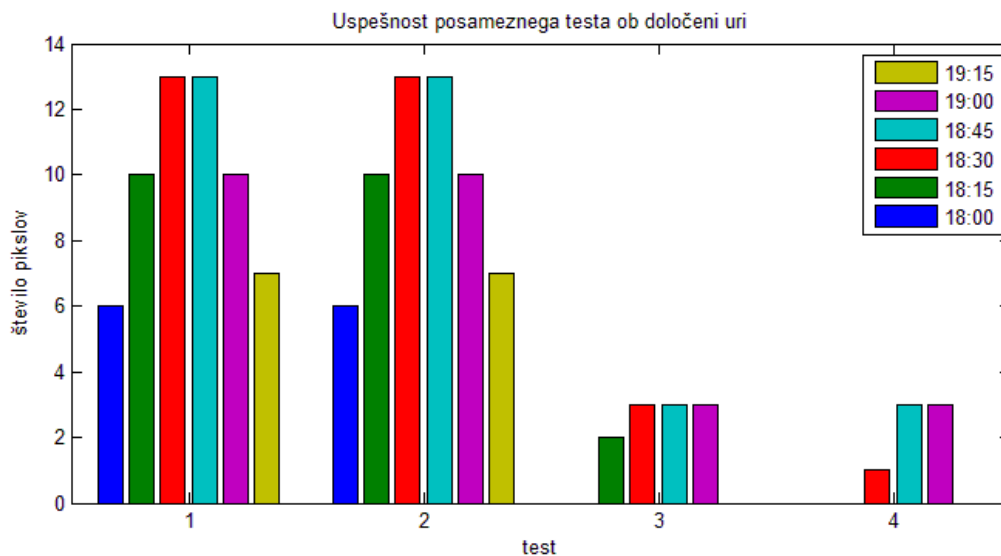
V analizo sem vključil matriko pikslov velikosti 9x7, in sicer piksele na mestih 255-263/155-161. Za podatke ob določenem času sem preveril, če zadostijo testom, uporabil sem skupino parametrov 290/0/1/4 (grafikona 3 in 5) ter skupino 295/2/1/4 (grafikona 4 in 6).



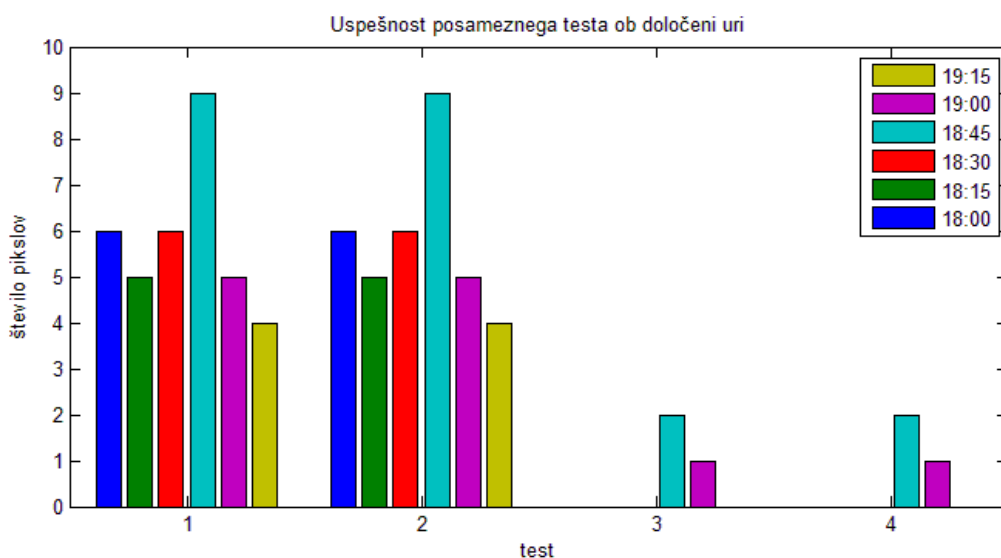
**Grafikon 3: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v jutranjem prehodnem obdobju.**



**Grafikon 4: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v jutranjem prehodnem obdobju.**



**Grafikon 5: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v večernem prehodnem obdobju.**



**Grafikon 6: Uspešnost posameznega testa v primeru skupine parametrov v večernem prehodnem obdobju.**

### *Tolmin in Škofja Loka*

V obeh primerih nismo zaznali temperaturnih anomalij.

### *Pivka*

V tem časovnem obdobju in na tem območju ni bilo zaznanih temperaturnih anomalij, bile so zaznane na drugih območjih.

## 6. RAZPRAVA

V tem poglavju komentiram rezultate posameznih analiz in predstavim prednosti in slabosti predstavljenih satelitskih sistemov ter predstavim odnos do satelitskih sistemov, ki jih v nalogi nisem predstavil. Poglavje zaključim s predstavitev nadaljnjih možnosti in smernicah uporabe opisanih orodij.

### 6.1 Primerjave geostacionarnih in polarno orbitalnih satelitov

Satelitsko zaznavanje se je začelo s pomočjo polarno orbitalnih satelitov s senzorji AVHRR, (A)ATSR, BIRD in MODIS, z dodajanjem primernih senzorjev geostacionarnim satelitom (GOES, MSG, MTSAT) so ti postali uporabni, poleg atmosfere, tudi za opazovanje površja. Sistema se ločita predvsem v prostorski in časovni ločljivosti, polarno orbitalni satelit ima boljšo prostorsko ločljivost in slabšo časovno ločljivost, geostacionarni satelit pa obratno. Z dobro prostorsko ločljivostjo lahko zaznamo manjše požare, tudi njihova obsežnost je bolje določena. Pri zaznavi manjšega območja (piksela) bo temperaturni vpliv požara na piksel večji, kar pomeni, da tudi manjši in manj intenzivni požari postanejo opazni. Težava se lahko pojavi pri velikih požarih, ki zajamejo celoten piksel, takrat sta temperaturi obeh kanalov lahko podobni, test razlike kanalov lahko ostane neizpolnjen. Slaba prostorska ločljivost povzroči, da se manjši in neizraziti požari skrijejo in jih ne moremo zaznati.

Slaba časovna ločljivost lahko povzroči, da območje aktivnega požara sploh ne posnamemo, v primeru Škofje Loke je satelit prečkal območje pred in po aktivnem požaru. V primeru geostacionarnih satelitov imamo kontinuirano opazovanje območja, torej zaznamo vsak požar, ki je dovolj intenziven in obsežen.

Poleg lastnosti senzorja in satelita imajo vpliv na uspešnost zaznave še predvsem meteorološki pogoji. Največ težav povzročajo oblačnosti, ki jih ne moremo izločiti, to so običajno tanke plasti oblakov. Na zaznavo vplivajo tako, da zmanjšajo zaznano temperaturo. Teoretično določene vrednosti najmanj obsežnih in intenzivnih požarov, ki jih lahko zaznamo se lahko zelo razlikujejo od lastnosti dejansko zaznanih požarov, negativni vplivi se lahko seštevajo.

Oba sistema se lahko dopolnjujeta; predvsem v postopku ocenjevanja kakovosti zaznave orodij geostacionarnih satelitov se uporabljajo posnetki polarno orbitalnih satelitov, ki načeloma zaznajo več požarov. Na podlagi teh primerjav se določajo razni parametri v orodjih.

Kljub različnim osnovam so orodja podobna, ker so vezana na fizikalne lastnosti požara in ne na posamezen satelitski sistem. Do majhnih razlik prihaja zaradi razlik v senzorjih in specifik območij, za katera so namenjena.

### *BIRD*

Evropska vesoljska agencija ESA (European Space Agency) je oktobra 2001 v orbito lansirala poskusni mikro satelit BIRD, ki je namenjen izključno zaznavanju (visokih) temperaturnih anomalij na površju Zemlje. S programom so želeli preveriti delovanje satelita, ki bi imel dobro prostorsko ločljivost in dobro časovno ločljivost. Ideja je v tem, da na isti tirnici kroži več satelitov, ki v trenutku prehoda postaje na površju Zemlje pošljejo podatke. S satelitom bi lahko zaznali požare s premerom območja 1 m, te podatke bi pridobili v realnem času, na območju postaje (Billig, Leibbrandt, Lorenz, 2009).

### *Večslikovna orodja*

Manyangadze (2009) ugotavlja, da je večslikovni pristop točnejši in natančnejši v primeru podatkov satelita MSG, kot pa orodje MPEF FIRG. Prav tako sta bistvenega pomena kanala 4 in 9. V zaključku podaja predloge o povezavi operativnih geostacionarnih satelitov in uporabi večslikovnega pristopa.

## **6.2 Komentar orodij MPEF FIRG in NASA**

### *MPEF FIRG*

Orodje MPEF za spremljanje aktivnih požarov v naravi se je začelo uporabljati v letu 2005, temeljilo je na osnovi konstantnih izidov testov. Oktobra 2008 je bilo nadomeščeno s kontekstualnim orodjem, ki je izboljšalo zaznavo. V novem orodju se na nivoju zaznave požara ne uporablja več test standardne deviacije kanala 9, ta test se uporabi samo pri določitvi možnih požarov. Izid testa je bil nastavljen na 1 K, torej če je bila izračunana standardna deviacija za posamezen piksel manjša od 1 K, potem je obstajala možnost, da je požar. V praksi se je pokazalo, da tudi veliki požari dosegajo standardno deviacijo kanala 9 blizu 1 K (Manavgat 0,96 K) ter jo tudi presegajo (Rodós), povečanje izida, bi sicer pripomoglo k odkrivanju teh požarov, bi pa povzročilo mnogo lažnih alarmov predvsem v priobalnih legah in na robovih oblakov. Sprememba izidov testov v dinamične je pripomogla k učinkovitosti uporabe orodja, prav tako izključitev priobalnih delov (Joro in sod. 2008)

Rezultati orodja MPEF FIRG za izbrane požare so pričakovani, orodje katerega algoritem je namenjen za globalno opazovanje temperaturnih anomalij na površju ima visoko stopnjo

generalizacije. Prav tako Slovenija ne spada v požarno zelo ogrožene predele Evrope, tako da so nastavitve testov oz. izidov nastavljene bolj za območja, kjer je požarov več. Z avtomatizacijo orodja se poskuša najti najboljši kompromis med pravilno zaznanimi požari in napakami, ki so lahko lažni požari in ne zaznani dejanski požari.

Karakteristike orodja sicer pravijo, da je z MPEF FIRG orodjem mogoče zaznati požare v velikosti 0,22 ha na ekvatorju in 0,46 ha na geografski širini  $50^\circ$  pri temperaturi požara 750K (Prins, McNamara, Schmidt, 2004). To so teoretični podatki, v praksi bi moralo to pomeniti, da je požar na zaključeni površini te velikosti in ne več manjših požarov ter da je na območju požara temperatura 750 K. V nalogi sem opazoval požare, ki so bili večji za vsaj faktor 5, vendar so vsi razen požara v Dubrovniku ostali neodkriti. Pomemben podatek je, da obravnavani požari niso bili pravi gozdni požari, kjer so gorela debela temveč požari trave, grmičevja ter tudi dreves, tako niso dosegali tako visokih temperatur. Podatkov o dejanski – goreči površini ni moč pridobiti, navedene površine so ocene površin pogorišč.

### *Orodje MODIS*

Orodje Nase je nastalo kot dopolnitev in izboljšanje orodij agencije NOAA, senzor MODIS je bil namenoma narejen za zaznavanje temperaturnih anomalij poleg drugih sposobnostih. V rezultatih se je pokazala slaba časovna ločljivost polarno orbitalnih satelitov, požara v Tolminu in Škofji Loki zaradi nje nismo mogli zaznati, kljub temu da je požar v Tolminu imel veliko razsežnost. Območja preostalih požarov sem pregledal z orodji MODIS in sicer je na sliki 18 predstavljen posnetek osnovnega orodja MOD14 s satelita Terra (identično orodje satelita Aqua se imenuje MYD14). Podatki so brez prave projekcije, prikazani so na osnovi geometrije tirnice satelita in predstavljajo osnovo za druga orodja. Kljub temu so piksli klasificirani v razrede iz preglednice 5. Orodje zaradi svoje geometrije prikaza ni primerno za prikaz.

Prikaze območij sem izvedel s pomočjo orodij MOD14A1 (Terra) in MYD14A1 (Aqua), ki prikazujeta klasificirane podatke v sinusoidni kartografski projekciji. Rezultat poizvedbe je mreža z velikostjo osnovne celice 1 km in podatek o razredu v katerega spada, koordinate povežemo z geografskimi s programom MODLAND.

Zaznal sem požar v Komnu in Dubrovniku, požar v Pivki ni bil zaznan kljub preletu satelita Aqua. Tako požar v Komnu kot tudi požar v Dubrovniku sta bila zajeta z verjetnostjo gorečega piksla višjo od 30% (oranžni piksli) oz. 80% (rdeči piksli). Pikslov, ki bi predstavljali nižjo verjetnost od 30%, nisem zaznal.

*Primerjava*

Število opazovanih požarov mi ni omogočilo podajanja ocene o uspešnosti zaznave posameznega orodja, na to vprašanje je odgovorila Susan Philip s primerjavo senzorjev SEVIRI, MODIS in AVHRR na podlagi zaznavanja 27 požarov v Španiji.

**Preglednica 16: Rezultati primerjave senzorjev v Španiji (vir: Philip, 2007).**

	SEVIRI	MODIS	AVHRR
Izpuščeni požari [%]	12	36	62
Lažni alarmi [%]	0	0	20
Zajeti požari [%]	88	64	37

V smislu zgodnjega alarmiranja je občutna prednost na strani geostacionarnega orodja MPEF FIRG, s katerim zaznamo požar v trenutku, ko postane dovolj intenziven. Omeniti moram, da časa od vžiga do trenutka zaznave ne poznamo, prav tako je časovna ločljivost orodja 15 minut, kar pomeni, da do trenutka zaznave poteče že dovolj časa, da je požar odkrit na drug način, še posebej v naseljenih regijah. Ta prednost se kaže predvsem v ne naseljenih predelih, kjer je edini opazovalec površja satelit. Zaradi slabe prostorske ločljivosti termalnih kanalov je stalno spremljanje požara sekundarnega pomena, pomemben ostaja čas prenehanja. Območje, ki gori je slabo določeno, lahko ga določimo bolje s polarno orbitalnim satelitom še v fazi požara ali kasneje kot pogorišče.

Strelec Mahović (2010) je izvedla analizo uspešnosti orodja MPEF FIRG na osnovi požarov na Hrvaškem od 1.6.2009 do 30.9.2009 velikosti vsaj 1 ha. Z analizo pride do zaključka, da bi s tem orodjem bilo zaznanih le okoli 7,3% vseh požarov, 50% jih je bilo prekritih z oblačnostjo, okoli 29% vseh požarov je bilo premajhnih, njihova velikost je bila do 15 ha.

Manyangadze (2009) ugotavlja, da v orodjih, ki spremljajo temperaturo na vrhu atmosfere, ni potrebno upoštevati popravkov zaradi absorpcije, ki jo povzroči CO<sub>2</sub>.

Popravek zaradi CO<sub>2</sub> ponoči povzroči zvišanje zaznane temperature na kanalu 4, kar pomeni, da je ta temperatura višja od temperature na kanalu 9, zato lahko zaznamo lažne alarme.

Prisotnost CO<sub>2</sub> v atmosferi ima 3 vplive:

- poveča temperaturo površja in v nižjih delih troposfere,
- ne enakomerno zaznana temperatura po površini piksla, temperatura na robovih je nižja, zaradi daljše poti valovanja in zato večje absorpcije,
- vpliva na zaznavo oblakov.

Na podlagi teh ugotovitev lahko rečem, da bi požara v Škofji Loki in v Pivki potrebovala idealne vremenske pogoje, da bi bila zaznana.

### 6.3 Komentar enokanalne in večkanalne analize

Enokanalna

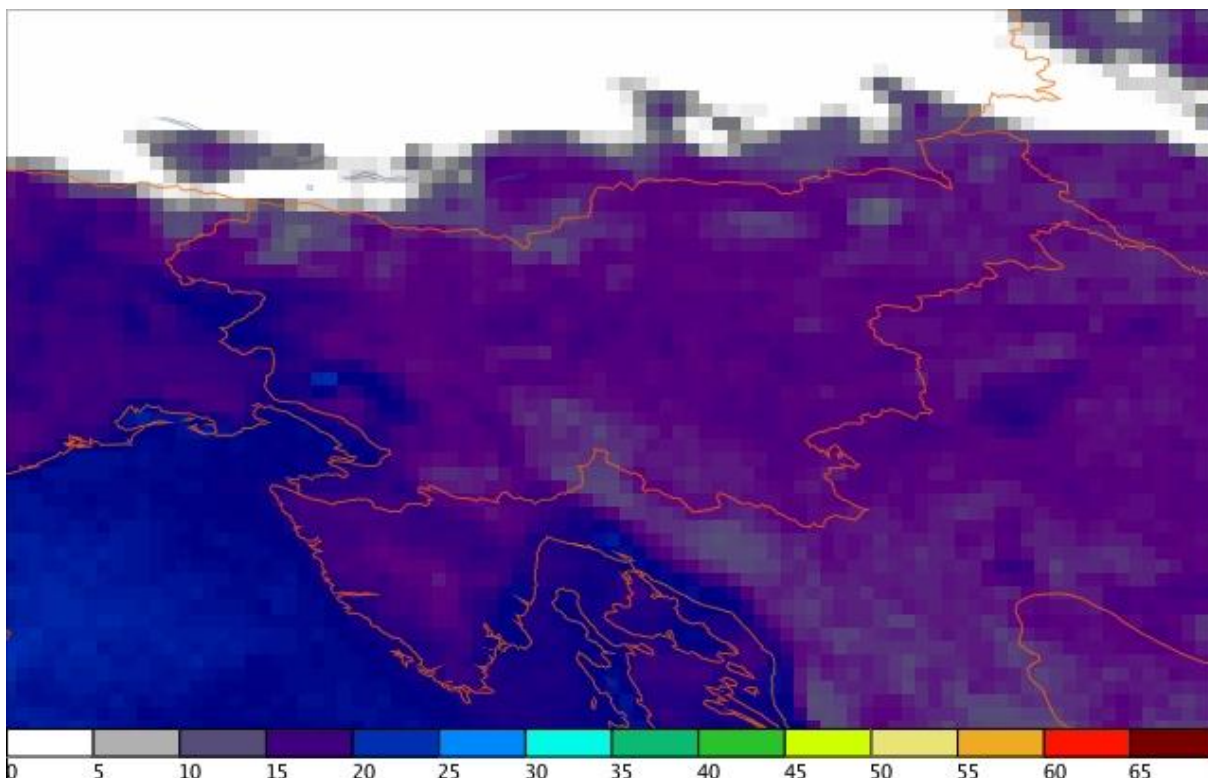
Lastnosti kanalov z valovno dolžino so opisane v poglavju 2.6, v praktičnem delu naloge sem s to vrsto analize uspel zaznati požar v Komnu in v Dubrovniku.

Sposobnost odkrivanja temperaturnih anomalij te analize je omejena, glavno težavo predstavlja določitev pričakovanih temperatur površja. O temperaturni anomaliji (požaru) govorimo, kadar zaznamo temperaturo, ki ni tipična za opazovano okolje in čas opazovanja, temperatura odstopa v pozitivno smer.

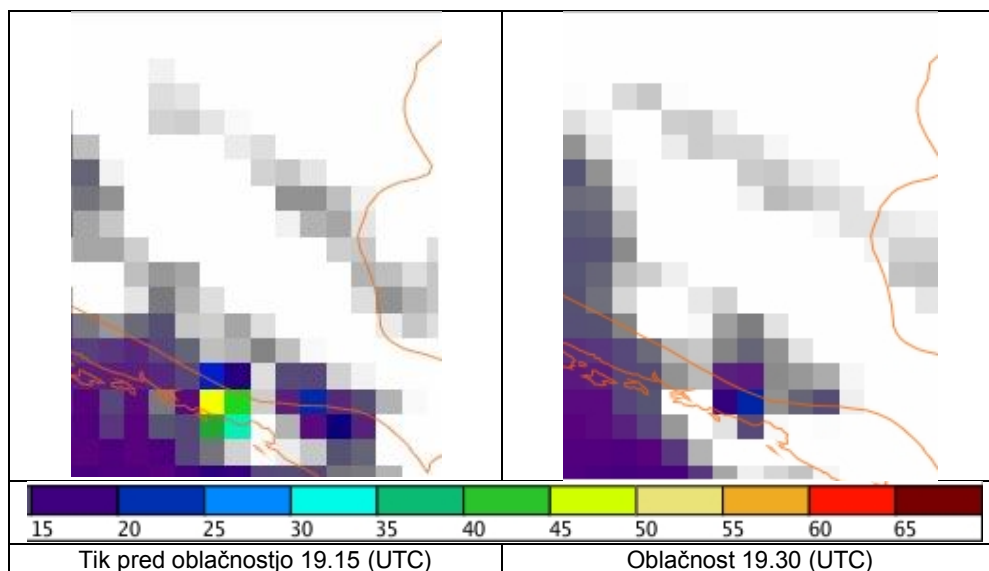
V nalogi nisem uporabil absolutno določenih pričakovanih temperatur, predpostavil sem, da se opazovano okolje ne spreminja hitro in so pričakovane temperature podobne. Nastopita lahko dve vrsti napak: pojavijo se lažni alarmi in požara ne zaznamo.

Lažnih alarmov nisem zaznal, tudi na širši okolici (Slovenija) ne. Razlog je v veliki površini, ki jo zajema piksel, tudi če se na tem območju pojavijo razna območja z visokimi temperaturami, ta vpliv na celotno temperaturo ne bo imel bistvenega vpliva. Lažne alarme bi lahko pričakovali ob morski obali in v urbanih predelih. Druga vrsta napake se lahko pojavlja pogosteje, zaradi izračuna radiance piksla po enačbi 5 lahko ostanejo manjši in hladnejši požari neodkriti. Bistveno težavo pa predstavlja oblačnost, ki zniža zaznano temperaturo. Vsi ti dejavniki vplivajo na pozitivno zaznavo požara, tako lahko rečemo, da so požari v Pivki, Škofji Loki in Tolminu ostali neodkriti zaradi skupka teh vplivov.

Požar v Komnu je imel zelo dobre pogoje za zaznavo. Bil je obsežen, 707 ha, glede na zaznano najvišjo temperaturo piksla  $39,6^{\circ}\text{C}$  lahko rečem, da je dosegal visoko temperaturo in zgodil se je v jasnem ozračju. Na sliki 30 lahko opazimo oblačnost severno od Slovenije (bela barva), zaznana temperatura se občutno zmanjša, prav tako oblačnost predstavljajo sivi piksli. Vpliv na temperaturo je odvisen predvsem od vrste oblačnosti, debelejši mrzli oblaki (beli piksli) močneje vplivajo na zaznano temperaturo kot tanjša, prosojna oblačnost (sivi piksli). Z enokanalno analizo oblačnosti ne morem odpraviti, v primeru požara in oblačnosti zaznam skupno temperaturo v kateri sta prispevka obeh temperaturnih anomalij. Tudi v primeru požara v Dubrovniku je območje prekrila oblačnost, na sliki 31 je prikazano območje požara tik pred prehodom oblakov in ob prehodu. Zaznana temperatura se je občutno znižala, vendar je bila še dovolj visoka, da sem požar zaznal.



Slika 30: Temperatura površja Slovenije dne 21.7.2006 ob 21.15 (UTC). Podatki so pridobljeni s kanala 4 senzorja SEVIRI. (© ARSO)



Slika 31: Oblačnost nad požarom v Dubrovniku. (© ARSO)

#### Razlike kanalov

Postopek dopolnjuje enokanalno analizo, vključil sem še dodaten IR kanal, ki je manj občutljiv na spremembe temperature. Rezultat se po pričakovanju ni bistveno razlikoval od rezultata enokanalne analize. Zaznal sem požar v Komnu in v Dubrovniku.



V komenskem požaru je bila največja razlika med kanaloma  $18^{\circ}\text{C}$ , kar je bistveno več kot je zahtevano v testih (poglavje 3.2.2). Ker se je ta požar zgodil v večernih urah nisem mogel izkoristiti še ene izmed lastnosti te analize, da z razliko teh dveh kanalov lahko izločimo pregreto površje. Površje z manj vegetacije se lahko močnejše segreje, kar povzroči zaznane visoke temperature, ki lahko zadostijo začetnim pogojem in jih spoznamo kot območja požara. Ker je v teh primerih pregreto obsežnejše površje, bo zaznana temperatura na kanalu 9 tudi visoka, posledica bo majhna temperaturna razlika kanalov, v tem primeru piksel, ki je v prvem koraku bil spoznan kot požar, ne zadosti pogoju in je izločen.

### *Večkanalna*

Večkanalno analizo sem izvedel na osnovi štirih testov, ki so standardno uporabljeni v kontekstualnih orodjih. Izidi, ki sem jih uporabil, so bili enaki, kot so bili uporabljeni v predhodnem orodju EUMETSAT in so bili prirejani za opazovanje požarov v srednjih geografskih širinah.

Rezultati so pokazali, da s pomočjo podatkov geostacionarnih satelitov na srednjih geografskih dolžinah lahko zaznamo večje požare, manjši kratkotrajni požari praktično niso zaznani. Zaznati sem uspel požar v Komnu in v Dubrovniku.

Rezultat izvedbe maske vegetacije, kjer je moral posamezen piksel zadostiti pogoju razlike kanalov 4 in 7, je pokazal, da je na območju analiziranih požarov (v Sloveniji) vegetacija dobra in kot taka ne povzroča lažnih alarmov zaradi visokega albeda. Izločenih je bilo zelo malo pikselov na območju hrvaške obale, na območju Slovenije nisem izločil nobenega piksla. Test 1 in test 2 sta izvedena praktično enako kot enokanalna analiza in razlika kanalov. Vse napisano v teh dveh razdelkih velja tudi za večkanalno analizo. Razlika je v tem, da sem v tej analizi uporabil konkretne izide, ki so v primeru numerične analize nujno potrebni. V testu razlike kanalov se kot izid pojavi negativna vrednost, ki ni pričakovana glede na to, da je kanal 4 bolj občutljiv na temperaturo (slika 7). Razlika lahko postane negativna zaradi višje temperature saturacije kanala 9, kot je omenjeno v poglavju 2.7. Na sliki 28 in 29 lahko jasno vidimo, da lahko imajo pozitivno razliko tudi oblaki, za njihovo izločitev je pomemben predvsem test 4.

S testom 3 primerjamo razporejenost in vrednost temperature na podlagi sosednjih pikselov, test še dodatno analizira pregreta območja. V praksi se uporabljajo različno velike matrike okoli centralnega piksla za izračun standardnih odklonov. V analizi sem uporabil matriko velikosti  $3 \times 3$ , kar je standardna velikost za uporabo na MSG posnetkih. Pri tako majhni matriki lahko povzroča težavo omenjeno prekrivanje pikselov. Če je požar v tem območju, potem ima vpliv na oba piksla, kar pomeni, da bo obema zvišal temperaturo, torej bo izračunani standardni odklon manjši, kar lahko vodi v izpuščen požar. V primeru posnetkov s

senzorja MODIS se je pokazalo, da je optimalna velikost matrike 9x9 (Calle, Gonzáles – Alonso, Merino de Miguel, 2008).

Test 3, standardni odklon kanala 9, se v trenutnem orodju MPEF FIRG ne uporablja več, kljub temu sem ga uporabil, ker ima pozitivno lastnost, da izloči oblake. Na meji območja, kjer se temperatura spremeni bodisi zaradi meje površja in požara bodisi zaradi meje površja in oblaka, bo spremenljivka zavzela nestandardno vrednost. Na meji z oblaki bo ta vrednost negativna, na meji s požarom pa pozitivna. Test je uporaben z omejitvami, zelo težko je nastaviti vrednosti, da bomo dobili dober kompromis med lažnimi alarmi in nezaznanimi požari, zato ga je nadomestil test razlike standardnih odklonov kanalov.

### *Komentar*

Na analiziranih požarih ni prišlo do razlik med posameznim načinom zaznave. Požari, ki so bili odkriti z večkanalno analizo, so bili odkriti z razlikami kanalov in enokanalno analizo. Z analizo nisem uspel prikazati različne občutljivosti posameznih analiz, razlog je v požarih, ki so se med sabo preveč razlikovali. Požari, ki so bili dovolj obsežni in intenzivni (Komen, Dubrovnik), so bili enostavno zaznani, ostali pa niso prešli praga testa 1, kar sem opazil že v enokanalni analizi, saj ni bilo zaznati nobene točke z višjo temperaturo. Kljub temu imajo posamezne analize svoje prednosti in slabosti, cilj je avtomatiziran postopek, saj so količine podatkov prevelike.

Analize, kot sta v nalogi uporabljena enokanalna in razlika kanalov, so primerne predvsem za detajlno analiziranje območij, kjer nas zanimajo zaznane temperature. Konkretni analizi sta bili izvedeni brez predhodno določenih mejnih vrednosti in tako omogočata presojo izvajalcu. Kljub temu si lahko sami izberemo mejne vrednosti, ki so primerne za območje, ki ga opazujemo.

Večkanalna analiza pokaže pristop do avtomatiziranega orodja zaznave, kjer so pomembne predhodno določene vrednosti izidov. S temi vrednostmi bistveno vplivamo na uspešnost orodja.

Rezultati večkanalne analize so me presenetili, saj sem požar v Dubrovniku uspel zaznati samo v prvi noči in jutru, čez dan in zvečer ni bilo zaznanih veliko temperaturnih anomalij. Če te rezultate povežem s pridobljenimi slikovnimi rezultati iz enokanalne analize lahko rečem, da sem tam požar zaznal. Razlog je lahko v temperaturni skali, saj nam da občutek velikih temperaturnih razlik med posameznimi piksli, ni pa nujno, da so absolutne temperature teh pikslov dovolj visoke, da je test 1 uspešen. Ob 17.45 sem s pomočjo enokanalne analize zaznal najvišjo temperaturo 63,7°C, ta piksel je bil zaznan kot požar, kljub temu da v popoldanskem času ni bilo zaznanih veliko pikslov. Ob 18.15 se pojavi anomalija, na posnetku enokanalne analize lahko zaznamo piksel s temperaturo višjo od 60°C, vendar ga z

večkanalno analizo ne zaznamo. Sosednji piksli so nižjih temperatur, to pomeni, da je tudi standardni odklon tega piksla velik ter je temperatura na kanalu 9 nizka, saj ne gre za veliko homogeno območje. Zaključimo lahko, da je bila težava v testu standardnega odklona kanala 9, ki ga tudi Joro in sod. (2008) označijo kot težaven test.

#### *Analiza testov*

Večkanalna analiza za komenski požar je od 21. ure dalje potekala z izidi za nočne teste. Iz preglednice 14 je razvidno, da je mejna temperatura (290 K) kanala 4 postavljena nizko, tako v nadaljnjo testiranje vstopi velika količina pikslov. Test 2, temperaturna razlika kanalov, naredi največjo selekcijo med piksli. O primernosti linearne interpolacije izidov v primeru požara v Komnu ne moremo govoriti, saj je požar takrat bil v začetni fazi in ni bil zaznan.

Na osnovi pregleda števila zajetih pikslov z večkanalno analizo in MPEF FIRG orodjem (priloga D) lahko rečem, da je orodje MPEF FIRG bolj občutljivo na temperaturne anomalije. Razlika se pojavi, ker ima večkanalna analiza konstantne vrednosti izidov, orodje pa uporabi spremenljive izide glede na čas in lokacijo. Kljub temu v primeru Dubrovnik nisem opazil bistvene razlike.

Z analizo v jutranjem prehodnem obdobju požara v Dubrovniku (grafikon 1) sem ugotovil, da je linearna interpolacija primerna, več pikslov bi lahko zaznali zgolj z bistvenim znižanjem parametrov v analizi. Modri stolpci na grafikonu 1 predstavljajo parametre za analizo izvedeno ponoči, ob začetku se skladajo z rezultati dobljenimi iz večkanalne analize interpoliranih parametrov, njihovo odstopanje se veča proti koncu časovnega obdobja. V primeru večernega prehodnega obdobja (grafikon 2) tudi bistveno znižanje vrednosti parametrov ne povzroči bistveno drugačnih rezultatov. Tudi z interpoliranimi vrednostmi (priloga D) smo zaznali požar ob 18.45 in 19.00 UTC.

Nižanje vrednosti parametrov bi povzročilo več zaznanih pikslov, hkrati bi povzročilo več lažnih alarmov. Za geografske širine Srednje Evrope bi vrednosti parametrov morale biti nekoliko nižje, s tem bi povečali občutljivost orodja. Trenutne vrednosti so prirejene za zaznavo na območjih nižjih geografskih širin, predvsem na območju Afrike.

Z analizo po posameznih testih sem ugotovil, da razlog za majhno število zaznanih pikslov ni previsoka temperatura v testu 1, kot najbolj selektiven se je izkazal test 3 ( $St.Dev._{108} < 1$ ). Njegova vrednost je v vseh analizah enaka, postavljena na 1 K. Vrednosti tega testa so se v analizah gibale med 0 in 7, kar je bistveno več od pogoja. V orodju MPEF FIRG tega testa ni več, ker se je izkazal kot neprimeren (Joro, 2008).

## 6.4 Nadaljnje možnosti

V podglavju predstavim razvoj satelitov in orodij, smernice in pogled v naprej.

### *Razvoj satelitov in orodij*

Zaznavanje temperaturnih anomalij se je začelo pospešeno razvijati z letom 1980, primerni senzorji so bili nameščeni na polarno orbitalnih satelitih, kasneje so senzorske z ustreznimi valovnimi dolžinami dobili tudi geostacionarni sateliti. Trenutno je s sateliti GOES, EUMETSAT in MTSAT pokrita skoraj celotna površina Zemlje, nepokriti ostajajo predeli nad 60° geografske širine, kjer jih dopolnjujejo polarno orbitalni sateliti, ki imajo na teh območjih višjo časovno ločljivost kot na nižjih geografskih širinah (Prins, McNamara, Schmidt, 2004).

Orodja se stalno izpopolnjujejo, začetna statična so nadomestila dinamična kontekstualna orodja, hkrati pa se razvijajo tudi večslikovna orodja. Po namenu uporabe jih delimo na globalne in detajlne. Orodja za avtomatizirano globalno opazovanje površja so pretežno kontekstualna, kar pomeni, da temeljijo na dobri določitvi izidov. Trenutno se že uporabljajo vrednosti, ki so določene glede na položaj in čas opazovanja. Orodja, namenjena opazovanju specifičnih območij, se spreminjajo hitreje, določiti je potrebno čim boljši način in parametre za to območje.

V prihodnosti lahko pričakujemo uskladitev pridobljenih prostorskih podatkov z geostacionarnih satelitov, kar bi pripomoglo h kontinuiranem in celovitem spremljanju temperaturnih anomalij na površju Zemlje (Prins, Govaerts, Csiszar, 2006).

Večslikovna orodja se razvijajo in že kažejo nekaj prednosti, v prihodnosti lahko predstavljajo drugačen pristop do reševanja problema.

Projekt BIRD je po teoretičnih lastnostih najboljši, vendar v realnosti z njim ne bomo mogli pokrivati globalnega območja. Deloval bo lahko na izbranih manjših območjih, katerega bodo sateliti preleteli večkrat na dan.

V prihodnosti pričakujemo izboljšanje dosedanjih globalnih orodij, povezava geostacionarnih satelitov se zdi zelo verjetna, saj je tudi pritisk stroke velik. Splošno globalno opazovanje v realnem času bodo dopolnjevala orodja namenjena specifičnim območjem, ta bodo lahko delovala na osnovi posnetkov geostacionarnih ali polarno orbitalnih satelitov. Za naloge spremljanja pogorišč se bodo uporabljali posnetki visoko ločljivih satelitov in posnetki namenskih senzorjev (MERIS).

Glede na trenutne in napovedane podnebne razmere se razvoj ne bo ustavil, saj nam naravne nesreče predstavljajo resno grožnjo.

### *Požgana območja*

Poleg spremljanja aktivnih požarov je pomembno tudi spremljanje pogorišč, pri tej nalogi se kot primernejši izkažejo polarno orbitalni sateliti. Satelitsko spremljanje pogorišč daje možnost rednega posodabljanja kart, saj je cena za podatke velikih površin s primerno prostorsko ločljivostjo relativno nizka. Običajno se uporabljajo podatki sensorjev MODIS in AVHRR za globalni nivo opazovanja ter podatki satelita Landsat TM za lokalni nivo, satelit ENVISAT ima senzor MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer), ki je namenjen prav spremljanju pogorišč (Xianlin in sod., 2008).

Altobelli in sod. so spremljali stanje požganega območja na Krasu od leta 2003 do 2009.

Uporabili so posnetke satelita Landsat5 in Landsat7 ETM+, na osnovi katerih so izračunali podatke o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in NDWI (Normalized Difference Water index).

Požgana območja imajo slabši odziv bližnje IR svetlobe, s tem je zmanjšana vrednost NDVI, poveča se odziv v kratko valovnem delu IR spektra, ki povzroči višjo vrednost NDWI.

Obdobje spremljanja je pokazalo, da se je začelo ponovno zaraščanje po 2 letih (Altobelli in sod. 2010)

## VIRI

Altobelli, A., Sgambati, A., Bader, F., Fior, G., Magajna, B., Ferrazzo, L., Braut, R., Urrutia, P., Ganis, P., Orlando, S. 2010. Forest fire monitoring. Using gvSIG's Remote Sensing Extension. GEO Informatics, april/maj 2010: 44-47.

Billig, G., Leibrandt, W., Lorenz, E. 2009. Fire detection by satellite – a global challenge.  
<http://www.tech-white-papers.com/content/fire-detection-satellite-%C3%A2%E2%82%AC%E2%80%9C-global-challenge> (Pridobljeno februar 2012.)

Calle, A., Gonzales – Alonso, F., Merino de Miguel, S. 2008. Validation of active forest fires detected by MSG – SEVIRI by means of MODIS hot spots and AwiFS images.  
[http://oa.upm.es/2264/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_54259.pdf](http://oa.upm.es/2264/1/INVE_MEM_2008_54259.pdf) (Pridobljeno marec 2012.)

CSA. 2011.  
[www.asc-csa.gc.ca](http://www.asc-csa.gc.ca) (Pridobljeno december 2011.)

CRISP. 2011.  
[www.crisp.nus.edu.sg](http://www.crisp.nus.edu.sg) (Pridobljeno december 2011.)

Eggescliffe. 2011.  
[www.eggescliffe.org.uk](http://www.eggescliffe.org.uk) (Pridobljeno december 2011.)

ESA. 2011.  
[www.esa.int](http://www.esa.int) (Pridobljeno december 2011.)

EUMETSAT. 2012.  
[www.eumetsat.int](http://www.eumetsat.int) (Pridobljeno januar 2012.)

Giglio, L. 2010. MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide, Version 2.4.  
[http://modis-fire.umd.edu/Documents/MODIS\\_Fire\\_Users\\_Guide\\_2.4.pdf](http://modis-fire.umd.edu/Documents/MODIS_Fire_Users_Guide_2.4.pdf) (Pridobljeno februar 2012.)

Giglio, L., Descloitres J., Justice C. O., Kaufman Y. J. 2003. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS.  
[http://cimss.ssec.wisc.edu/rss/references/MODIS\\_Fire\\_Algorithm.pdf](http://cimss.ssec.wisc.edu/rss/references/MODIS_Fire_Algorithm.pdf) (Pridobljeno februar 2012.)

ISPRS. 2012.

[www.isprs.org](http://www.isprs.org) (Pridobljeno februar 2012.)

Joro S., Samain O., Yildirim A., van de Berg L., Lutz H.J. 2008. Towards an improved active fire monitoring product for MSG satellites.

[http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2008/SP\\_1232700911980](http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2008/SP_1232700911980) (Pridobljeno marec 2012.)

Justice, C., Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Csiszar, I., Morisette, J., Kaufman, Y. 2006. Modis fire products. Version 2.3.

[http://modis-fire.umd.edu/Documents/MODIS\\_Fire\\_Users\\_Guide\\_2.3.pdf](http://modis-fire.umd.edu/Documents/MODIS_Fire_Users_Guide_2.3.pdf) (Pridobljeno december 2011.)

Kerkmann, J. 2004. Applications of Meteosat Second Generation (MSG). Meteorological use of The SEVIRI IR3,9 channel.

[http://www.powershow.com/view/2127f8-Njk4M/APPLICATIONS\\_OF\\_METEOSAT\\_SECOND\\_GENERATION\\_MSG\\_flash\\_ppt\\_presentation](http://www.powershow.com/view/2127f8-Njk4M/APPLICATIONS_OF_METEOSAT_SECOND_GENERATION_MSG_flash_ppt_presentation) (Pridobljeno januar 2012.)

Kladnik R. 1991. Visokošolska fizika, Del 2. Ljubljana, Državna založba.

Li Z., Kaufman Y. J., Ichoku C., Fraser R., Trishchenko A., Giglio L., Jin J., Yu X. 2000. A Review of AVHRR-based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations, and Redommendations.

[http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/docs/fire\\_ov.pdf](http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/docs/fire_ov.pdf) (Pridobljeno november 2011.)

Manyangadze, T. 2009. Forest fire detection for near real-time monitoring using geostationary satellites. Master Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth observation: 53–54 str.

NRCAN. 2012.

[www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca) (Pridobljeno februar 2012.)

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, ZRC SAZU.

Philip, S. 2007. Active fire detection using remote sensing based polar-orbiting and geostationary observations: an approach towards near real-time fire monitoring. Master Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth observation: 61, 66–68 str.

Prins, E. M., McNamara, D., Schmidt, C. C. 2004. Global Geostationary Fire Monitoring System.

<http://gofcfire.umd.edu/products/pdfs/Events/GOFCGeostationary.Workshop.SummaryReport.pdf> (Pridobljeno februar 2012.)

Prins, E. M., Covaerts, Y., Csiszar, I. 2006. GOFC – GOLD Fire Monitoring and Mapping Implementation Team 2nd Workshop on Geostationary Fire Monitoring and Applications. [http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/gofc-gold/Report%20Series/GOLD\\_32.pdf](http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/gofc-gold/Report%20Series/GOLD_32.pdf) (Pridobljeno februar 2012.)

SSEC. 2012.

[www.ssec.wisc.edu](http://www.ssec.wisc.edu) (Pridobljeno februar 2012.)

Strelec Mahovič, N. 2010. Detecting forest fires in Croatia – testing the MPEF active fire monitoring (FIR) product.

[http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2010/groups/cps/documents/document/pdf\\_conf\\_p57\\_s1\\_15\\_strelecm\\_p.pdf](http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2010/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p57_s1_15_strelecm_p.pdf) (Pridobljeno februar 2012.)

Wikipedia. 2011.

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (Pridobljeno november 2011.)

Xianlin, Q., Zihui, Z., Zengyuan, L., Haoruo, Y. 2008. Forest fire monitoring using Envisat – AATSR and MERIS images.

[http://earth.esa.int/pub/ESA\\_DOC/meris\\_workshop\\_2008/papers%20/o89\\_qinxi.pdf](http://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/meris_workshop_2008/papers%20/o89_qinxi.pdf) (Pridobljeno februar 2012.)



---

*Ostali viri*

Movaghati, S., Samadzadegan, F., Azizi, A. 2008. A comparative study of three algorithms for forest fire detection in Iran.

[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8\\_pdf/2\\_WG-VIII-2/42.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/2_WG-VIII-2/42.pdf)

(Pridobljeno marec 2012.)

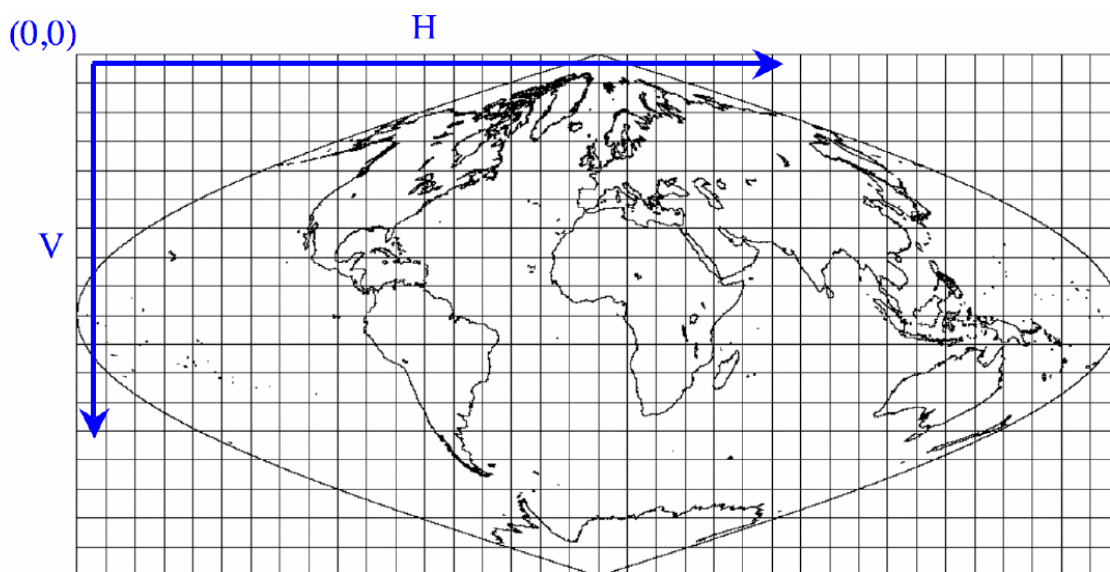
Wang, W., Qu, J. J., Hao, X., Liu, Y., Sommers, W. T. 2006. An improved algorithm for small and cool fire detection using MODIS data: A preliminary study in the southeastern United States.

[http://cfpub.epa.gov/ncer\\_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.journals/abstract/7507/displayColumns/1](http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.journals/abstract/7507/displayColumns/1) (Pridobljeno januar 2012.)

## PRILOGE

### PRILOGA A

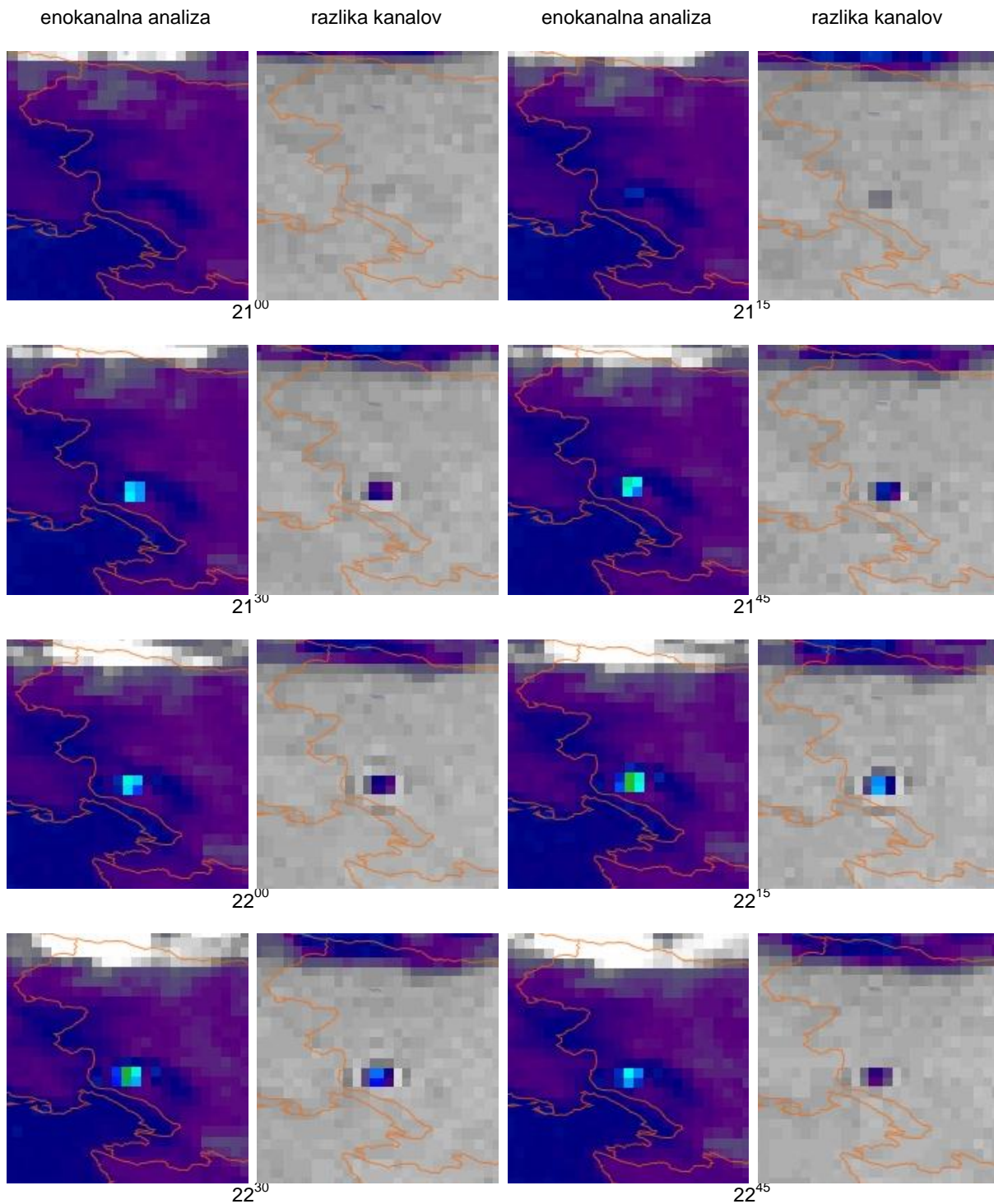
Prikaz površja Zemlje v sinusoidni kartografski projekciji, v kateri so predstavljeni rezultati orodja MODIS. Kot vhodni podatek programa MODLAND podamo cono območja, za katerega želimo transformirati koordinate; cono določimo na osnovi te razdelitve.

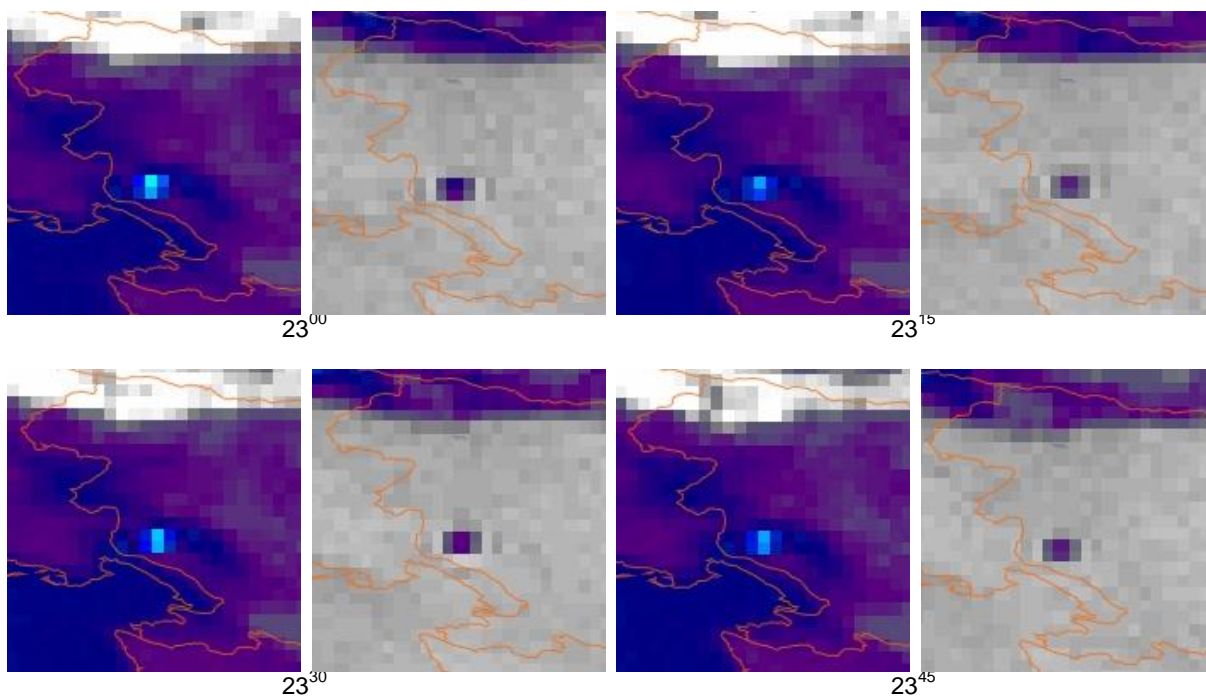


Vir: Justice in sod., 2006

### Priloga B

Časovni potek rezultatov enokanalne analize in razlike kanalov za požar v Komnu. Požar sem spremljal od 21.00 do 23.45 (UTC), dne 21.7.2006.

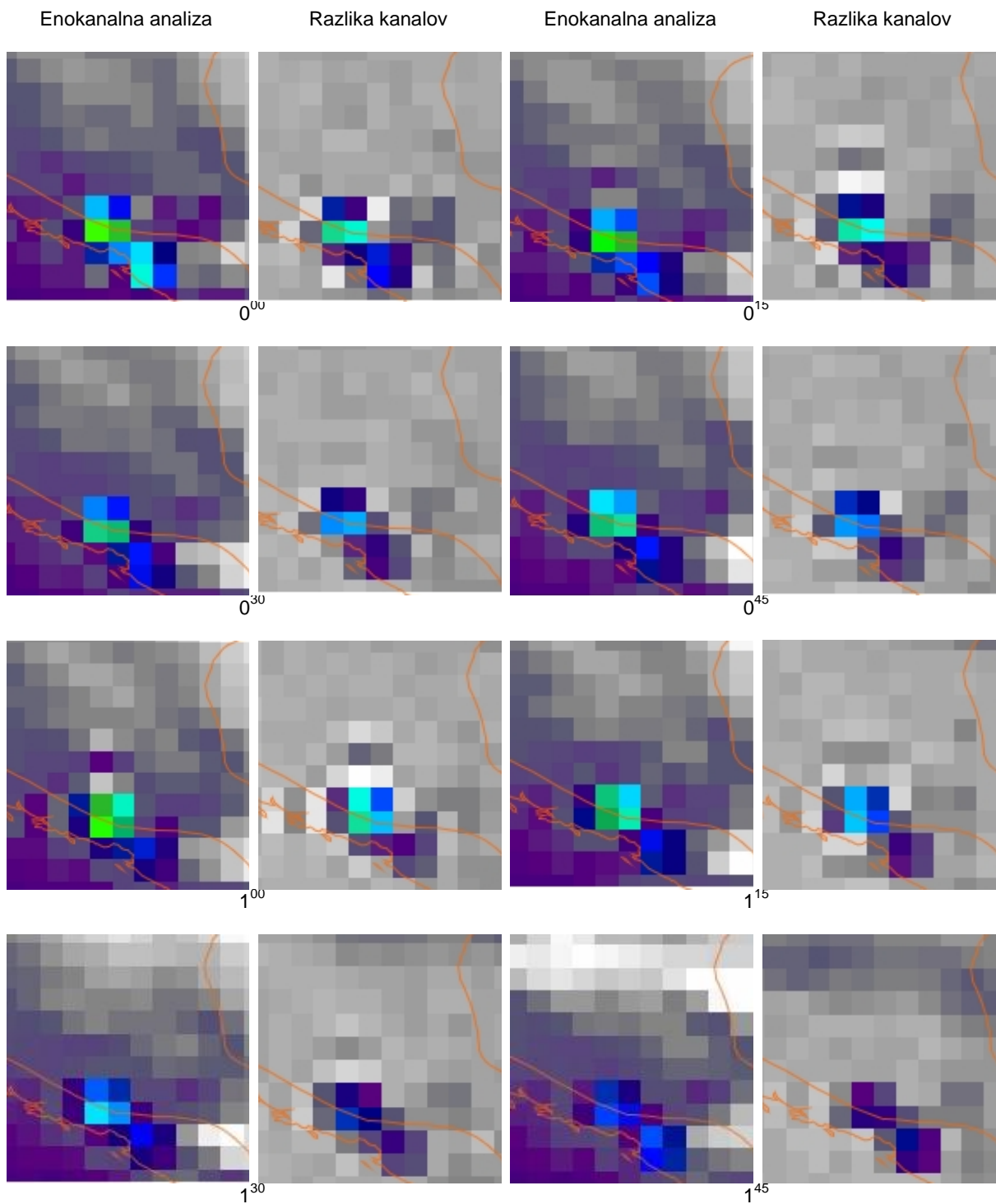


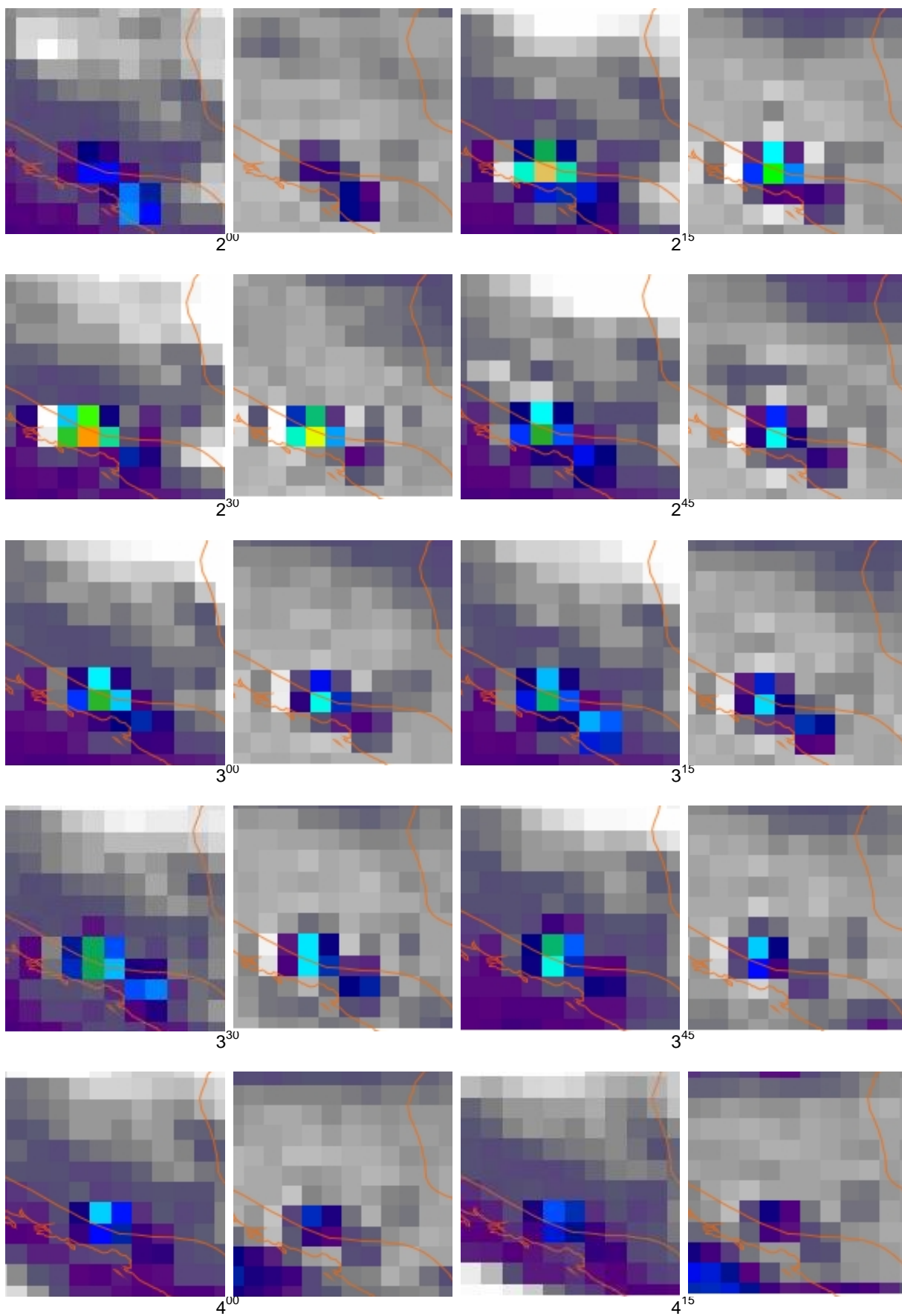


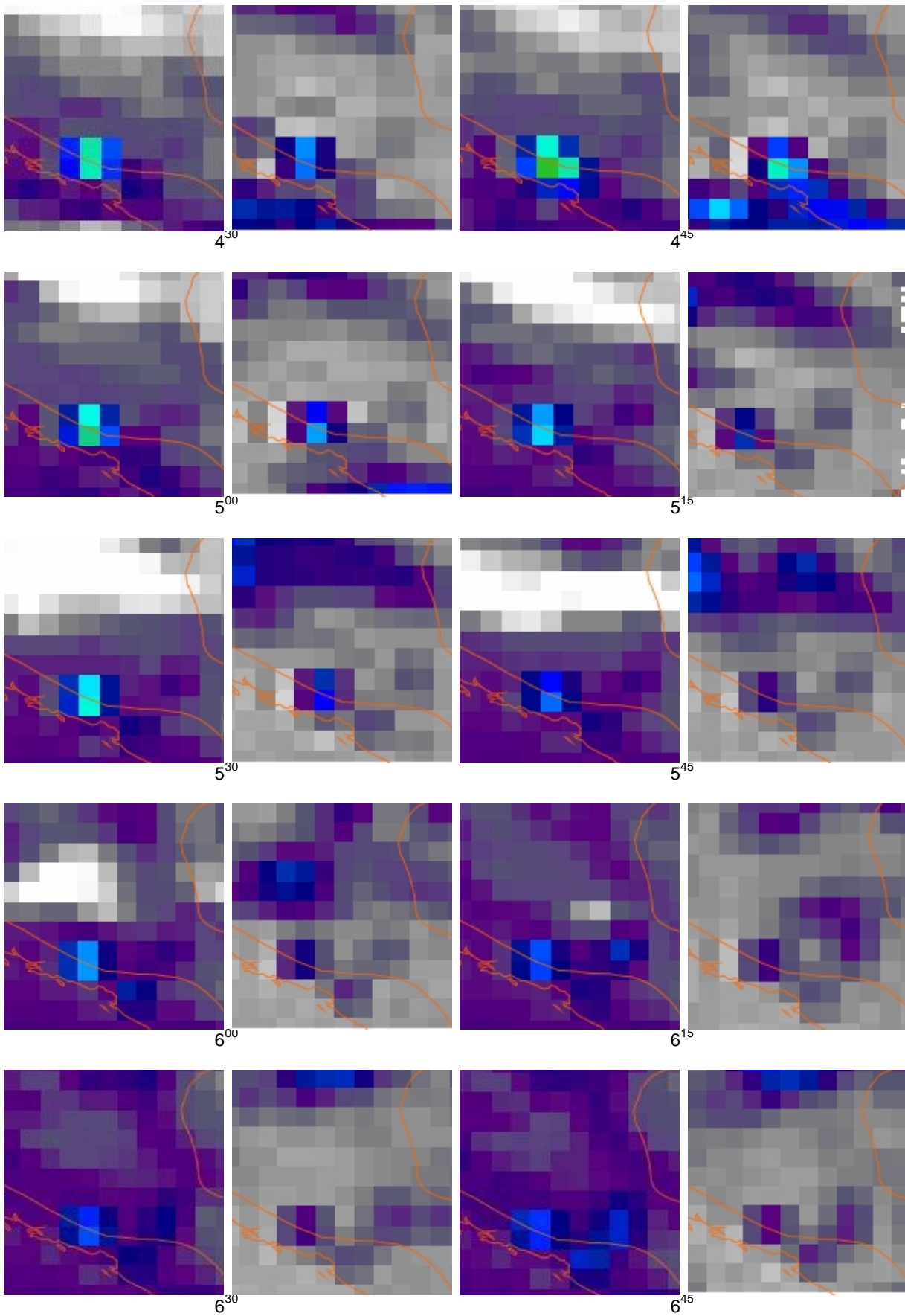
(© ARSO)

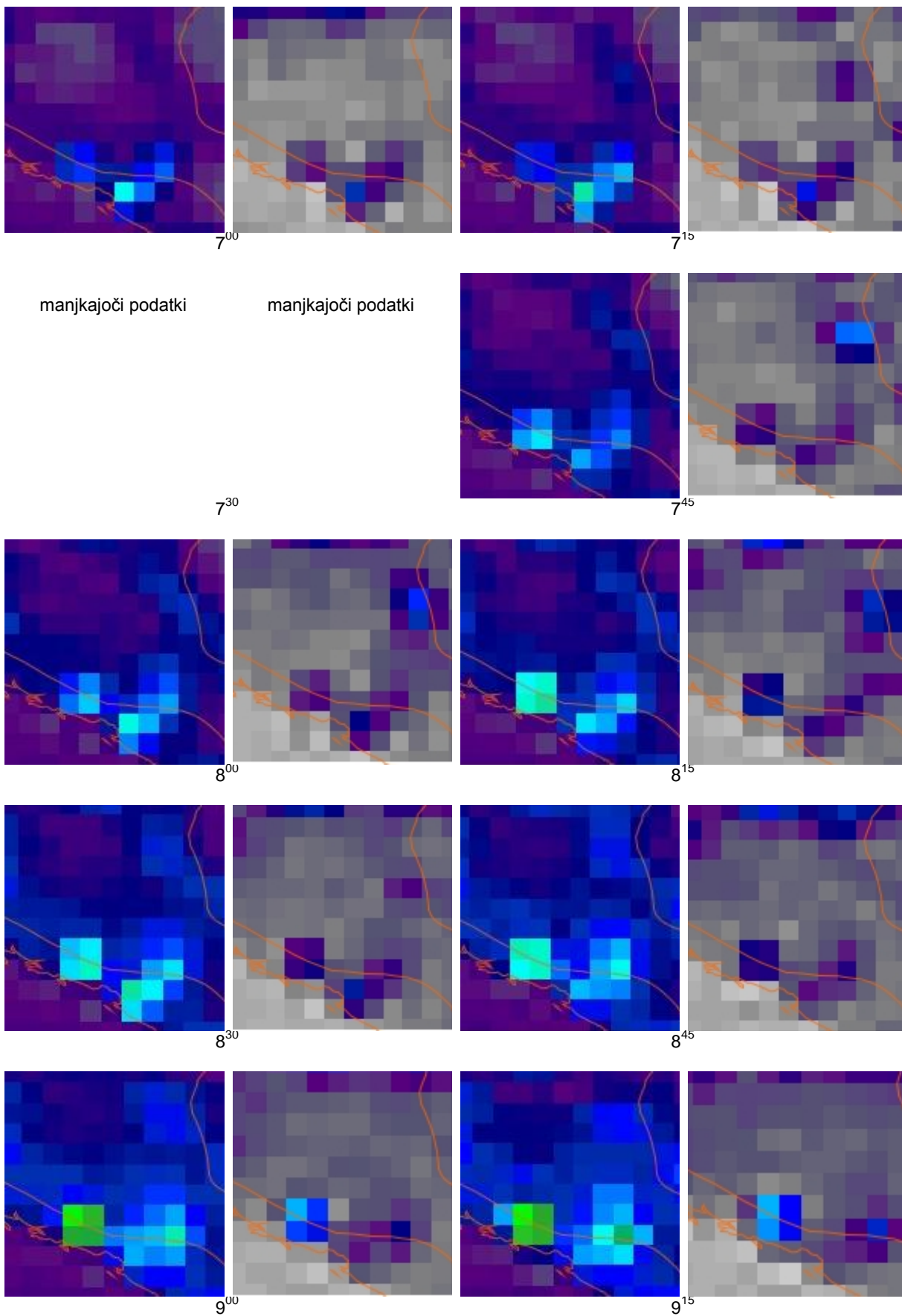
## Priloga C

Časovni potek rezultatov enokanalne analize in razlike kanalov za požar v Dubrovniku. Požar sem spremljal za dan 5.8.2007, in sicer cel dan od 0.00 do 23.45 (UTC). V treh časovnih intervalih ni bilo podatkov.

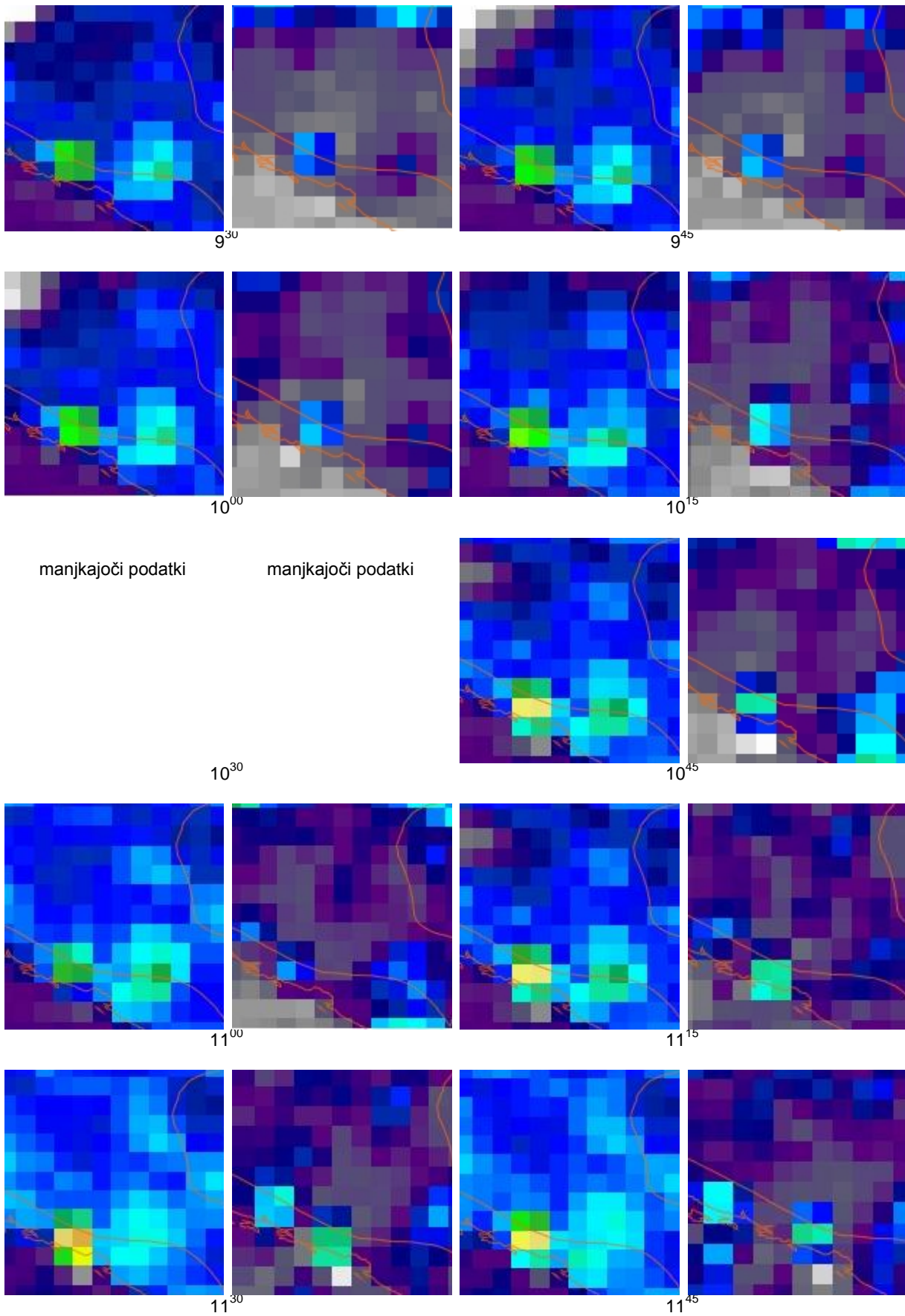


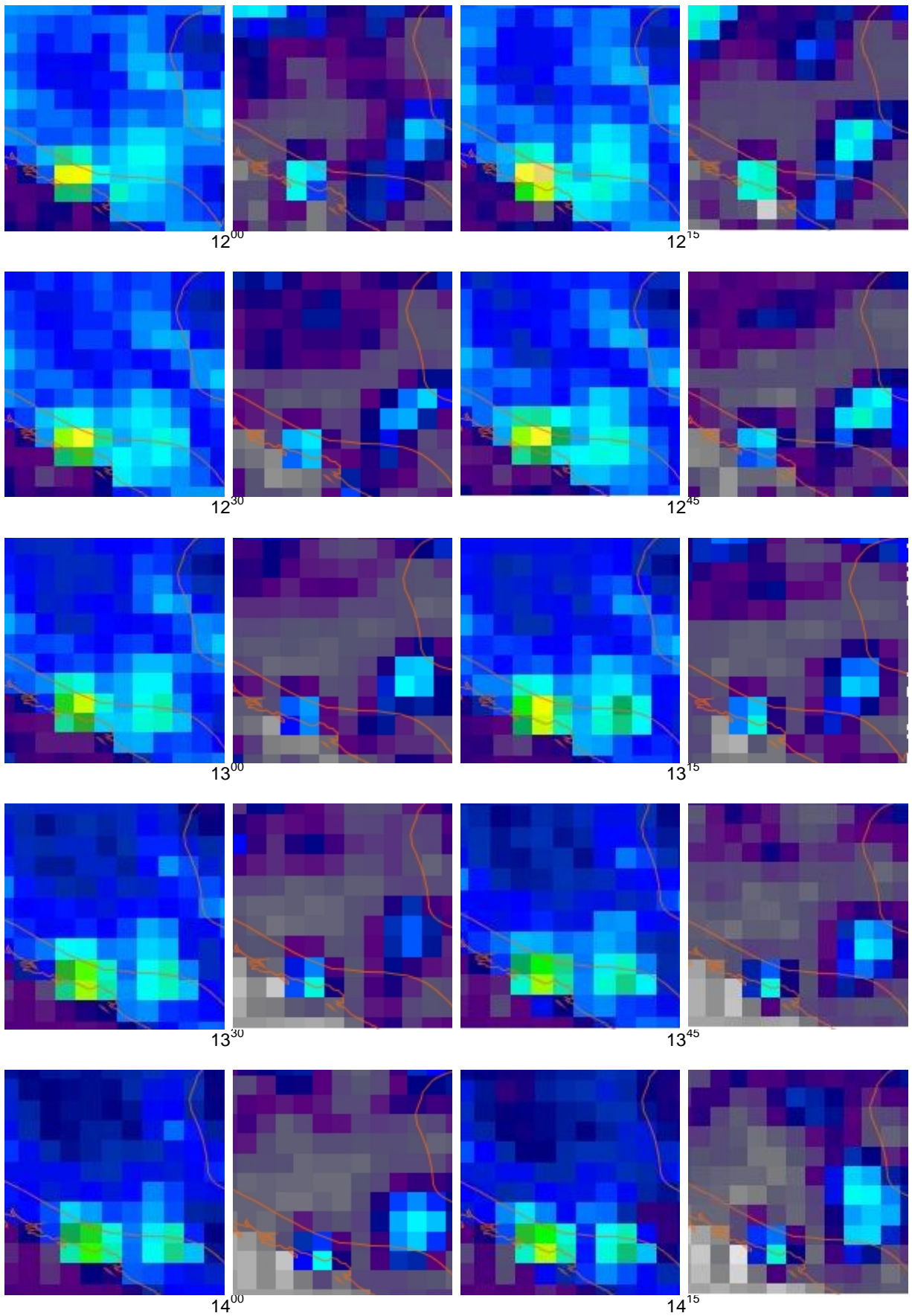


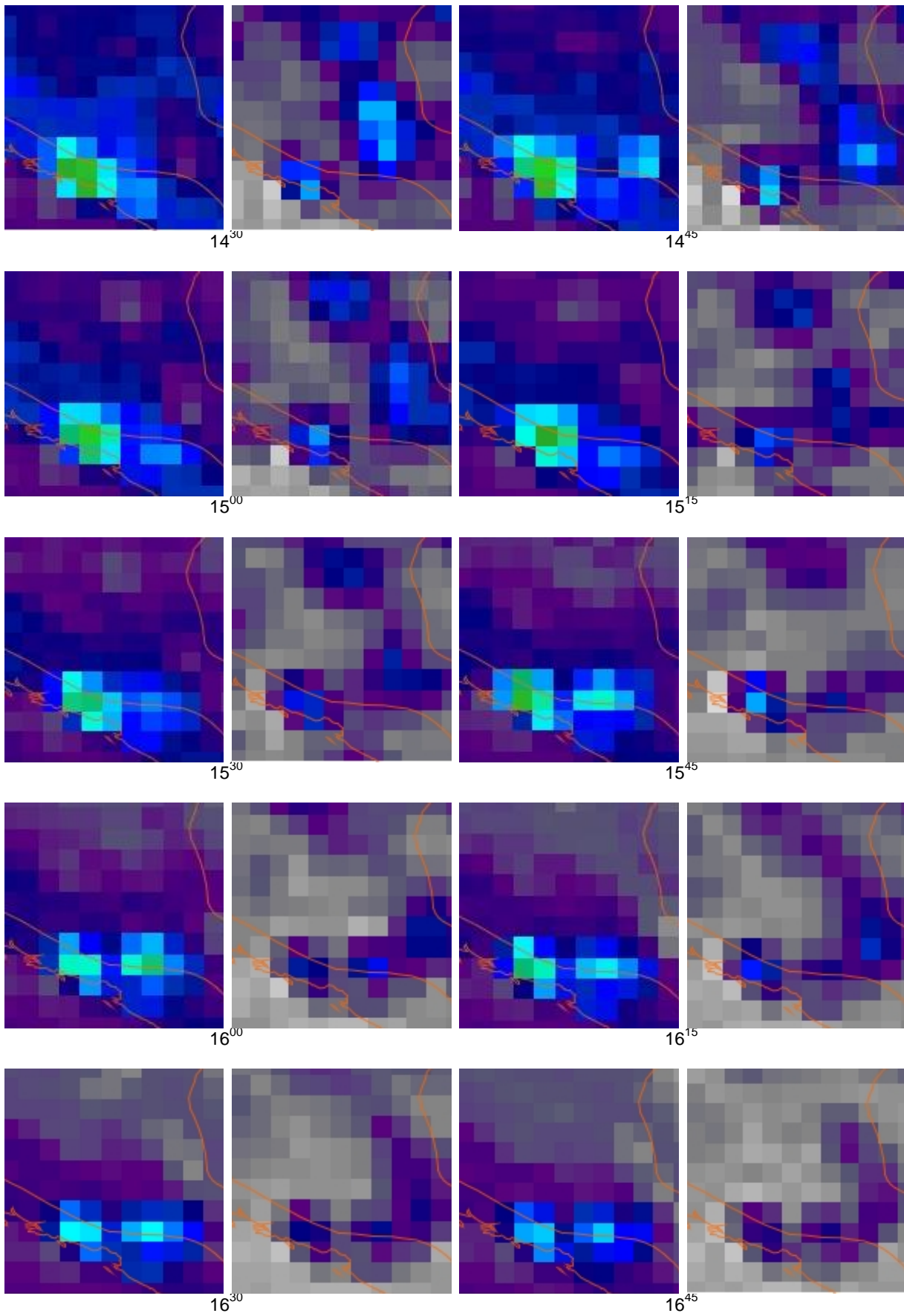


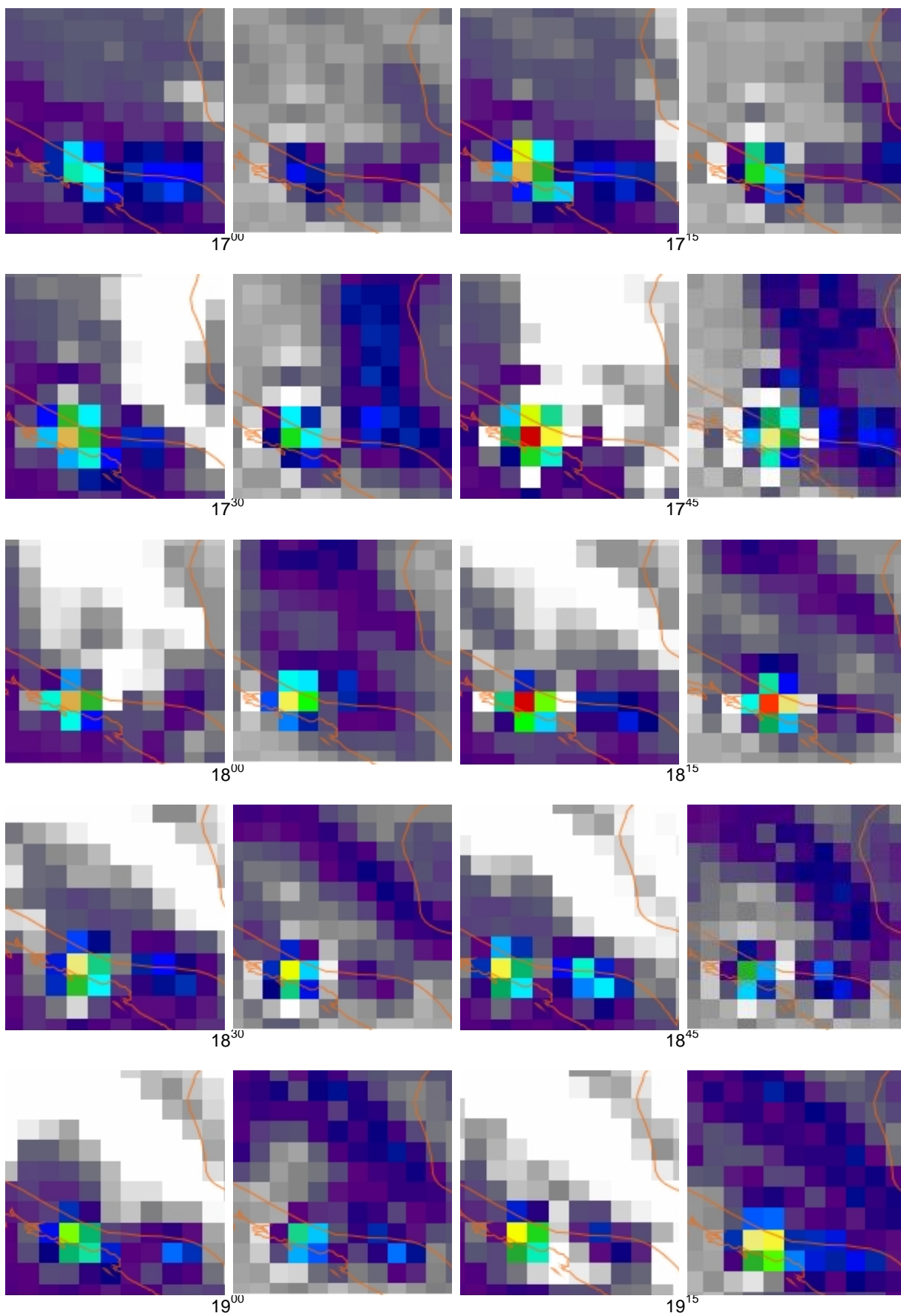


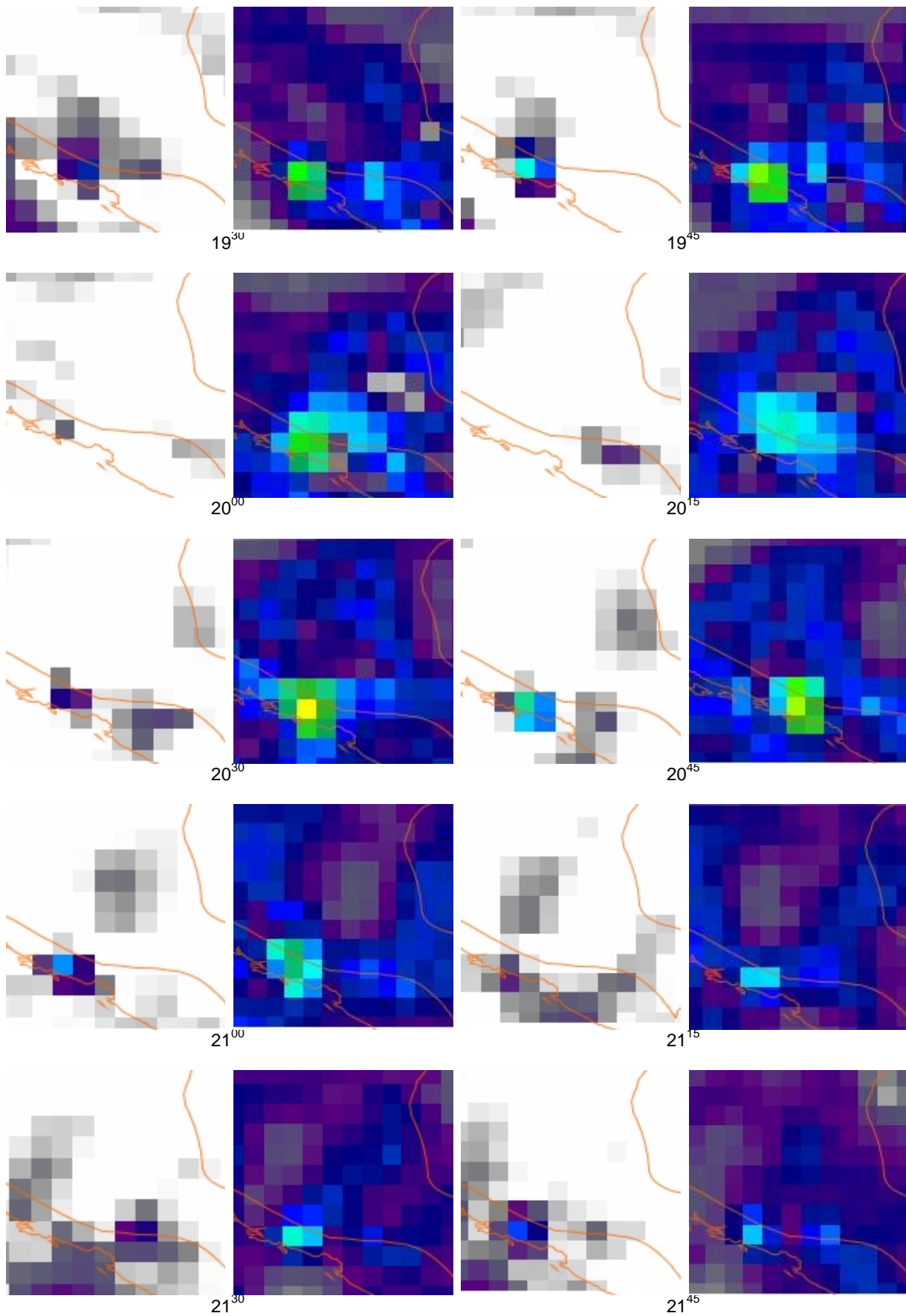


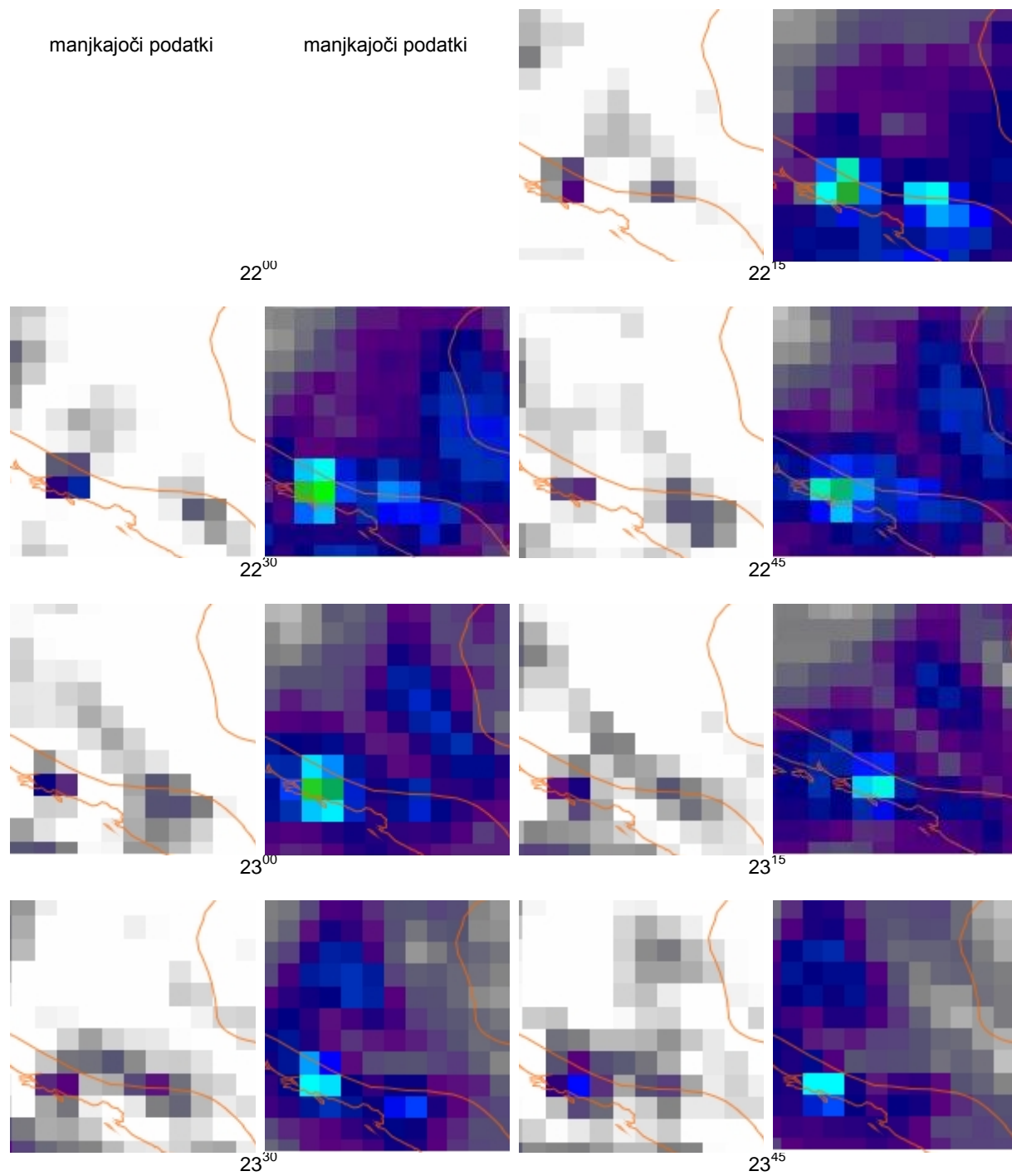












**Priloga D**

Celoten rezultat večkanalne analize požara v Dubrovniku. Za posamezen časovni interval so prikazana območja pikslov, ki so bila označena kot požar ali možen požar. V stolpcu 4 (Več. analiza) je prikazano število pikslov, ki so bili označeni kot požar v primeru večkanalne analize. V stolpcu 5 (MPEF FIRG) je prikazano število pikslov označenih kot požar zaznanih z orodjem MPEF FIRG, podatki so pridobljeni iz ASCII datoteke.

UTC	Možen požar	Požar	Več. analiza	MPEF FIRG
0 <sup>00</sup>		259-260/157-159	6	2
0 <sup>15</sup>		259-260/157-159	6	2
0 <sup>30</sup>		259/157-158, 260/157-159, 261/159-160	7	2
0 <sup>45</sup>	261/160	259/157-158, 260/157-159, 261/159-160	7	1
1 <sup>00</sup>		258/157, 259/157-158, 260/157-159, 261/159	7	3
1 <sup>15</sup>		258/158, 259-260/157-158, 261/159-160	7	1
1 <sup>30</sup>		259/157-158, 260/157-159, 261/159	6	0
1 <sup>45</sup>		259/157-158, 260/158, 261/159-160	5	0
2 <sup>00</sup>		259/157-158, 260/158, 261/159-160	5	0
2 <sup>15</sup>	261/159	258/157-158, 259-260/157-159	6	2
2 <sup>30</sup>		258-259/157-158, 260/158, 261/159	6	0
2 <sup>45</sup>		258/158, 259/158-159, 260/158, 261/159	5	1
3 <sup>00</sup>		258/158, 259/157-158, 260/158-159	5	1
3 <sup>15</sup>		258-259/157-158, 260/157-159, 261/159	7	1
3 <sup>30</sup>		258-259/157, 260/157-158, 261-262/159	6	1
3 <sup>45</sup>		258-260/157-158	6	0
4 <sup>00</sup>		258-259/157, 260/157-158	4	0
4 <sup>15</sup>		259-260/157-158	4	0
4 <sup>30</sup>		259-260/157	2	0
4 <sup>45</sup>		258-260/157	3	0
5 <sup>00</sup>		258-260/157-158	6	0
5 <sup>15</sup>		258-260/157-158	6	0
5 <sup>30</sup>	261/159	258-260/157-158	6	0
5 <sup>45</sup>		258-260/158	3	0
6 <sup>00</sup>		258-259/157-158, 261/159	5	0
6 <sup>15</sup>		259/158	1	0
6 <sup>30</sup>			0	0
6 <sup>45</sup>			0	0
7 <sup>00</sup>			0	0
7 <sup>15</sup>			0	0
7 <sup>30</sup>		Brez podatkov	0	0
7 <sup>45</sup>			0	0
8 <sup>00</sup>			0	0
8 <sup>15</sup>			0	0
8 <sup>30</sup>			0	0
8 <sup>45</sup>			0	0
9 <sup>00</sup>		259/157	1	1
9 <sup>15</sup>			0	0
9 <sup>30</sup>		259/157	1	1
9 <sup>45</sup>			0	0
10 <sup>00</sup>			0	0
10 <sup>15</sup>			0	0
10 <sup>30</sup>			0	1
10 <sup>45</sup>			0	1
11 <sup>00</sup> - 11 <sup>30</sup>			0	0
11 <sup>45</sup>			0	0

se nadaljuje...

12 <sup>00</sup>			0	0
12 <sup>15</sup>			0	1
12 <sup>30</sup> – 13 <sup>15</sup>			0	1
13 <sup>30</sup>			0	1
13 <sup>45</sup>			0	1
14 <sup>00</sup>			0	1
14 <sup>15</sup>			0	1
14 <sup>30</sup>			0	1
14 <sup>45</sup>			0	1
15 <sup>00</sup>			0	0
15 <sup>15</sup>			0	1
15 <sup>30</sup> – 17 <sup>00</sup>			0	0
17 <sup>15</sup>		258/157-158, 259/158	3	2
17 <sup>30</sup>		258/157-158, 259/158	3	3
17 <sup>45</sup>		258/159	1	1
18 <sup>00</sup>			0	0
18 <sup>15</sup>			0	0
18 <sup>30</sup>			0	0
18 <sup>45</sup>		259/158	1	1
19 <sup>00</sup>		258/159	1	1
19 <sup>15</sup>			0	0
19 <sup>30</sup>			0	0
19 <sup>45</sup>			0	0
20 <sup>00</sup> - 23 <sup>45</sup>			0	0