

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Grabljevec, M. 2012. Vulkanski pepel nad Slovenijo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Oštir, K., somentor Zakšek, K.): 25 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Grabljevec, M. 2012. Vulkanski pepel nad Slovenijo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Oštir, K., co-supervisor Zakšek, K.): 25 pp.

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
PRVE STOPNJE GEODEZIJE
IN GEOINFORMATIKE**

Kandidat:

MARKO GRABLJEVEC

VULKANSKI PEPEL NAD SLOVENIJO

Diplomska naloga št.: 14/GIG

VOLCANIC ASH OVER SLOVENIA

Graduation thesis No.: 14/GIG

Mentor:

izr. prof. dr. Krištof Oštir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

dr. Klemen Zakšek

Član komisije:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

doc. dr. Anka Lisec

Ljubljana, 24. 09. 2012

ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani MARKO GRABLJEVEC izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»Vulkanski pepel nad Slovenijo.«

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

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

Ljubljana, 22. 8. 2012

Marko Grabljevec

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	544.1:551.336(497.12)(043.2)
Avtor:	Marko Grabljevec
Mentor:	izr. prof. dr. Krištof Oštir
Somentor:	dr. Klemen Zakšek
Naslov:	Vulkanski pepel nad Slovenijo
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	25 str., 2 pregl., 16 sl., 2 pril.
Ključne besede:	daljinsko zaznavanje pepela s sateliti, metode zaznavanja pepela v atmosferi, vulkanski pepel nad Slovenijo, izbruh vulkana Eyjafjallajökull

Izvelek

V diplomski nalogi poizkušamo prikazati širjenje vulkanskega pepela ob izbruhu vulkana Eyjafjallajökull na Islandiji leta 2010, prek Evrope do Slovenije. Predstavljena je grožnja, ki jo ob izbruhu vulkanskega pepela predstavlja vulkanski pepel letalskemu prometu in posledično tudi letalskim družbam, ki so takrat utrpele ogromno denarno škodo. V diplomski nalogi smo analizirali predvsem širjenje vulkanskega pepela prve tri dni, ko je bil izbruh najbolj intenziven in se je razširil skoraj po celotni Evropi. Za to predstavitev smo uporabili satelitske posnetke senzorja SEVIRI, ki je nameščen na satelitu MSG-2. Predstavljene so tudi metode in algoritmi zaznavanja vulkanskega pepela v atmosferi in sateliti s senzorji, ki so zmožni zaznavanja vulkanskega pepela na podlagi infrardečega valovanja.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 544.1:551.336(497.12)(043.2)
Author: Marko Grabljevec
Supervisor: Assoc. Prof. Krištof Oštir, Ph. D.
Co-advisor: Klemen Zakšek, Ph. D.
Title: Volcanic ash over Slovenia
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 25 p., 2 tab., 16 fig., 2 ann.
Key words: volcanic ash remote sensing with satellites, methods of detection of volcanic ash, volcanic ash over Slovenia, eruption of the Eyjafjallajökull volcano

Abstract

The aim of this thesis is to demonstrate the spread of volcanic ash in the eruption of Eyjafjallajökull volcano in Iceland in 2010 which disseminated all the way to Slovenia. We describe the threat that the volcanic ash presents for air traffic and, consequently, airlines, who suffered a huge financial loss. In this thesis, we mainly analysed the spread of volcanic ash in the first three days, when the outbreak was most intense and has spread almost all over Europe. For this presentation we used satellite images of SEVIRI sensor, which is aboard the MSG-2 satellite. We also demonstrate methods and algorithms of detection of the volcanic ash in the atmosphere and satellites with sensors capable of detecting the volcanic ash on the basis of infrared waves.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
1 UVOD	1
2 DALJINSKO ZAZNAVANJE VULKANSKEGA PEPELA V ATMOSFERI S SATELITI	4
3 SATELITI IN SENZORJI SPOSOBNI ZAZNAVANJA PEPELA V ATMOSFERI	5
4 METODE ZAZNAVANJA PEPELA V ATMOSFERI IN OPIS METODE UPORABLJENE NA MOJEM PRIMERU	6
4.1 Metoda obratne absorpcije ali »deljenih oken«	6
4.2 Tri kanalna metoda	8
5 ANALIZA ŠIRJENJA VULKANSKEGA PEPELA DO SLOVENIJE OB IZBRUHU VULKANA EYJAFJALLAJÖKULL NA ISLANDIJI	9
6 KOMENTAR	23
VIRI	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Zemljevid območja odgovornosti devetih centrov za zaznavanje vulkanskega pepela.	2
Slika 2: Slika senzorja MODIS, dne 17.4.2010.	3
Slika 3: Dnevni prizori senzorja MODIS, ki prikazujejo »nepravilne« oblake.	4
Slika 4: Prikazuje razmerje med imaginarnim delom refrakcijskega indeksa (absorbpcija) in valovno dolžino med 7 in 14 μm za pepel, led in vodo.	7
Slika 5: Rezultati za 14.4. ob 21:57 UTC (gornja vrsta), 23:57 UTC (srednja vrsta) in za 15.4. ob 01:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	11
Slika 6: Rezultati za 15.4. ob 03:57 UTC (gornja vrsta), 05:57 UTC (srednja vrsta) in 07:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	12
Slika 7: Rezultati za 15.4. ob 09:57 UTC (gornja vrsta), 11:57 UTC (srednja vrsta) in 13:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	13
Slika 8: Rezultati za 15.4. ob 15:57 UTC (gornja vrsta), 17:57 UTC (srednja vrsta) in 19:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	14
Slika 9: Rezultati za 15.4. ob 21:57 UTC (gornja vrsta), 23:57 UTC (srednja vrsta) in za 16.4. ob 01:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	15
Slika 10: Rezultati za 16.4. ob 03:57 UTC (gornja vrsta), 05:57 UTC (srednja vrsta) in 07:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	16
Slika 11: Rezultati za 16.4. ob 09:57 UTC (gornja vrsta), 11:57 UTC (srednja vrsta) in 13:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.	17
Slika 12: Rezultati za 16.4. ob 15:57 UTC (gornja vrsta), 17:57 UTC (srednja vrsta) in	18

19:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.

- Slika 13: Rezultati za 16.4. ob 21:57 UTC (gornja vrsta), 23:57 UTC (srednja vrsta) in za 17.4. ob 01:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske. 19
- Slika 14: Rezultati za 17.4. ob 03:57 UTC (gornja vrsta), 05:57 UTC (srednja vrsta) in 07:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske. 20
- Slika 15: Rezultati za 17.4. ob 09:57 UTC (gornja vrsta), 11:57 UTC (srednja vrsta) in 13:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTĐ, na sredi RGB vizualizacija dveh BTĐ in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske. 21
- Slika 16: Prikazuje območje največje intenzitete vulkanskega pepela po izbruhu vulkana Eyjafjallajökull. 22

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti o satelitih in njihovih senzorjih, ki uporabljajo infrardeče merjenja.	5
Preglednica 2: Povzetek algoritmov odkrivanja in tehnik prepoznavanja pepela, ki uporabljajo satelitske infrardeče in vidne kanalne podatke.	6

KRATICE

AIRS	Atmospheric Infrared Sounder;
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer;
BTD	Brightness Temperature Difference
GMS-5	Geostationary Meteorological Satellite-5;
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellites
IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer;
ICAO	International Civil Aviation Organisation
MetOp	EUMETSAT Polar System;
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer;
MSG	Meteosat Second Generation. Senzorji:
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PCI	Principle Components
RA	Reverse Absorbation
RAT	Ratio method
RGB	Color model – Red, Green, Blue
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infra-red Imager
TIFF	Tagged Image File Format
TVAP	Three-band Volcanic Ash Product
UTC	Universal Coordinated Time
VAAC	Volcanic Ash Advisory Center
VISSR	Visible and Infra-Red Spin Scan Radiometer;
WMO	World Meteorological Organisation
WVC	Water vapor correction method

» Ta stran je namenoma prazna.«

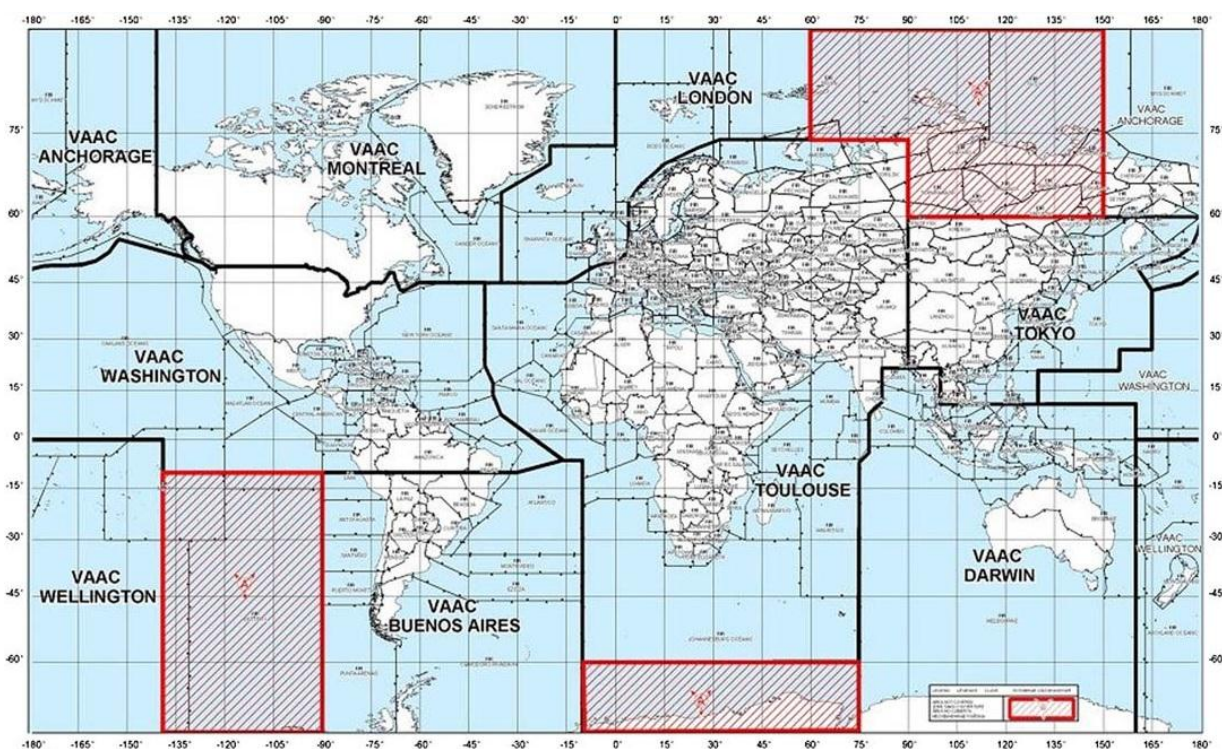
1 UVOD

Nepredvidljivost vulkanskih izbruhov (tako glede časa kot kraja) je že večkrat pripeljala do nesreč z velikim obsegom in hudimi posledicami. Le-te so povzročile socialne, gospodarske in politične nemire. Najbolj daljnosežne učinke imajo posledice veliki izbruhi, ki lahko v več letih vplivajo na Zemljin podnebni sistem. Med največjimi vulkanskimi izbruhi zabeleženimi v zgodovini so na primer Pele (1902) in Krakatau (1883), Tambora, Mount Pinatubo ipd. Ti so za sabo pustili ogromno opustošenje ter ubili na tisoče ljudi. Pomemben del opazovanja posledic pa je tudi preučevanje atmosferske nevarnosti izbruhov. Dober primer trajne eruptivne dejavnosti, ki ima velike vplive na atmosfero, je vulkan Laki (1763) na Islandiji. Skozi obdobje več mesecev je izbruh vulkana Laki povzročil zadostne količine emisij nevarnih plinov (SO_2 , HCl in HF), ki bi lahko pomorile, če bi se plini spustili na površje Zemlje, več kot 50% islandske živine in resno ogrozile zdravje in počutje prebivalcev (Prata, Tupper, 2009), vendar do te katastrofe k sreči ni prišlo.

Z vzponom celinskega in medcelinskega potniškega letalskega prometa se je ob vulkanskih izbruhih pojavila nova nevarnost. Vulkanski izbruh lahko v atmosfero spusti velike količine vulkanskega pepela in plinov. Vulkanski pepel lahko zavzame velikosti od majhnih (nekaj μm) pa vse do velikih delcev (nekaj mm ali celo cm). Ob največjih izbruhih lahko pepel in plini dosežajo celo do več kot 50 km višine (npr. Pinatubo, Filipini, 1991) (Prata, 2009). Največji delci padejo iz atmosfere relativno hitro, medtem ko lahko manjši delci ostanejo v ozračju več dni ali celo tednov (Prata, 2009). Ko pepel in plini dosežejo dovolj veliko višino, jih lahko vetrovi prenašajo z zelo veliko hitrostjo in v različne smeri, kar je posledica pojava zaradi strižnega vetra (sprememba smeri vetra z višino). V zgornji troposferi lahko sunki vetra narastejo tudi do 100 m/s (360 km/h). Pepel lahko povzroči obsežne poškodbe letala, zastoj motorja, uničenje vetrobranskih stekel, poškodbe občutljive letalske elektronike, poškodbe turbinskih lopatic in s tem možnosti izgube letala in življenj. Trenutna svetovna letalska flota znaša približno 18.000 letal in trend se spreminja iz štirimotornih letal na dvomotorna. To je pomemben vidik za ocenjevanje varnosti letala, saj vulkanski pepel direktno vpliva na motorje in njihov zastoj. Pepel je v glavnem sestavljen iz silicijevega oksida (SiO_2) – steklo (Prata, 2009). Ta se tali pri temperaturi okoli 1000 °C, temperatura v motorju letala pa je večja. Ob manjšem številu motorjev se torej poveča nevarnost popolne izgube pogona in posledično se poveča možnost za katastrofalno nesrečo. Skupaj s problemoma napovedovanja izbruhov vulkanov in sledenja vulkanskemu pepelu, je težava v zaznavanju in ločevanju nevarnih oblakov pepela in pogostejših meteoroloških oblakov. Kljub popolnemu poznavanju vulkanskega izbruha v teku, letalske oblasti nimajo dovolj informacij, da bi popolnoma zagotovile varnost letal v zraku. Logistični zalogaji za letalsko industrijo so veliki. Obstaja več kot 70 vulkanov po svetu (Prata, 2009), ki povprečno izbruhnejo enkrat tedensko. Večina vulkanov je zelo oddaljenih in niso redno opazovani, vulkanski

oblaki pa se lahko razširijo več kot 1000 km daleč v nekaj urah in zaznavanje teh oblakov na letalu za sedaj ni mogoče, saj letalski radarji ne morejo zaznati plinov ali delcev velikosti mikrometra.

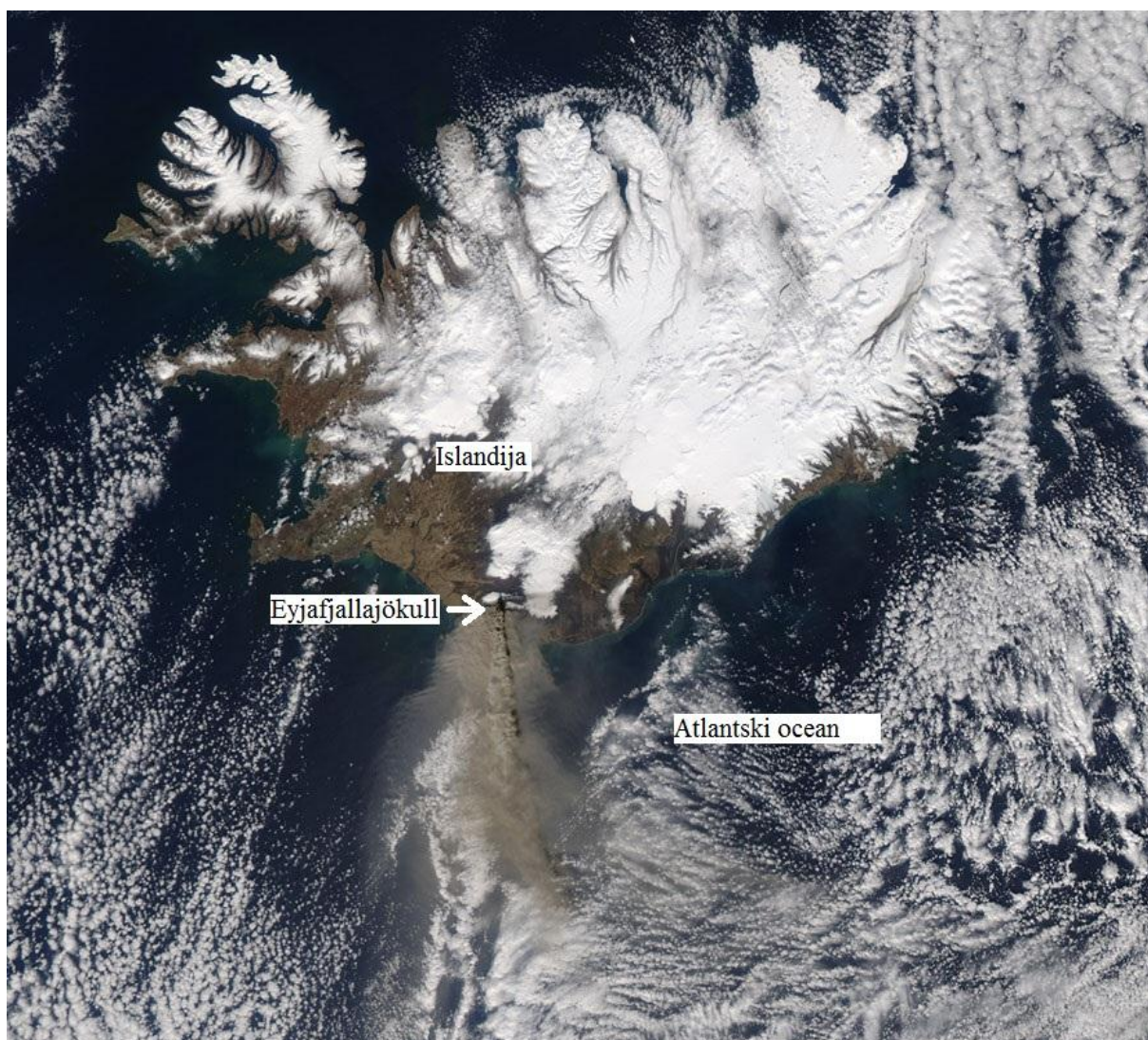
Za večjo varnost in boljše izogibanje letal nevarnim oblakom vulkanskega pepela so na sestanku, ki ga je organiziral WMO (World Meteorological Organisation) s sodelovanjem ICAO (International Civil Aviation Organisation), razdelili svet na devet regij. Vsaka regija ima svoj VAAC (Volcanic Ash Advisory Center), ki je nameščen v državni meteorološki center (Prata, 2009). Slika 1 prikazuje razdelitev sveta na 9 regij in pripadajoče VAAC.



Slika 1: Zemljevid območja odgovornosti devetih centrov za zaznavanje vulkanskega pepela (Prata, 2009).

Namen diplomske naloge je bil preučiti širjenje vulkanskega pepela, ki se je dvignil v atmosfero ob izbruhu vulkana Eyjafjallajökull, ob južni obali Islandije ($19,6^{\circ}$ W $63,6^{\circ}$ N) (Slika 2). Vulkan Eyjafjallajökull je prvič izbruhnil 20.3.2010 in sicer na severo-vzhodni strani vulkana, ki ni bila prekrita z ledom, tu pa vulkan dosega višino 1660 m. V prvi fazi izbruha je bruhal lavo z nizko eksplozivno dejavnostjo. 14.4.2010 pa je izbruh prešel v drugo fazo, ko je izbruhnilo približno 250 milijonov kubičnih metrov lave. (Program odprave posledic..., 2010). To je povzročilo taljenje velike količine ledu, kar je imelo za posledico poplave na jugu Islandije. Ko pa sta prišli v stik voda in magma, se je ustvaril ogromen oblak vulkanskega pepela in plina, ki se je dvignil več kot 10 km visoko. Sledila sta mu še dva manjša izbruha, vetrovi pa so izbruhani vulkanski pepel odnesli južno od

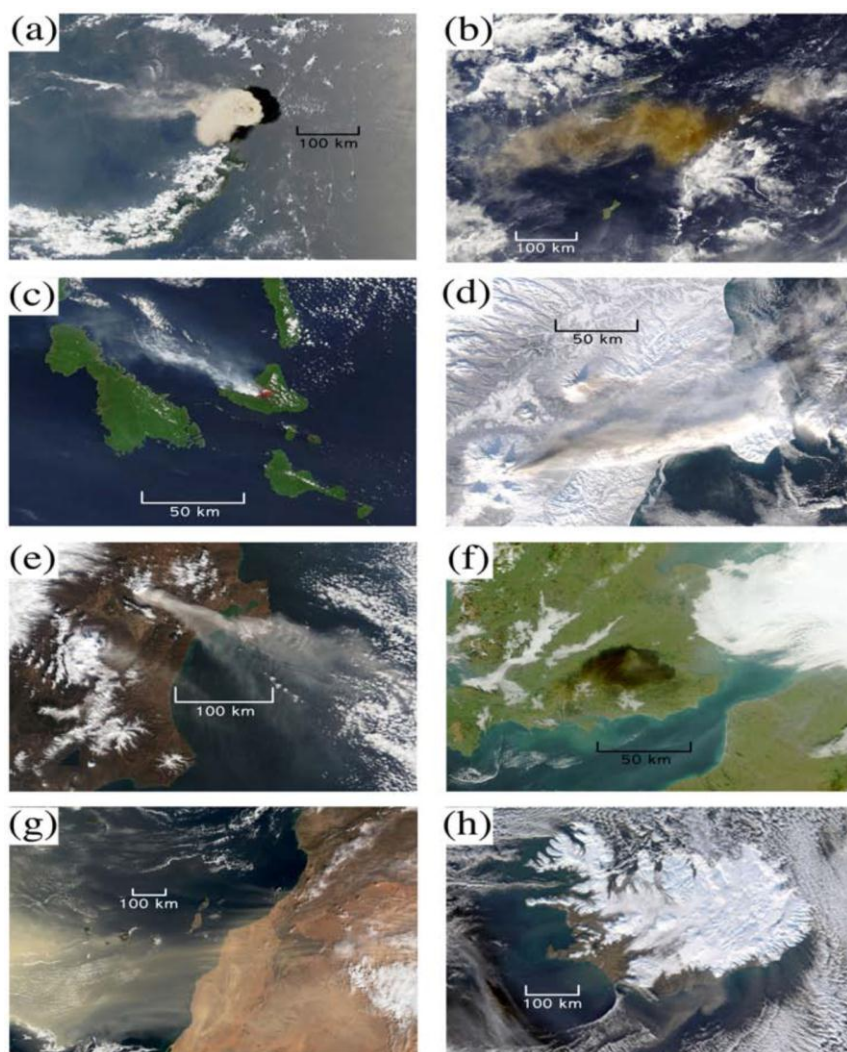
Islandije. 18.4.2010 so raziskovalci z islandske univerze ocenili, da je vulkan izbruhnil 750 ton magme vsako sekundo (BGS, 2010). Polarni veter je nosil pepel sprva jugovzhodno in sicer do Velike Britanije, Irske in Skandinavskega polotoka. Kasneje se je razširil po celotni Evropi in dosegel tudi Slovenijo. 17.4.2010 smo zaznali prve delce pepela nad našim ozemljem in Agencija Republike Slovenije za okolje je preko Kontrole zračnega prometa delno zaprla zračni prostor v Republiki Sloveniji. Ta izbruh je spodbudil večji del Evrope, da je zaustavila večino komercialnega zračnega prostora za skoraj teden dni. Za letalske družbe je to predstavljalo več kot milijardo ameriških dolarjev škode. V Sloveniji pa je ta škoda, po ugotovitvi Vlade Republike Slovenije, znašala 3.308.711 €. Pogoji za nemoten letalski promet so se izboljšali konec aprila, vendar je vulkan ostal aktiven še celotni mesec maj (Program odprave posledic..., 2010).



Slika 2: Slika senzorja MODIS, dne 17.4.2010 (BGS, 2010).

2 DALJINSKO ZAZNAVANJE VULKANSKEGA PEPELA V ATMOSFERI S SATELITI

Oblaki absorbirajo, razpršijo in oddajajo sevanje v vidnem, infrardečem in mikrovalovnem območju elektromagnetnega spektra. V vidnem delu valovne dolžine, odvisno od geometrije osvetlitve (Sonce ali umeten izvor) in geometrije opazovanja, se lahko oblaki zdijo opazovalcu (senzorju) svetli ali temni. To velja za oblake vode, ledu, različne silikate (vulkanski pepel), razpihanega prahu (puščavski prah), saje (npr. veliki gozdni požari) ali katerikoli drugi naravno ali človeško ustvarjeni oblak delcev. Včasih je zelo jasno, da gre predvsem za meteorološki oblak (npr. oblak vodnih kapljic, ledeni delci ali mešana faza oblaka), vendar pogosto ni popolnoma razvidno, ali gre za meteorološki oblak. Slika 3 prikazuje nekaj satelitskih posnetkov z »netipičnimi« oblaki.



Slika 3: Dnevni prizori senzorja MODIS, ki prikazujejo »nepravilne« oblake (Prata in Corradini, 2009). (a) Debeli pepelni stolpec ob izbruhu vulkana Ruang, (b) premikanje pepela in plina iz vulkana Karthala, (d) pepel prekriva sneg (Kluichevskoi vulkan), (e) izpust pepela in dima vulkana

Kluichevskoi poleti, (f) oblak plina, ki je zdravju škodljiv, iz industrijskega požara v Angliji, (g) izbruh prahu nad Kanarskimi otoki in (h) veter je raznesel pepel ob južni obali Islandije.

Z analizo podob v vidnem spektru je zelo težko nedvoumno razlikovati oblake pepela od drugih oblakov, ponoči pa je ta naloga še težja. Slednje je glavni razlog zakaj so se infrardeči podatki izkazali za najboljše. Tudi pri moji nalogi so uporabljene podobe posnete z infrardečim senzorjem, zato sem se osredotočil zgolj na infrardeče senzorje in metode odkrivanja pepela, ki za to uporabljajo infrardeče senzorje.

3 SATELITI IN SENZORJI SPOSOBNI ZAZNAVANJA PEPELA V ATMOSFERI

Veliko satelitov (v polarnih in geostacionarnih orbitah) nosi senzorje, ki izvajajo meritve v infrardečem spektru. Preglednica 1 prikazuje nekaj podrobnosti satelitskih senzorjev, ki so ob nekaterih predpostavkah sposobni zagotavljati celo oceno mase pepela. Dva izmed senzorjev iz preglednice 1 pa lahko izmerita veliko več. To sta senzorja AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) in IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer), ki imata zelo visoko spektralno ločljivost, in z uporabo več merskih kanalov je mogoče sklepati celo o mineralogiji pepela. Dejansko je tako mogoče razlikovati prah in izbruhan pepel ob izbruhu vulkana.

Preglednica 1: Lastnosti o satelitih in njihovih senzorjih, ki uporabljajo infrardeča merjenja (Prata in Corradini, 2009).

Satelit	Senzor	Prostorska ločljivost (km x km)	Časovna ločljivost (na dan)
NOAA, MetOp	AVHRR-2, -3	1 x 1	4
GOES	VISSR/VAS	5 x 5	24
GMS-5	VISSR	5 x 5	24
Terra/Aqua	MODIS	1 x 1	4
Aqua	AIRS	14 x 14	2
MetOp	IASI	12 x 12	2
MSG	SEVIRI	3 x 3	96

Sateliti: NOAA=National Oceanic and Atmospheric Administration; GOES=Geostationary Operational Environmental Satellites; GMS-5= Geostationary Meteorological Satellite-5; MetOp=EUMETSAT Polar System ; MSG=Meteosat Second Generation. Senzorji: AVHRR=Advanced Very High Resolution Radiometer; VISSR=Visible and Infra-Red Spin Scan Radiometer; MODIS=Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; SEVIRI= Spinning Enhanced Visible and Infra-red Imager

Različni satelitski senzorji ponujajo različne sposobnosti za odkrivanje pepela, zaradi spektralne pokritosti, časovnega vzorčenja in prostorske ločljivosti. Prav tako je potrebno upoštevati operativne vidike različnih senzorjev. AVHRR in SEVIRI se na primer štejeta za operativna senzorja, medtem ko sta ATSR in AIRS raziskovalna senzorja. Kljub vsemu pa vsi senzorji zagotavljajo podatke, čeprav z omejeno operativno zmogljivostjo.

4 METODE ZAZNAVANJA PEPELA V ATMOSFERI IN OPIS METODE UPORABLJENE NA MOJEM PRIMERU

Kot že omenjeno, je nedvoumno razlikovanje oblakov pepela od drugih vrst oblakov zelo zahtevno. Kot najbolj uporaben vir so se pri tem razlikovanju izkazali infrardeči podatki.

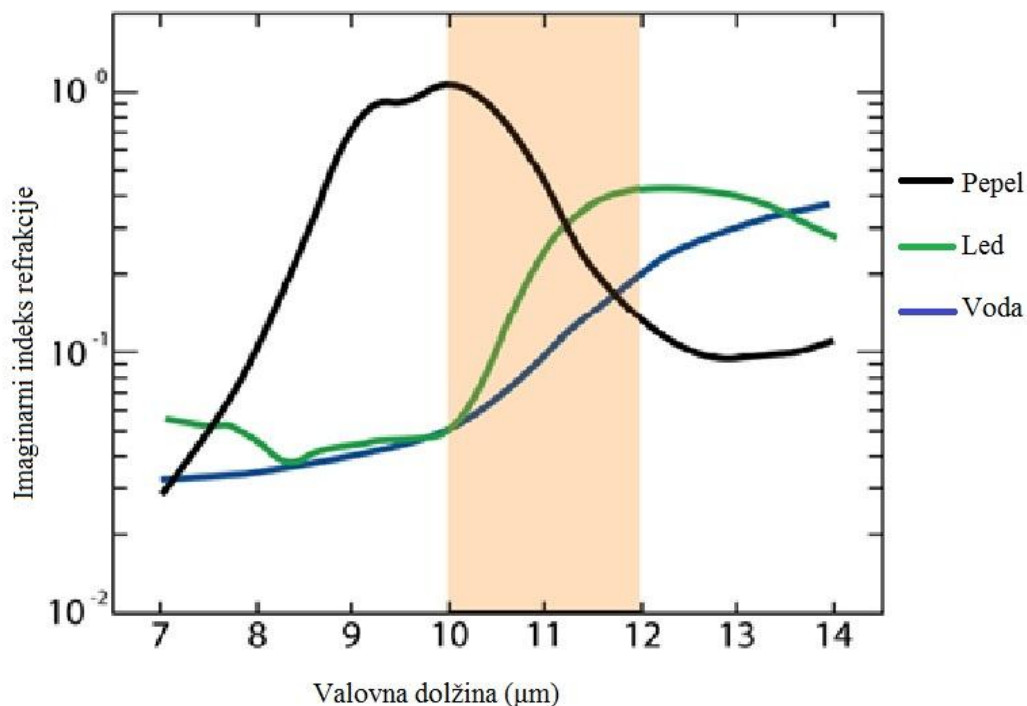
Preglednica 2: Povzetek algoritmov odkrivanja in tehnik prepoznavanja pepela, ki uporabljajo satelitske infrardeče in vidne kanalne podatke (Prata in Corradini, 2009).

Ime algoritma	Princip	Referenca
RA (Reverse Absorbation)	2-band IR (11 in 12 μm)	Prata(1989a,b)
Ratio 4-band	2-band IR (11 in 12 μm)	Holasek and Rose (1991)
TVAP (Three-band Volcanic Ash Product)	IR + Visible	Mosher (2000)
PCI (Principle Components)	3-band IR (3.5, 11, 12 μm)	Ellroad <i>et al.</i> (2003)
WVC (Water vapor correction method)	Multi-band principal components	Hilger and Clark (2002a; 2002b)
RAT (Ratio method)	2-band IR + water vapour correction	Yu <i>et al.</i> (2002)
3 - kanalni	3-band IR (3.5, 11, 12 μm)	Pergola <i>et al.</i> (2004)
	3-band (IR in Visible)	Pavolonis <i>et al.</i> (2006)

4.1 Metoda obratne absorpcije ali »deljenih oken«

Metoda ki je največkrat uporabljena za odkrivanje oblaka vulkanskega pepela, je metoda obratne absorpcije. Osnovni princip metode temelji na obnašanju, silikatnih (glavna komponenta pepela), vodnih in ledenih delcev (glavni komponenti meteoroloških oblakov) pri valovnih dolžinah med 10 in 12 μm (Prata, 1989).

Iz dobljenih spektralnih meritev izračunamo BTD (Brightness Temperature Difference) temperaturna razlika meritev v dveh kanalih na vrhu atmosfere. BTD se računa z razliko posameznih valovnih dolžin kanalov senzorja. Kjer je BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$) pozitivna, pomeni, da so to oblaki vode oz. ledu, kjer pa je razlika negativna, pa je tam po navadi oblak »čistega« pepela. Slika 4 prikazuje razmerje med gibanjem navideznega dela lomnega indeksa in valovno dolžino med 7 in $14 \mu\text{m}$ za pepel, led in vodo.



Slika 4: Prikazuje razmerje med gibanjem navideznega dela lomnega indeksa (absorpcija) in valovno dolžino med 7 in $14 \mu\text{m}$, za pepel, led in vodo (Poster Guehenneux, 2012).

Razlika temperature na vrhu atmosfere.

$IR_{10,8 \mu\text{m}} - IR_{12 \mu\text{m}} > 0 \rightarrow \text{voda, led}$

$IR_{10,8 \mu\text{m}} - IR_{12 \mu\text{m}} < 0 \rightarrow \text{vulkanski pepel}$

Metoda obratne absorpcije ima nekaj dobro dokumentiranih omejitev. Zlasti pri odkrivanju težav pod naslednjimi pogoji:

- v zelo vlažnih okoljih, kjer pri maski BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$) signal deluje negativno za vulkanski oblak;
- v puščavskih razmerah, če so tla bogata s kremencem;
- v hladnih ali zmrznjenih vulkanskih oblakih, v katerih je velika količina ledu;

- v nočnih pogojih brez oblakov v prisotnosti visoke toplotne sprostitve, ko lahko plast inverzije razvita pri tleh vodi do negativne BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$);
- za vrhove oblakov, ki presegajo tropopavzo, ki povzročijo negativen BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$) med temperaturno inverzijo v stratosferi.

Ti problemi včasih vodijo do podcenjevanja velikosti oblaka pepela, če je BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$) negativen signal prikrit. Zaradi velike količine lažnih alarmov, je včasih metoda obratne absorpcije lahko neučinkovita pri avtomatskem zaznavanju oblakov pepela.

4.2 Tri kanalna metoda

Ta algoritem temelji na dveh dvojnih kanalnih testih, ki uporabljata toplotno infrardeče kanale locirane na $10,8$ in $12 \mu\text{m}$, hkrati pa se uporablja tudi tretji kanal na valovni dolžini $8,7 \mu\text{m}$. Prvi test je isti kot pri metodi obratne absorpcije, kjer mora biti BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$) negativna pri zaznavi oblaka pepela. Drugi test pa uporablja razliko svetlosti temperature med valovnima dolžinama $8,7$ in $10,8 \mu\text{m}$ - BTD ($8,7 \mu\text{m} - 10,8 \mu\text{m}$) (Poster Guehenneux, 2012).

Drugi test ni namenjen odkrivanju oblaka pepela, temveč izključevanju tistih zemeljskih delov, na katerih prihaja ponoči do toplotne inverzije, ki je tudi vidna kot negativna BTD. Negativen BTD povzročijo jedra nekaterih konveksijskih oblakov, ki lahko prodrejo v stratosfero, kar povzroči temperaturno inverzijo na zgornji meji oblakov.

Test 1 (Prata, 1989).

$\text{IR}_{10,8 \mu\text{m}} - \text{IR}_{12 \mu\text{m}} > 0 \rightarrow \text{voda, led}$

$\text{IR}_{10,8 \mu\text{m}} - \text{IR}_{12 \mu\text{m}} < 0 \rightarrow \text{vulkanski pepel}$

Test 2 (Poster Guehenneux, 2012).

$\text{IR}_{8,7 \mu\text{m}} - \text{IR}_{10,8 \mu\text{m}} > 0 \rightarrow \text{vulkanski pepel}$

$\text{IR}_{8,7 \mu\text{m}} - \text{IR}_{10,8 \mu\text{m}} < 0 \rightarrow \text{drugi delci}$

Metoda "podvojeni dvojni" kanal rešuje problem napačnega razvrščanja slikovnih elementov gleda na nivo (plast) temperaturne inverzije, ki se lahko zgodi ob pogojih jasnih noči kot to definirata Platt in Prata (1993). Jedra nekaterih konveksijskih oblakov lahko prodrejo v stratosfero, kar povzroči strme temperaturne inverzije na zgornji meji oblakov, to pa povzroči negativni BTD ($10,8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$) (Poster Guehenneux, 2012).

5 ANALIZA ŠIRJENJA VULKANSKEGA PEPELA DO SLOVENIJE OB IZBRUHU VULKANA EYJAFJALLAJÖKULL NA ISLANDIJI

Podatke za opravljeno študijo so mi posredovali na ZRC SAZU, in sicer so to bili posnetki satelita MSG in senzorja SEVIRI, ki sta bolj podrobno opisna v prilogi A in B.

Za svojo obdelavo sem vzel vsak osmi posnetek, se pravi vsake dve uri. Satelitske posnetke sem obdelal s programom, ki sem ga napisal s pomočjo somentorja v programskem jeziku IDL. Satelitske posnetke sem moral projicirati na ravnino, za kar sem uporabil Lambertovo konformno projekcijo. Določil sem tudi geografsko širino in dolžino območja, katerega mi je program obdelal. Nato mi je program iz satelitskih posnetkov izdelal štiri TIFF (Tagged Image File Format) datoteke. Prva datoteka je razlika valovne dolžine 8,7 in 12 μm , druga je razlika valovnih dolžin 11 in 12 μm , tretja prikazuje kanal z valovno dolžino 11 μm in četrta barvno sliko RGB (Color model - Red, Green, Blue).

Ob izbruhu vulkana se je sprostil ogromna količina vode, kar je povzročilo, da je pepel na višini več kilometrov deloval kot kondenzacijska jedra, okoli katerih je zamrznila vodna para – »pepel je zamrznik«. Tako sem se odločil, da ločim oblak zamrznjenega pepel od navadnega pepela, za kar sem uporabil test 1 (Prata 1989) na sliki razlike valovnih dolžin 11 in 12 μm (BTD 11 μm - 12 μm). Potrebno je bilo določiti meji pri katerih je na sliki pepel in zamrznjen pepel, kajti v praksi po navadi ta meja ni točno 0 °C. Na podlagi preizkušanja in pregledovanja večjega števila posnetkov sem določil meji. Za pepel sem določil, da mora biti meja manjša od -0,8 °C in za zmrznjen pepel večja od 4 °C. Za -0,8 °C sem se odločil zato, ker je pri večji vrednostih preveliko število šumov in maska prikazuje tudi tiste pojave, ki niso zgolj pepel (prah). To sem ugotovil s primerjanjem RGB in posnetkom valovne dolžine 11 μm . Za mejo vrednosti 4 °C pa sem se odločil zato, ker imajo vrednosti večje od 0 °C tudi drugi pojavi, ki pa niso zamrznjen pepel (vodna para in vodne kaplje).

Test, ki sem ga uporabil pri lastni analizi v obliki enačbe.

$IR_{10,8 \mu\text{m}} - IR_{12 \mu\text{m}} > 4 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow$ zamrznjen vulkanski pepel

$IR_{10,8 \mu\text{m}} - IR_{12 \mu\text{m}} < -0,8 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow$ vulkanski pepel

Kljub tem mejam, pa so na maski vidne določene motnje, ki pa so lahko različne saje, prah, vodne kaplje, vodna para..., ki so se dvignile v ozračje ali pa so to posledice termalne relaksacije. To je predvsem vidno oz. motnje se pojavijo predvsem v nočnih časih, kjer bi predvidoma bolje deloval test 2 (Poster Guehenneux, 2012). Če je BTD (7,8 μm – 10,8 μm) manjši od 0 °C pomeni, da so prisotni drugi delci in da to ni pepel, če pa je BTD (7,8 μm – 10,8 μm) večji od 0 °C pa je pepel. Tako sem s pomočjo zgornje enačbe izdelal masko, ki prikazuje območje zamrznjenega vulkanskega pepela in vulkanskega pepela. Na podlagi dobljene maske, RGB slike in slike razlike valovnih dolžin 11 μm in

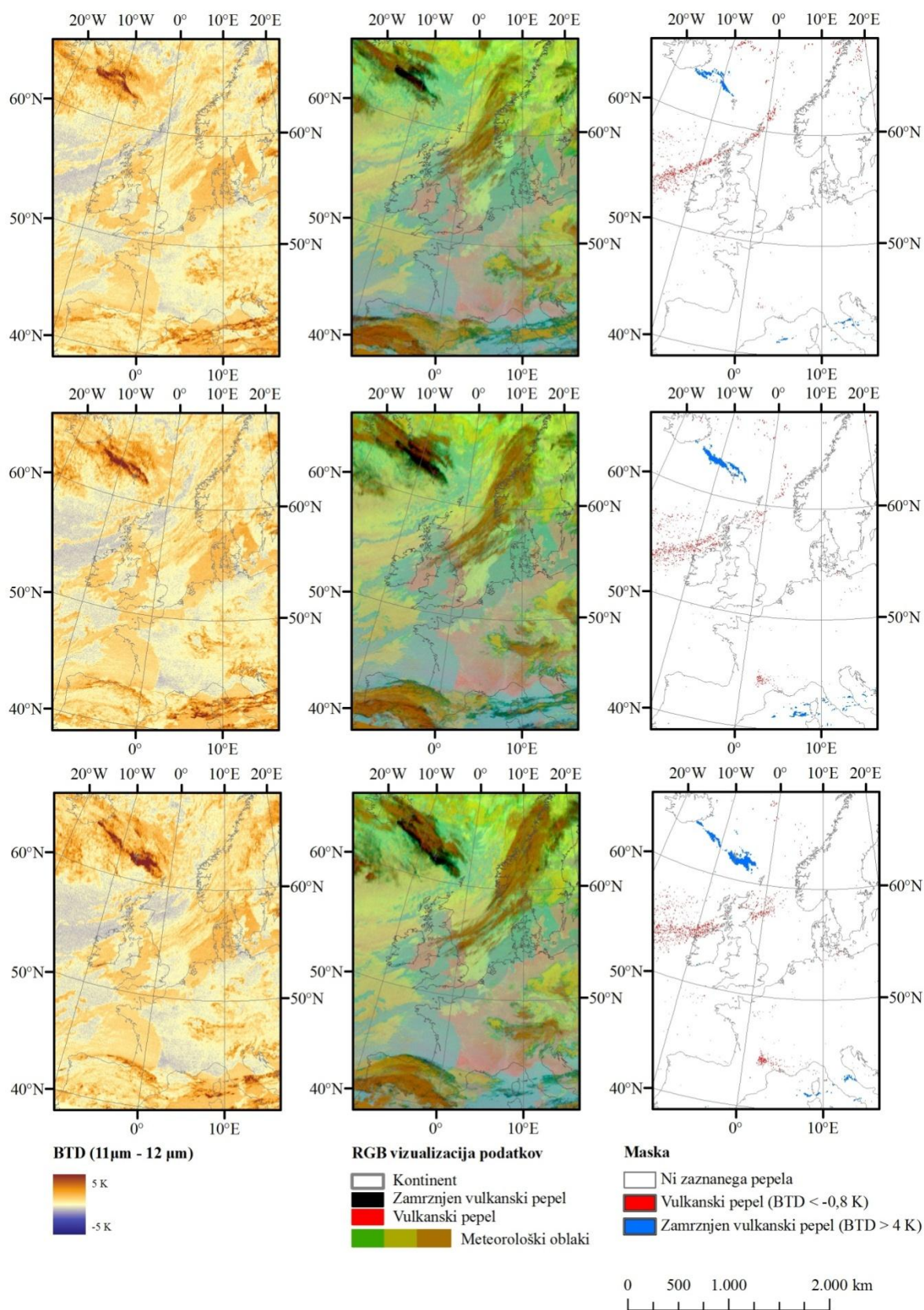
12 μm sem izdelal karte, v katerih sem prikazal prve 3 dni po izbruhu vulkana (Slike od 6 do 15). Takrat je bil vulkan najbolj aktiven in je najlažje razločiti vulkanski pepel od ostalih snovi v atmosferi.

Glede na to, da je pepel dosegel tudi Slovenijo (17.4.2010) sem preveril oz pregledal satelitske posnetke tudi za ta čas (Slika 15). Pri izdelavi maske Slike 15 sem uporabil drugačne meje, zaradi majhne količine prispelega vulkanskega pepela. Ker je majhna količina pepela prispela do Slovenije je bil signal pepela slabši in sem moral posledično znižati meje.

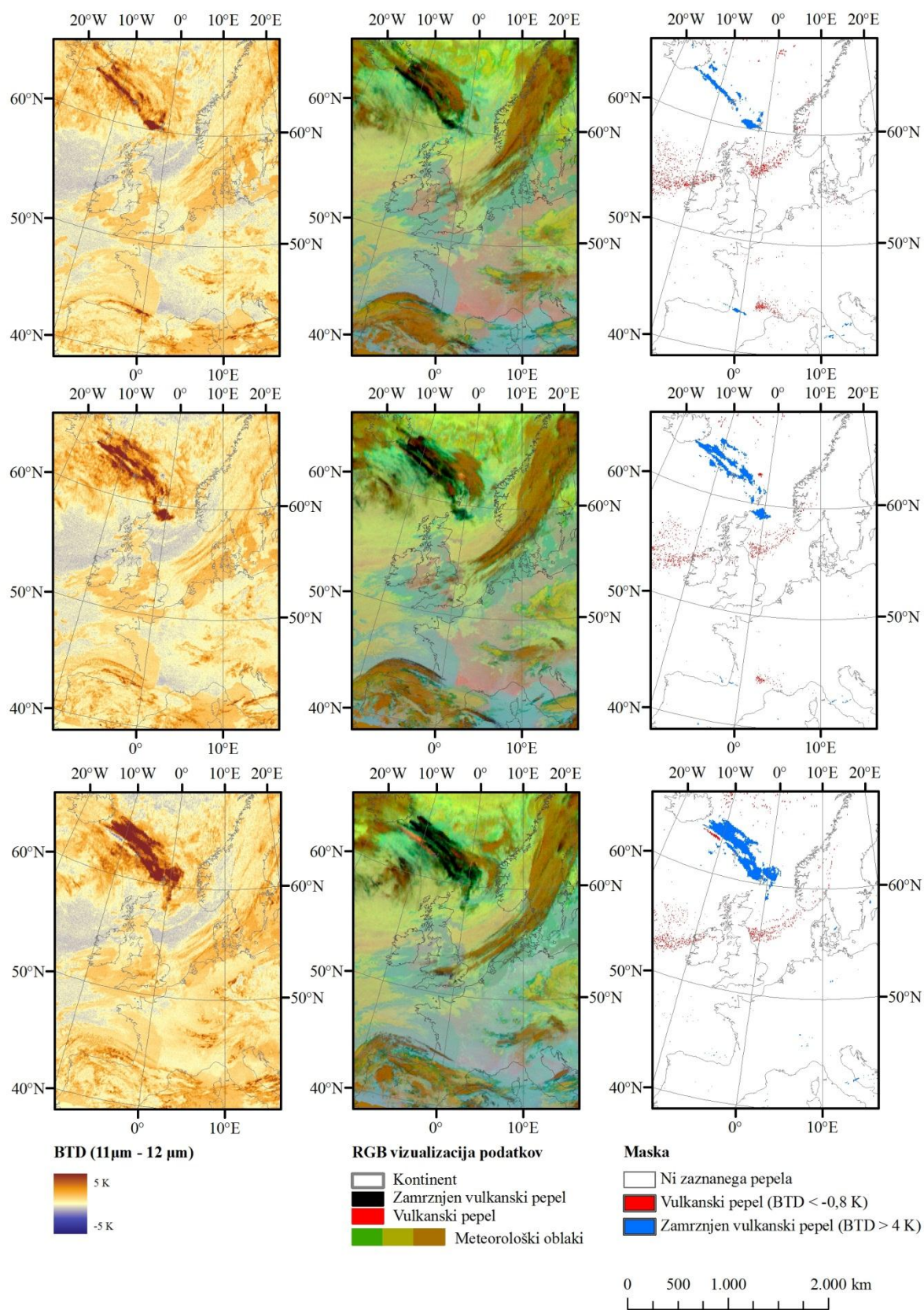
Test, ki sem ga uporabil pri lastni analizi za območje nad Slovenijo v obliki enačbe.

$IR_{10,8} \mu\text{m} - IR_{12} \mu\text{m} > 3 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \textit{zamrznejn vulkasnki pepel}$

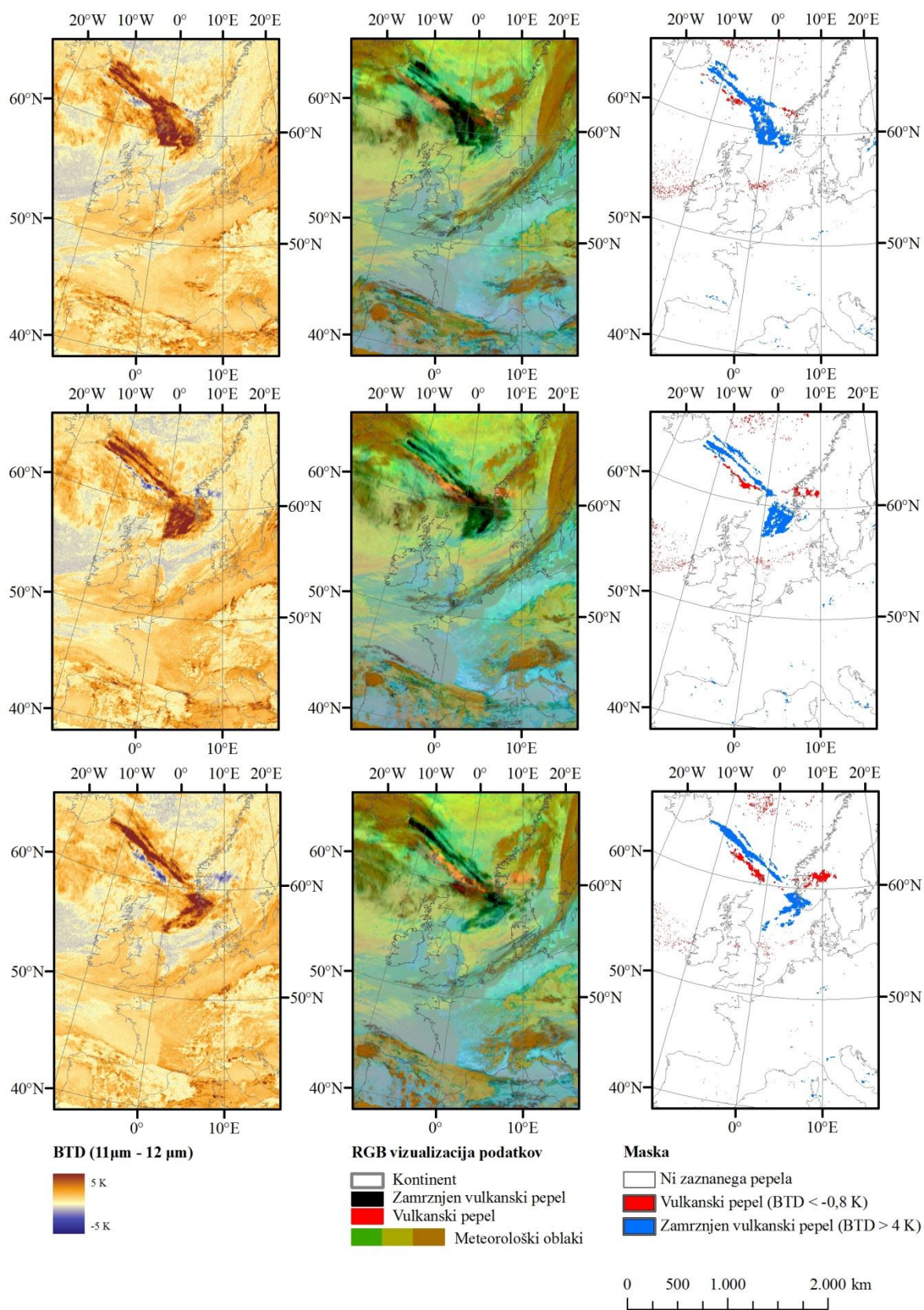
$IR_{10,8} \mu\text{m} - IR_{12} \mu\text{m} < -0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \textit{vulkanski pepel}$



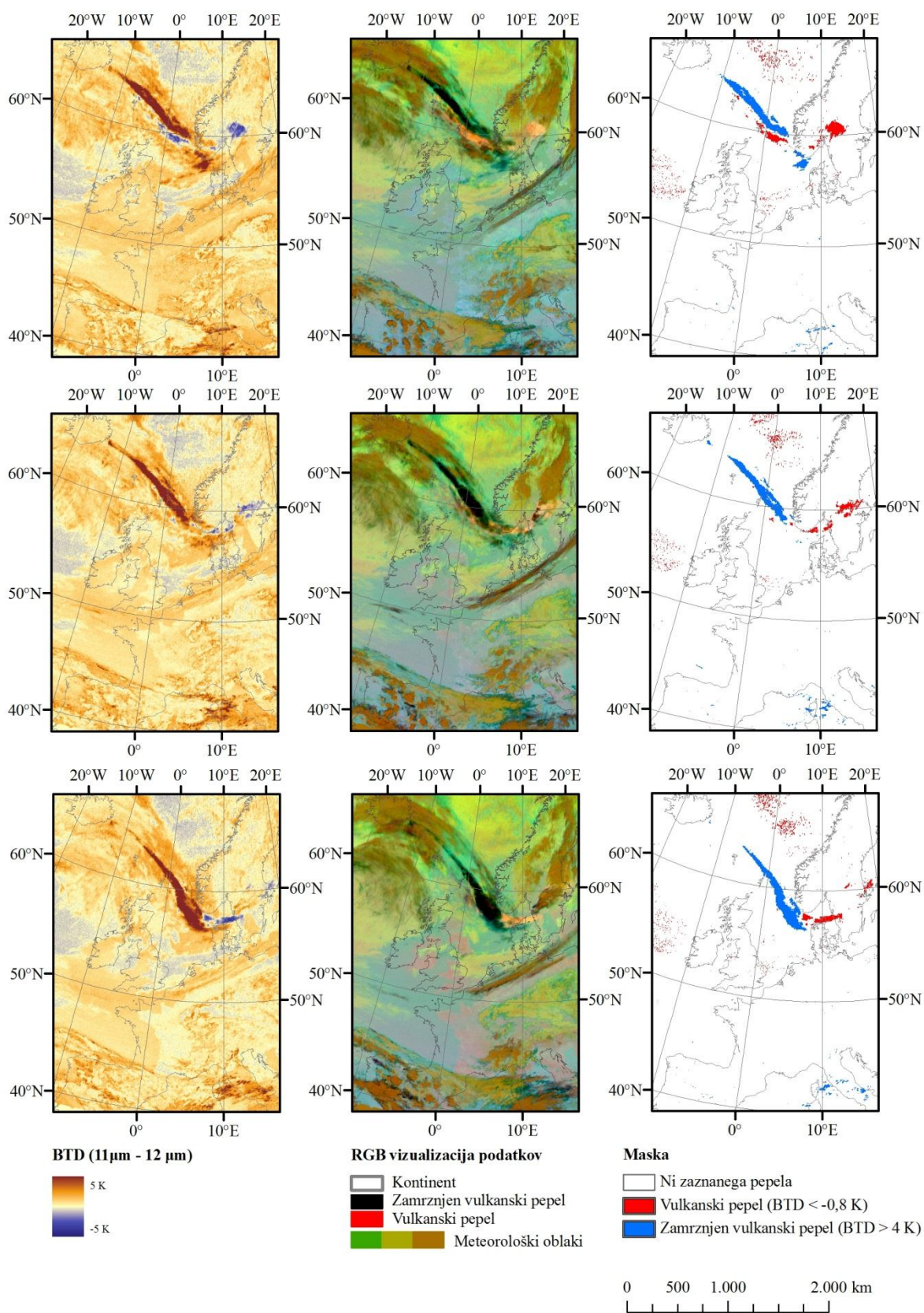
Slika 5: Rezultati za 14.4. ob 21:57 UTC (gornja vrsta), 23:57 UTC (srednja vrsta) in za 15.4. ob 01:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 µm in v desnem stolpcu končne maske.



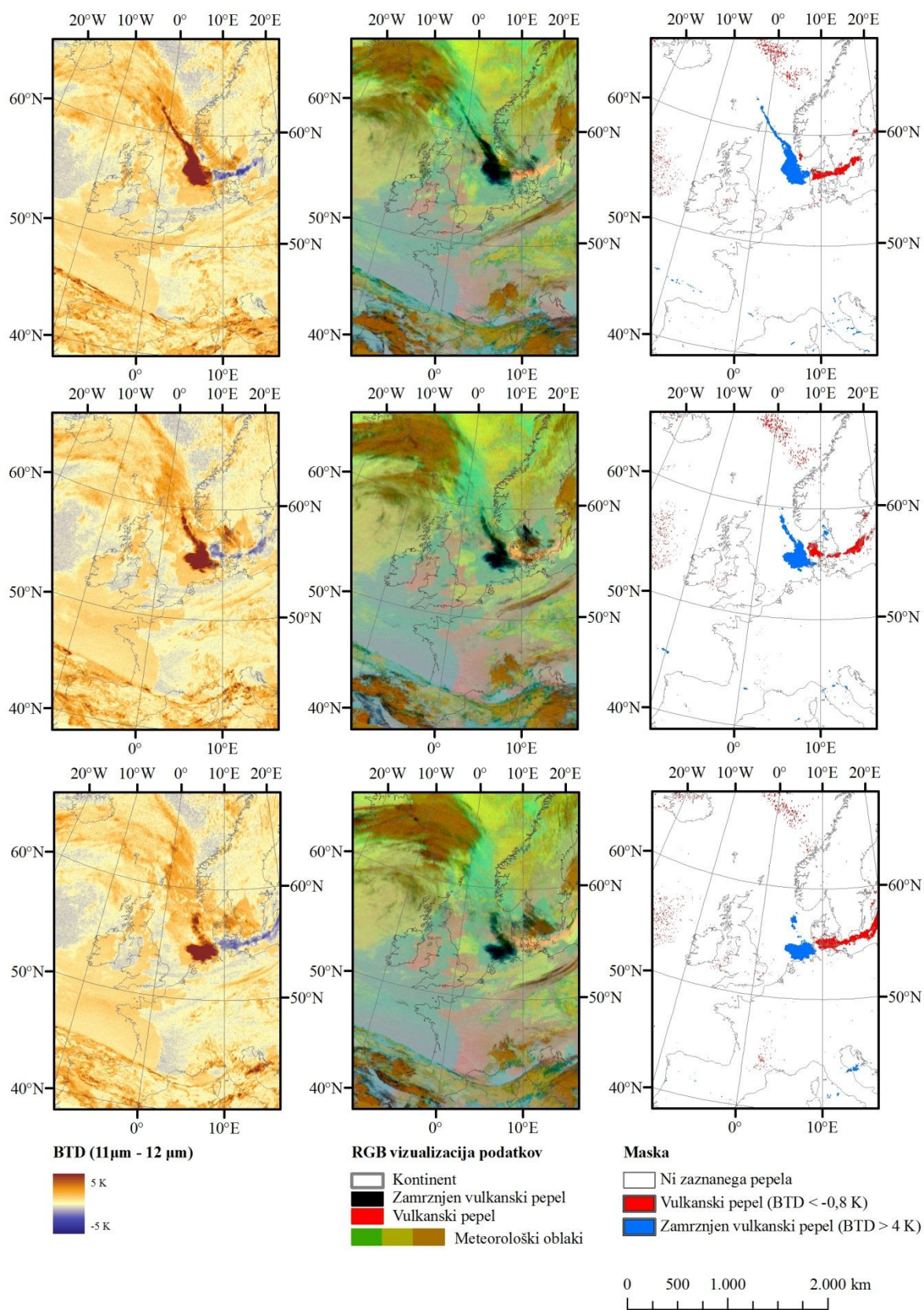
Slika 6: Rezultati za 15.4. ob 03:57 UTC (gornja vrsta), 05:57 UTC (srednja vrsta) in 07:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 μ m in v desnem stolpcu končne maske.



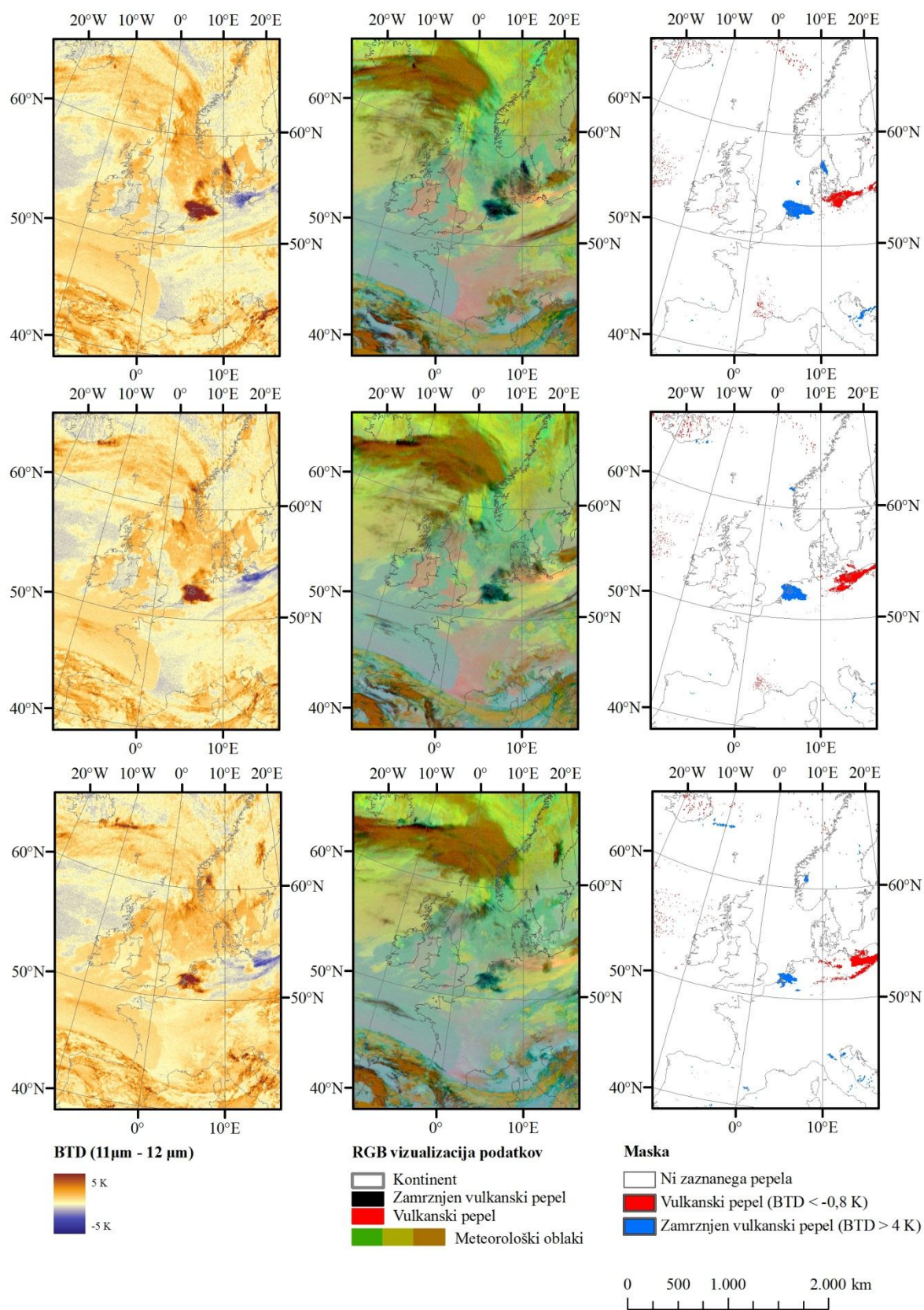
Slika 7: Rezultati za 15.4. ob 09:57 UTC (gornja vrsta), 11:57 UTC (srednja vrsta) in 13:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri $11\mu\text{m}$ in v desnem stolpcu končne maske.



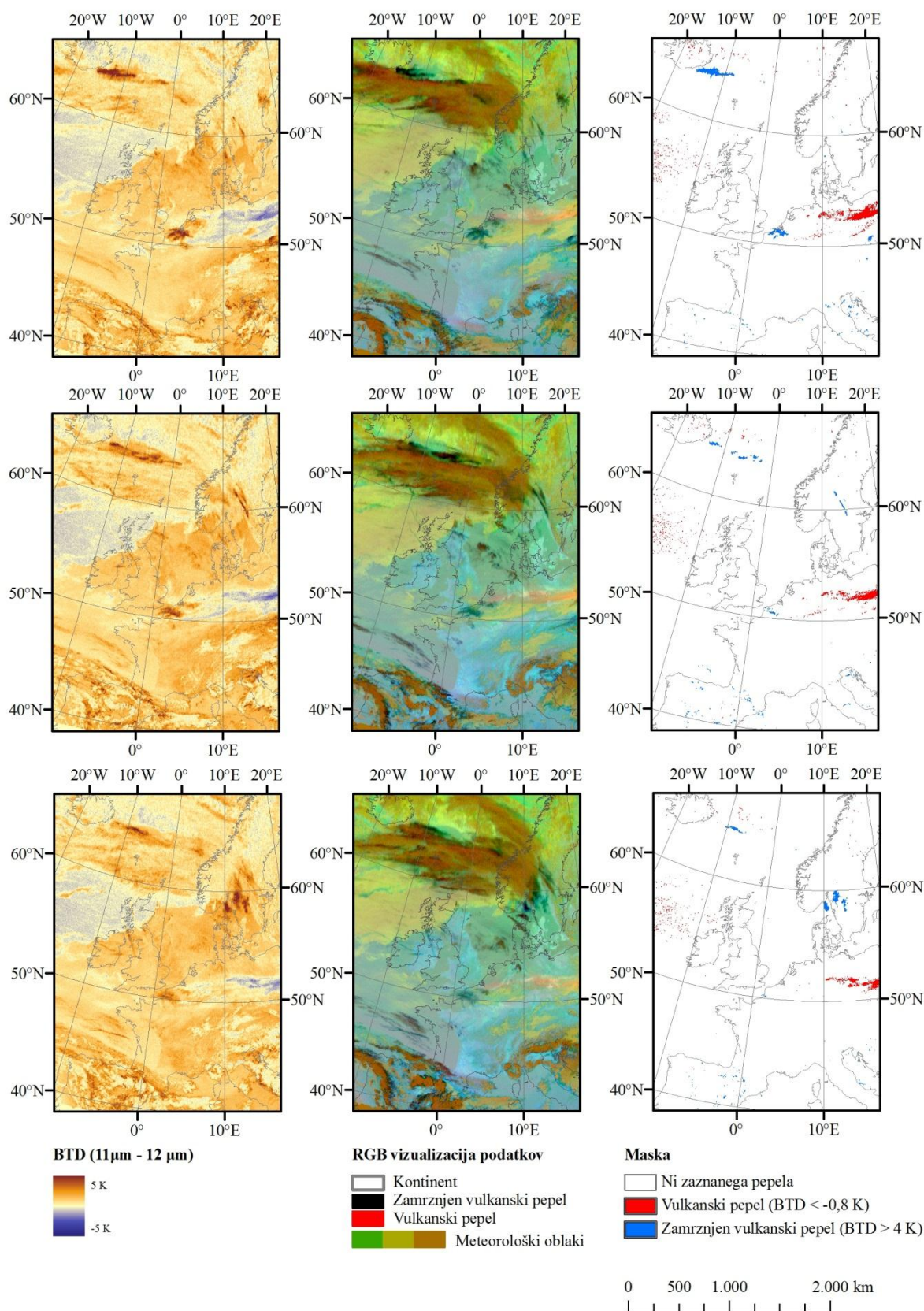
Slika 8: Rezultati za 15.4. ob 15:57 UTC (gornja vrsta), 17:57 UTC (srednja vrsta) in 19:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 μ m in v desnem stolpcu končne maske.



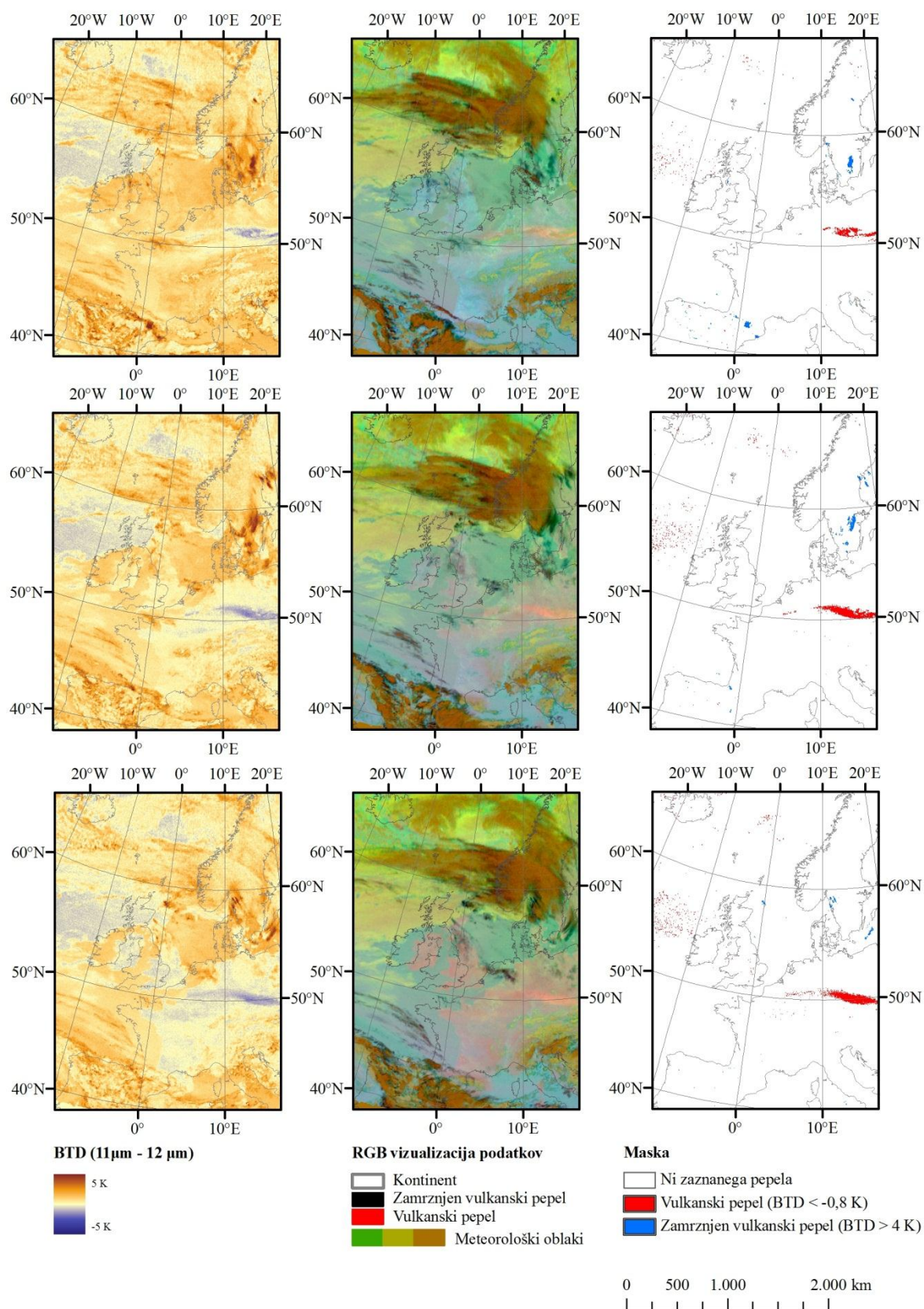
Slika 9: Rezultati za 15.4. ob 21:57 UTC (gornja vrsta), 23:57 UTC (srednja vrsta) in za 16.4. ob 01:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri $11\mu\text{m}$ in v desnem stolpcu končne maske.



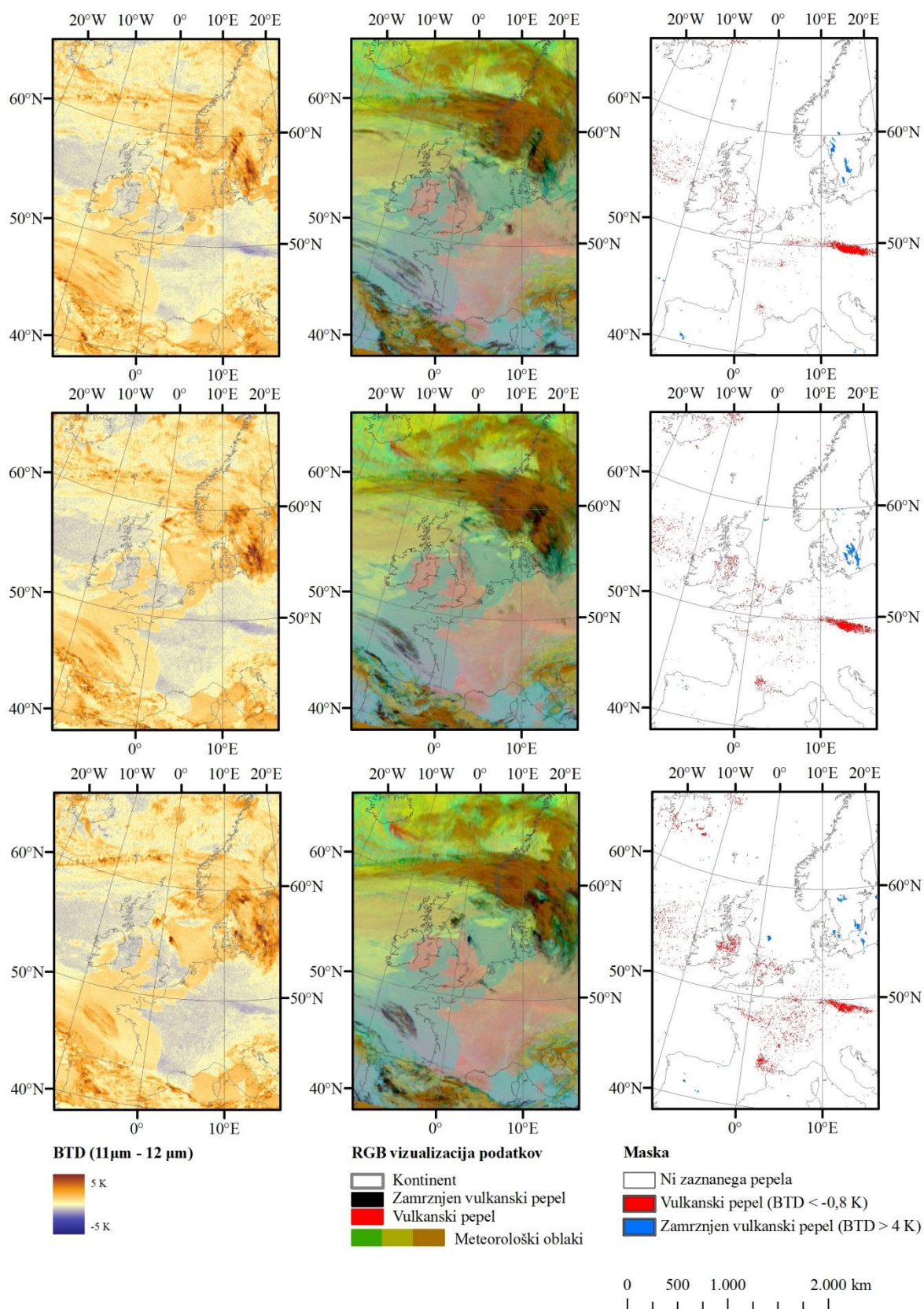
Slika 10: Rezultati za 16.4. ob 03:57 UTC (gornja vrsta), 05:57 UTC (srednja vrsta) in 07:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 μ m in v desnem stolpcu končne maske.



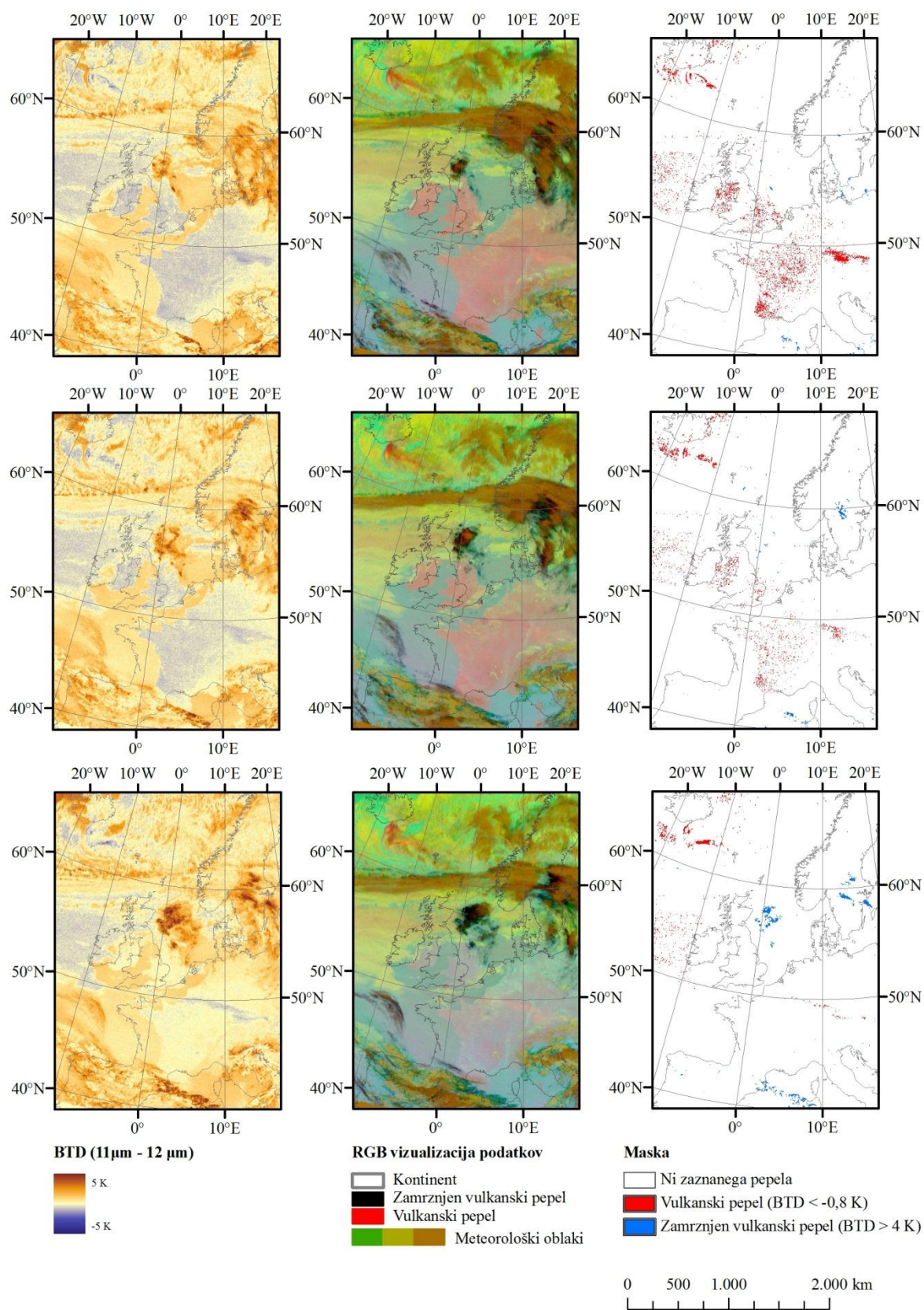
Slika 11: Rezultati za 16.4. ob 09:57 UTC (gornja vrsta), 11:57 UTC (srednja vrsta) in 13:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 µm in v desnem stolpcu končne maske.



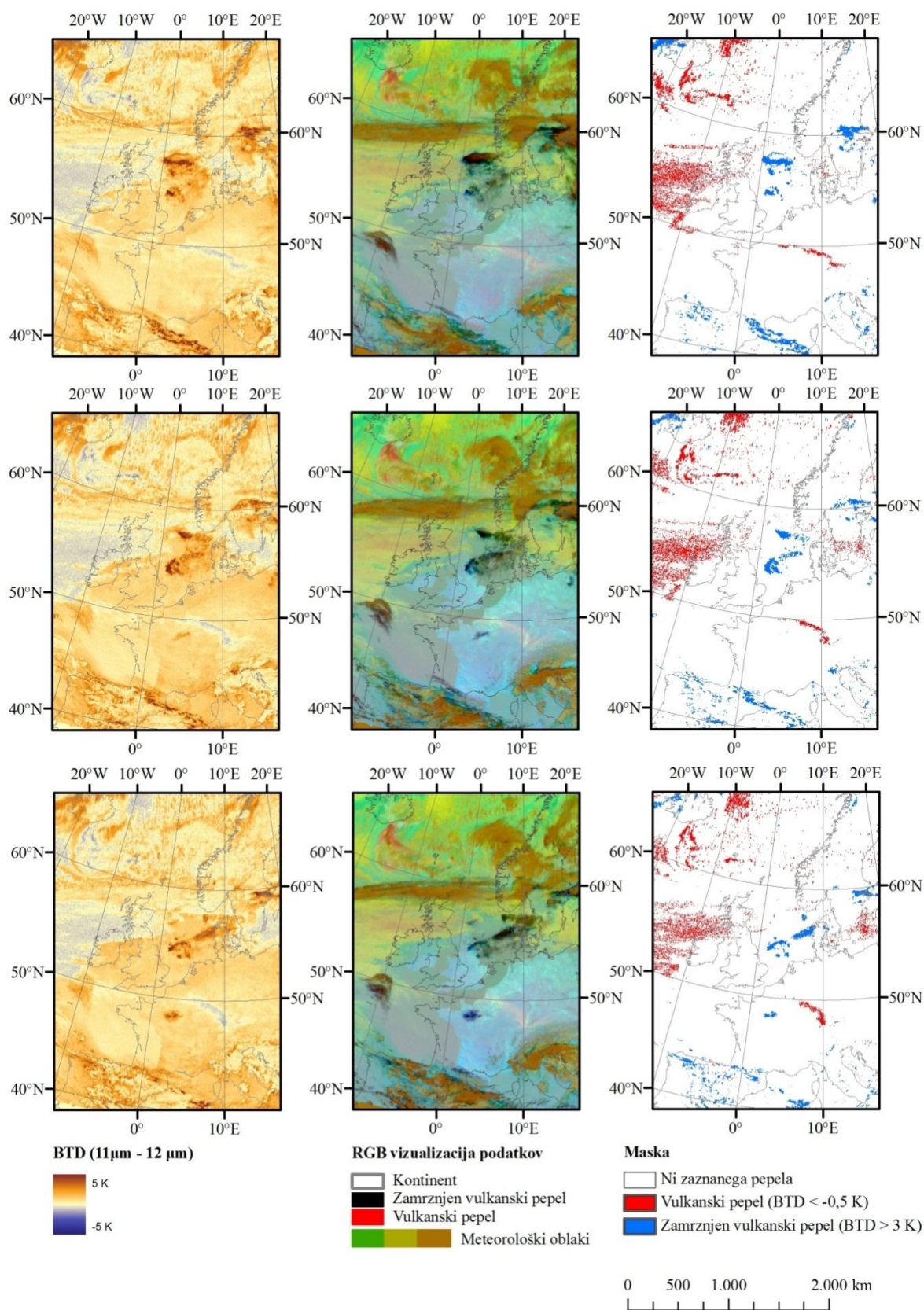
Slika 12: Rezultati za 16.4. ob 15:57 UTC (gornja vrsta), 17:57 UTC (srednja vrsta) in 19:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTM, na sredi RGB vizualizacija dveh BTM in merjene temperature pri $11\mu\text{m}$ in v desnem stolpcu končne maske.



Slika 13: Rezultati za 16.4. ob 21:57 UTC (gornja vrsta), 23:57 UTC (srednja vrsta) in za 17.4. ob 01:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri $11\mu\text{m}$ in v desnem stolpcu končne maske.

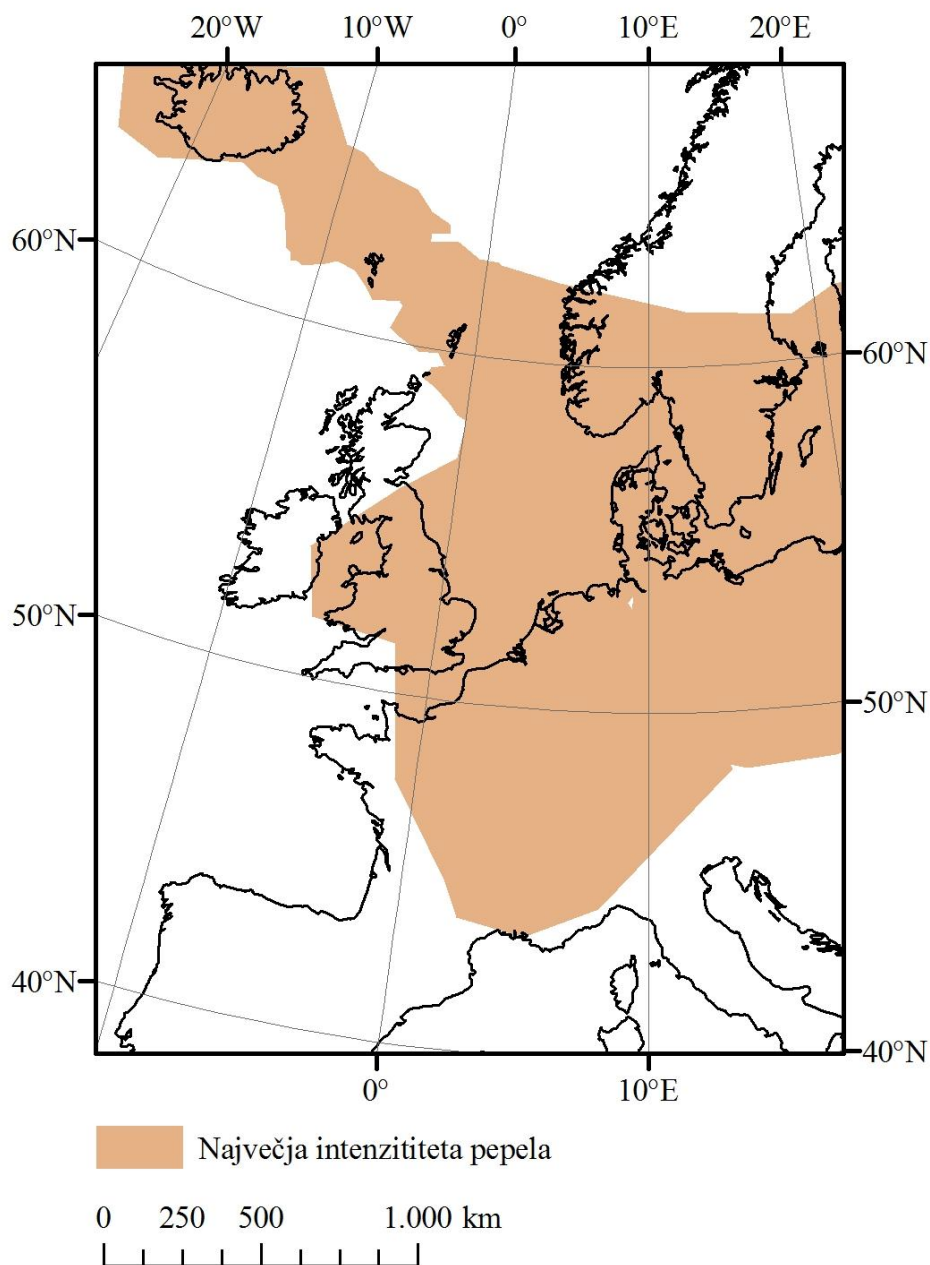


Slika 14: Rezultati za 17.4. ob 03:57 UTC (gornja vrsta), 05:57 UTC (srednja vrsta) in 07:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 μ m in v desnem stolpcu končne maske.



Slika 15: Rezultati za 17.4. ob 09:57 UTC (gornja vrsta), 11:57 UTC (srednja vrsta) in 13:57 UTC (spodnja vrsta). V levem stolpcu so prikazane BTD, na sredi RGB vizualizacija dveh BTD in merjene temperature pri 11 μm in v desnem stolpcu končne maske.

Iz pridobljenih mask sem določil in izdelal karto za območje največje intenzitete vulkanskega pepela (Slika 16).



Slika 16: Prikazuje območje največje intenzitete vulkanskega pepela po izbruhu vulkana Eyjafjallajökull.

6 KOMENTAR

Kot vidimo je na začetku izbruha vulkana zelo lepo viden oblak zamrznjenega pepela, kar je tudi razvidno iz maske (Slika 5). Pepel se je širil v zamrznjeni obliki vse do 15.4., nato pa se je v jutranjih urah pojavil tudi oblak pepela v nezmrznjeni obliki (Slika 6). Nato sta se oblaka skupaj širila proti skandinavskemu polotoku, kjer se je del nezmrznjenega oblaka širil proti vzhodu (Slika 8). Zamrznjeni del pa je potoval naprej proti jugu, centralni Evropi (Slika 7). Oba oblaka vulkanskega pepela sta se nato začela širiti proti jugu in vzhodu. 16.4. sta dosegla sever Nemčije, Poljske, Dansko in pribaltske države (Slika 9). Nato sta se oblaka ločila in nadaljevala širjenje vsak proti svoji smeri in sicer oblak zamrznjenega pepela se je širil proti zahodu, oblak navadnega pepela pa se je širil naprej proti jugu in vzhodu (Slika 10). 16.4. je bilo opaziti, da je ob 10. uri zjutraj oblak zamrznjenega pepela izginil. Opaziti pa je bilo tudi nov izbruh zamrznjenega vulkanskega pepela na Islandiji (slika 11), ki pa se je kasneje širil proti severu in ga tako ni bilo moč zaznati na mojem območju obravnave. Navadni vulkanski pepel pa se je širil dalje proti Sloveniji in jugu Evrope (Sliki 12, 13 in 14).

V nočnih posnetkih je veliko motenj na slikah mask, saj se ob tem pojavi problem termalne sprostitve, ki povzroča toplotno inverzijo. Na dnevnih posnetkih pa so lahko te motnje različne saje, vodna para... Za odstranitev teh motenj na nočnih posnetkih satelita, sem poskušal uporabiti tudi test 2 (Poster Guehenneux), kjer pa sem naletel na težavo. Test 2 pravi da naj bi bil vulkanski pepel vse kar zavzame BTD (8,7 μm – 10,8 μm) vrednosti večje od 0. Ko sem izdelal masko sem opazil, da je kljub vsem tem pogojem, prišlo do še večjih motenj. Na tem območju naj bi bilo, po testu 2, zelo velika količina vulkanskega pepela, kar pa seveda ni bilo res, saj je vulkanski pepel segel zgolj do severo-vzhoda Španije. Tako da sem pri svoji nalogi opravil samo test 1.

17.4., ko je dosegel pepel Slovenijo, pa tako majhne količine vulkanskega pepela ni bilo moč zaznati s senzorjem SEVIRI. Za pridobitev podrobnejše karte bi morali uporabiti senzorje večje prostorske (8MODIS, AVHRR) in spektralne ločljivosti (AIRS, IASI). Iz Slike 15 je razvidno, da se je vulkanski pepel ustavil na severni strani Alp. Nekaj zamrznjenega pepela pa je vidno na vzhodni strani Slovenije. Zaradi zmanjšanja mej, je opaziti tudi veliko več motenj na sami karti, kar pa je posledica, kot že prej omenjenih saj, vodne pare itd.

Na koncu pa sem izdelal še karto območja največje intenzitete vulkanskega pepela (Slika 16). Iz slike 16 je razvidno, da Slovenije ni dosegla najvišja intenziteta vulkanskega pepela. Dosegla pa je večji del srednje Evrope, del britanskega otočja in južni del skandinavskega polotoka. Iz slike lahko predvidevamo, da pepel ni prišel do Slovenije, zaradi gorske pregrade (Alpe). Tako smo v Sloveniji zaznali zgolj manjšo količino pepela, ki pa je kljub temu za nekaj časa ohromila letalski promet.

Če bi hoteli natančnejše karte in bolj podrobno spremljati širjenje vulkanskega pepela, bi bilo potrebno pridobiti satelitske posnetke s senzorjev, ki imajo boljšo prostorsko ločljivost. Hkrati pa bi morali upoštevati še višinske indikatorje.

Kot vidimo so vulkani bili dejavni v zgodovini in bodo tudi v naši prihodnosti, zato je smiselno vlagati denarna sredstva v razvoj senzorjev in samih satelitov ter izboljšavo tehnik za zaznavanje vulkanskega pepela v atmosferi. Z izboljšanjem tehnik in obdelave samih satelitskih in drugih posnetkov, bi lahko povečali varnost letalskega prometa, tudi v primeru prisotnosti vulkanskega pepela v zraku. Tako bi se letalske družbe lahko izognile velikim materialnim, denarnim škodam in celo smrtnim žrtvam v letalskih nesrečah. Tehnike za odkrivanje vulkanskega pepela v atmosferi, ki so v uporabi v sedanjem času, imajo pomanjkljivosti, ki pa bi se jih dalo izpopolniti.

VIRI

Uporabljeni viri

Blogovitch, K. 2012. MSG-3- Launch Campaing. Blogovitch Kirill blog, objavljeno 6.6.2012.
<http://msg-3launchcampaign.blogspot.com/2012/04/msg-for-dummies.html> (Pridobljeno 13.7.2012.)

British Geological Survey (BGS). Eyjafjallajökull eruption, Iceland. April, May 2010.
http://www.bgs.ac.uk/research/volcanoes/icelandic_ash.html (Pridobljeno 12.7.2012.)

European Space Agency (ESA). MSG. 2012.
http://www.esa.int/esaMI/MSG/SEM44FULWFE_0.html (Pridobljeno 13.7.2012.)

Guehenneux, Y., Labazuy, P., Harris, A., Gouhier, M. 2012. A three – band method to improve automated volcanic ash clouds detection in 8 to 14 μ m satellite data.
<http://www.memovolc.fr/images/summerschool2012/posterabstracts.pdf> (Pridobljeno 12.7.2012.)

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, ZRC: 250 str.

Prata, A.J., Bernardo, C. 2009. Retrieval of volcanic ash particle size, mass and optical depth from a ground-based thermal infrared camera. Journal of Volcanology and Geothermal Research 189 (2009) 91 – 107.
[doi: 10.1016/j.volgeores.2009.02.007](https://doi.org/10.1016/j.volgeores.2009.02.007)

Prata, A.J., Bernardo, C. 2007. Retrieval of volcanic SO₂ column abundance from Atmospheric Infrared Soundar data. Journal of geophysical research, vol.112, D20204.

[doi: 10.1029/2006JD007955](https://doi.org/10.1029/2006JD007955)

Prata, A. J.(1989) 'Observations of volcanic ash clouds in the 10-12 μm window using AVHRR/2-data', International Journal of Remote Sensing, 10: 4, 751 — 761

[doi: 10.1080/01431168908903916](https://doi.org/10.1080/01431168908903916)

Prata, A.J., Tupper, A. 2009. Aviation hazards from volcanoes: the state of the science. Springer Science+Business Media B.V.

[doi: 10.1007/s11069-009-9415-y](https://doi.org/10.1007/s11069-009-9415-y)

Prata, F., Corradini, S. 2009. Algorithm Theoretical Basis Document: Volcanic Ash Algorithms-V2.0. Norwegian Institute for Air Research, University of Bremen, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna..

<http://savaa.nilu.no/LinkClick.aspx?fileticket=FXa96OVpq8Y%3D&tabid=3207&mid=6934>

Program odprave posledic škode letalskih prevoznikov in letališč zaradi potresnih aktivnosti na Islandiji in posledično vulkanskega pepela v aprilu 2010 (izvajanje v letu 2010 in 2011). Sklep št. 41008-23/2010/2.

http://www.vlada.si/fileadmin/dokumenti/si/sklepi/seje_vlade/113_seja/113sv26a.pdf

(Pridobljeno 12.7.2012.)

Ostali viri

Prata, A.J., Grant, I.F. 2001 Retrieval of microphysical and morphological properties of volcanic ash plumes from satellite data: Application to Mt Ruapehu, New Zealand. Q.J.R. Meteorol. Soc. (2001), 127, pp.2153-2179.

SEZNAM PRILOG

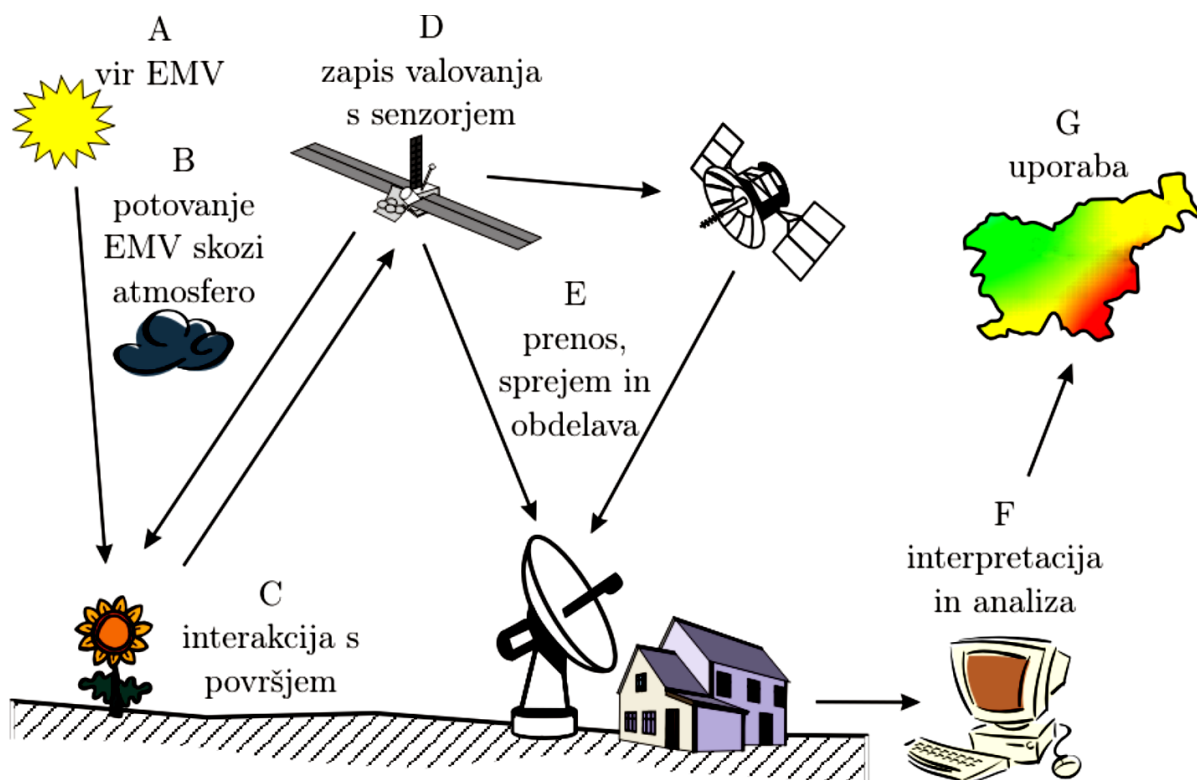
PRILOGA A: Daljinsko zaznavanje.

PRILOGA B: MSG satelit in senzor SEVIRI.

PRILOGA A

DALJINSKO ZAZNAVANJE

Daljinsko zaznavanje je znanost pridobivanja informaciji o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposreden stik. Pri tem zaznavamo in zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valovanje, ga obdelujemo, analiziramo in uporabljamo v različnih aplikacijah (Oštir, 2006). Daljinsko zaznavanje je znanost, ki je uporabna na zelo veliko področjih. Ena izmed teh področji so meteorologija, geodezija, geologija, hidrologija, gradbeništvo, kmetijstvo, ekologija in oceanografija. Ne uporablja pa se samo v namene opazovanja zemeljskega površja, vendar se uporablja tudi za opazovanje atmosfere in preučujemo njene lastnosti, kot je primer opazovanja vulkanskega pepela v ozračju.. Pri postopku daljinskega zaznavanja (slika A.1) ločimo sedem delov (Oštir, 2006):



Slika A.1: Osnovni postopek daljinskega zaznavanja zemeljskega površja (Oštir 2006).

A. Vir elektromagnetnega valovanja: Sonce je najpogostejši izvir elektromagnetnega valovanja, uporabljajo pa se tudi umetni viri (radarske antene).

B. Potovanje skozi atmosfero: Valovanje potuje skozi atmosfero in z njo integrira. Atmosfero prečka enkrat, od površja do senzorja ali pa dvakrat, od sonca ali drugega umetnega izvora – do površja in nazaj do sprejemnika

C. Interakcija s površjem: Elektromagnetno valovanje se na površju lahko, v odvisnosti od vpadnega kota valovne dolžine in lastnosti površja na katero pade sevanje, odbije, absorbira ali prodre skozi snov.

D. Zapisovanje valovanja s senzorjem: Senzor s katerim zapisujemo odbito ali sevano valovanje, se lahko nahaja na različnih platformah.

E. Sprejem, prenos in obdelava: Signale, ki jih zabeležijo se praviloma prenesejo v elektronski obliki z radijskim valovanjem do sprejemne postaje na Zemlji. Tam se podatki obdelajo in ustvarimo podobo v tiskani ali digitalni obliki.

F. Interpretacija in analiza: Obdelano podobo interpretiramo na dva načina, in sicer vizualno ali digitalno. Pri tem pa želimo prikazati čim več informacij o opazovanem predmetu.

G. Uporaba: Možnosti uporabe posnetkov daljinskega zaznavanje je zelo veliko. To so: analiziranje in opazovanje vremena, analiziranje in opazovanje atmosfere, vključevanje v GIS-e, opazovanje površja in prsti, odkrivanje kamnin in rudnin, določanje pokritosti in rabe tal, ekologija in varstvo narave...

PRILOGA B

MSG SATELIT IN SENZOR SEVIRI

Prvi satelit MSG (MSG-1) je bil izstreljen 28.8.2002 in postal operativen 29.1.2004.

Drugi satelit MSG (MSG-2) je bil izstreljen 21. 12. 2005 in tretji (MSG-3) (slika B1) 5.6.2012. Vsi so bili izstreljeni na Ariem 5 iz istega lansirnega mesta in sicer Kourou v Francoski Gvajani (Južna Amerika). Izstrelitev četrtega satelita (MSG-4) je planirana v letu 2014, kar pa naj bi predstavljalo tretjo generacijo Metosat satelitov. MSG-2 trenutno služi, kot glavni operativni meteorološki satelit za Evropo. Kmalu pa bo to vlog prevzel satelit MSG-3 (ESA 2012).



Slika B.1: MSG-3 v pripravi za izstrelitev (ESA).

Kako deluje MSG satelit

MSG -2 nadzoruje četrtino Zemlje in njenega ozračja iz fiksne pozicije v geostacionarni orbiti na 0° zemljepisne dolžine, 35 800 km nad Gvinejskim zalivom zahodne obale Ekvatorialne Afrike. MSG-1 pa je sedaj na 9,5° zahodne zemljepisne dolžine. Satelit pošlje surove podatke iz senzorjev SEVIRI in GERB (Geostationary Earth Radiation Budget) v Eumetsat nadzorni in predelovalni center v

Darmstadt, Nemčija, po svoji primarni zemeljski nadzorni postaji v Usingen-u. GERB podatki pa se posredujejo v obdelavo v Oxford, Velika Britanija.

Eumetsat s pomočjo drugih satelitskih aplikacij po celotni Evropi, zbira informacije s procesiranih SEVIRI podatkov in iz njih pripravi različne rezultate, ki so zelo koristni posebno za meteorologe in klimatologe. Uporabijo jih za izdelavo različnih diagramov vetrnih polj, zemljevidov vlage v zgornjem troposferskem pasu in različne analize oblike oblakov in višin le teh. Ti »izdelki« in predelane slike se distribuirajo do uporabnikov preko namenske storitve EUMETCast Direct Video Broadcast (DVB).

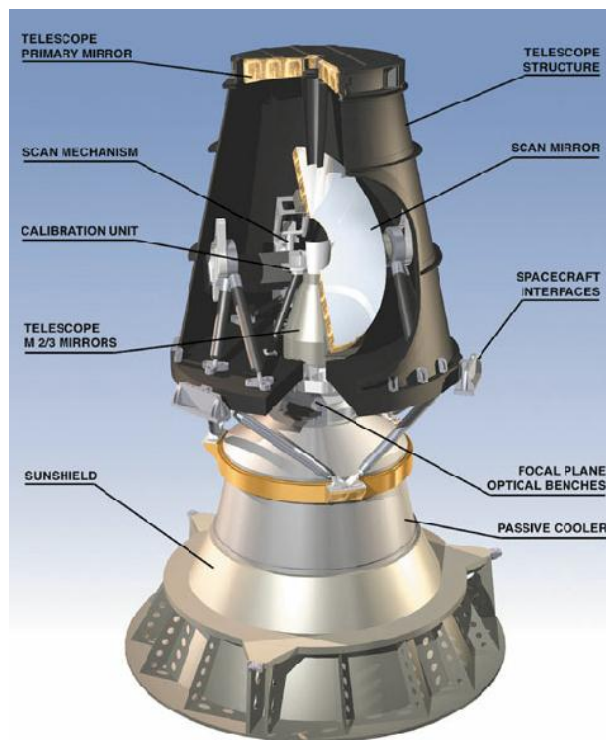
SENZOR SEVIRI

SEVIRI izdeluje podobe zemeljskega površja in atmosfere v 12-ih različnih valovnih dolžinah enkrat na 15 min, primerjava z tremi valovnimi dolžinami enkrat na 30 min za primerljive inštrumente prejšnjih satelitov Meteosat. Štirje kanali od 12ih gledajo na sončno svetlobo, ki se odbija od površine Zemlje in oblakov – v primerjavi s samo enim na satelitu Meteosat. Ostalih 8 kanalov pa spremlja toplotno infrardečo valovno dolžino – v primerjavi z dvema pri satelitu Meteosat. Štirje kanali od teh osem so namenjeni merjenju temperature oblakov, kopnega in površine morja, druga štiri pa zaznava valovno dolžino, ki jo oddajajo vodna para, ogljikov dioksid in ozon v ozračju.

Bogati posnetki SEVIRI-ja imajo veliko dodatne znanstvene in okoljske uporabe. SEVIRI-jeve aplikacije vključujejo spremljanje stanja vegetacije, zaznavanje izbruhov gozdnih požarov, sledenje peščenih viharjev v Sahari. Uporabljajo se tudi za opozorila vulkanskega izbruha in služi kot glavni vir podatkov za mednarodni projekt za merjenje temperature morske gladine.

Zgradba SEVIRI-ja

SEVIRI temelji na kompaktnem teleskopu in mehanizem za skeniranje, ki omogoča izvajanje velikega pasivnega hladilnika, kateri poveča sposobnosti IR detektorja, z znižanjem njihove delovne temperature. Slika B.2 prikazuje osnovno zgradbo senzorja SEVIRI-ja.



Slika B.2: Zgradba senzorja SEVIRI (ESA).

SEVIRI-jev radiometer je opremljen s patentiranim tri ogledalnim teleskopom s kompaktno obliko, ki omogoča vključitev majhnega črnega telesa za kalibracijo. Omogoča ponavljajoče dvodimenzionalno skeniranje slike Zemlje.

Kalibracijska enota: Mehanizem za vnos/odstranitev, majhno črno telo na optični poti, omogoča infrardečim kanalom natančno kalibracijo.

Gorišče ravnine in hladilnik:

Dvanajst kanalni detektorji so nameščeni v goriščnem delu ravnine teleskopa. Infrardeči detektorji se pasivno ohladijo s sistemom za optimizacijo njihovih radiometričnih sposobnosti

Odziv vsakega detektorja sevanja v tarče, se pretvori v elektronski signal s pred-ojačevalnikom in glavno enoto za zaznavanje.

Funkcionalne kontrolne enote: Instrument za nadzor in povezovanje z vesoljskega plovila so centralizirani v FCU, ki je odgovoren za pretok podatkov, nadzor slik in gospodarjenje.