# Prednosti satelitskih snimaka visoke vremenske razlučivosti u praćenju promjena na vrhovima konvektivnih oblaka

**Blašković, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:336071

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Marko Blašković

# PREDNOSTI SATELITSKIH SNIMAKA VISOKE VREMENSKE RAZLUČIVOSTI U PRAĆENJU PROMJENA NA VRHOVIMA KONVEKTIVNIH OBLAKA

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOGRAFIJA

**Marko Blašković**

Diplomski rad

# PREDNOSTI SATELITSKIH SNIMAKA VISOKE VREMENSKE RAZLUČIVOSTI U PRAĆENJU PROMJENA NA VRHOVIMA KONVEKTIVNIH OBLAKA

Voditeljica: doc.dr.sc. Nataša Strelec Mahović

Zagreb, 2016.

## Sažetak

U ovom su radu, korištenjem podataka iz dvije kampanje super brzih (2.5 minutnih) satelitskih snimaka snimljenih SEVIRI instrumentom na Meteosat satelitima druge generacije, analizirani premašujući vrhovi (eng. overshooting top – OT), hladni prstenovi te hladne U/V strukture i njihova svojstva. Cilj je bio pokazati prednosti super brzih skenova Zemlje, naspram 5 i 15 minutnih skenova u analizi konvektivnih oblaka i njihovih premašujučih vrhova te zaključiti nešto više o procesima na vrhu oblaka i njihovoj povezanosti s ekstremnim vremenskim prilikama.

Analizom satelitskih snimaka u infracrvenom dijelu spektra u kanalu 10.8μm zapažene su strukture na vrhu oblaka, poput OT-a, hladnog prstena ili hladnih U/V struktura. Uočene neke bitne termičke karakteristike vrhova oblaka. Pokazalo se da OT, iako najviši ne mora biti i najhladniji dio oblaka. Iz usporedbi s podacima o vremenu pri tlu zabilježenim u ESWD bazi jasno je uočeno da su strukture na vrhu oblaka povezane s ekstremnim vremenskim pojavama pri tlu. U oscilacijama temperature na vrhovima konvektivnih oblaka uočeno je da je u sva tri promatrana slučaja u srednjem stadiju razvoja OT postao topliji od okolnih vrhova oblaka.

Usporedbom uzastopnih snimaka s različitom vremenskom rezolucijom pokazalo se da se kraćenjem vremena snimanja omogućuje detekcija većeg broja OT-ova, odnosno da se dužim intervalom između snimanja gubi informacija o samim strukturama na vrhovima oblaka i prijelazima između njih.

Na kraju je napravljena kratka analiza premašujućih vrhova, gdje je uočena povezanost pojave hladnih struktura vrha oblaka (prsten ili U/V) s pojavom tuče.

Uzrok hladnim prstenovima ili hladnim U/V na vrhu kumulonimbusa nije još u potpunosti poznat, no zbog njihove povezanosti s oblikom vremena/oborine pri tlu bitno je dalje istraživati procese koji dovode do takvih struktura.

## Sadržaj


1 Uvod ..... 1

*1.1 Uvjeti za nastanak jake konvekcije ..... 3*

*1.2 Strukture na vrhovima konvektivnih oblaka ..... 4*

2 Podaci i metode ..... 7

*2.1 Satelitski podaci ..... 7*

*2.2 Metode ..... 10*

*2.2.1 Analiza slika ..... 10*

3 Sinoptička analiza ..... 12

*3.1 Slučaj 1: 20.6.2013. ..... 12*

*3.2 Slučaj 2: 29.7.2013. ..... 15*

4 Rezultati ..... 17

*4.1 Slučaj ćelije iznad Leipziga, 20.6.2013. ..... 17*

*4.2 Slučaj ćelije iznad središnje Bavarske, 20.6.2013. ..... 23*

*4.3 Slučaj ćelije iznad središnje Češke, 29.7.2013. ..... 29*

5 Usporedba 2.5, 5 i 15 minutnih skenova ..... 34

*5.1 Broj zabilježenih OT-ova u odnosu na interval snimanja ..... 38*

6 Zaključak ..... 39

7 Literatura ..... 41

# 1 Uvod

Konvektivni oblaci i konvektivne oluje nastaju svakodnevno po cijeloj Zemlji kao posljedica jakog zagrijavanja, nestabilnosti atmosfere, velike količine vlage u atmosferi, utjecaja topografije itd. Konvektivne oluje praćene pljuskovitom oborinom, grmljavinom, tučom, pijavicama ili tornadima mogu uzrokovati velike štete, a nerijetko i ljudske žrtve.

Konvekcija ima veliku ulogu u prijenosu energije u mezoskali, a manifestira se u više oblika i dimenzija, od manjih kumulonimbusa preko superćelija i mezoskalnih konvektivnih sustava pa do mezoskalnih konvektivnih kompleksa koji zahvaćaju velika područja.

Konvektivne oluje ubrajaju se u najdestruktivnije pojave koje Zemljina atmosfera može proizvesti. Takvi oblaci, ako dovoljno narastu, mogu davati oborinu od preko $40mmh^{-1}$ i time prouzročiti poplave i bujice osobito u brdovitijim predjelima te tako stvoriti golemu materijalnu štetu i često ljudske žrtve.



Slika 1: Poplava nakon nevremena u Nizozemskoj

Uz jaku oborinu kumulonimbusi mogu, zbog snažnih vertikalnih struja prouzročiti jako razdvajanje i nakupljanje naboja unutar oblaka u području uzlazne struje i tako proizvesti jake grmljavinske oluje (Ziegler i MacGorman, 1994), što pak može uzrokovati velike štete u električnoj infrastrukturi.

Nakon intenzivne oborine i grmljavine, veliki kumulonimbusi, superćelije, mogu proizvesti pijavice i tornada, kao posljedicu uvlačenja zraka (velike vertikalne brzine) i velikih gradijenata vertikalne brzine. Tornada proizvode najjače vjetrove na Zemlji i oni sami mogu napraviti više štete nego oborina i grmljavinsko nevrijeme zajedno.



Slika 2: Primjer tornada, tornado u Oklahomi

Imajući u vidu mogući intenzitet i posljedice konvektivnih oluja razumljiva je i potreba za što boljim poznavanjem uvjeta za nastanak i razvoj konvektivnih oblaka. U brojnim se istraživanjima u analizi konvektivnih oblaka koriste podaci daljinskih mjerenja: radarskih, satelitskih, mjerenja električnih pražnjenja, koja omogućuju rano prepoznavanje potencijalno opasnih konvektivnih oblaka i praćenje njihovog razvoja.

Poseban naglasak u ovom je radu stavljen na premašujuće vrhove kumulonimbusa (OT-ove). OT-ovi su strukture na vrhovima konvektivnih oblaka, kupolastog oblika, koje nastaju kao posljedica jakih uzlaznih struja (Glickman, 2000). Zbog povezanosti OT-a s ekstremnim vremenskim prilikama (Mikuš i Strelec Mahović, 2012) važno je njihovo što ranije prepoznavanje i praćenje. OT su najbolje vidljivi na satelitskim snimkama oblaka i to osobito na snimkama visoke prostorne razlučivosti. A s obzirom na razmjerno kratak životni vijek OT-a u ovom se radu razmatraju prednosti satelitskih snimaka visoke vremenske razlučivosti u analizi OT-a i drugih struktura na vrhovima konvektivnih oblaka.

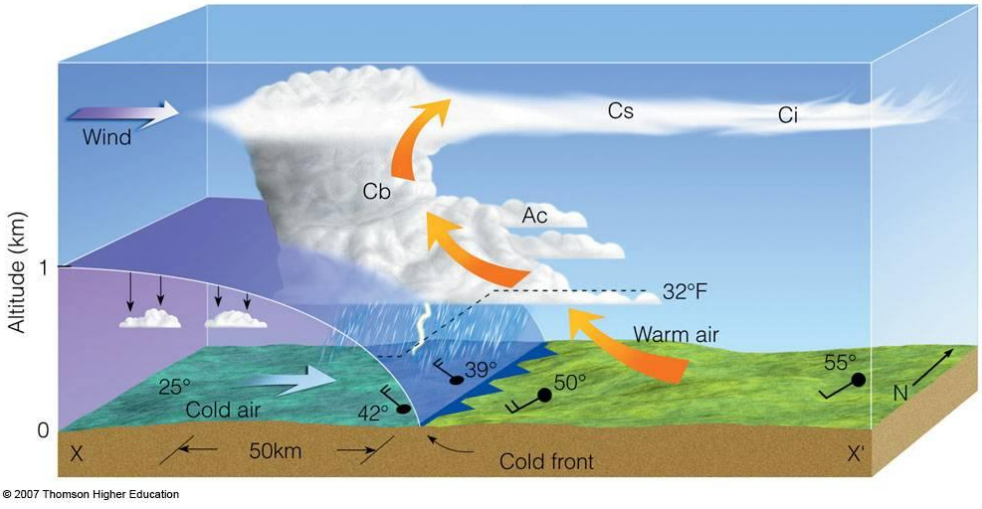
### *1.1 Uvjeti za nastanak jake konvekcije*

Konvekcija se u umjerenim širinama javlja najčešće u toplom dijelu godine, počevši od sredine proljeća pa do sredine jeseni. To ne znači da se konvekcija (čak i jaka) ne može vidjeti u hladnom dijelu godine, ali tada se obično radi o određenim ekstremnim sinoptičkim uvjetima. U toplom dijelu godine, zrak sadrži u sebi veliku količinu energije, što zbog vlage tj. vodene pare koju sadržava, što zbog same njegove temperature. Da bi se oslobodila ta potencijalna energija sadržana u zraku, potreban je okidač odnosno mehanizam koji će pokrenuti dizanje zraka i razvoj konvektivnog oblaka. Okidač može biti hladna fronta, koja prelazi preko toplog područja i uzrokuje podizanje toplog zraka, a može biti i vjetar povoljnog smjera koji će topli, vlažni zrak natjerati na dizanje uz obronke planine, hlađenje i na taj način stvoriti orografsku konvekciju.

Iz svega navedenog može se zaključiti da su tri glavna uvjeta potrebna za konvekciju (Doswell i sur., 1996):

- vlaga u nižem sloju atmosfere
- nestabilnost
- okidač koji će pokrenuti proces

Primjer nastanka konvekcije na hladnoj fronti:




Slika 3: Nastajanje konvektivnog oblaka na hladnoj fronti (izvor: Internet)

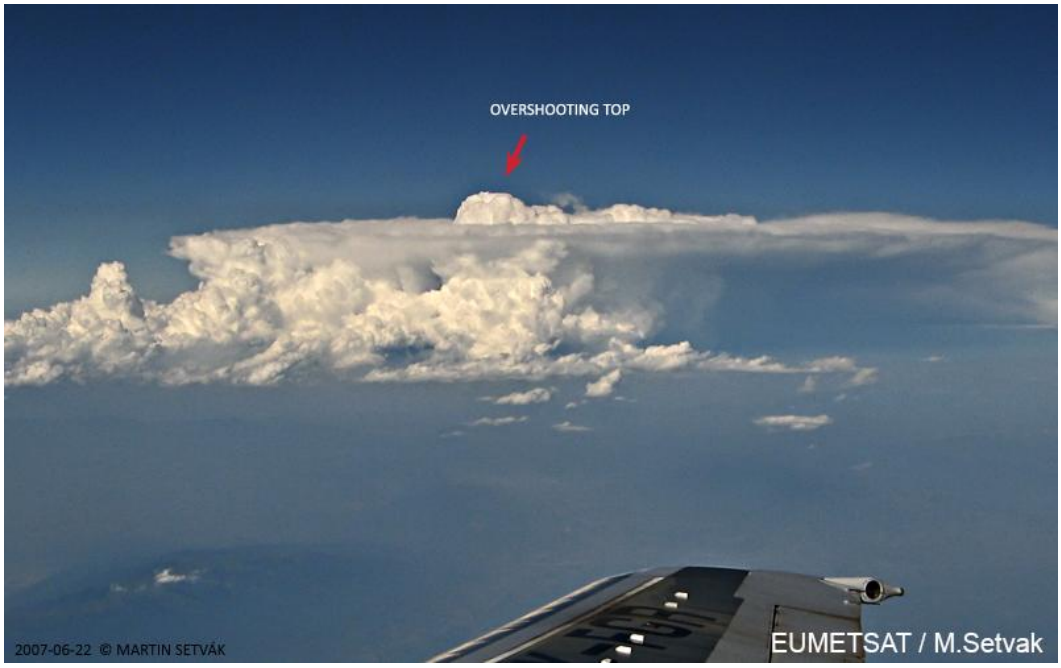
Zbog posljedica koje intenzivne konvektivne oluje mogu uzrokovati te njihovog razmjerno kratkog trajanja, brzog premještanja i često eksplozivnog razvoja važno je prikupiti što više informacija o njima, u što kraćem vremenu. Za praćenje i kratkoročno prognoziranje razvoja i premještanja konv. oblaka i sustava u praksi se uglavnom koriste satelitski i radarski podaci.

### *1.2 Strukture na vrhovima konvektivnih oblaka*

Kao posljedica jakih uzlaznih struja, na vrhovima konvektivnih oblaka nastaju određene strukture u čije je karakteristike dobiven uvid tek razvojem satelitstke tehnologije, jer zbog same prirode tih pojava nije postojao drugi način da se one detektiraju. Tipovi struktura koje se javljaju na vrhovima oblaka, a koje su promatrane u ovom radu su:

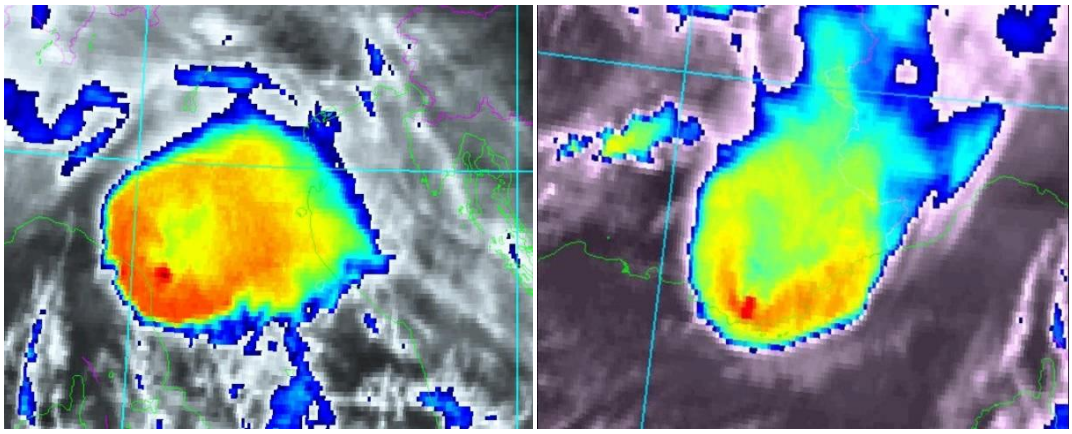
- *premašujući vrhovi* (eng. *overshooting top, OT*)
- *hladni prsten* (eng. *cold ring*)
- *hladni U/V* (eng. *cold U/V*)

OT su najzastupljeniji od navedenih struktura na vrhovima oblaka. Oni nastaju uslijed proboja jake uzlazne struje kroz stabilni sloj atmosfere (tj. kroz ravnotežni nivo, eng. equilibrium level) kako je definirano u Glossary of Meteorology (Glickman, 2000), mogu biti i do 2 km viši od okolnog nakovnja (Heymsfield i sur., 1991) i traju najčešće između 5 i 20 minuta (Bedka i sur., 2010). U slučaju da oblak ima izražen OT na svojem vrhu postoje šanse da će oblak proizvesti velike količine oborine, jako nevrijeme s vjetrom ili pak krupnu tuču pri tlu (Bedka, 2010; Dworak i sur., 2011; Mikuš i Strelec Mahović, 2012).




Slika 4**:** Primjer premašujućeg vrha (OT), fotografirano iz zrakoplova (izvor: www.convectivestorm.blogspot.hr)

Druge dvije navedene strukture, hladni prsten i hladni U/V (slika 5a i 5b), javljaju se rjeđe od OT-a, jer su za njih potrebni specifični uvjeti koje oblak i okolina u kojoj se oblak nalazi, moraju zadovoljiti. Neka istraživanja temeljena na analizi satelitskih snimaka, ali i modelima oblaka, pokazala su da je nastanak i hladnog prstena i hladnog U/V-a povezan s nastankom OT. Jedna od teorija njihova nastanka, prema Fujiti iz 1978. i Wangu iz 2007., je da hladni U/V nastaje tako da se OT ponaša kao prepreka strujanju na visini, te ga vjetar obilazi i nosi materiju dalje od OT-a u obliku U ili V. Nastanak obje strukture povezan je s intenzivnom uzlaznom strujom, a najbitnija razlika između uvjeta potrebnih za nastanak hladnog prstena u odnosu na uvjete u kojima nastaje hladni U/V je jačina termalne inverzije pri vrhu troposfere, u tropopauzi (Setvak i sur., 2008; Schlesinger, 1988) i jačina smicanja pri vrhu troposfere (Setvak i sur., 2008).



Slike 5 (a-b): Hladni prsten (5a) i hladni U/V (5b) na vrhu konvektivnog oblaka , prikazani na Meteosat Second Generation satelitskoj snimci u IR kanalu 10.8 μm. Boje na slici označavaju intervale temperature pri čemu je tamno plava toplija, a crvena hladnija. (izvor: www.eumetrain.org, SatManu)

Takve su strukture prvi put na satelitskim snimkama zapazili i opisali Mills i Astling, 1977. godine i već tada je zamijećeno da su OT-ovi probijali u troposferu u toplijem području oblaka koji je bio okružen hladnim regijama. I hladni prsten i hladni U/V vidljivi su isključivo u infra-crvenom dijelu spektra odnosno termalnim satelitskim kanalima (u ovom slučaju uzet je kanal 10.8 μm), jer se radi o termičkim strukturama. Za razliku od toga OT je najbolje vidljiv u solarnom (vidljivom) kanalu visoke rezolucije (HRV) zbog svoje 3D strukture.

Kumulonimbusi povezani s navedenim strukturama na svojim vrhovima gotovo uvijek daju oborinu jačeg intenziteta - jake pljuskove, velika zrna tuče i sl., što je pokazano

i istraživano u više navrata (Heymsfield i sur. 1983; Brunner i sur., 2007; Setvak i sur., 2008; Bedka i sur., 2010; Žibert, 2013). Topli dijelovi struktura mogu biti veličine od nekoliko piksela na snimci do čak 50-ak kilometara i njihova temperatura je od nekoliko stupnjeva pa sve do 10-12 K viša od temperature hladnog područja (Setvak i sur., 2008).

# 2 Podaci i metode

## *2.1 Satelitski podaci*

Početak satelitske meteorologije seže natrag u 60-e godine prošlog stoljeća godine (Weather satellite, www.wikipedia.org). Prvi satelit koji je smatran uspješnim projektom bio je TIROS-1 lansiran od strane NASA-e 1. travnja 1960. godine. Pomoću njega su napravljene prve uspješne vremenske prognoze sa satelitskim podacima i s njim su bili odrađeni prvi konkretni testovi instrumenata za snimanje Zemlje u svrhu meteorologije. Putanja satelita bila je polarna, iako su bile testirane i ostale.

Sljedećih 20-ak godina Sjedinjene Američke Države su dalje razvijale satelitsku tehnologiju i od 70-ih godina prošlog stoljeća do danas u orbitu oko Zemlje poslali 15 GOES satelita, kojima je SAD pratio i analizirao vremenske prilike na zapadnoj hemisferi. U Europi se također 70-ih godina pod upravom ESRO (European Space Research Organization, sada ESA, European Space Agency) počela razvijati satelitska tehnologija, lansiranjem prvog satelita Meteosat-1 u studenom 1977. godine kojeg je 4 godine kasnije naslijedio Meteosat-2. Nakon Meteosat-2 lansirano je još 5 satelita prve generacije. Prvi satelit druge generacije lansiran je 2002. godine, a nakon njega još 3 od kojih su dva operativna i 1 u pripremnoj fazi (Past Satellites, www.eumetsat.int).

Mnoge karakteristike vrhova oblaka, poput OT-a, razmjerno kratko traju (sam OT 5 do 20 minuta, Bedka i sur., 2010.) ili se brzo mijenjaju, tako da se visokofrekventnim snimanjem dobiva bolji uvid u procese. SAD u geostacionarnoj orbiti Zemlje imaju GOES-14 satelit koji može snimati u 1-minutnim intervalima (Schmitt i sur., 2013), dok Europa još nema takav instrument u orbiti. Iznad Europe smješteni su Meteosat Second Generation sateliti koji operativno snimaju cijeli Zemljin disk svakih 15 minuta, a Europu svakih 5 minuta. S obzirom na to da se analizom konvektivnih oblaka pomoću GOES 14 1-minutnih snimki pokazalo da OT kao i druge strukture na vrhovima konvektivnih oblaka mogu trajati i manje od 5 minuta, po preporuci radne grupe za konvekciju (Convective Working Group) EUMETSAT-a i ESSL-a provedeno je testiranje 2.5-minutnih skenova Europe 2012. godine (Meteosat-10, 24 sata) - 2013. godine (Meteosat-8, 4 dana po 12 sati) (Setvak i sur., 2014).

Podaci korišteni u ovom radu su podaci METEOSAT satelita druge generacije Meteosat-8 i Meteosat-10. Sateliti su pozicionirani iznad ekvatora, na 0° (Meteosat-10) i 3.5° istočne geografske dužine (Meteosat-8), na 36 000 km visine, rotiraju sa 100 okretaja

u sekundi oko svoje longitudinalne osi (www.eumetsat.int), koja je paralelna rotacijskoj osi Zemlje i snimaju u vremenskim intervalima od 15 minuta (nominalni interval) i 5 minuta (rapid-scan). Sateliti su opremljeni SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) instrumentom, koji snima Zemlju u 4 kanala u solarnom (vidljivom) dijelu spektra, 7 kanala u infracrvenom dijelu spektra i 1 vidljivom kanalu visoke rezolucije (High Resolution Visible - HRV) (Aminou, 2002). U prvoj kampanji 2.5-minutnog snimanja korišten je satelit Meteosat-10, a u sljedeće 4, 2013. godine, satelit Meteosat-8.

Tablica 1: Kanali SEVIRI instrumenta u kojima MSG satelit snima Zemlju; srednja valna duljina označena je lambdom (λ), osim u slučaju HRV, gdje pokazuje raspon valnih duljina.

| SEVIRI kanal | Oznaka | λ(μm) |
|---|---|---|
| 1 | VIS0.6 | 0.635 |
| 2 | VIS0.8 | 0.81 |
| 3 | NIR1.6 | 1.64 |
| 4 | IR3.9 | 3.90 |
| 5 | WV6.2 | 6.25 |
| 6 | WV7.3 | 7.35 |
| 7 | IR8.7 | 8.70 |
| 8 | IR9.7 | 9.66 |
| 9 | IR10.8 | 10.80 |
| 10 | IR12.0 | 12.00 |
| 11 | IR13.4 | 13.40 |
| 12 | HRV | 0.4-1.1 |

Za 2 kampanje 2,5 minutnog snimanja Setvak i sur. (2014) subjektivnom su metodom iz podataka u kanalu HRV odredili položaje svih OT-ova. Ta je baza podataka korištena u ovom radu. Primjer preciznijeg objektivnog određivanja položaja OT-ova prikazan je u radu Bedke i sur. (2010), gdje su korištene snimke u IR kanalu 10.8 μm i razlike temperatura (Brightness Temperature Difference, BTD) između kanala 10.8 μm i kanala vodene pare 6.2 μm. Na taj način mogu se vidjeti OT-ovi koji više ižaravaju od ostatka vrha, zbog vodene pare koja dospije u visoku tropopauzu i nisku stratosferu (Bedka i sur., 2010).

Za praćenje termalnih karakteristika vrhova oblaka korišteni su podaci snimljeni u kanalu 9 na valnoj duljini 10.8 μm. Taj infracrveni kanal je „pravi“ termalni kanal, jer se zračenje u tom dijelu spektra može direktno preračunati u temperaturu objekata odnosno površina koje satelit snima (Sobrino, Romaguera 2004; Peres, DaCamara 2004; Jiang, Li 2008). Na taj način može se mjeriti temperatura vrhova konvektivnih oblaka. Kanal 10.8 μm često se koristi na način da se pojedine vrijednosti temperature oboje različitim bojama

čime se postiže bolji uvid u termičku strukturu promatranih objekata, u ovom slučaju oblaka. Dodatna informacija o strukturi vrhova konvektivnih oblaka može se dobiti iz snimaka u HRV (high resolution visible) kanalu u kojem se zbog velike refleksivnosti i vertikalnog razvoja posebno ističu 3D strukture na vrhovima konvektivnih oblaka. U praksi se ta dva kanala kombiniraju u tzv. "sandwich" produkt, koji je zapravo kombinacija HRV snimke i poluprozirne obojane snimke u kanalu 10.8 μm što omogućuje istodoban uvid u temperaturu i strukturu vrhova konvektivnih oblaka.

Za analizu navedenih podataka sa satelita, korišten je programski paket McIDAS-V. McIDAS (eng. Man computer Interactive Data Access System) je razvijen i nadopunjavan od strane Space Science and Engineering Centre-a (SSEC) na sveučilištu Wisconsin-Madison od 1973. godine. Detaljnije informacije o McIDAS-V programskom paketu mogu se naći u članku Achtor i sur. (2008). Ostali rezultati koji su dobiveni iz slika s McIDAS-a, tj. satelitskih podataka, dobiveni su programima napisanim u programskom paketu Matlab.

### *2.2 Metode*

Podaci iz dvije kampanje 2.5-minutnih skenova iz 2013. godine vizualizirani su u programu McIDAS-V. Vizualizirane su snimke u infracrvenom dijelu spektra na valnoj duljini 10.8 μm. Ti podaci omogućuju procjenu temperature ("brightness temperature") vrha oblaka. To je temperatura određena preko radijance oblaka u dijelu spektra koji gledamo (Rosenfeld i sur., 2005):

$$R = CAL_{offset} + CAL_{slope} * Count$$

gdje je R radijanca koju računamo, $CAL_{offset}$ konstanta pomaka između vrijednosti piksela i fizikalnog značenja, $CAL_{slope}$ linearni koeficijent kalibracije, Count binarna vrijednost piksela (između 0 i 1023).

Temperatura se tada u infracrvenim kanalima računa kao:

$$T_b = \left[C_2 \nu_c / log\left(\frac{C_1 \nu_c^3}{R} + 1\right) - B\right] / A$$

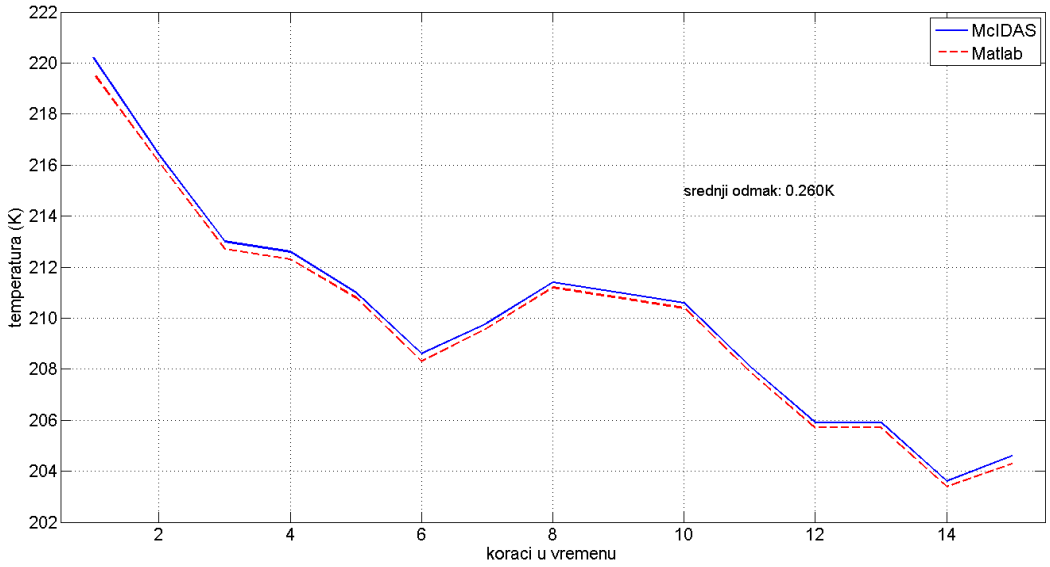
$C_1$ i $C_2$ su konstante, A i B su koeficijenti koji ovise o valnoj duljini, $\nu_c$ središnji valni broj kanala (dimenzije $cm^{-1}$). Jasno je da su to procijenjene temperature, jer se sve konstante i svi koeficijenti moraju kalibrirati na satelitu.

#### *2.2.1 Analiza slika*

Osim programskog paketa McIDAS-V, napisan je i kratak program u Matlabu za analizu satelitskih slika i dobivanje polja gradijenta temperature iz podataka.

Ulaz programa je IR slika iz McIDAS-a i koordinate područja koje ona obuhvaća. U program se ručno upisuju prethodno određene koordinate OT-a, preuzete iz baze Setvaka i sur. (2014). Klikom miša na neku točku vrha oblaka u Matlab-u, program oko te točke traži najnižu temperaturu (program uzima kvadrat 10km x 10km i u njemu traži najhladniju točku) kao i koordinate te najhladnije točke. Određena najniža temperatura oduzima se od okoline i tako se dobije polje gradijenta temperature na vrhu oblaka. OT se dodatno crta na sliku u obliku crvene zvjezdice. Polje gradijenata crta se na području većem od 10km x 10km kako bi se dobila jasnija slika, tako da se u nekim slučajevima mogu uhvatiti prodori novih OT-ova, ali analiza je rađena i OT-ovi birani tako da se takvi događaji brojčano minimiziraju. Kao referentna točka za određivanje temperature tim programom i provjeravanje točnosti poslužio je McIDAS. U najgorem slučaju program je

imao odmak od 0,6 K, a to je bilo prvo očitanje vrha oblaka prije pojavljivanja OT-a, tako da se ta greška može zanemariti. U normalnim uvjetima za očitanja temperature OT-a ili najhladnije točke oblaka program je davao odstupanje od najčešće -0.2 ili -0.3 K za pojedine korake u vremenu, tj. precijenjivao je hladnoću oblaka.




Slika 7: usporedba procijenjenih temperatura vrha oblaka, za jedan slučaj OT-a 20.6.2013. godine, pomoću programskog paketa McIDAS (plava puna linija) i programa napisanog u Matlabu (crvena isprekidana linija).

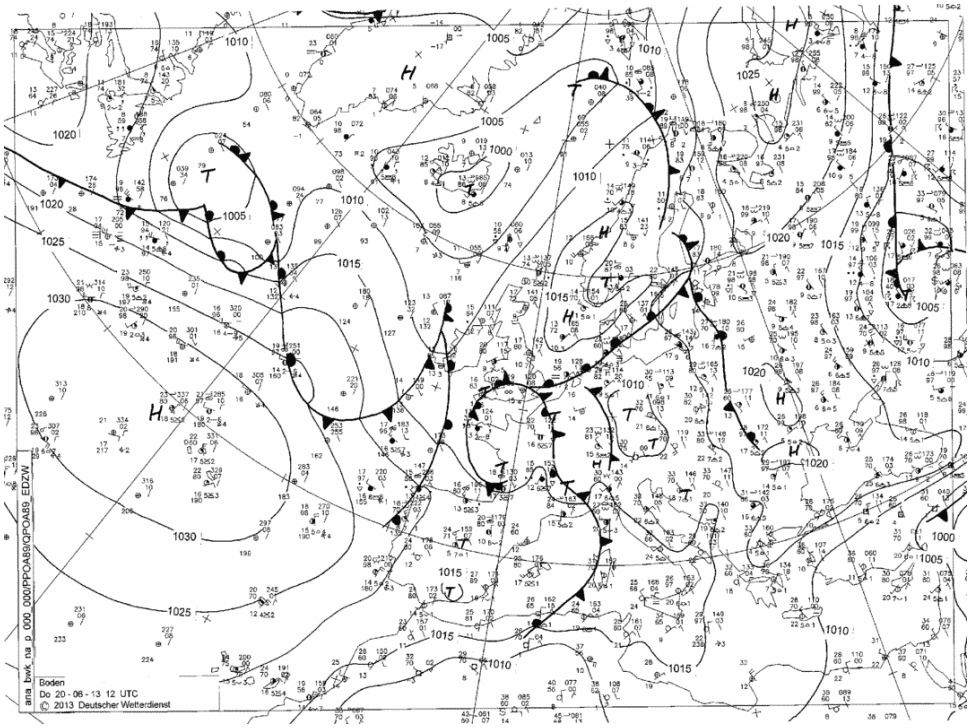
Na slici 7 prikazan je odnos temperature vrha oblaka procijenjene u McIDAS-u prema temperaturi procijenjenoj programom u Matlab-u za primjer jednog OT-a. Apscisa grafa prikazuje vremenske korake; nulti korak je početno vrijeme, prvi korak je 2.5 minute kasnije, itd.

Podudaranje grafova je izvrsno, osim što postoji gotovo konstantan odmak jednog od drugog. Iz toga se može zaključiti da program u Matlabu dobro procijenjuje temperaturu vrha oblaka. Kasnije kod određivanja gradijenata temperature ta razlika tj. odmak se gubi zbog oduzimanja.

# 3 Sinoptička analiza

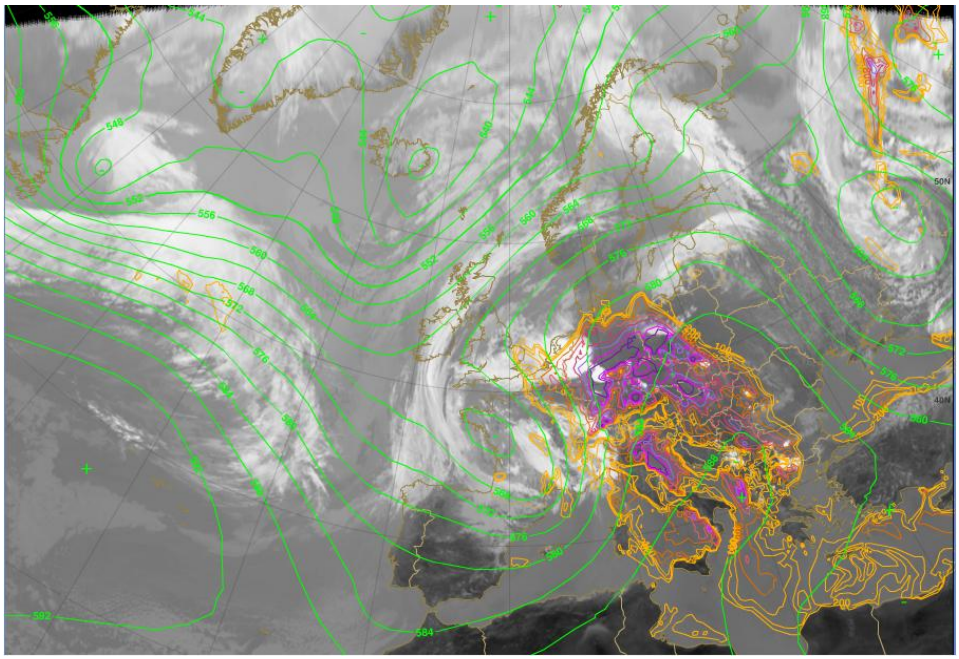
## *3.1 Slučaj 1: 20.6.2013.*

Prizemnu sinoptičku situaciju 20.6.2013. u 12 UTC (slika 8.) obilježava prostrana anticiklona iznad Atlantika čiji se greben pruža prema Sredozemlju te plitko ciklonalno polje iznad srednje i istočne Europe. Frontalni sustav koji se nalazi zapadno od Alpa, iznad zapadne Europe, povezan je s visinskom ciklonom iznad Francuske i Biskajskog zaljeva (slika 9.).



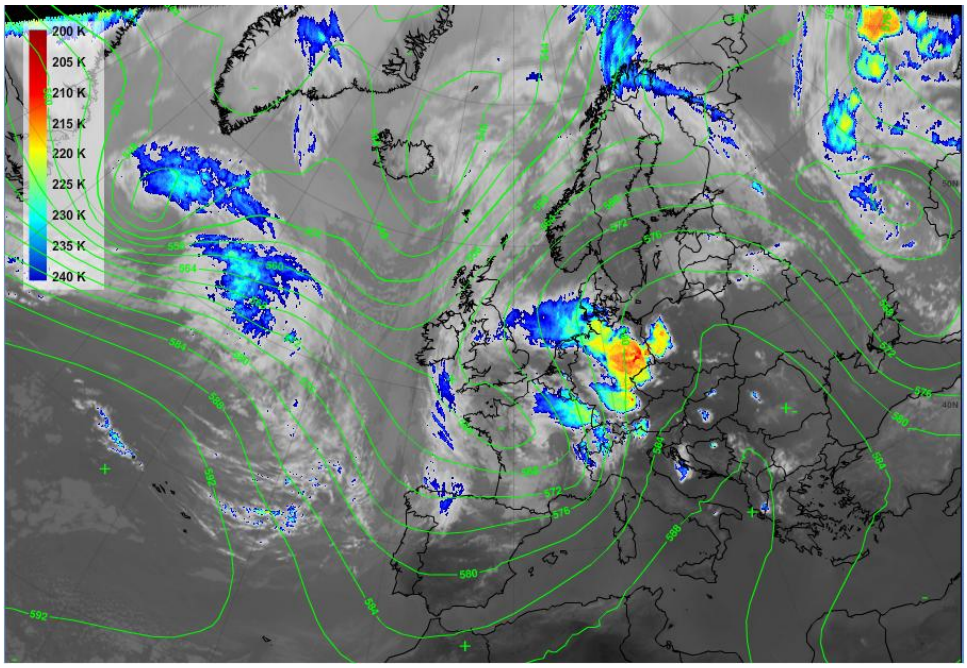

Slika 8: Prizemna sinoptička karta Europe za 20.6.2013. u 12 UTC.

Na prednjoj strani duboke visinske doline, vidljive u polju geopotencijala na 500 hPa iznad Francuske (slika 9.) nad dio zapadne i srednju Europu pritjecao je iznimno nestabilan zrak. Iznad Nizozemske se razvija velika konvektivna ćelija koju dodatno potiče hladna fronta ciklone iz Biskaja, podizanjem toplijeg zraka uvis.



Slika 9: MSG snimka u IR kanalu 10.8μm; visina 500 hPa plohe (zeleno); CAPE (obojano) za 20.6. 2013. u 12 UTC (izvor www.eumetrain.org).

Velike vrijednosti CAPE-a u tom području i prodor hladnijeg zraka iz Belgije, rezultirali su razvojem Cb-a iznad Nizozemske i zapadne Njemačke, koji su vidljivi na slici 10 (1 velika ćelija s vrhom na otprilike 205K ili -68°C i 2 manje prateće ćelije).

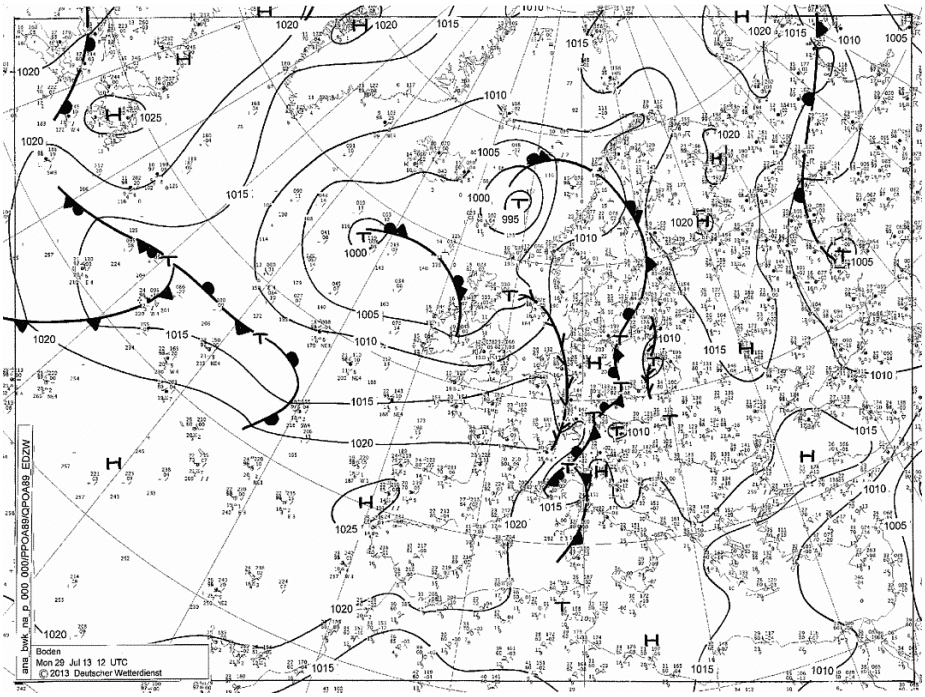



Slika 10: MSG IR 10.8μm (obojani su vrhovi oblaka hladniji od 240 K) i visina 500 hPa plohe (zelena linija) za 20.6.2013. u 18 UTC (izvor www.eumetrain.org).

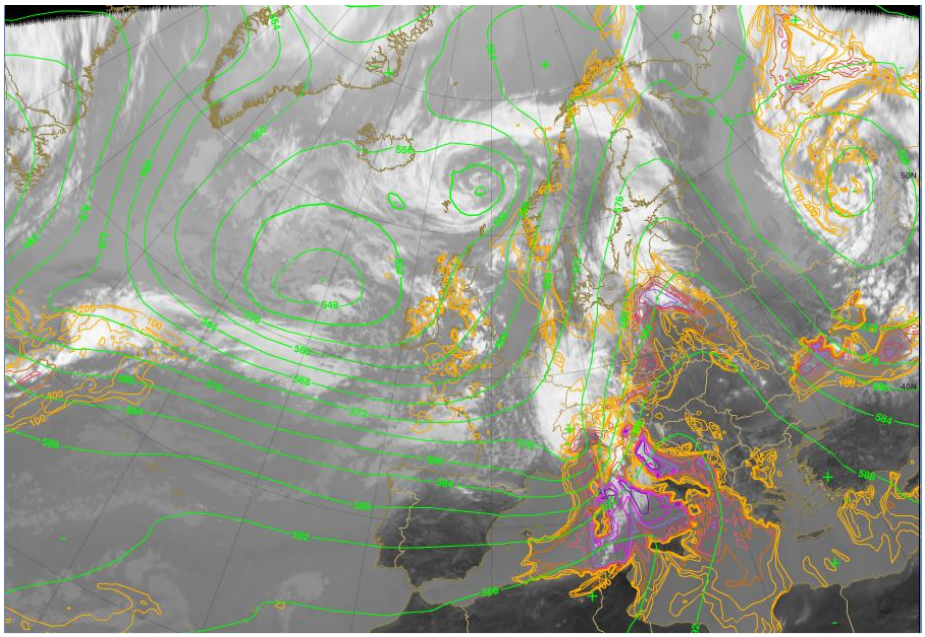
Na satelitskim snimkama toga su se dana mogla izdvojiti 2 premašujuća vrha (OT-a) koji su u radu detaljnije analizirani i otprilike 7 manjih OT-a koji zbog lošijih karakteristika ili kraćeg trajanja nisu dalje razmatrani.

### *3.2 Slučaj 2: 29.7.2013.*

Na vrijeme u većem dijelu središnje Europe utjecala je hladna fronta duboke ciklone sa središtem zapadno od obale Norveške. Fronta se protezala od Skandinavije prema zapadnom Sredozemlju (slika 11). U Genovskom zaljevu nastaje val na fronti, tj. počinje se formirati genovska ciklona, čiji je oblačni vrtlog vidljiv na satelitskoj snimci u IR dijelu spektra (slika 12).



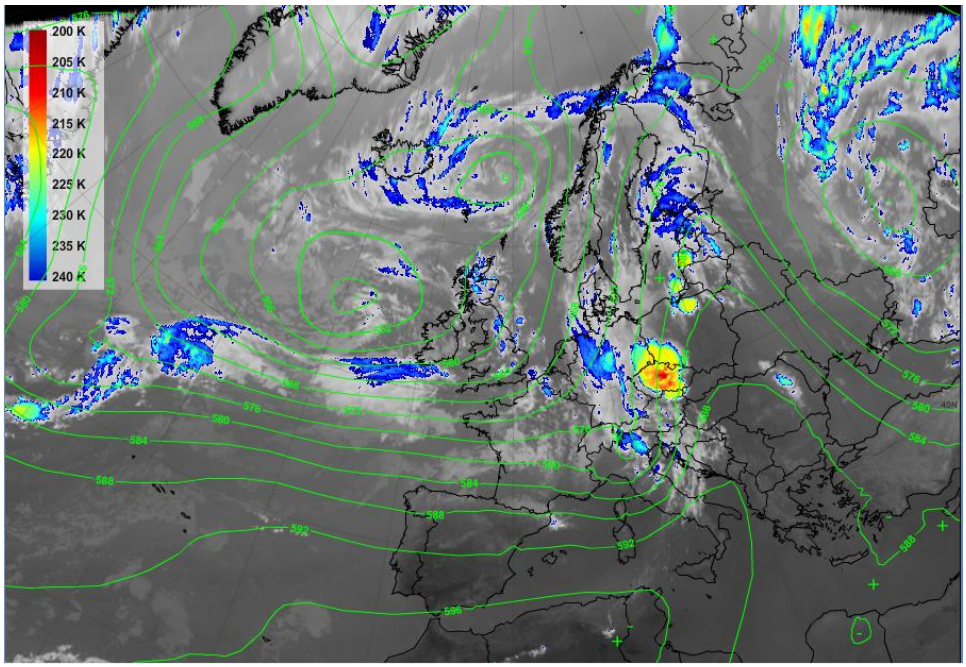

Slika 11: Prizemna sinoptička karta Europe za 29.7.2013. u 12 UTC.



Slika 12: MSG snimka u IR kanalu 10.8μm; visina 500 hPa plohe i CAPE u 12 UTC (izvor www.eumetrain.org).

Duboka dolina u polju geopotencijala iznad zapadne Europe premješta se na istok, a na njenoj prednjoj strani nad Sredozemlje i Srednju Europu s južnim i jugozapadnim visinskim strujanjem pritječe vrlo nestabilan zrak, zbog čega se u Poljskoj počinju formirati male konvektivne ćelije vidljive na IR slici (slika 12).

Spomenute ćelije formiraju se u području velikih vrijednosti CAPE-a, međutim u 12 UTC još nema puno duboke konvekcije, osim par ćelija u Italiji.

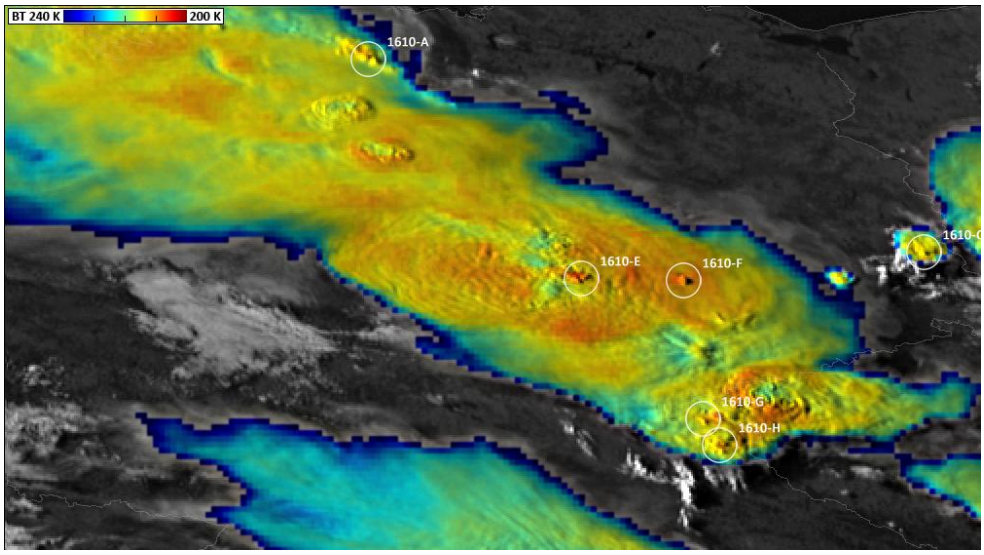



Slika 13: MSG IR 10.8µm (obojani su vrhovi oblaka hladniji od 240 K) i visina 500 hPa plohe (zelena linija) za 29.7.2013. u 18 UTC (izvor www.eumetrain.org).

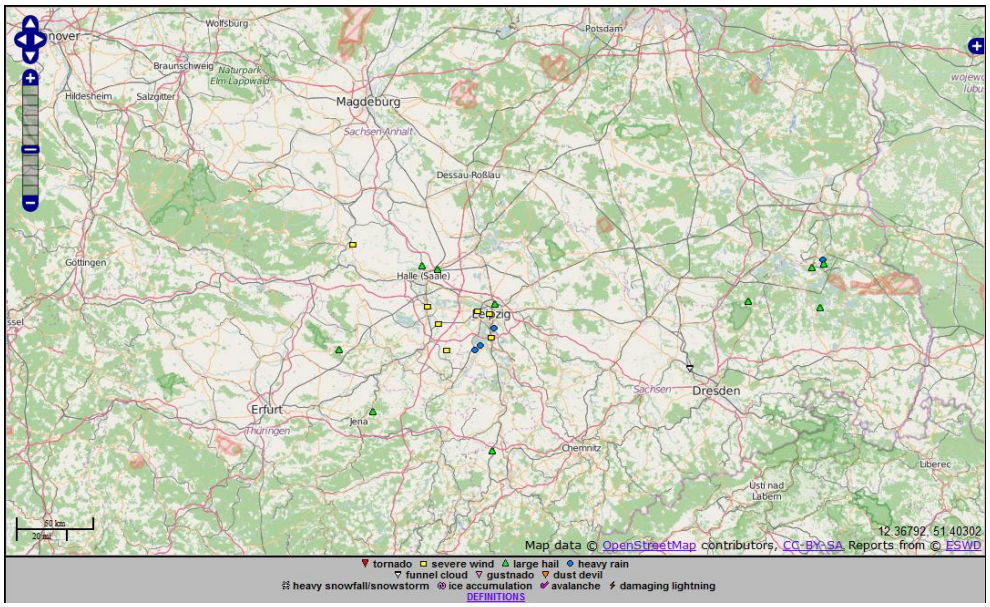
Uvjeti za jaku konvekciju su postignuti u kasnijim popodnevnim satima, premještanjem hladne fronte nad područje s velikim vrijednostima CAPE-a i velikim sadržajem vlage. Na slici 13 vidljiva je velika konvektivna ćelija iznad Češke s OT-om na temperaturi od otprilike 205K ili -68°C i tri manje ćelije iznad sjevera Poljske i nad Baltikom.

# 4 Rezultati

## *4.1 Slučaj ćelije iznad Leipziga, 20.6.2013.*




Slika 14: MSG Sandwich produkt (IR 10.8 μm + HRV) koji prikazuje ćeliju iznad Leipziga sa izraženim OT-om oznake 1610-F, 20.6.2013. u 16:12 UTC.

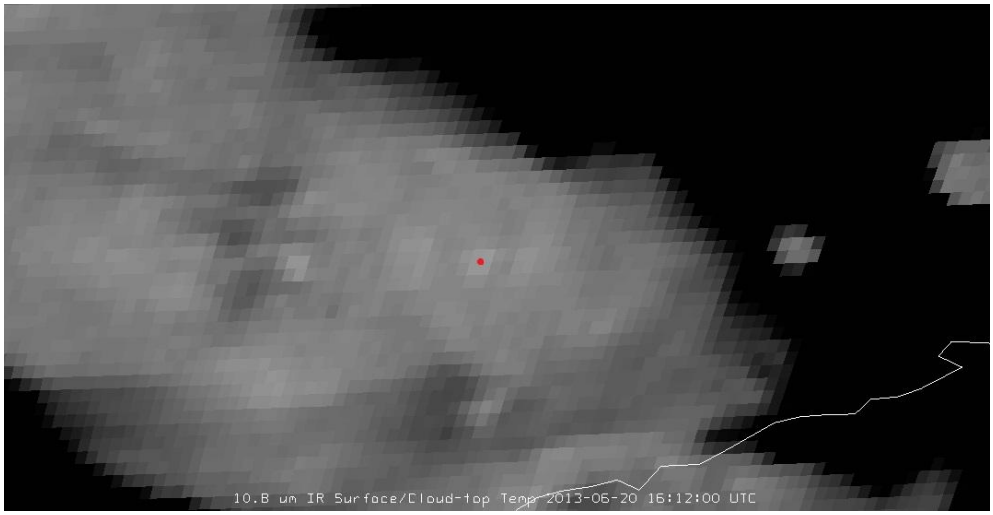



Slika 15: ESWD podaci o ekstremnom vremenu, 20.6.2013., 16:00 UTC - 17:00 UTC.

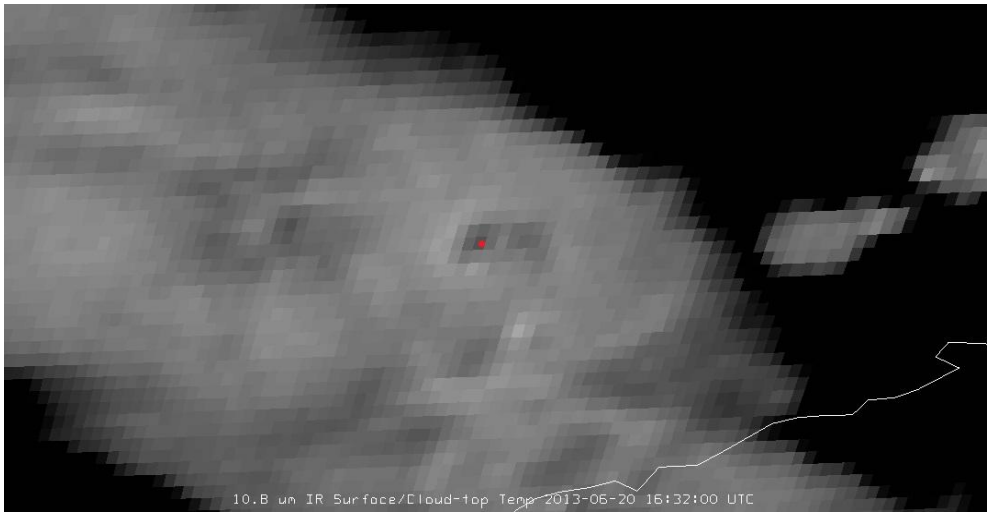
Promatrana konvektivna ćelija nastala je u ranim podnevnim satima iznad središnje Njemačke. Sustav ćelija već se prije počeo formirati u Nizozemskoj, pa se kretanjem doline prema istoku proširivao sve više na Njemačku i još istočnije na Češku. S obzirom na dimenziju cjelokupnog sustava (~500 km dužine i ~100 km širine) i njegovo trajanje (~6 sati) može se zaključiti da se formirao mezoskalni konvektivni sustav. Takve grupe povezanih oluja govore da postoji neki mehanizam koji ih podržava (Chappell, 1986). Iznad područja Leipziga postojala je već prije visoka naoblaka zbog malo prije

spomenutog sustava. Promatrani konvektivni sustav karakteriziran je jakom uzlaznom strujom pri čemu je došlo do razvoja OT-a temperature -69°C.

Prema podacima prikupljenim u European Severe Weather Database (ESWD) (slika 15) vidljivo je da je tijekom razdoblja od jednog sata, od 16 UTC do 17 UTC, bilo nevrijeme praćeno tučom, jakom kišom i vjetrom, a nešto istočnije od OT-a i oblak u obliku lijevka (eng. funnel cloud), ali bez tornada/pijavice, za koje bi trebalo biti veliko smicanje u nižem sloju oblaka (Bedka, 2011), s tim da su CAPE i sama uzlazna struja manje bitni, ali opet nužni.

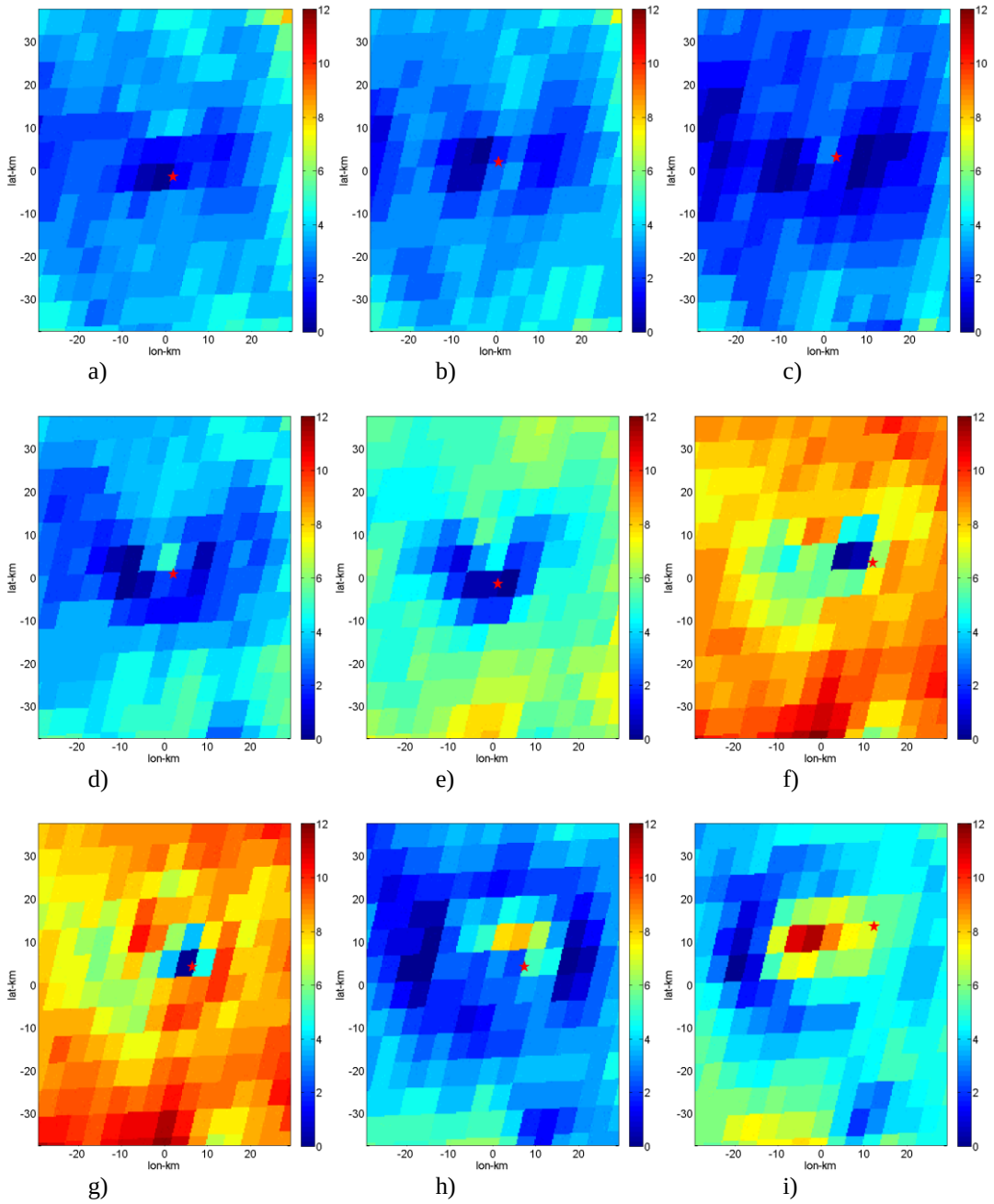



Slika 16: Satelitska snimka u IR kanalu 10.8 μm u intervalu temperature od 195 K do 230 K za početno stanje OT-a (crvena točka), 20.6.2013. u 16:12 UTC.




Slika 17: Satelitska snimka u IR kanalu 10.8μm u intervalu temperature 195 K do 230 K za krajnje stanje OT-a (crvena točka), vidljiva crna mrlja na oblaku (toplije područje u IR kanalu), 20.6.2013. u 16:32 UTC.

Na početku promatranja vidljivo je nekoliko hladnih piksela na vrhu oblaka, dok je u posljednja dva termina na IR slici u blizini OT-a vidljivo područje 6-10 K toplije od okolnog.

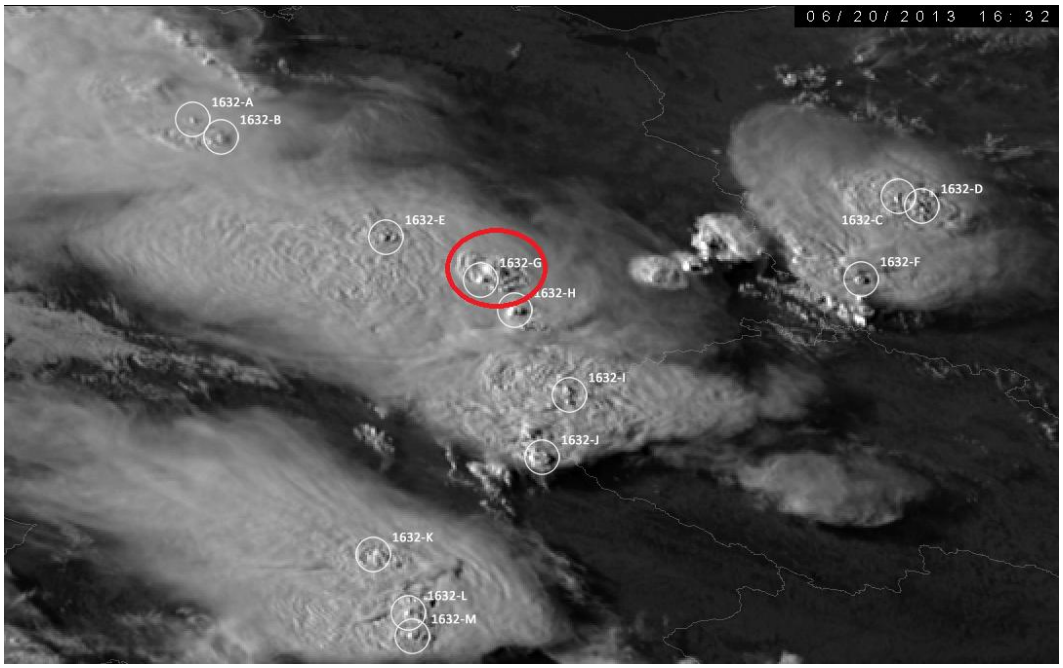



Slika 18 (a-i): Polja gradijenta temperature na vrhu oblaka, s prikazanim položajem OT-a[1] (crvena zvijezda), od 16:10 UTC do 16:30 UTC

U početku je polje dosta uniformno s nešto hladnijim dijelom, a OT se nalazi vrlo blizu najhladnijeg dijela oblaka i slično stanje ostaje još dva termina. Četvrti termin pokazuje početak stvaranja hladnog U na vrhu oblaka i odmak OT-a od hladnog dijela

[1] Polja su generirana tako da je koordinatni okvir prve slike uzet kao okvir svake sljedeće slike – vidi se lagano pomicanje OT-a od početnog položaja

prema toplom. U sljedeća 3 termina vidljivo je samo nekoliko hladnih piksela, među kojima se smješta i OT. Osmi termin pokazuje jasnu temperaturnu oscilaciju na vrhu oblaka, jer nastaje veliki hladni prsten, a OT se opet smješta u topliji dio (oko 8K topliji, što se slaže s člankom Setvaka i sur. iz 2008. godine). Deveti termin prikazuje početak raspada termičke strukture i uravnoteženja okoline, OT nije ni na najhladnijem dijelu ni na najtoplijem dijelu, on se pomaknuo dalje od strukture, pa u sljedećim koracima OT nestaje i ne postoji jasan signal.



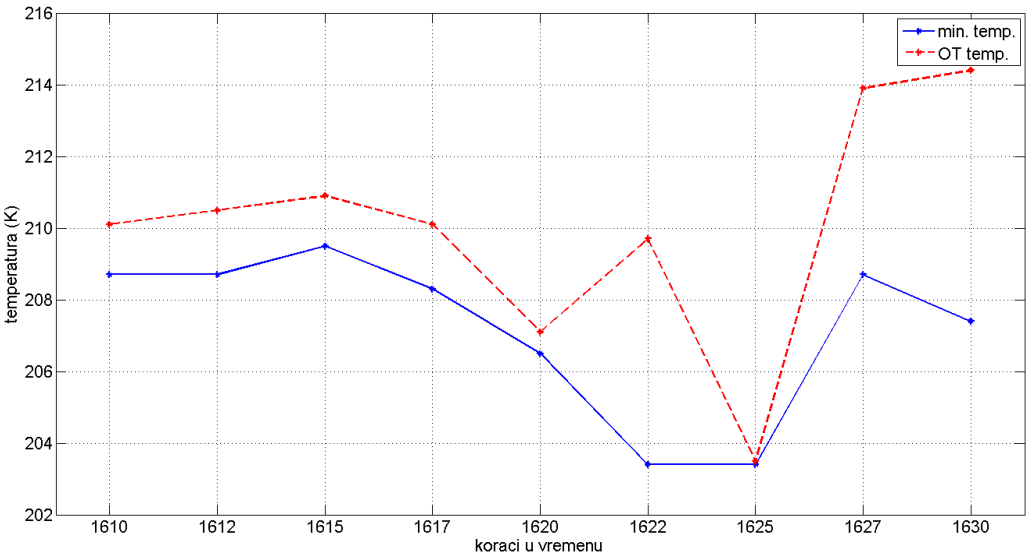

Slika 19: MSG snimka vrha oblaka u HRV kanalu koja prikazuje raspad OT-a (zaokruženo).

Nakon posljednjeg termina u kojem je bio promatran vrh oblaka, struktura OT-a se počela urušavati, tj. OT je bio sve manje jasan (slika 19), gradijenti temperature na vrhu oblaka počinju slabjeti a na HRV snimci se vidi i stvaranje manjeg OT-a u blizini starog čime je prekinuta analiza. Razlog tome je slabljenje uzlazne struje u oblaku, a razlog slabljenju može biti potrošnja potencijalne energije koju je oblak imao na raspolaganju i nedostatak dodatnog izvora te potencijalne energije (CAPE-a) ili moguće premještanje uzlazne struje na neko drugo mjesto (stvaranje novog OT-a u blizini starog). Također na slici se lijevo od OT-a vide težinski valovi koji govore da tropopauza oscilira zbog njene interakcije s vrhom oblaka.

Iz ove analize može se zaključiti:

- OT nije uvijek najhladniji dio oblaka (iako je po definiciji najviši dio oblaka!)
- u ovakvom pregledu možemo vidjeti hladne prstene tj. hladne U/V
- termička slika pokazuje temperaturne oscilacije vrhova konvektivnih oblaka u vremenu

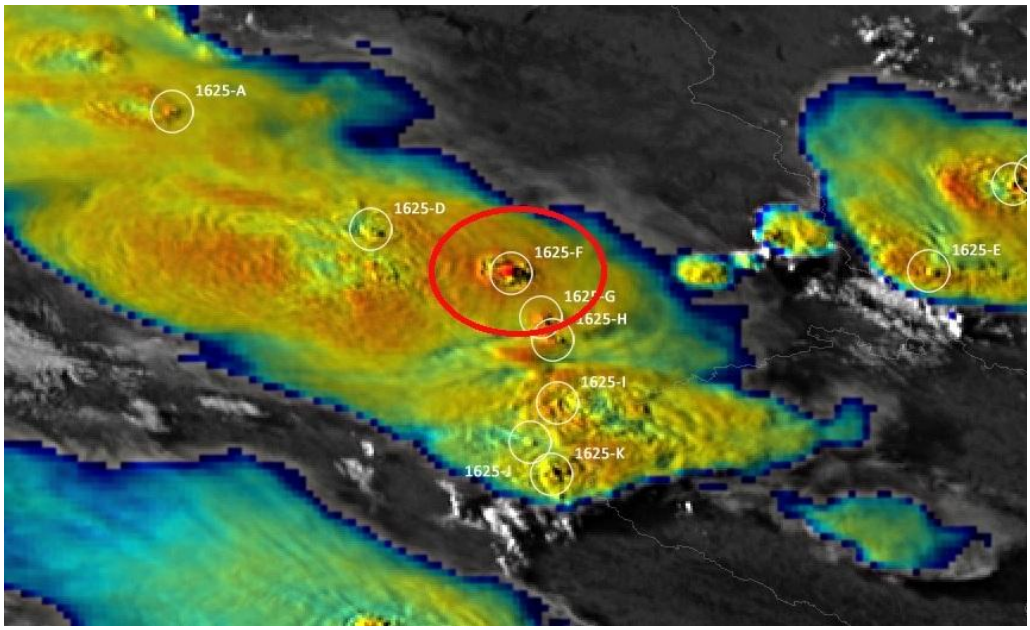
S obzirom da je iz slike 18 vidljivo da se temperatura OT-a i temperatura najhladnije točke oblaka ne poklapaju uvijek, napravljen je graf da se vidi koliko temperatura OT-a odudara od temperature najhladnijeg piksela na vrhu oblaka. Na slici 19 prikazan je vremenski hod temperature OT-a u usporedbi s temperaturom najhladnijeg piksela na vrhu promatranog oblaka.



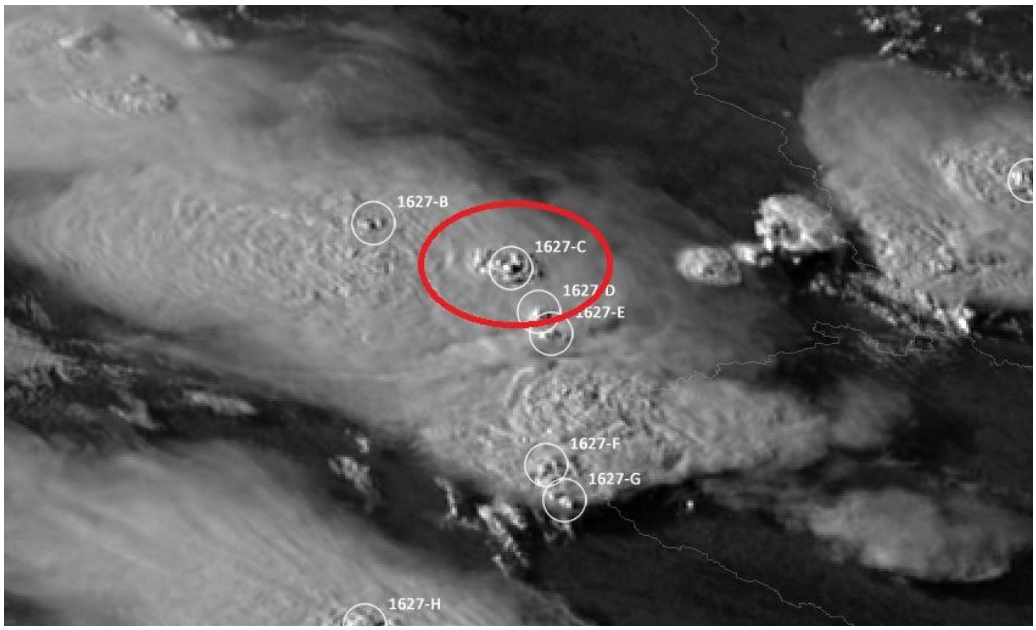

Slika 19: Odnos temperature OT-a i temperature najhladnijeg piksela na vrhu oblaka[2] za slučaj ćelije iznad Leipziga; vremenski interval od 16:10 UTC do 16:30 UTC.

Temperatura OT-a i temperatura najhladnijeg piksela oblaka poklapaju se samo u jednom terminu u 16:25 UTC, dok se najveća razlika uočava u 16:22 UTC (6K, posljedica jačeg hlađenja okoline uslijed zagrijavanja OT-a) te u 16:30 UTC (7K). Ovaj graf jasno pokazuje zašto se OT-ovi ne mogu lako objektivno (a još teže subjektivno) procjenjivati i locirati - iako je OT najviša točka jednog područja oblaka, kao što je vidljivo na HRV snimci (slika 21), nije nužno i najhladnija, a razlozi takvih termičkih fenomena nisu još do kraja razjašnjeni.

[2] Temperature su procijenjene pomoću programa u Matlabu

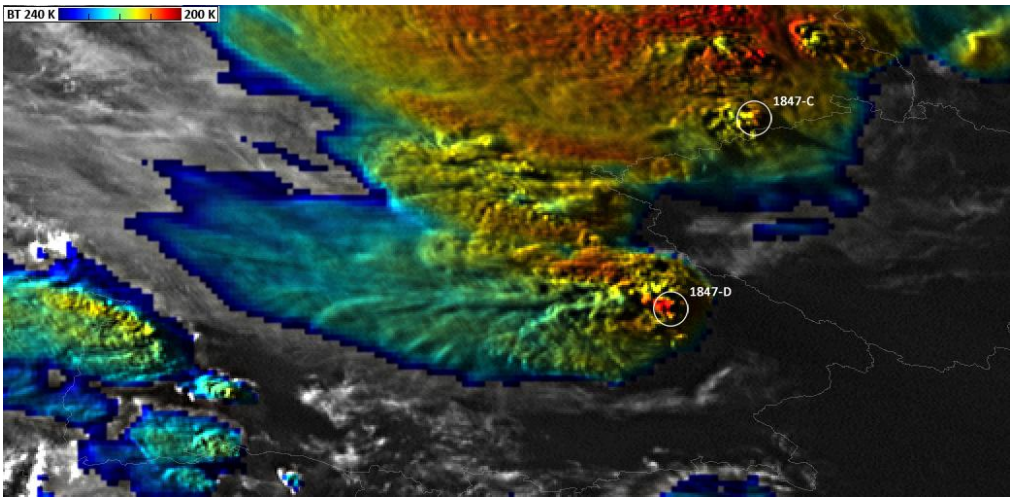



Slika 20: MSG Sandwich produkt, prikaz OT-a (zaokružen), 20.6.2013. u 16:25 UTC

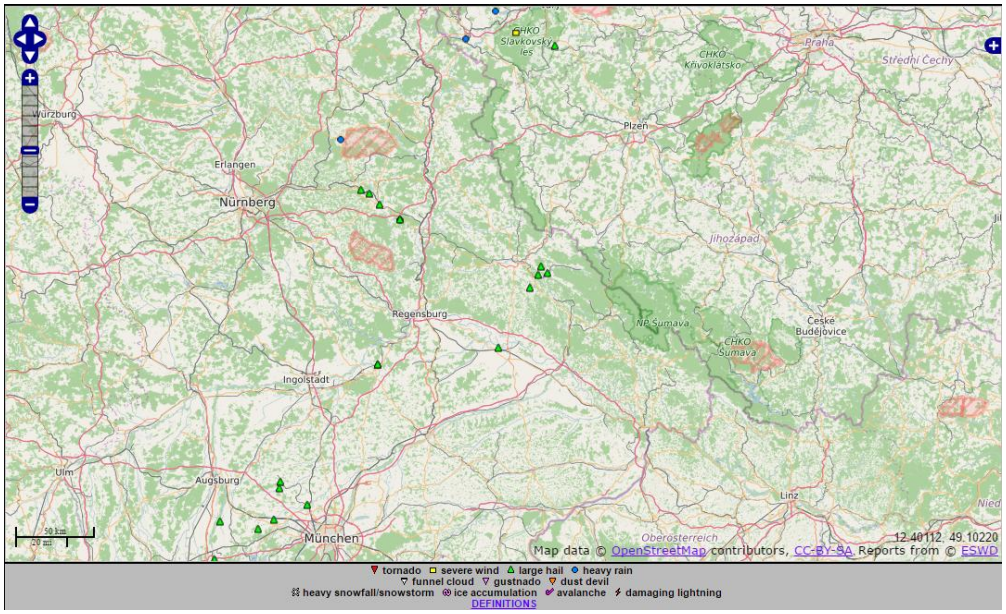



Slika 21: MSG satelitska snimka u HRV kanalu za 20.6.2013. u 16.27. Na snimci se ne vide termičke strukture vrha oblaka, već samo 3D struktura OT-ova; promatran OT (1627-C) je zaokružen.

### *4.2 Slučaj ćelije iznad središnje Bavarske, 20.6.2013.*

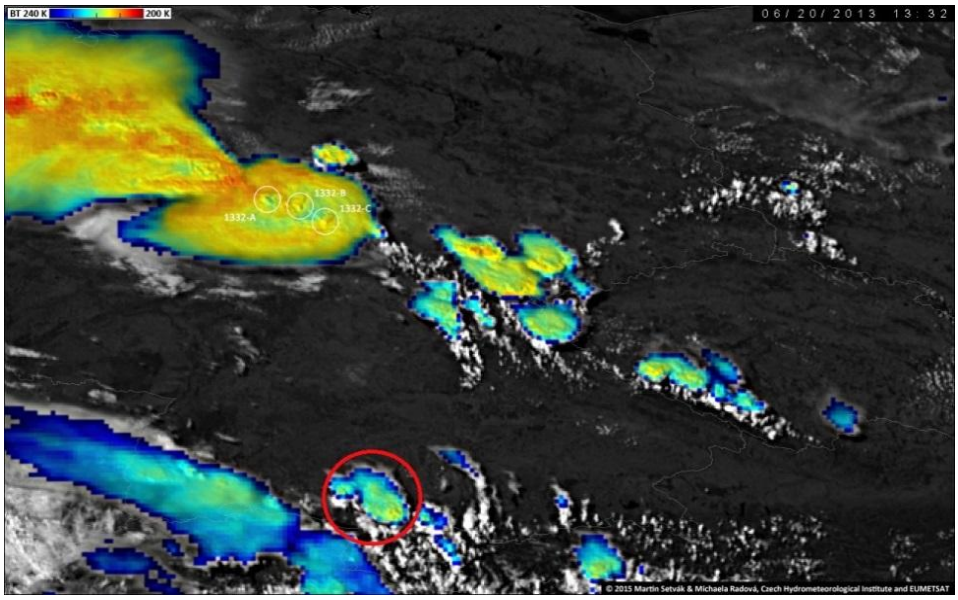



Slika 29: MSG Sandwich produkt koji prikazuje ćeliju iznad Bavarske s promatranim OT-om oznake 1847-D, 20.6.2013. u 18:47 UTC.

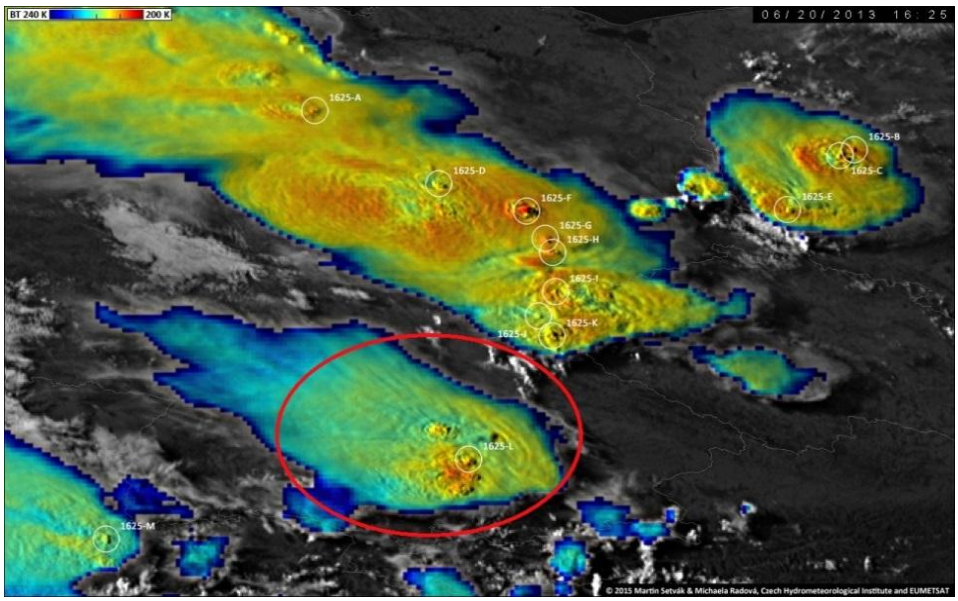



Slika 30: ESWD podaci o ekstremnom vremenu 20.6.2013., 17:00 UTC - 20:00 UTC.

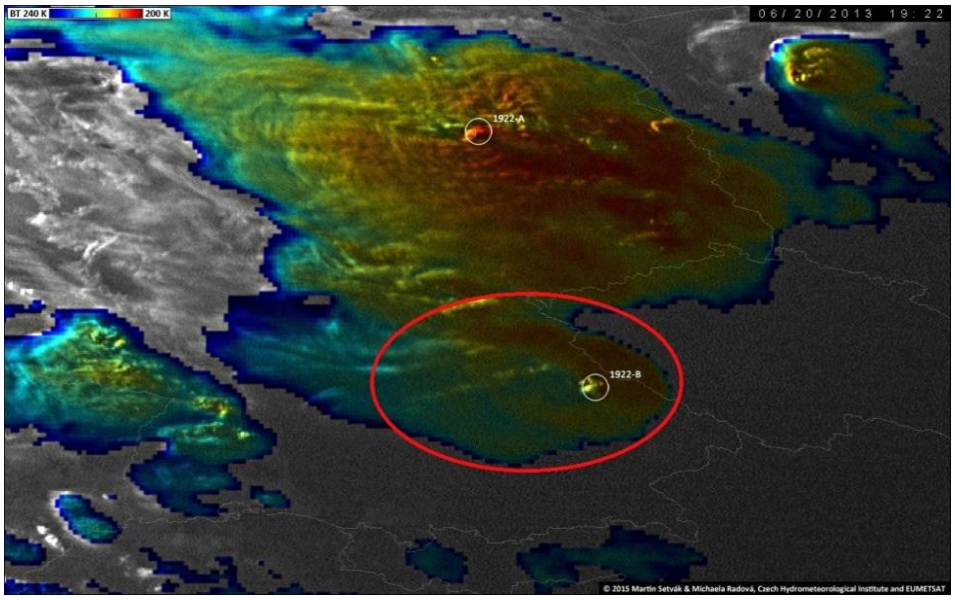
Ćelija se počela stvarati oko 13:30 UTC na južnoj granici Njemačke i Austrije iznad rubnih dijelova Alpa i trajala do poslije 19:30 UTC, što je čini vrlo dugovječnom, s konstantnim pojavljivanjima OT-a na satelitskim snimkama. Premještanje ćelije bilo je praćeno velikom tučom gotovo od početka njezina razvoja na jugu Njemačke pa sve do Češke. Pri kraju dana, na vrhu ćelije počinju se formirati hladni U, tj. V, kao što je već bilo viđeno i na prvom slučaju ćelije kod Leipziga. Izvješća prikupljena u European Severe Weather Database pokazuju da je na velikom području u okolici Nurnberga, Regensburga i Augsburga padala velika tuča (2-3 cm promjer), kao što je u slučaju slične strukture na vrhu oblaka padala velika tuča i kod Lepziga u prvom promatranom slučaju.




Slika 31: MSG Sandwich produkt za 20.6.2013. u 13:30 UTC; zaokruženo je područje nastanka ćelije.

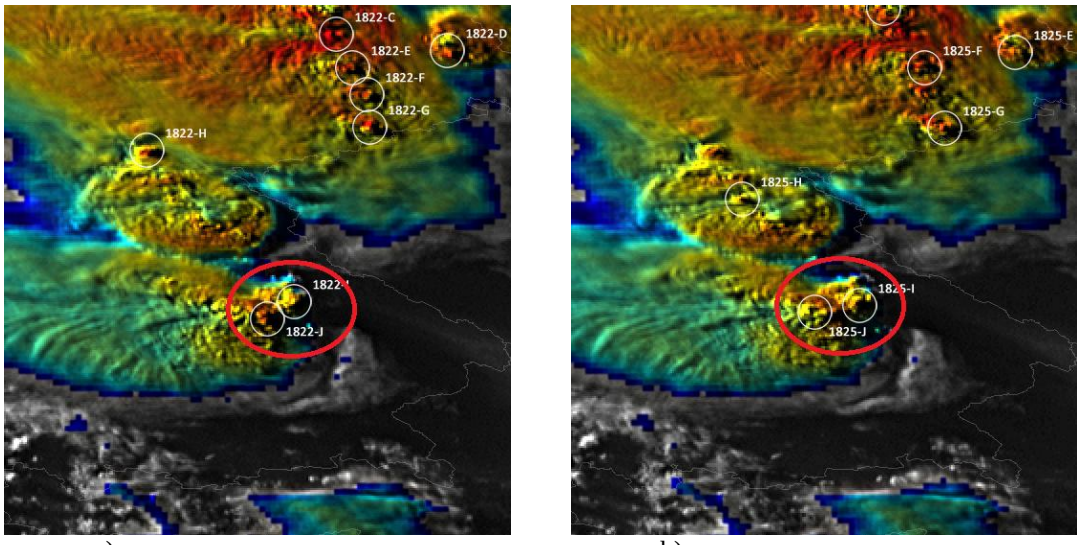



Slika 32: MSG Sandwich produkt za 20.6.2013. u 16:20 UTC; promatrana je ćelija zaokružena.



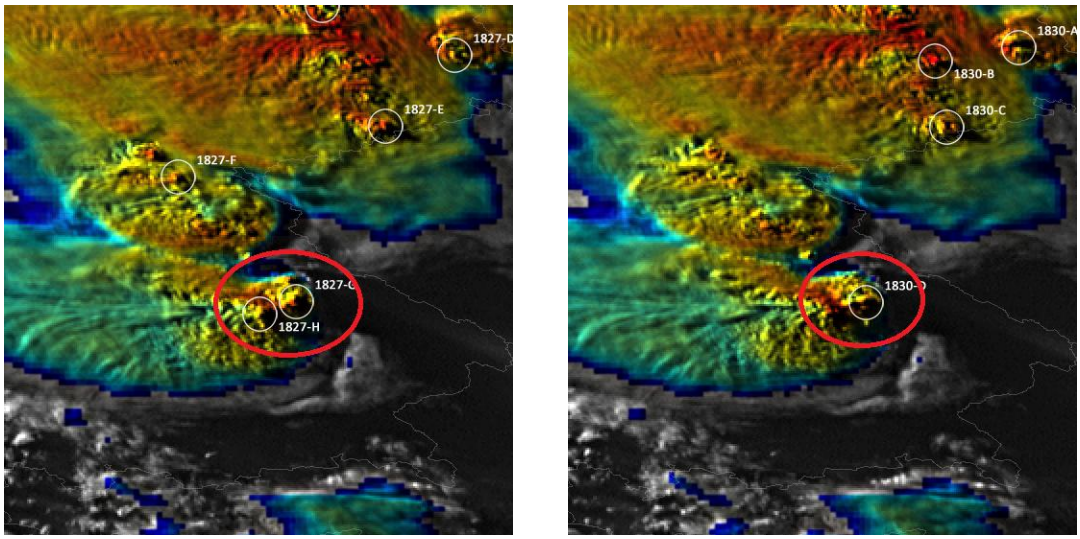

Slika 33: MSG Sandwich produkt za 20.6.2013. u 19:20 UTC. Zaokružena je promatrana ćelija u zrelom stadiju. Vidljiv je OT i hladan U.

Ćelija je dugo postojana i na njezinom vrhu se vide strukture kao hladni U, već u početnom stadiju njezinog razvoja u 16:20 UTC. Ćelija na jednom dijelu svojeg puta oslabi i ne uzrokuje nevrijeme pri tlu, ali se tada oko 18:30 UTC dva OT-a na ćeliji počnu spajati u jedan veliki OT koji uzrokuje nevrijeme s velikom tučom blizu granice s Češkom, koje je prikazano na slici ESWD-a.




a) b)

Slika 34: Početak spajanja OT-ova (zaokruženo) na ćeliji iznad Bavarske, (a) 18:22 UTC i (b) 18:25 UTC.

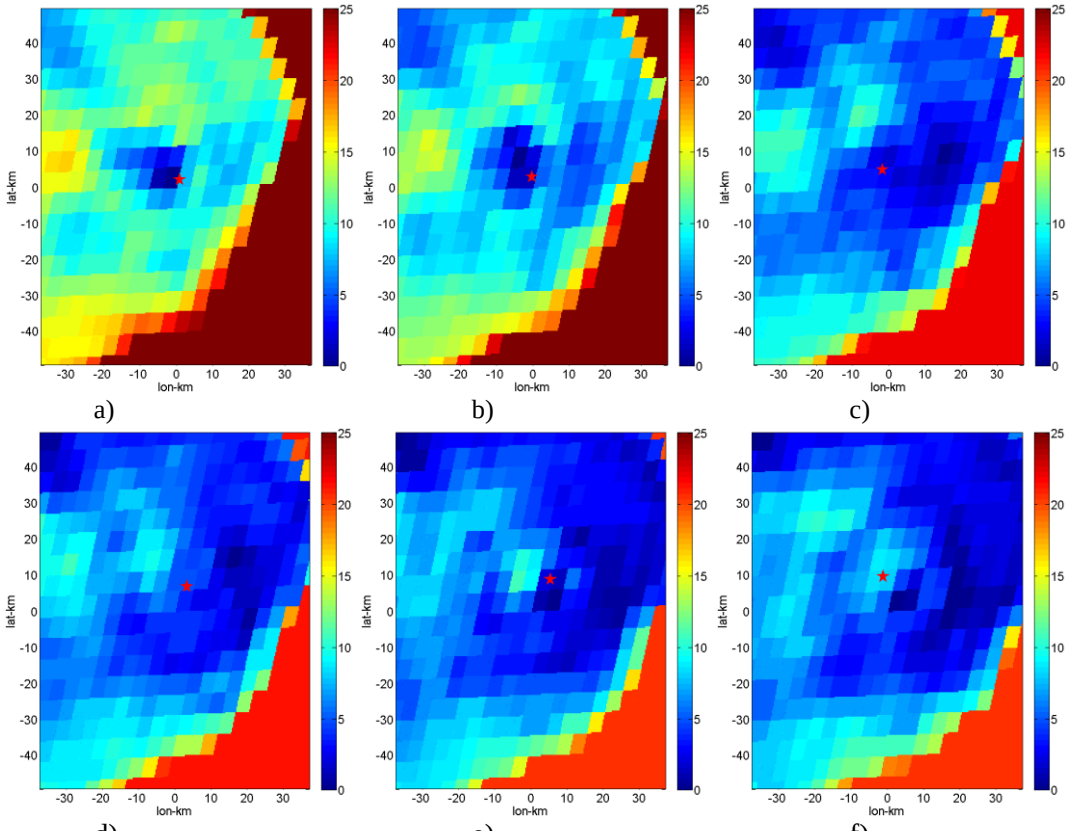



a) b)

Slika 35: Završni produkt spajanja OT-ova (zaokruženo), vidljiv je hladni U, (a) 18:27 UTC i (b) 18:30 UTC.

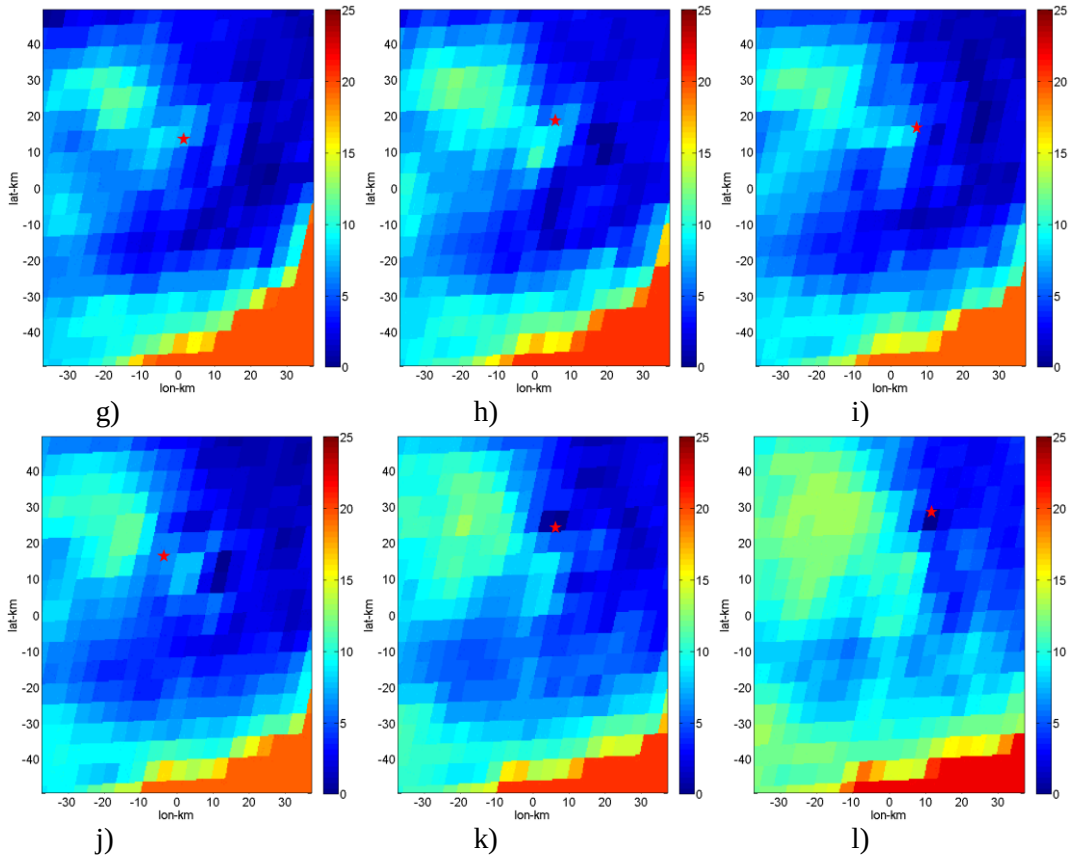
Na vrhu oblaka na zapadnoj strani vidljivi su i poremećaju u obliku valova na moru prilikom prolaska broda (eng. ship wave), što govori da je uzlazna struja iznimno jaka kao i divergencija strujanja na vrhu oblaka (Wang i sur. 2010.)

Za ovaj slučaj napravljeno je 12 polja gradijenta temperature, zbog dugovječnosti OT-a.




a) b) c)

d) e) f)

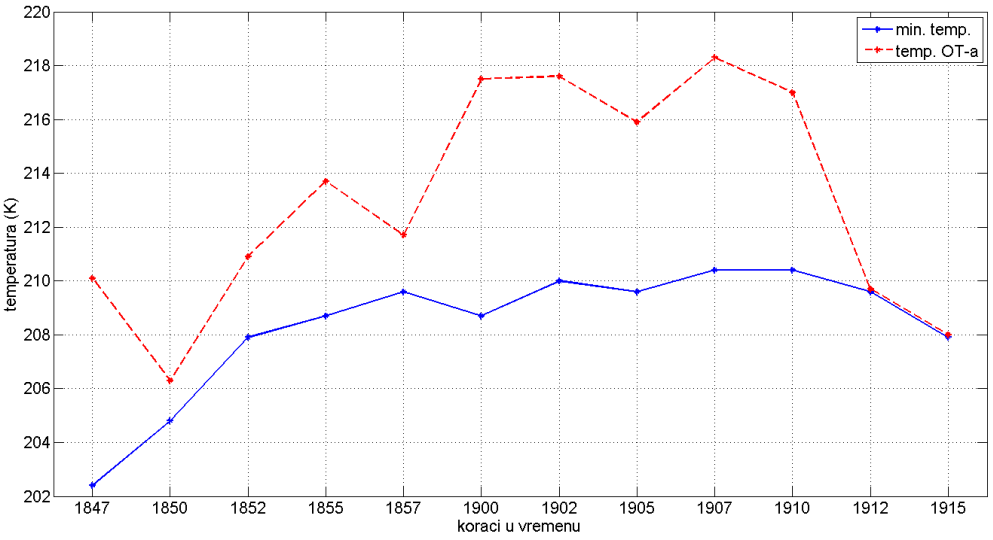



Slike 36 (a-l): Polja gradijenta temperature vrha oblaka s naznačenim OT-om (crvena zvijezda) u vremenskom razdoblju od 18:47 UTC do 19:15 UTC.

U ovom slučaju OT se na uzastopnim slikama pojavljivao u različitim dijelovima vrha oblaka. Tako u 5. terminu (slika 36e) vidimo OT kao gotovo najhladniji piksel, zatim se pojavljuje u toplijem dijelu vrha nakon čega se premješta prema hladnom, da bi u 11. terminu (slika 36k) bio najhladniji piksel na slici (vremenski period od 15 minuta od 5. do 11. termina). To ne mora biti nužno jedan te isti OT na vrhu oblaka, jer njegov položaj primarno ovisi o položaju uzlazne struje, pa tako OT može postojati na jednoj lokaciji, malo oslabiti pa se zbog uzlazne struje premjestiti na lokaciju malo dalju od početne i tako se dalje kretati po vrhu oblaka.

Prema izvješćima prikupljenima u ESWD-u na velikom području južne Njemačke padala je velika tuča, promjera oko 3 cm, kao i jaka kiša, što je opet, ako povežemo i s prvim slučajem koji smo razmatrali, povezano s pojavljivanjem hladnog U/V[3].

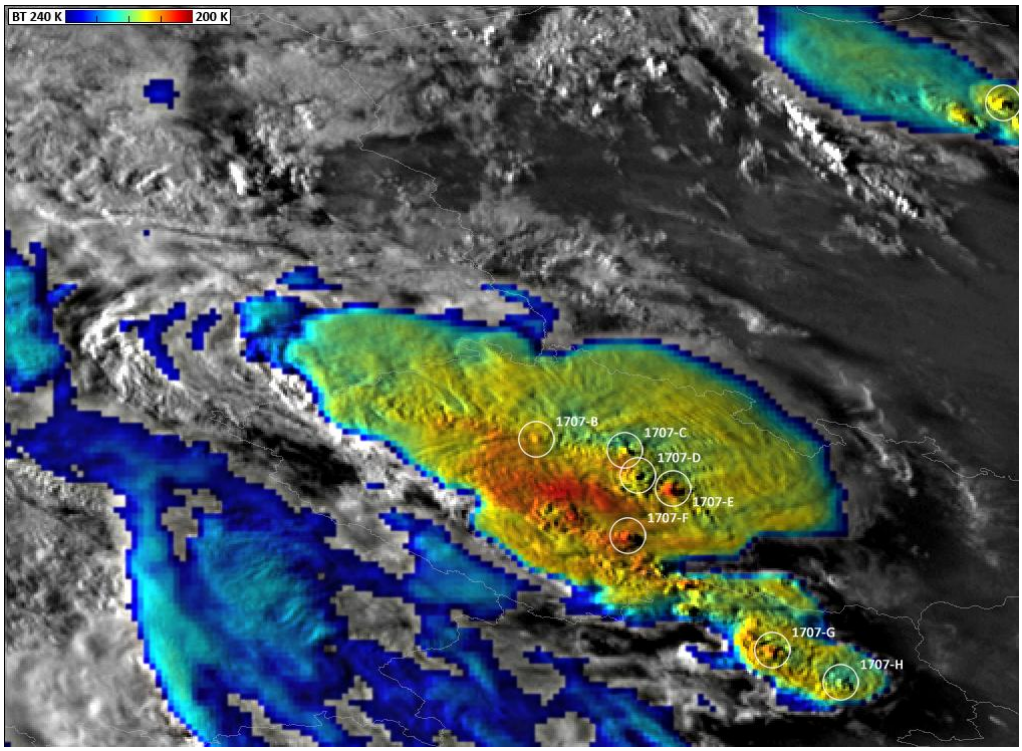
[3] Ovo je premali uzorak da bi se mogla provoditi konkretna zaključivanja.



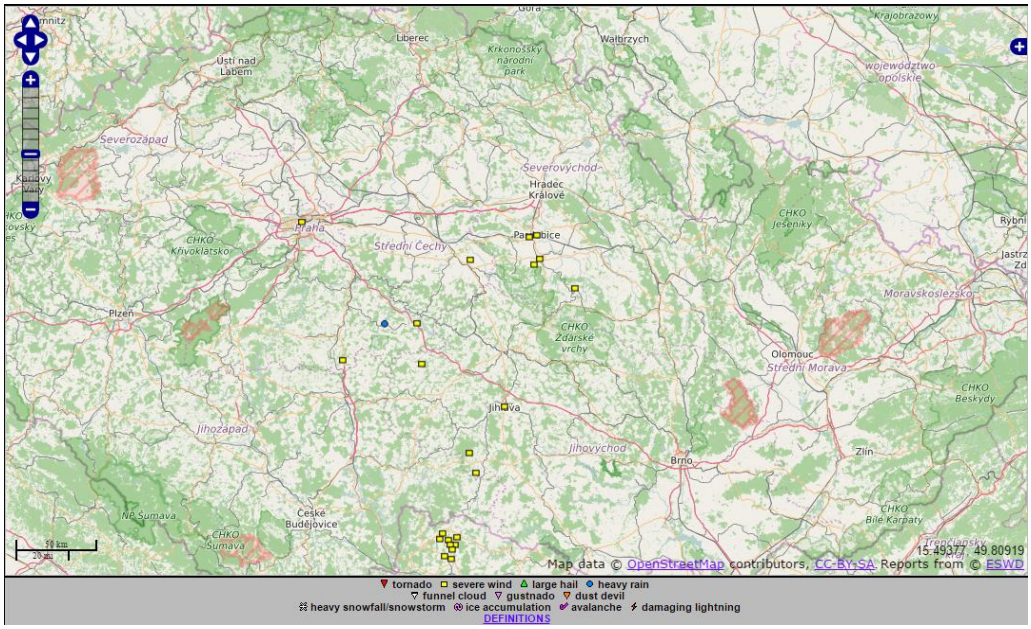

Slika 37: Graf procijenjenih temperatura OT-a (crvena isprekidana linija) i minimalne temperature u okolici OT-a (plava puna linija) za slučaj ćelije iznad Bavarske.

Graf na slici 37 pokazuje da je temperatura OT-a stalno viša od temperature najhladnijeg piksela okolnog područja. Na srednjem dijelu svog života OT je za skoro 10 K topliji od hladnog područja, što je dobra podudarnost sa člankom Brunnera i sur. (2007) u kojem je rečeno da je bliski topli dio (u blizini hladnog dijela) kod hladnog V topliji za otprilike 10 K od hladnog dijela, pri čemu je do takve razlike došlo istodobnim hlađenjem okoline i zagrijavanjem OT-a od 18:57 UTC . Pri tom su bliski topli dio (CWA) i hladni dio udaljeni otprilike 30 km (Heymsfield i sur., 1988; Brunner i sur., 2007), što je po poljima na slici 36 također vidljivo zadovoljeno.

### *4.3 Slučaj ćelije iznad središnje Češke, 29.7.2013.*




Slika 22: MSG Sandwich produkt koji prikazuje ćeliju iznad Češke sa promatranim OT-om oznake 1707-E, 29.7.2013. u 17:07 UTC.

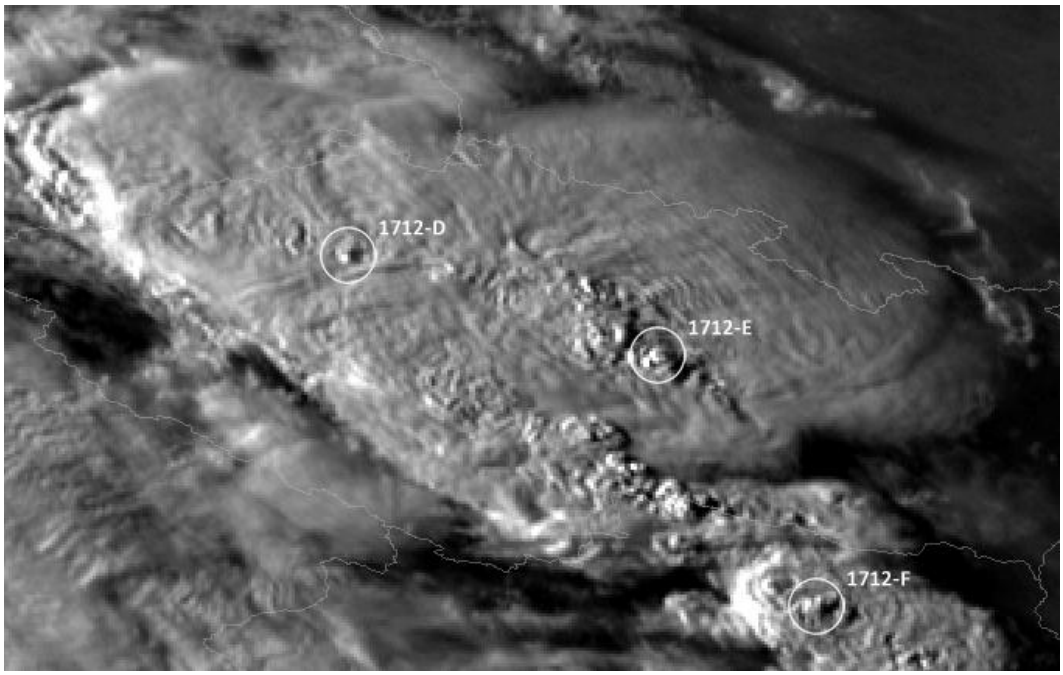



Slika 23: ESWD podaci o ekstremnom vremenu, 29.7.2013., 17:00 UTC - 18:00 UTC.

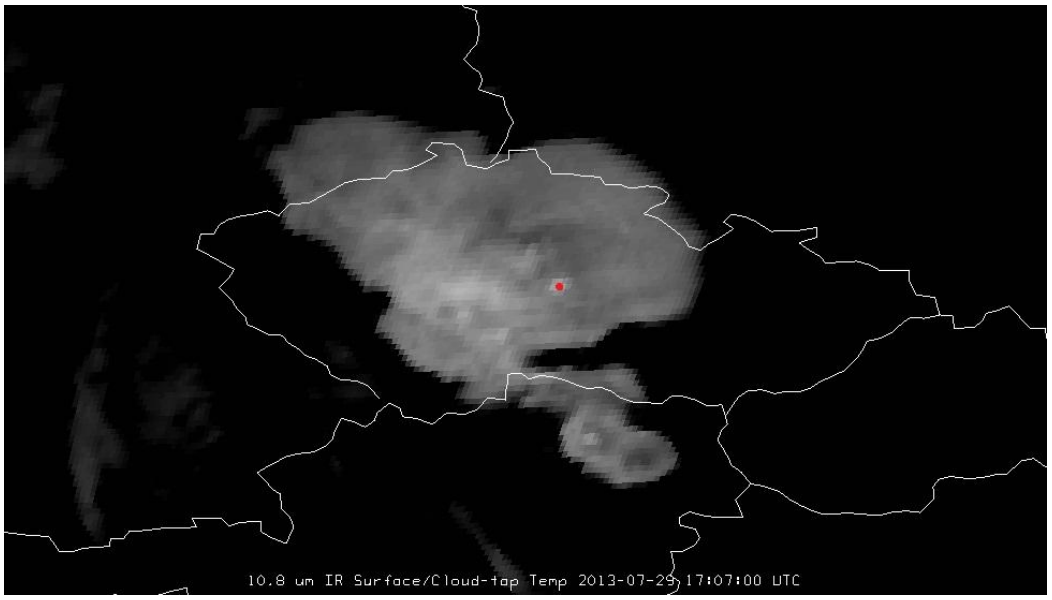
Već na satelitskoj snimci u analizi sinoptičke situacije u 18 UTC vidljiva je jasno razvijena ćelija koja prekriva veći dio Češke i dijelove Poljske, Slovačke i Njemačke. Konvektivna ćelija nastala je na jugozapadnoj granici Češke s Njemačkom, u planinskom

području, što može sugerirati da je orografskog podrijetla ili da je orografija odigrala ulogu okidača u procesu konvekcije.

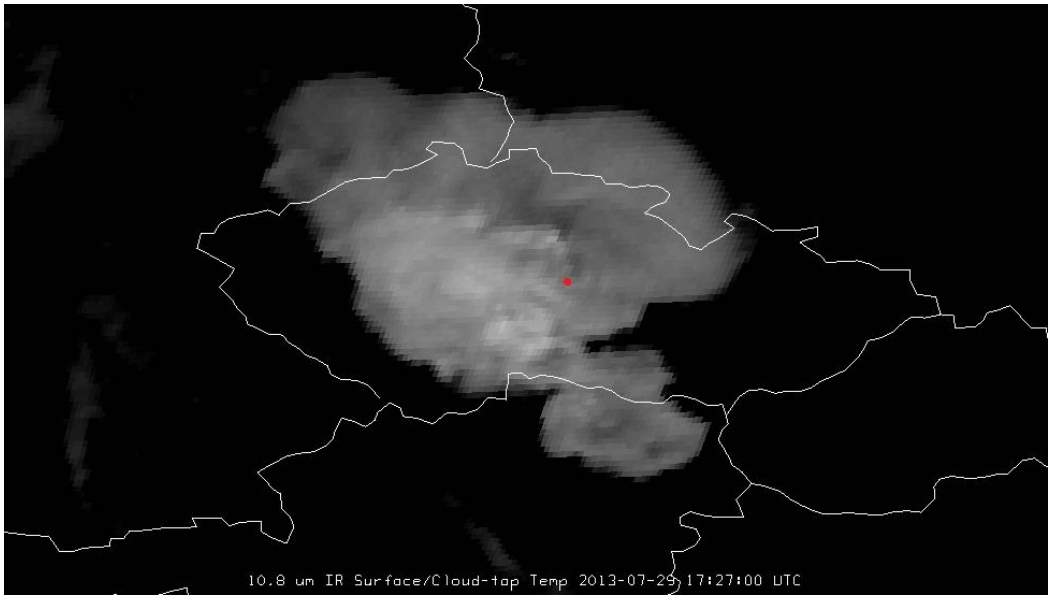
Minimalna temperatura zapažena na vrhu oblaka bila je oko 205,5 K ili -67,6 °C i oko OT-a se na HRV snimci vide težinski valovi (slika 24), što govori da je oblak izazvao oscilacije tropopauze (Gill, 1982; Bedka i sur., 2007; Heymsfield i sur., 1990). Za razliku od slučaja ćelije iznad Leipziga, OT ove ćelije nije toliko varirao u temperaturi, što će pokazati daljnja analiza. Iz podataka prikupljenih u ESWD-u (slika 23) vidljivo je da je ćelija u većem dijelu središnje Češke za posljedicu imala izrazito vjetrovito (eng. severe wind) vrijeme, ali nisu zabilježene druge ekstremne vremenske pojave.



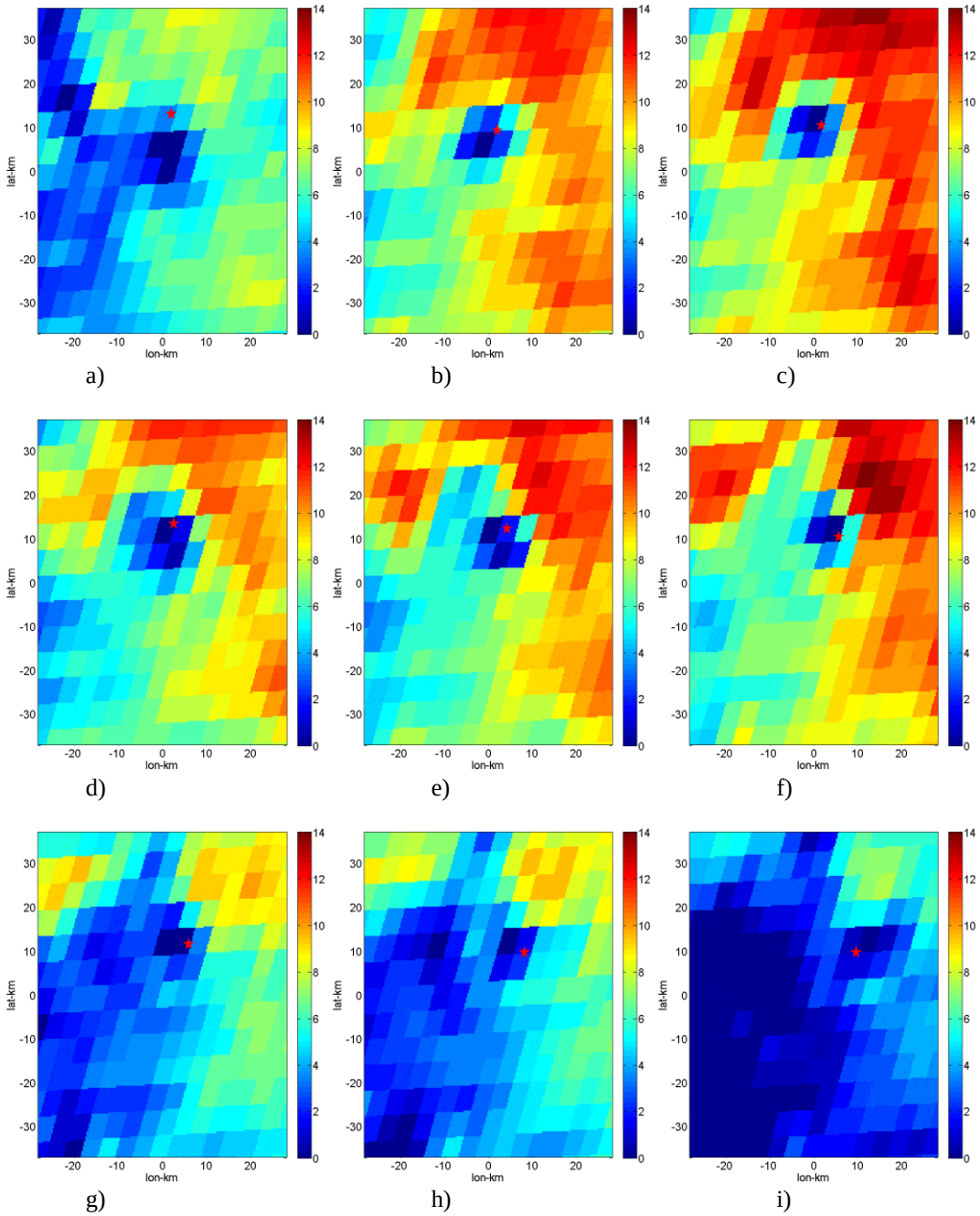

Slika 24: MSG HRV snimka vrha oblaka na kojoj se vide mnogi težinski valovi (sjeveroistočno, sjeverno i zapadno od OT-a) uzrokovani interakcijom tropopauze s vrhom oblaka, 29.7.2013. u 17:12 UTC




Slika 25: Položaj OT-a (crvena točka) i najhladnije točke na satelitskoj snimci u IR kanalu (temp. između 195 K i 230 K) na početku promatranja, 17:07 UTC.




Slika 26: Položaj OT-a (crvena točka) na početku raspada na satelitskoj snimci u IR kanalu (više nije najhladnija točka), 17:27 UTC.




Slike 27 (a-i): Polja gradijenta temperature, s prikazanim položajem OT-a[4] (crvena zvijezda), od 17:05 UTC do 17:35 UTC

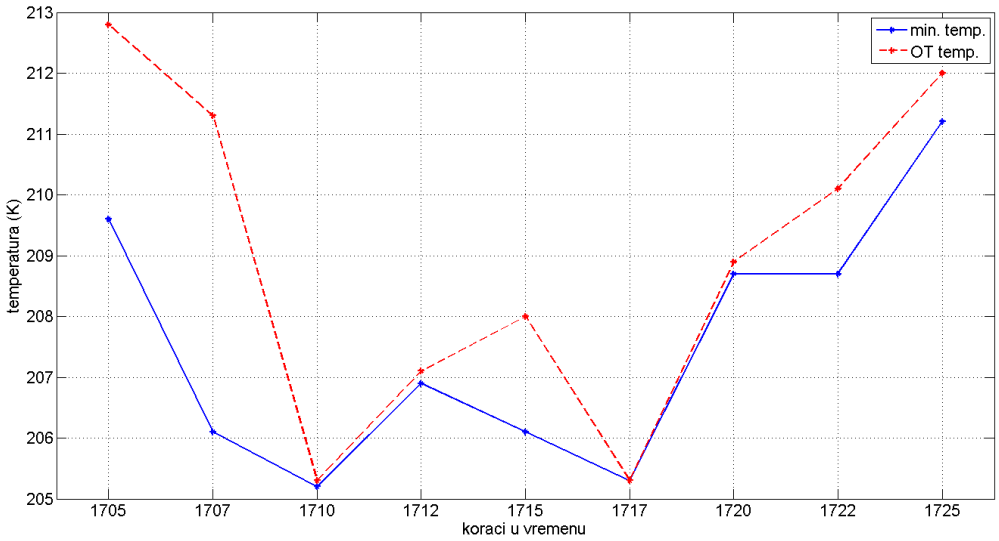
OT u ovom primjeru velik je dio vremena i najhladnija točka oblaka, što je logično za pojmiti iako to nije uvijek slučaj. Kod takvih primjera moguća je i automatska detekcija OT-a kao najhladnijeg piksela na vrhu oblaka, dok su slučajevi OT-a u toplom području kompliciraniji i ostaju teme za daljnja istraživanja. U zadnjem terminu (slika 27i), vidi se veliko hladno područje na oblaku na lijevoj strani slike, to prikazuje stvaranje novog

[4] Polja su generirana tako da je koordinatni okvir prve slike uzet kao okvir svake sljedeće slike – vidi se lagano pomicanje OT-a od središta

izraženog OT-a i hlađenje u blizini promatranog OT-a, te je zbog toga analiza promatranog OT-a prekinuta.

Iz slika i dosadašnje analize vidljive su dvije bitne razlike u odnosu na prošle slučajeve:

- na poljima gradijenta nema hladnih prstenova ili hladnih U/V
- u ESWD bazi nema zabilježenih pljuskova kiše ili tuče




Slika 28: Odnos temperature OT-a (crvena isprekidana linija) i minimalne temperature vrha oblaka (plava puna linija) - temperature procijenjene programom u Matlab-u; vremenski interval od 17:05 UTC do 17:25 UTC.

OT je u početku bio nešto topliji od najhladnije točke okolice, ali je tada temperatura OT-a postupno padala s početnih 213 K na najnižih 205.3 K. Od 3. do 7. termina (osim 5.) OT je ujedno bio i najhladnija točka na vrhu oblaka, a najveća razlika primjećena je u drugom terminu (17:07 UTC) i iznosila 5.3 K. Primjećuje se opet zagrijavanje OT-a u trenutku hlađenja okoline od 17:12 UTC.

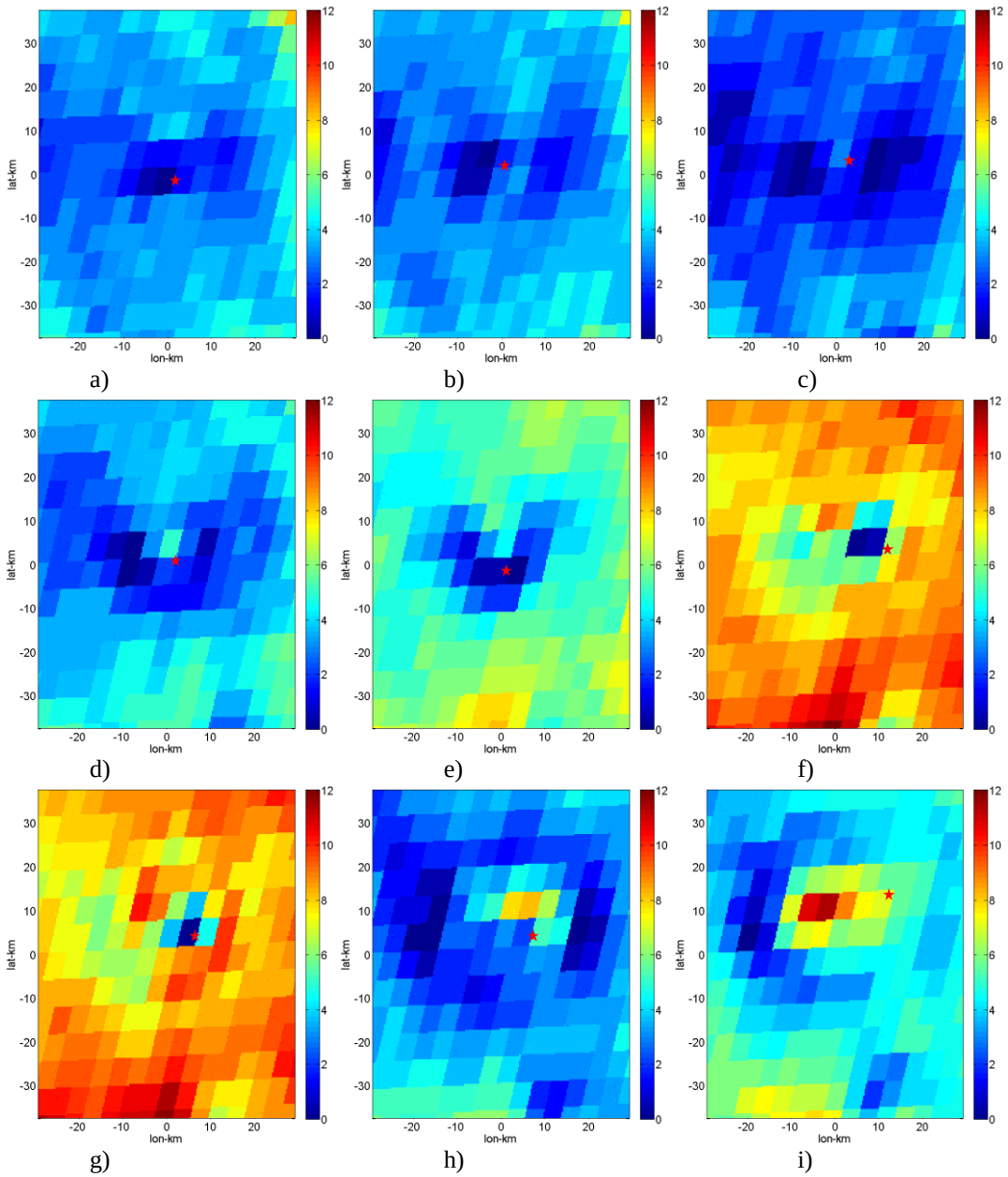
## 5 Usporedba 2.5, 5 i 15 minutnih skenova

Za praćenje struktura na vrhovima konvektivnih oblaka kao što su OT, hladni U/V, težinski valovi i sl. prostorna rezolucija satelistkih snimki mora biti što bolja. Također da bi se razvoj OT-a i drugih srodnih struktura mogao analizirati u vremenu, nužna je što bolja vremenska rezolucija snimaka. Osim toga satelitski podaci postali su nenadomjestiv ulazni podatak za mnoge prognostičke modele (npr. Anderson i sur. 1974.; Dvorak, 1975; Al-Saadi i sur., 2005) . Iz tih razloga satelitska se tehnologija sve brže razvija. Tako se od početaka Meteosat misije, kada su sateliti snimali Zemlju vremenskim intervalom od 30 minuta (Meteosat First Generation), napredovalo do točke kada satelit može skenirati s razmacima od 2,5 minute (Satellites, http://www.eumetsat.int), a u slučaju GOES satelita skeniranje je moguće i svake minute. To je povećanje brzine omogučilo detaljno analiziranje i praćenje struktura kao što su OT-ovi, hladni prsteni, hladni U/V i dr., koje mogu trajati manje od 10 minuta kao što smo vidjeli iz analiza (OT može trajati od 5 do 20 minuta po Setvak i sur. (2014) i Bedka i sur. (2010) ).

Da bi se objasnila još jedna prednost bržeg skeniranja, moramo objasniti kako skenovi rade. Satelit počne snimati npr. od ekvatora i snima tako da skenira jednu traku određene širine po cijeloj dužini ekvatora. U sljedećem koraku pomakne se malo sjevernije i počne skenirati traku od istoka prema zapadu, itd. (Meteosat Design, http://www.eumetsat.int). Takvim procesom, dok satelit skenira Zemlju 5 minuta ili 15 minuta, vrijeme i strukture Zemljine atmosfere se izmjene, tako da se slika vremena na jugu ne poklapa sa slikom vremena na sjeveru. Jednostavnije rečeno, ako uzmemo da je vrijeme u jednom vremenskom trenutku na Zemlji povezano, možemo reći da na ovaj način snimanja, vrijeme nije povezano, jer je snimano u segmentima (bitnije za globalnu sliku, ne toliko za lokalne sustave).

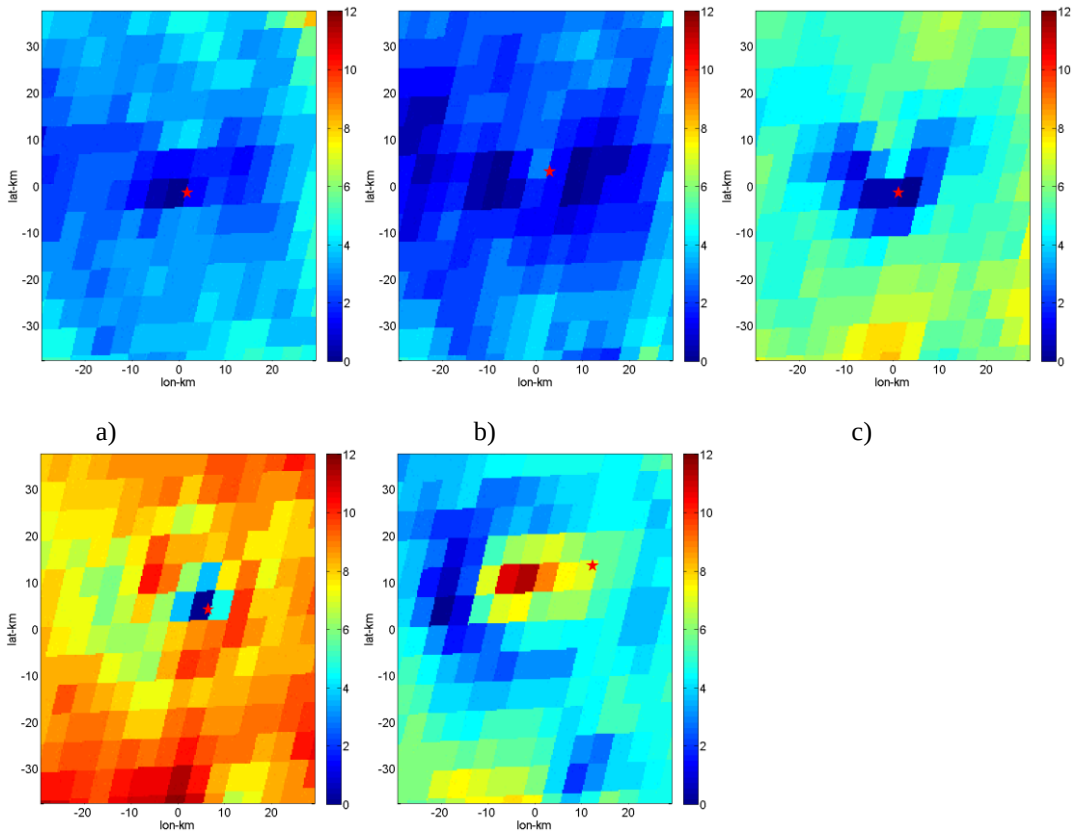
Loših strana kraćeg satelitskog snimanja zapravo i nema, osim što sve kraće vrijeme snimanja zahtijeva velike tehnološke iskorake i nije uvijek jednostavno izvedivo.

U cilju slikovitog prikaza prednosti 2.5 minutnih pred 5 minutnim i osobito 15 minutnim skenovima u nastavku su uspoređene satelitske snimke, točnije polja gradijenta temperature s različitim intervalom snimanja. Uzete slike su zapravo 2.5 minutni podaci od dana 20.6.2013. koje ćemo slagati tako da nam pokažu kako bi niz polja izgledao da imamo snimke svake 2.5, 5 i 10 minuta.



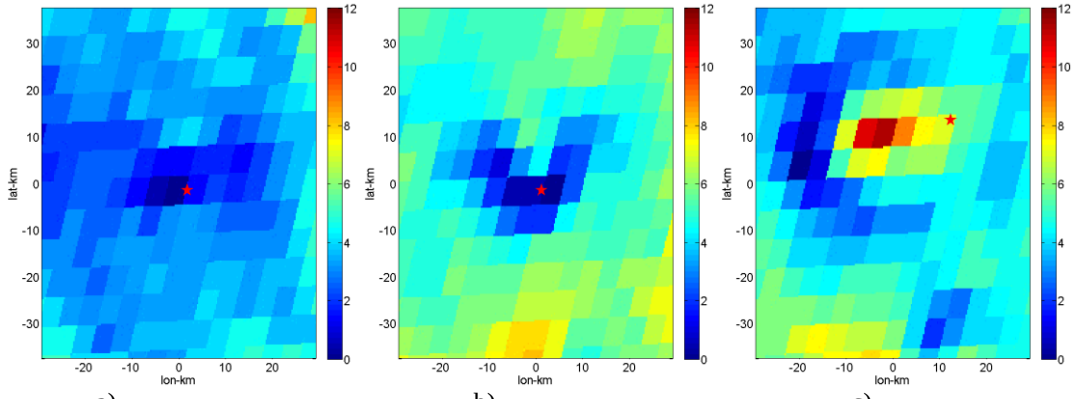

Slike 37 (a-i): Polja gradijenata temperature za podatke snimane u 2.5 minutnom intervalu, za slučaj ćelije iznad Lepziga s označenim OT-om (crvena zvijezda), od 16:10 UTC do 16:30 UTC.

Ovaj slučaj izabran je zbog vidljivih prijelaza između struktura (OT u hladni U/V i sl.) koje su prikazane u poljima gradijenata temperature. Različite strukture se izmjenjuju na njegovom vrhu u relativno kratkom vremenu (manje od 5 minuta).




Slike 38 (a-e): Polja gradijenata temperature za podatke snimane u 5 minutnom intervalu, za slučaj ćelije iznad Lepziga s označenim OT-om (crvena zvijezda), od 16:10 UTC do 16:30 UTC.

Duplo duži interval snimanja daje još dosta informacija, vide se promjene koje su bitne (prelazak iz hladnog U na 3. slici (slika 38c) u hladni piksel na 4. slici (slika 38d), pa opet iz hladnog piksela u hladni U na 5. slici), iz toga zaključujemo da 5 minutni podaci daju još dovoljno dobar pregled situacije na vrhu oblaka, ako se oblak održava dovoljno dugo (a takvi su nam bitni za praćenje jer su potencijalno opasni (Dworak i sur., 2011)).




Slike 39 (a-c): Polja gradijenata temperature za podatke snimane u 10 minutnom intervalu, za slučaj ćelije iznad Lepziga s označenim OT-om (crvena zvijezda), od 16:10 UTC do 16:30 UTC.

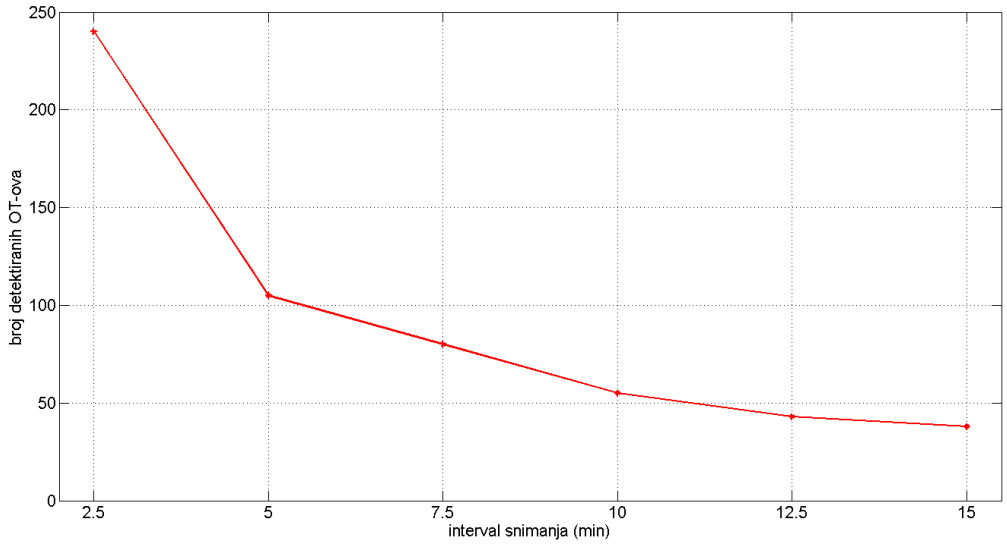
Deset minutni skenovi (slika 39) daju puno manje podataka o promjenama na vrhu oblaka. Prijelazi između hladnih piksela u hladne U/V se ne vide, ne vide se zapravo niti hladni pikseli na kojima je OT bio. Također iz analiza koje su provedene, vidi se da se u vremenskom intervalu od pola sata OT može i stvoriti i raspasti, tako da svaki veći interval snimanja od 5 minuta, može uhvatiti samo par značajki ili samo jednu sliku OT-a na vrhu tog oblaka.

Takvi podaci su lošiji i zbog aliasinga, jer se kvari mentalna slika vrha oblaka, a samim time slika oblaka u cijelini. Zbog rijeđeg snimanja propuštaju se strukture vrha, propusti se većina zapaženih OT-ova (više o tome u sljedećem potpoglavlju), broj koji isto može dati informaciju o jačini ćelije koja se promatra, putanja oblaka, itd.

Niz slika 15 minutnih intervala snimanja nije stavljena, jer je to najčešće bila samo jedna slika, budući je većina analiziranih i zabilježenih OT-ova trajala kraće od pola sata, a neki kraće i od 20 minuta.

### *5.1 Broj zabilježenih OT-ova u odnosu na interval snimanja*

Kako se interval satelitskog snimanja smanjuje, tako se i na vrhu oblaka povećava broj zabilježenih OT-ova. Oblak koji dugo traje, zauzima veliku površinu i ima veliki broj zabilježenih OT-ova je oblak s potencijalno opasnim vremenom pri tlu (Dworak i sur., 2011). Takav oblak može izazvati bujične poplave, jaku grmljavinsku aktivnost i tuču na velikom području. Ti razlozi sami nalažu da je kraćenje intervala snimanja vrlo korisno za praćenje aktivnosti takvih i sličnih oblaka i vremena. Za zorniji prikaz napravljen je jedan graf (slika 40) koji prikazuje koliko se u jednom vremenskom periodu ($\Delta t$ = 1 sat, od 17:00 do 18:00 UTC, 20.6.2013.) može zabilježiti OT-ova koristeći različite intervale snimanja oblaka (korišteni podaci iz baze OT-ova, Setvaka i Radove iz 2014.).




Slika 40: Broj opaženih OT-ova u odnosu na interval satelitskog snimanja.

# 6 Zaključak

U ovom radu obrađena su 3 primjera jasno vidljivih OT-a na vrhovima konvektivnih oblaka iz dvije kampanje mjerenja super brzim satelitskim snimkama. Obrađene su sinoptičke situacije ta dva dana, dan je kratak opis uzroka nevremena, te su obrađene osnovne značajke zabilježenih OT-ova i različitih načina satelitskog snimanja.

Cilj ovog rada bio je zaključiti nešto više o prednostima satelitskog snimanja u intervalu od 2.5 minute i također proučiti karakteristike pojedinih struktura na vrhovima oblaka i njihove promjene uz takvu brzinu snimanja. Iz analize ovog malog uzorka (jasni, relativno stacionarni i relativno dugo živući OT-ovi) može se zaključiti da OT, iako najviši dio oblaka, nije uvijek i najhladnije područje oblaka. Temperatura OT-a mijenja se ovisno o procesima u samom oblaku i na njegovu vrhu. Pritom postoje razne strukture na vrhu oblaka, čije postojanje i transformacije vidimo zahvaljujući 2.5 minutnim snimkama. Iz usporedbi s podacima o vremenu zabilježenim u ESWD bazi jasno je uočeno da su strukture na vrhu oblaka povezane s pojavama pri tlu. Oscilacije temperature na vrhovima konvektivnih oblaka, praćene su na snimkama u infra-crvenom dijelu spektra. U sva tri promatrana slučaja iz usporedbe temperature najhladnije točke okoline i temperature OT-a vidljivo je da je u srednjem stadiju razvoja OT postao topliji od okolnih vrhova oblaka. Prednosti snimanja u kraćim vremenskim intervalima jasno su predočene usporedbom uzastopnih snimaka s različitom vremenskom rezolucijom. Tako se kvalitativno pokazalo da se kraćenjem vremena snimanja omogućuje detekcija većeg broja OT-ova, što je bitno za procjenu jačine oluje. Također je uočeno da se dužim intervalom između snimanja gubi informacija o samim strukturama na vrhovima oblaka i prijelazima između njih.

Osim 3 navedena slučaja koji su izravno obrađeni u ovom radu, još 8 slučaja OT-a je analizirano i u ESWD-u provjereno za jača nevremena (tuča, jaki pljuskovi, jak vjetar). Od tih ukupno 11 slučajeva OT-a koji su analizirani, njih 6 imalo je neki oblik strukture na vrhu oblaka (hladni prsten, hladni U/V), a 5 je imalo samo OT. Od tih 6 slučajeva s hladnim prstenom ili hladnim U/V, svih 6 imalo je prisutnu tuču pri tlu u okolici OT-a što je u skladu s rezultatima analize provedene u M. I. Žibert i J. Žibert (2013), koja je pokazala povezanost hladnih prstenova i tuče, te radom McCann (1983) u kojem je pokazana povezanost hladnog V i ekstremnog vremena. U jednom od šest navedenih slučajeva zabilježen je i jaki pljusak, a u 3 i jaki vjetar pri tlu. Od slučajeva bez struktura na vrhu, tj. samo s izraženim OT-om, 2 su imala veliku tuču, 2 jaki pljusak i 3 jaki vjetar.

Zbog takve povezanosti stanja na vrhu oblaka s prilikama pri tlu, praćenje razvoja oblaka i razvoja struktura na vrhu oblaka može poslužiti kao pomoćno sredstvo za upozoravanje na dolazak opasnih vremenskih prilika. Takvo upozoravanje će biti to točnije što će razmak između satelitskih snimki biti kraći, jer se strukture mogu razviti između dvije snimke kod dužeg intervala snimanja.

Ova je analiza dala malo detaljniji uvid u termičke procese na vrhu oblaka, kao i strukture koje se pojavljuju tijekom tih pocesa (OT, hladni U/V, hladni prsten). Uočena je povezanost tih struktura i dugovječnosti oblaka s vremenom pri tlu, a pokazane su i prednosti super brzog satelitskog snimanja oblaka na analizu i praćenje struktura na vrhovima konvektivnih oblaka.

# 7 Literatura

T. Achtor, T. Rink, T. Whittaker, D. Parker, D. Santek: McIDAS-V: a powerful data analysis and visualization tool for multi and hyperspectral environmental satellite data // International TOVS Study Conference-XVI Proceedings, 2008. god.

J. Al-Saadi, J. Szykman, R. B. Pierce, C. Kittaka, D. Neil, D. A. Chu, L. Remer, L.Gumley, E. Prins, L. Weinstock, C. MacDonald, R. Wayland, F. Dimmick, J. Fishman: Improving National Air Quality Forecasts with Satellite Aerosol Observations // Bulletin of the American Meteorological Society, 2005. god., vol. 86, 1249 - 1261 str.

D. M. A. Aminou: MSG's SEVIRI Instrument // ESA Bulletin 111, 2002. god., 15 - 17 str.

R. K. Anderson, G. R. Farr, J. P. Ashman, A. H. Smith, L. F. Ritter: Application of Meteorological Satellite Data in Analysis and Forecasting // National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1974. god., 342 str.

K. Bedka: Overshooting cloud top detection using MSG SEVIRI Infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe // Atmospheric Research, 2011. god., vol. 99, 175 - 189 str.

K. Bedka, W. Feltz, J. Mecikalski, R. Sharman, A. Lenz, J. Gerth: Satellite signatures associated with significant convectively-induced turbulence events // EUMETSAT, oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/iotm/iotm/20091109_turbulence/bedka.pdf, 2007. god.

K. Bedka, J. Brunner, R. Dworak, W. Feltz, J. Otkin, T. Greenwald: Objective Satellite-Based Detection of Overshooting Tops Using Infrared Window Channel Brightness Temperature Gradients // Journal of applied meteorology and climatology, vol. 49, 2010.god.

J. Brunner, S. A. Ackerman, A. S. Bachmeier, R. Rabin: A Quantitative Analysis of the Enhanced-V Feature in Relation to Severe Weather // Weather and Forecasting, 2007. god., vol. 22, 853 - 872 str.

C. F. Chappell, Mesoscale Meteorology and Forecasting, Quasi-Stationary Convective Events // American Meteorological Society, 1986. god., 289 - 310 str.

C. A. Doswell III, H.E. Brooks, R. A. Maddox: Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology // Weather and Forecasting, 1996. god., vol. 11, 560 - 581 str.

R. Dworak, K. Bedka, J. Brunner, W. Feltz: Comparison between GOES-12 Overshooting-Top Detections, WSR-88D Radar Reflectivity and Severe Storms Reports // Weather and Forecasting, 2011. god., vol. 27, 684 - 699 str.

V. Dvorak: Tropical Cyclone Intensity Analysis and Forecasting from Satellite Imagery // Monthly Weather Review, 1975. god., vol. 103, 420 - 430

T. T. Fujita: Manual of downburst identification for project NIMROD, The University of Chicago, SMRP Research Paper, 1978. god.

A. E. Gill: Atmosphere–Ocean Dynamics // Academic Press, 1982. god., 662 str.

T. Glickman, Glossary of Meteorology, 2. izdanje, American Meteorological Society, 2000. god., 855 str.

G. M. Heymsfield, G. Szejwach, S. Schotz, R. H. Blackmer Jr.: Upper Level Structure of Oklahoma Tornadic Storms on 2 May 1979. II: Proposed Explanation of "V" Pattern and Internal Warm Region in Infrared Observations // Journal of Atmospheric Sciences, 1983., vol. 40, 1756 - 1767 str.

G. Heymsfield, R. H. Blackmer Jr.: Satellite Observed Characteristics of Midwest Severe Thunderstorm Anvils // Monthly Weather Review, 1988. god., vol. 116, 2200 - 2224 str.

G. M. Heymsfield, R. Fulton, J. D. Spinhirne: Aircraft Overflight Measurements of Midwest Severe Storms: Implications on Geosynchronous Satellite Interpretations // Monthly Weather Review, 1990. god., vol. 119, 436 - 456 str.

G. M. Jiang, Z. L. Li: Split-window algorithm for land surface temperature estimation from MSG1-SEVIRI data // International Journal of Remote Sensing, 2008. god., vol. 29, 6067-6074 str.

D. W. McCain: The Enhanced-V: A Satellite Observable Sever Storm Signature // Monthly Weather Review, 1983. god., vol. 111, 887 - 894 str.

P. Mikuš, M. Telišman Prtenjak, N. Strelec Mahović: Analysis of the convective activity and its synoptic background over Croatia // Atmospheric Research, 2012. god., vol. 104-105, 139 - 153 str.

P. B. Mills i E. G. Astling: A study of suppercell cloud top temperature signatures from GOES Enhanced Infrared Imagery for 15 April 1976., magistarski rad, University of Utah, Department of Meteorology, 1978. god.

L. F. Peres, C. C. DaCamara: Land surface temperature and emissivity estimation based on the two-temperature method: sensitivity analysis using simulated MSG/SEVIRI data // Remote Sensing of Environment, 2004. god., vol. 91, 377 - 389 str.

D. Rosenfeld, I. Lensky, J. Kerkmann, S. Tjemkes, Y. Govaerts, HP Roesli: Conversion from counts to radiances // EUMETSAT, http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/msg_channels.php, 2005. god.

R. E. Schlesinger: Effects of stratospheric lapse rate on thunderstorm cloud-top structure in a three-dimensional numerical simulation // Journal of the Atmospheric Sciences, 1988. god.

T. J. Schmit, S. J. Goodman, D. T. Lindsey, R. M. Rabin, K. Bedka, M. M. Gunshor, J. L.Cintineo, C. S. Velden, A. S. Bachmeier, S. S. Lindstrom, C. C. Schmidt: Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)-14 super rapid scan operations to prepare for GOES-R // Journal of Applied Remote Sensing, 2013. god., vol. 7

M. Setvak, D. T. Lindsey, P. Novak, R. M. Rabin, P. K. Wang, J. Kerkmann, M. Radova, J. Štastka: Cold-ring shaped storms in central Europe // EUMETSAT conference, 2008. god., Darmstadt, Germany

M. Setvak, M. Radova, J. Kanak, M. Valachova, K. Bedka, J. Štastka, P. Novak, H. Kyznarova: Comparison of the MSG 2.5-minute Rapid Scan data and products derived from these, with radar and lightning observations // EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Geneva, 2014. god.

J.A. Sobrino, M. Romaguera: Land surface temperature retrieval from MSG1-SEVIRI data // Remote Sensing of Environment, 2004. god., vol. 92, 247 - 254 str.

P. K. Wang: The thermodynamic structure atop a penetrating convective thunderstorm // Atmospheric Research, 2007. god., vol. 83, 254 - 262 str.

P. K. Wang, S. H. Su, M. Setvak, H. Lin, R. M. Rabin: Ship wave signature at the cloud top of deep convective storms // Atmospheric Research, 2010. god., vol. 97, 294 - 302 str.

C. Ziegler., D. MacGorman: Observed Lightning Morphology Relative to Modeled Space Charge and Electric Field Distribution in a Tornadic Storm // Journal of Atmospheric Sciences, 1994. god., vol. 51, 833 - 851 str.

M. I. Žibert, J. Žibert: Monitoring and automatic detection of the cold-ring patterns atop deep convective clouds using Meteosat data // Atmospheric Research, 2013. god., vol. 123, 281 - 292 str.