

# PREPOZNAVANJE MOČNE KONVEKCIJE IZ SATELITSKIH SLIK – PRIMERI IZ POLETJA 2011

## Identification of strong convection in satellite images – examples from the summer of 2011

Mateja Iršič Žibert\*, Janez Žibert\*\* UDK 551.501.8:551.515.4

Povzetek	Abstract
<p>Prepoznavanje izrazite nevihtne aktivnosti je bistveni del bdenja nad stanjem oziroma dogajanjem v ozračju. Prepoznavanje značilnih vzorcev na satelitskih slikah v povezavi z znanjem o meteoroloških konceptualnih modelih intenzivnih neviht omogoča meteorologu prognostiku hitro prepoznavanje procesov, ki lahko povzročijo veliko materialno škodo ali celo ogrozijo človeška življenja. Prikazanih je nekaj primerov iz poletja 2011, ko je bila povzročena škoda zaradi neurja s točo in so na satelitskih posnetkih lepo vidni značilni vzorci, ki kažejo na intenzivnost procesa, v nekaterih primerih pa kažejo tudi na morebiten daljši proces. Poseben poudarek je namenjen opisu 11. julija 2011, ker je ta dan izstopal tako po intenzivnosti kot tudi povzročeni materialni škodi leta 2011.</p>	<p>Severe convection recognition is one of the key elements of proper monitoring of developments in the atmosphere. Identification of typical patterns in satellite images, in combination with the knowledge of meteorological conceptual models of severe convection, allows meteorological forecasters prompt identification of processes which can cause great material damage or endanger human lives. The article presents several examples from the summer of 2011 when there were damage reports on property due to severe wind gusts, heavy precipitation and particularly hailstorms. In these cases, typical patterns can be seen in satellite images, which indicate the intensity of convection and, in some cases, a possible long lasting convection. Special emphasis is placed on the description of 11 July 2011; that day stood out as regards both the intensity and the material damage caused.</p>

## Uvod

Pomemben del slovenske meteorološke službe je bdenje nad meteorološkim stanjem oziroma dogajanjem v Sloveniji. Pri tem je ključno predvsem prepoznavanje izrazitega nevihtnega dogajanja in mogoče tudi njegova takojšnja in zelo kratkoročna napoved (angl. *nowcasting*).

Namen tega prispevka je pokazati pomembne informacije na izbranih dnevih iz poletja 2011, ki jih za prepoznavanje izrazite nevihtne aktivnosti lahko dobimo iz prikazov satelitskih slik vrha oblaknosti. Takih satelitskih prikazov dopolnjujejo radarske podatke in dajejo bolj celostno sliko dogajanja v atmosferi. Nekateri podobni prikazi so bili predstavljeni za izbrane dni leta 2008 (Iršič Žibert, 2008), v tem pri-

spevku pa jih dodatno razširjamo z novejšimi ugotovitvami kot tudi s predstavitvijo sistema za samodejno detekcijo takšnih vzorcev, kar pomeni zelo velik izziv.

## Dnevi s točo leta 2011

Leta 2011 je bilo v okviru opazovalne mreže ARSO v Sloveniji 35 dni s točo. To leto ni bilo posebno izrazito glede intenzivnih konvektivnih procesov, ki bi povzročali zelo veliko materialno škodo. Izjema je le 11. julij 2011, ki ga bomo še posebno podrobno predstavili. Porazdelitev dni s točo po posameznih mesecih v okviru opazovalne talne mreže ARSO je predstavljena v preglednici 1. Po številu dni s točo kot tudi po intenzivnosti procesov in s tem povezano škodo je izstopal julij.

V članku so predstavljeni izbrani primeri, ko je bila povzročena večja materialna škoda kot posledica neurja in toče, in sicer 21. maja ter 11. julija 2011.

\* mag., Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, ARSO, Vojkova cesta 1 b, Ljubljana, Mateja.Irsic@gov.si

\*\* dr., Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Glagoljaška ulica 8, Koper

mesec	april	maj	junij	julij	avgust	september
število dni s točo	2	8	9	10	2	4

Preglednica 1: Število dni s točo po mesecih, opaženih s talno merilno mrežo ARSO leta 2011, (c) ARSO

Table 1: Number of days with hail by months, recorded by the Slovenian Environment Agency (SEA) ground measuring network in 2011 (source: SEA).

## Satelitske meritve

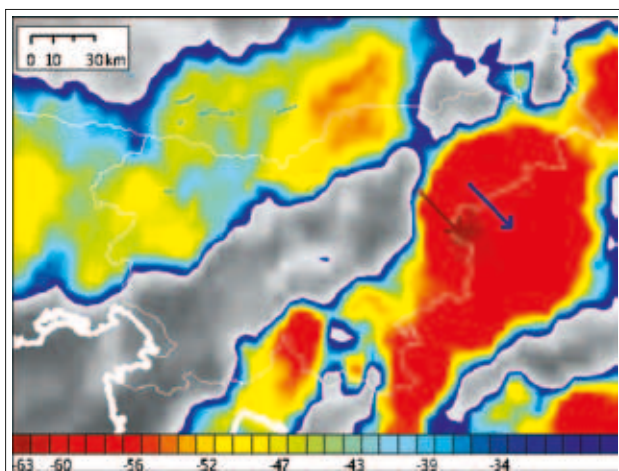
Satelitske slike satelita Meteosat-9 se osvežujejo vsakih 15 minut, dodatno pa so podatki dostopni vsakih pet minut s satelita Meteosat-8. Radiometer SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) na satelitu Meteosat meri sevanje v dvanajstih kanalih vidnega in infrardečega dela sevanja (Iršič Žibert, 2004). V tem delu spektra ni mogoče neposredno meriti količine ali vrste padavin, lahko pa iz značilnosti vrha oblačnosti sklepamo na intenzivnost dogajanja v oblaku in intenzivnost vzgornikov, kar pri tleh povzroča materialno škodo zaradi močnih vetrov, intenzivnih padavin, tudi toče. Posebno pozornost zahteva spremljanje oblakov, ki prodrejo visoko v atmosfero, še posebno tistih, ki prodrejo v stratosfero [angl. *overshooting*]. V nadaljevanju bodo predstavljeni primeri, kako lahko v infrardečem delu spektra, ki je na voljo podnevi in ponoči, prepoznamo ta pojav s primernimi prikazi, ki poudarjajo hladne vrhove. Izbira primerne barvne skale je odvisna od višine in temperature tropopavze posameznega dne, ta pa se skozi leto spreminja. Tako je treba (vsaj) vsak dan prilagajati barvno skalo za subjektivno prepo-

znavanje tako imenovanih hladnih obročev, ki kažejo na intenzivnost dogajanja v konvektivnem oblaku. Objektivno prepoznavanje hladnih obročev, kot so vidni na satelitskih slikah, je izreden izziv. Algoritem SATSEVERE, ki avtomatično prepoznava hladne obročje, je bil na novo razvit in bo predstavljen v nadaljevanju.

Na satelitskih slikah so z rdečimi odtenki prikazani hladnejši vrhovi, ki prodrejo v stratosfero, razviden pa je tudi poseben vzorec, tako imenovani hladni obroč (angl. *cold ring*) (Setvak, 2005, 2010), ki je značilen za območja intenzivnega navpičnega dviganja znotraj oblaka, kar povzroči, da vrh oblaka prodre v stabilno plast atmosfere. Temperaturna skala je barvno poudarjena za oblačnost, hladnejšo od  $-34$  °C, in je izbrana tako, da so poudarjeni zelo hladni, visoki oblaki.

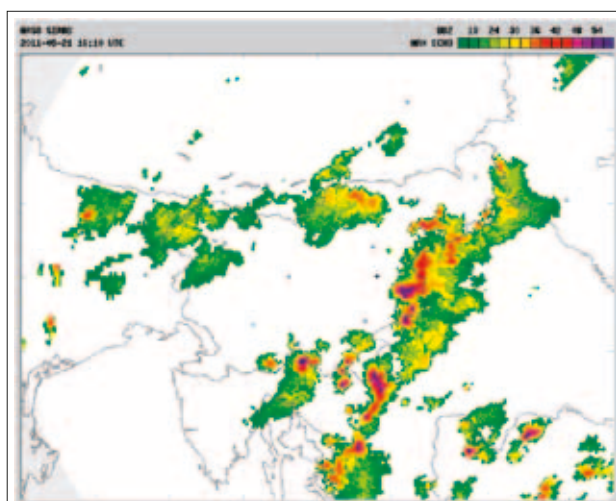
Na slikah 4, 6 in 7 je viden tako imenovani hladni obroč, z rdečo puščico je označen najhladnejši del na hladnem obroču in tudi tako imenovani osrednji toplejši sektor (angl. *central warm spot*), označen z modro puščico. Nekoliko manj očiten je hladen obroč na sliki 1, zato je za prepoznavanje vzorcev koristna primerjava s satelitsko sliko v vidnem spektru, v katerem so v nekaterih primerih vidna manjša območja, ki segajo v tropopavzo.

Najverjetnejši razlog za nastanek osrednjega toplega dela pri IR-slikah s hladnim obročem je (Setvak, 2007; Setvak, 2010; Wang, 2007) diabatno segrevanje zelo hladnih vrhov oblaka v toplejši stratosferi. To je tudi



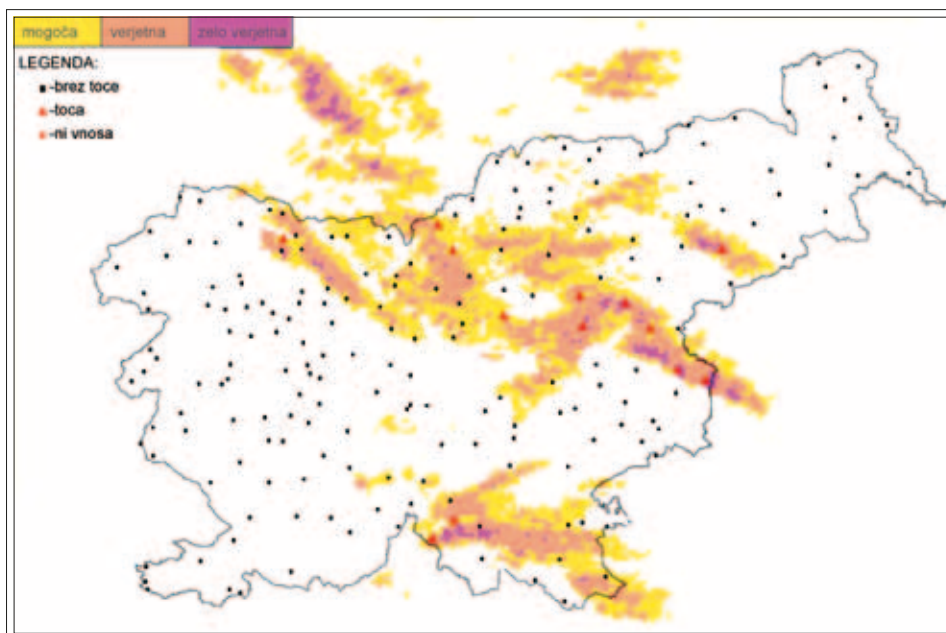
Slika 1: Satelitska slika ob 16.00 UTC 21. maja 2011 v infrardečem delu spektra prikazuje temperaturo vrha oblačnosti, prikazano v barvni skali (v °C), prilagojeni glede na višino in temperaturo tropopavze. Rdeča puščica označuje *hladni obroč*, modra pa *osrednji toplejši sektor*, © ARSO.

Figure 1: Infrared satellite image (IR 10.8) on 21 May 2011 at 16:00 UTC, scanned by Meteosat-9 satellite, in colour scale in °C, showing cloud top temperature, adjusted for tropopause altitude and temperature. The red arrow indicates the *cold ring*, and the blue arrow the *warmer central section* (source: SEA).



Slika 2: Radarska slika prikazuje maksimalne radarske odbojnosti 21. maja 2011 ob 16.10 UTC, © ARSO.

Figure 2: Radar image showing maximum radar reflectivity on 21 May 2011 at 16:10 UTC (source: SEA).



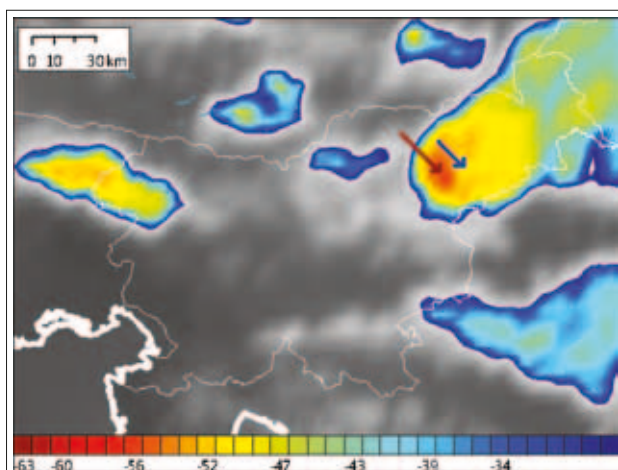
Slika 3:  
Poročila o toči na tleh iz merilne mreže ARSO (rdeči trikotniki) in dnevni prikaz radarskih podatkov navpično integrirane vode (VL), ki je eden izmed indikatorjev za točo 11. julija 2011

Figure 3:  
Reports on hail based on the SEA ground measuring network (red triangles) and daily radar data on the basis of the vertically integrated liquid (VL) indication for hail probability on 11 July 2011 (source: SEA).

razlog, da obroč nastane šele potem, ko močan vzgornik traja nekaj časa. Mogoči sta tudi drugi razlagi, in sicer je lahko osrednji del toplejši zaradi delne prosojnosti zgornjega osrednjega dela v spektru IR (dobimo tudi prispevek sevanja iz nižjih, toplejših plasti) ali pa gre za učinek lomljenja gravitacijskih valov.

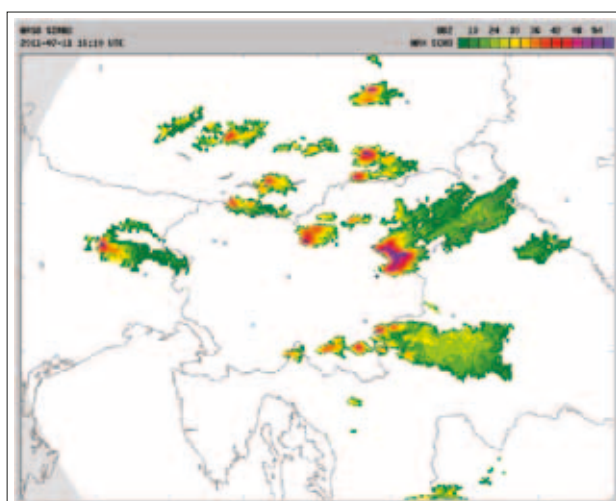
Glavne značilnosti hladnega obroča, kakor je viden s satelitskih slik IR10.8 (Setvak, 2010; Iršič Žibert, 2010), so: temperaturna razlika med hladnejšim obročem in osrednjim toplejšim sektorjem, ki je od nekaj K do celo 10 K (glej primer na sliki 5), vodoravna razsežnost osrednjega toplejšega sektorja je lahko več slikovnih elementov SEVIRI, to je tudi do 70 kilometrov ob zelo intenzivnem in dolgem hladnem obroču, trajanje osrednjega toplejšega sektorja pa je od enega posnetka (15 minut) do več zaporednih posnetkov (več kot uro).

Na sliki 3 je dnevni prikaz poročil o toči iz merilne mreže ARSO (rdeči trikotniki), toča pa je bila dodatno opažena v naseljih Brege, Raka, Krško in Nemška vas (URSZR, 2011a) ob 16.23 UTC, zato sta malo pred tem časom prikazani satelitska slika (slika 1) in radarska slika (slika 2). Z radarske slike ob 16.10 UTC (slika 2) so razvidni močni radarski odboji (>54 dBz) na tem območju. Prav tako se s satelitske slike (slika 1) vidijo zelo hladni vrhovi, ki kažejo na sicer nekoliko neizrazit hladni obroč, vendar kljub temu pomenijo dodatno informacijo o intenzivnosti dviganj v oblaku. Prikazane satelitske slike niso krajevno popravljene zaradi premika, ki nastane kot posledica paralakse, kar pomeni, da je za točno lokacijo najhladnejših vrhov nujen premik vrha oblaka za približno 15 kilometrov proti jugozahodu. To je tudi razlog, da sta modra in rdeča puščica na sliki 1 pomaknjeni na Hrvaško, čeprav



Slika 4: Enako kot slika 1 za 11. julij 2011 ob 16.00 UTC, © ARSO

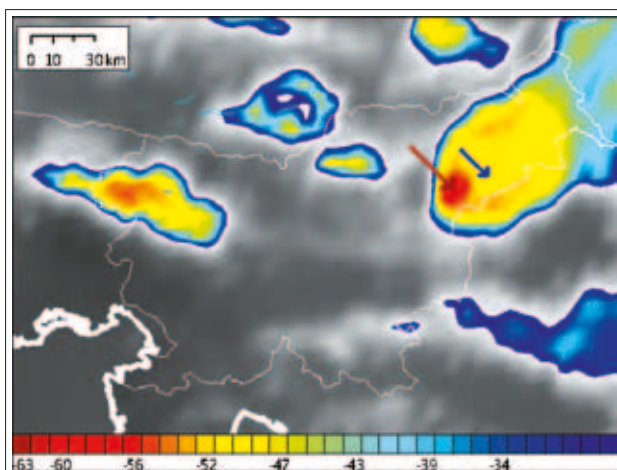
Figure 4: Same as Fig.1, for 11 July 2011 at 16:00 UTC (source: SEA).



Slika 5: Radarska slika prikazuje maksimalne radarske odbojnosti 11. julija 2011 ob 16.10 UTC, © ARSO.

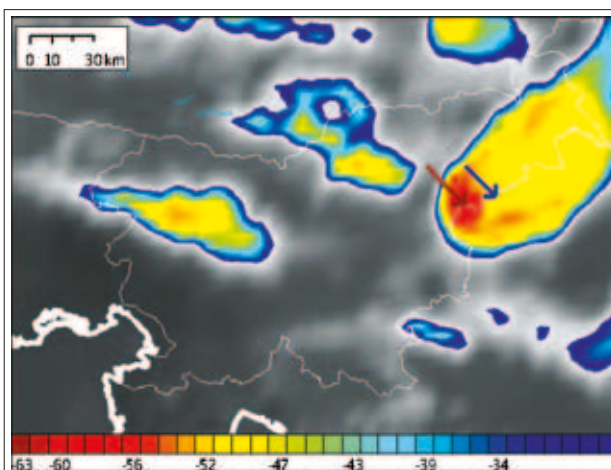
Figure 5: Radar image showing maximum radar reflectivity on 11 July 2011 at 16:10 UTC (source: SEA).





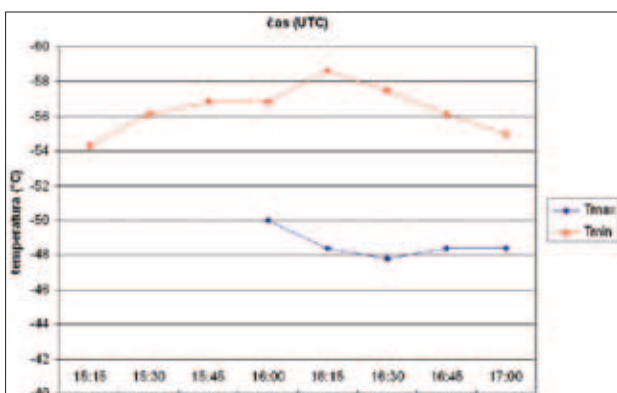
Slika 6: Enako kot slika 1 za 11. julij 2011 ob 16.15 UTC, © ARSO

Figure 6: Same as Fig.1, for 11 July 2011 at 16:15 UTC [source: SEA].



Slika 7: Enako kot slika 1 za 11. julij 2011 ob 16.30 UTC, © ARSO

Figure 7: Same as Fig.1, for 11 July 2011 at 16:30 UTC [source: SEA].



Slika 8: Časovni prikaz najbolj hladnih vrhov oblakosti 11. julija 2011 od 15.15 do 17.00 UTC (T min - rdeče) in temperatura osrednjega toplejšega sektorja znotraj hladnega obroča, ko je bil viden od 16.00 do 17.00 UTC (T max - modro). Temperatura tropopavze, izmerjene z radiosondažo ob 12.00 UTC, je bila  $-51,9^{\circ}\text{C}$ . Velika temperaturna razlika med T max in T min, tudi do  $10^{\circ}\text{C}$ , kaže na zelo veliko intenzivnost procesa, © ARSO.

Figure 8: Time evolution of the coldest cloud tops on 11 July 2011 from 15:15 UTC to 17:00 UTC (Tmin - red) and temperature of the warmer central section inside the cold ring from 16:00 to 17:00 UTC (Tmax - blue). Tropopause temperature, obtained by radiosonde measurements at 12:00 UTC, was  $-51.9^{\circ}\text{C}$ . Large temperature difference between Tmax and Tmin, up to  $10^{\circ}\text{C}$ , indicates a very high intensity of convection [source: SEA].

(T min) hladnih vrhov oblakosti ob različnih časih. Na sliki 8 so predstavljene vrednosti T min, še preden je bil viden hladni obroč (od 15.15 do 15.45 UTC), kot tudi vrednosti T min v času trajanja hladnega obroča od 16.00 do 17.00 UTC, ko so predstavljene tudi vrednosti znotraj osrednjega toplejšega sektorja (T max). Velika razlika med T max in T min, tudi do  $10^{\circ}\text{C}$ , kaže na dodatno veliko intenzivnost procesa, ki se je v tem primeru pokazala tudi s škodo, povzročeno zaradi močnega vetra, intenzivnih padavin in toče, ki je ponekod na tleh dosegala tudi 20 centimetrov debelo plast manjših zrn.

## Avtomatično prepoznavanje vzorcev hladnih obročev na satelitskih slikah

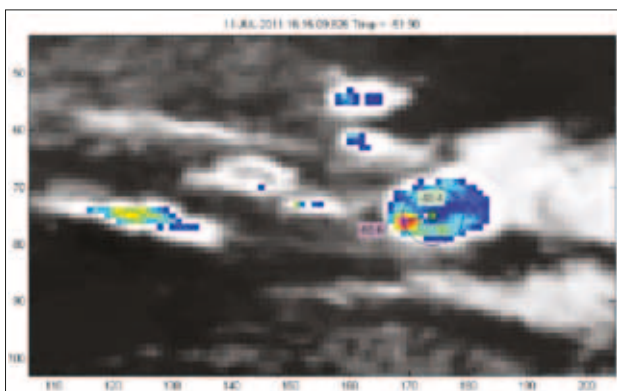
Za jasen prikaz takih vzorcev, ki se pojavljajo na satelitskih slikah ob ekstremnem vremenu, je za prepoznavanje specialista prognotika nujna prilagoditev temperaturne skale glede na višino oziroma temperaturo tropopavze. Prav tako je ob veliki količini arhivskih podatkov ali zelo pogosto osveženih podatkih zelo koristno avtomatično prepoznavanje značilnega vzorca. Že pri operativnih meritvah satelita Meteosat se izvajajo meritve vsakih pet minut. Pri načrtovani tretji generaciji satelitov Meteosat bodo meritve še bolj pogoste, in sicer vsake 2,5 minute, kar kaže na nujnost avtomatizacije prepoznavanja vzorcev hladnih obročev na satelitskih slikah, saj meteorolog prognotik pri tako pogostih meritvah ne more nenehno spremljati in pregledovati slik. Avtomatizacija tudi pomeni, da se lahko tako pridobljeni podatki s satelitskih slik uporabijo skupaj z drugimi viri podatkov v tako imenovanih ekspertnih sistemih, ki so podlaga za odločanje in izdajanje opozoril.

V ta namen je bil razvit postopek za avtomatično detekcijo hladnih obročev (angl. *cold-ring detection*) na in-

gre za konvektivno celico, vidno na radarskem posnetku (slika 2) na območju Krškega.

Bolj izrazit in dolgo trajajoč hladni obroč je bil na satelitskih slikah zelo lepo viden 11. julija 2011 (slike 4, 6, 7), ko je bila največja škoda na Bizeljskem in Kozjanskem (URSZR, 2011b). Na sliki 8 so prikazane najhladnejše vrednosti

frardečih satelitskih slikah satelita Meteosat. Postopek je bil razvit na podlagi značilnosti označene zbirke nekajletnih podatkov hladnih obročev nad osrednjo Evropo s Slovenijo. Postopek detekcije poleg satelitskih podatkov satelita Meteosat v infrardečem delu spektra uporablja tudi temperaturo tropopavze. Prav vključitev temperature tropopavze omogoča, da se tako upoštevajo sezonske spremembe in tudi krajevne značilnosti, kar omogoča široko uporabo tega algoritma. Dodatno je algoritem utemeljen tako, da deluje zelo hitro, zato je primeren tudi za obdelavo večjih območij. Natančna predstavitev avtomatičnega postopka detekcije hladnih obročev SATSEVERE je opisana v Iršič Žibert (2012). Na sliki 9 so prikazani rezultati algoritma SATSEVERE na primeru 11. julija 2011. Slika 9 prikazuje enak časovni prikaz kot slika 6. Taka metoda pomeni pomemben korak k avtomatizaciji postopkov za prepoznavanje značilnih vzorcev s satelitskih slik, ki opozarjajo na ekstremno dogajanje.



Slika 9: Satelitska slika ob 16.15 UTC 11. julija 2011 v infrardečem delu spektra prikazuje temperaturo vrha oblaknosti. Roza pika označuje najhladnejši del na hladnem obroču ( $T_{min}$ ), zelen kvadrček pa prikazuje najtoplejši del znotraj osrednjega toplejšega sektorja ( $T_{max}$ ).

Figure 9: Infrared satellite image on 11 July 2011 at 16:15 UTC shows the cloud top temperature. The pink dot denotes the minimum temperature on the cold ring ( $T_{min}$ ), while the green dot denotes the maximum temperature within the warmer central section ( $T_{max}$ ).

## Sklepne misli

V današnjem času si kakovostnega operativnega bdenja nad meteorološkim dogajanjem brez neprestanega spremljanja daljinskih meritev sploh ni mogoče predstavljati.

V prispevku so prikazani značilni vzorci, tako imenovani hladni obroči, kot so vidni na satelitskih slikah ob intenzivnih nevihtah, ki povzročajo škodo in ob katerih se tudi na podlagi daljinskih meritev izdajajo dodatna opozorila. Tako satelitske slike ob prepoznavanju teh posebnih

vzorcev vrha oblaknosti dopolnjujejo radarske podatke. Take vzorce lahko subjektivno spremljamo ob uporabi primerne barvne skale, ki je odvisna od višine in temperature tropopavze. Zaradi posebnih lastnosti hladnega obroča, kot je viden na infrardeči satelitski sliki, jih je precej težko zaznati s samodejnimi algoritmi, saj na vzorec hladnega obroča vpliva precej dejavnikov (višina tropopavze, hitrost vetra in vetrovno striženje, razsežnost procesa), vendar so taki poskusi zaradi velike količine podatkov, ki jih je treba obdelati v kratkem času, nujni, zato je bil razvit nov postopek SATSEVERE za avtomatično prepoznavanje hladnih obročev, ki daje zelo spodbudne rezultate.

Treba je poudariti, da se načini prepoznavanja in analize teh podatkov neprestano razvijajo ter izpopolnjujejo. Hkrati se dopolnjujejo in nastajajo tudi novi meteorološki konceptualni modeli. Dobro znanje in nenehen stik z napredkom na obeh področjih je ključnega pomena za kakovostno spremljanje ozračja v realnem času.

## Viri in literatura

1. Iršič Žibert, M., 2004. Analiza oblaknosti s pomočjo multispektralnih satelitskih slik druge generacije satelitov METEOSAT: magistrsko delo, Univerza v Ljubljani.
2. Iršič Žibert, M., Cedilnik, J., 2008. Značilni vzorci za prepoznavanje močne konvekcije na satelitskih in radarskih slikah, primeri iz poletja 2008. Ujma, letnik 2008, 59–63.
3. Iršič Žibert, M., Žibert, J., 2012. Monitoring and Automatic Detection of the Cold-Ring Patterns atop Deep Convective Clouds Using Meteosat Data. Atmospheric Research (in press).
4. Setvák, M., Rabin, R. M. in Wang, P. K., 2007. Contribution of the MODIS instrument to observations of deep convective storms and stratospheric moisture detection in GOES and MSG imagery, Atmospheric Research, Volume 83, Issues 2-4, February 2007, 505–518.
5. Setvák, M., Lindsey, D. T., Novak, P., Wang, P. K., Radova, M., Kerkmann, J., Grasso, L., Su, S.-H., Rabin, R. M., Stastka, J., Charvat, Z., 2010. Satellite-observed cold-ring-shaped features atop deep convective clouds, Atmosph. Res. 97, 80–96.
6. Wang, P. K., 2007. The thermodynamic structure atop a penetrating convective hunderstorm, Atmospheric Research, Volume 83, Issues 2-4, February 2007, 254–262.
7. Uprava RS za zaščito in reševanje, 2011a. Pomembnejši dogodki s področja sistema varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami dne 21. maja 2011. Dnevni bilten. Ministrstvo za obrambo RS.
8. Uprava RS za zaščito in reševanje, 2011b. Pomembnejši dogodki s področja sistema varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami dne 11. julija 2011. Dnevni bilten. Ministrstvo za obrambo RS.