

ZNAČILNI VZORCI ZA PREPOZNAVANJE MOČNE KONVEKCIJE NA SATELITSKIH IN RADARSKIH SLIKAH, PRIMERI IZ POLETJA 2008

Typical patterns for early identification of severe convective activity on radar and satellite images; cases from the summer of 2008

Mateja Iršič Žibert *, Jure Cedilnik ** UDK 551.501.8

Povzetek	Abstract
Zgodnje prepoznavanje izrazite nevihtne aktivnosti je bistveni del bdenja nad stanjem in dogajanjem v ozračju. Prepoznavanje značilnih radarskih in satelitskih vzorcev 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. Obravnavani so izbrani intenzivni dnevi v poletju 2008, ko je bila povzročena škoda zaradi neurja s točo in so na satelitskih in radarskih posnetkih lepo vidni značilni vzorci, ki kažejo na intenzivnost procesa, v nekaterih primerih kažejo pa tudi na morebitno daljše trajanje procesa.	Early identification of severe convective activity is one of the key parameters of weather monitoring for every weather service. Identification of typical radar echoes and satellite imagery patterns can (along with knowledge about conceptual models of severe storms) yield a fast focus for the forecaster on the processes that can be potentially hazardous to property and even to human lives. Several days in summer 2008 during which there was hail and wind damage were chosen as the subject of this study. All of them show some typical features that are a sign of the severity of the process or can even imply its longevity.

Uvod

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

Dobra meteorološka napoved nevihtnega dogajanja (pri tem misliva na krajevno, časovno in intenzivnostno natančno opredeljeno napoved) je eden največjih izzivov v meteorologiji.

Namen tega prispevka je pokazati pomembne in večkrat spregledane informacije, ki nam jih lahko dajo nekateri nekonvencionalni prikazi satelitskih in radarskih slik za potrebe prepoznavanja izrazite nevihtne aktivnosti. Takšna analiza mora biti nujno podkrepljena s poznavanja-

njem sinoptičnega ozadja (splošne meteorološke situacije za konkreten primer) in oprta na dobro poznavanje in razumevanje meteoroloških konceptualnih modelov močnih neviht.

V članku predstavlja izbrane primere iz poletja 2008, ko je bila zabeležena materialna škoda kot posledica neurja in toče, in sicer 3. junij, 13. julij, ter 2., 8. in 15. avgust.

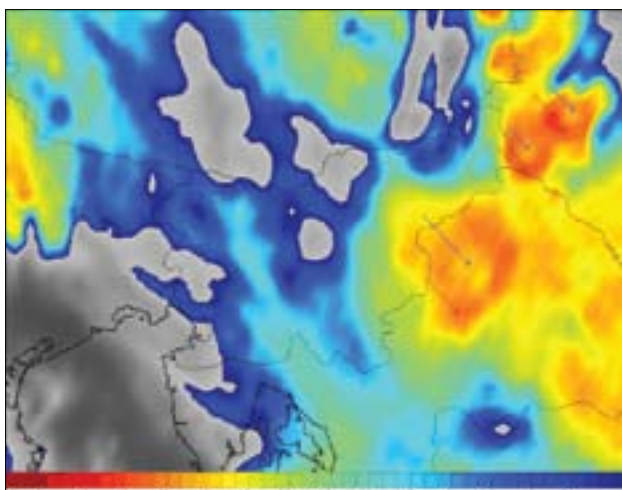
Značilnosti dni s točo v poletju 2008

Slovenija ima geografsko dokaj primerno lego za razvoj neviht. Do neurja v Sloveniji običajno pride ob t. i. razvoju konvekcije v toplem sektorju (topel sektor ciklona). Tak proces poteka pred prehodom hladne fronte preko Slovenije; sam prehod hladne fronte in s tem stabilizacija atmosfere lahko sledi več kakor en dan pozneje.

Topel sektor ciklona se dá enostavno določiti z grebenom v polju ekvivalentne potencialne temperature na 850 hPa in/ali z ekvivalentno relativno višino topografije

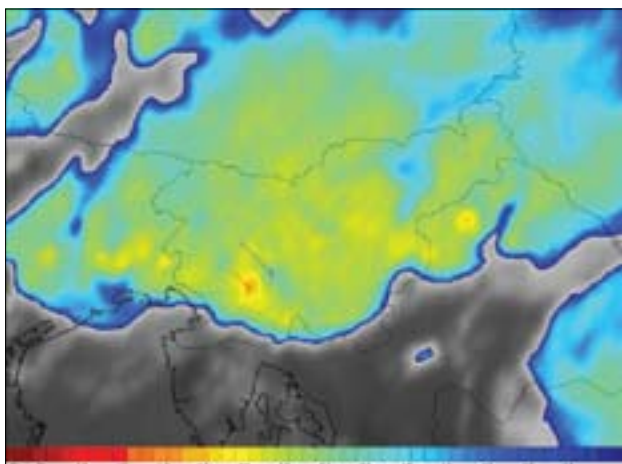
* mag., Ministrstvo za okolje in prostor RS, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, Mateja.Irsic@gov.si

** Ministrstvo za okolje in prostor RS, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, Jure.Cedilnik@gov.si



Slika 1. Infrardeča satelitska slika (IR10.8) satelita Meteosat-9 dne 3. junija 2008 ob 16.00 po UTC je prikazana v barvni skali, ki poudarja območja zelo visokih in hladnih oblakov. Označeno je območje z značilnim vzorcem za konvektivne oblake, ki segajo v tropopavzo. Rdeča puščica označuje hladen obroč, modra pa osrednji toplejši sektor. Temperatura tropopavze je bila -63°C. © ARSO.

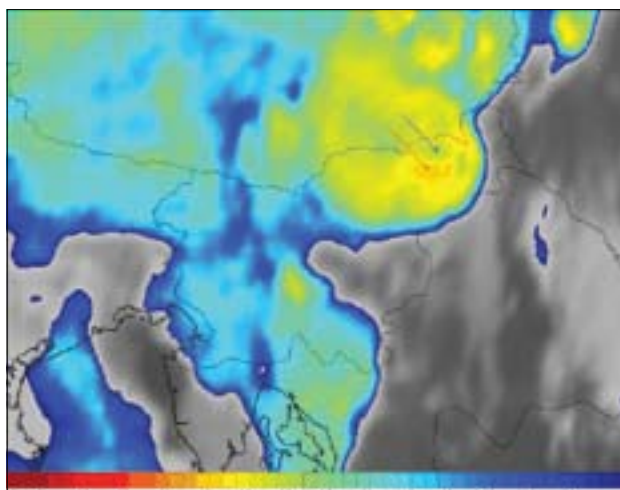
Figure 1. Infrared satellite image (IR10.8) on June 3, 2008 at 11:15 UTC scanned by Meteosat-9 satellite, in color scale, areas with very high and cold clouds enhanced. A typical pattern for strong overshooting tops is indicated. The red arrow indicates cold -ring, while the blue arrow indicates a central warm spot. Tropopause temperature was -63°C. © ARSO



Slika 2. Enako kakor slika 1, le za 8. avgusta ob 13:15 po UTC, temperatura tropopavze je bila -55°C, © ARSO.

Figure 2. Same as Figure 1, but on August 8, 13:15 UTC. Tropopause temperature was -55°C. © ARSO

med 500 hPa in 850 hPa. Za meteorološko dogajanje v toplem sektorju ciklona sta značilna predvsem izrazit dotok toplega in precej vlažnega zraka v spodnjih plasteh atmosfere in močno striženje vetra z višino – običajno piha v nižjih plasteh južni veter ali celo jugo, višje v ozračju pa prevladuje zahodni veter.



Slika 3. Enako kakor slika 1, le za 15. avgusta ob 19.30 po UTC, temperatura tropopavze je bila -60°C, © ARSO

Figure 3. Same as Figure 1, but on August 15, 19:30 UTC. Tropopause temperature was -60°C. © ARSO

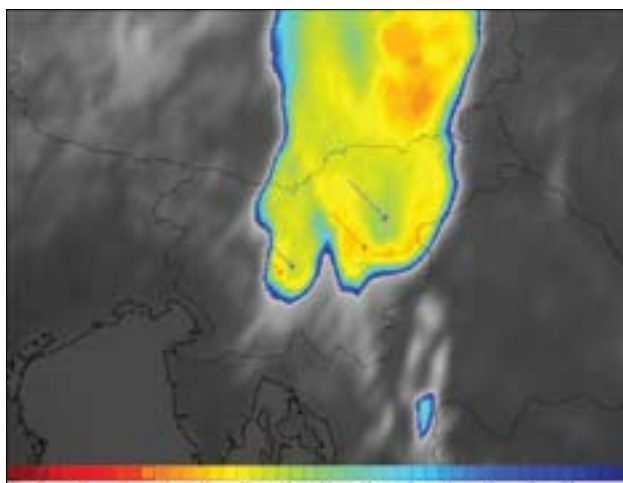
Podobno je veljalo tudi ob močnejših nevihtah v letu 2008 (Markošek, 2008).

Tako je bilo 13. julija vetrovno striženje med tlemi in višino 6 km okoli 25 m/s, kar je visoka vrednost tudi po ameriških merilih. Trinajsti julij je Slovenijo prešla nevihtna celica, ki je nastala nad Krasom. Izrazito se je okrepila ob prihodu nad ravnino Ljubljanske kotline, največ škode je povzročil veter na Kamniškem območju, zlasti v vasi Gozd, toča pa je pustošila marsikje na Štajerskem.

Osmega avgusta je bila prisotnost toplega sektorja še izrazitejša, saj je bilo ozračje skoraj v celotni troposferi nasičeno vlažno, vendar je bilo vetrovno striženje neizrazito in tudi hitrosti vetra niso bile zelo visoke, pihal je zmeren zahodnik. Takrat je na ilirskobistriškem območju toča (do 5 cm) povzročila veliko škode na zgradbah.

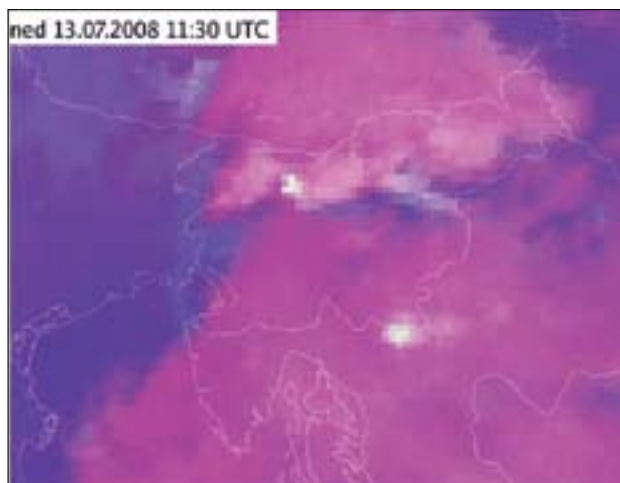
Satelitske meritve

Satelitske slike satelita Meteosat-9 se osvežujejo vsakih 15 minut. Radiometer SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) na satelitu Meteosat-9 meri sevanje v dvanajstih kanalih vidnega in infrardečega dela sevanja, (Iršič Žibert, 2004). V tem delu spektra ni mogoče neposredno meriti količine padavin, lahko pa iz značilnosti vrha oblačnosti sklepamo na dogajanje v oblaku. Posebno pozornost zahteva spremljanje oblakov, ki prodrejo visoko v atmosfero, še posebej tistih, ki prodrejo v tropopavzo (angl. overshooting). Včasih se dá v tropopavzo prodirajoče stolpe zraka opaziti na vidni satelitski sliki, kar je značilno v primerih, ko je sonce že dokaj nizko in je slika dovolj kontrastna. Precej enostavneje je tak pojav prepoznati v infrardečem spektru (slike 1–4) s poudarjenimi hladnimi vrhovi. Višina (in posledično temperatura) tropopavze zato poudarjenost hladnih delov slik ni vedno enaka. Na slikah 1–4 so



Slika 4. Enako kakor slika 1, le za 2. avgust ob 12:30 po UTC. Vidni sta dve obliki hladnega obroča, oblika »U« nad Štajersko in manjši hladni obroč nad osrednjo Slovenijo. Temperatura tropopavze je bila -64°C , © ARSO

Figure 4. Same as Figure 1, but on August 2, 12:30 UTC. There are two cold ring patterns visible: one is „U-like and can be seen to the east while another more „D“-shaped cold ring can be seen over central Slovenia. Tropopause temperature was -64°C . © ARSO



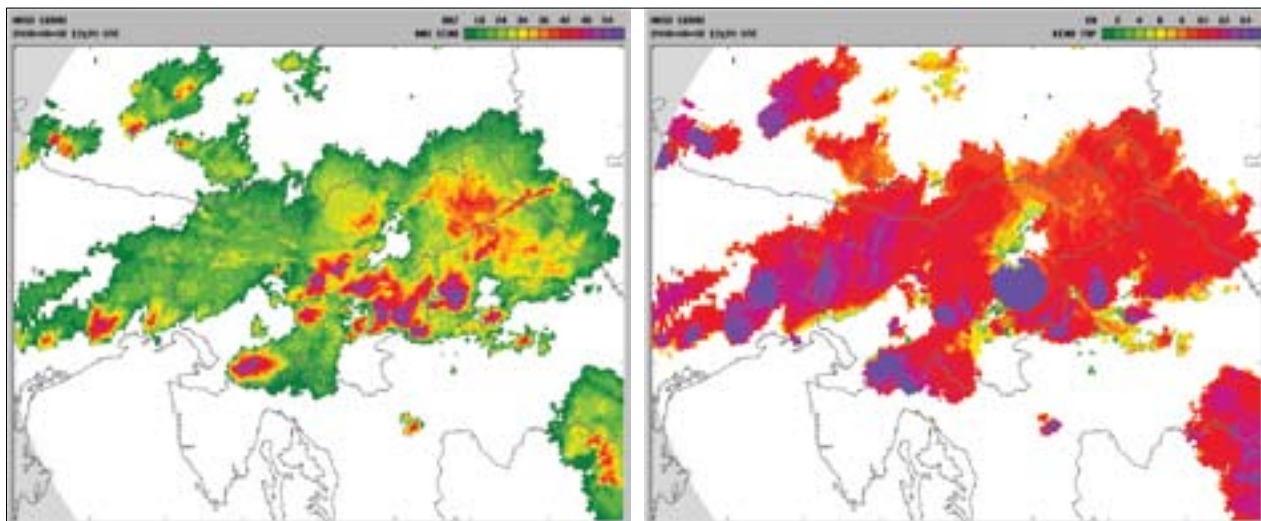
Slika 5. Kompozit RGB različnih satelitskih kanalov, namenjen spremljanju intenzivnih nevihtnih dogajanj, za 13. julij 2008. Posebej so poudarjeni majhni in zelo hladni ledeni kristalčki (rumenkasto bele barve), kar kaže na izrazito močen vzgornik, © ARSO

Figure 5. Microphysics RGB composite, designed for the purpose of severe convection monitoring, on 13 July, 2008. Yellowish and whiteish colours depict small and very cold ice crystals which indicate the existence of an extreme updraft. © ARSO

z oranžno in rdečo prikazani hladnejši vrhovi, ki segajo v tropopavzo, razviden je poseben vzorec, t. i. »hladni obroč« (angl. *cold-ring*) (Setvak, 2005), ki je značilen za območja intenzivnega vertikalnega dogajanja. Temperaturna skala je barvno poudarjena od -34 do -73°C in je izbrana tako, da so poudarjeni zelo hladni visoki oblaki. Na slikah 1 in 4 je viden »hladni obroč«, označen z rdečo puščico, in tudi t. i. »osrednji toplejši sektor« (angl. *central warm spot*), označen z modro puščico. Nekoliko manj očiten je obroč na slikah 2 in 3, zato je za prepoznavanje vzorcev dobrodošla primerjava s

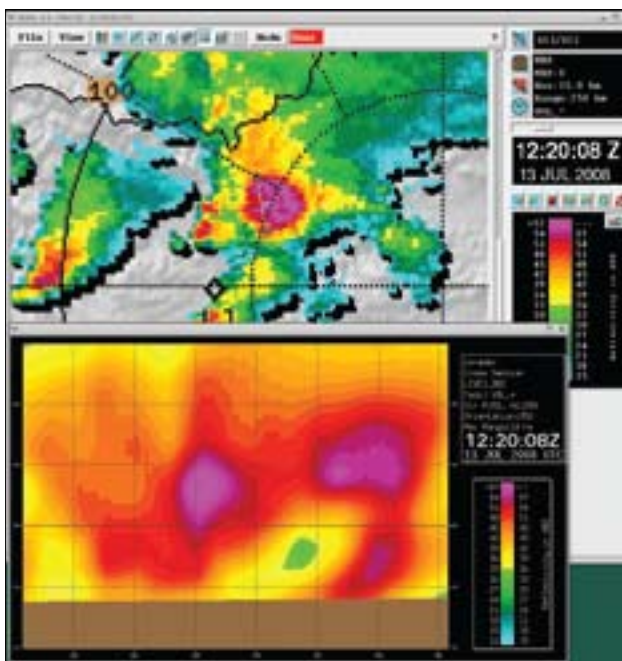
satelitsko sliko v vidnem spektru (ni prikazano), kjer so v nekaterih primerih vidna manjša območja, ki segajo v tropopavzo.

Glavne značilnosti hladnega obroča, kakor je viden s satelitskih slik IR10.8, so: temperaturna razlika med hladnejšim obročem in osrednjim toplejšim sektorjem je od nekaj K do celo 10 K, horizontalna razsežnost osrednjega toplejšega sektorja je lahko več SEVIRI pikselov, trajanje osrednjega toplejšega sektorja pa od enega posnetka do več zaporednih posnetkov (Setvak, 2005).



Slika 6. Levo: radarska odbojnost dne 8. 8. 2008 ob 13.20 po UTC v decibelih (dBz). Desno največja višina radarskega odboja (višina najvišjega 15dBz odboja) [skala je v kilometrih], © ARSO

Figure 6. Left: radar reflectivity on 8 August, 2008 at 13.20 UTC, colour scale is in decibels (dBz). Right: echo top at the same time and date (height of highest 15dBz reflection), colour scale is in kilometers. © ARSO



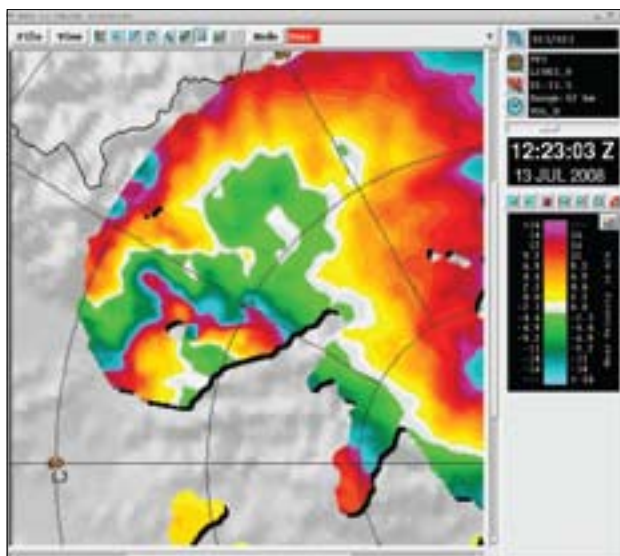
Slika 7. Največja radarska odbojnost v stolpcu (zgoraj) in vertikalni prerez radarske odbojnosti vzdolž zgoraj označene črte (jug je levo), za nevihtno celico 13. julija 2008 ob 12.20 po UTC. Opazna je struktura ploskev največje odbojnosti na zgornji sliki in izrazito območje nizkega odboja v prerezu, © ARSO

Figure 7. Maximum radar reflectivity (above) and vertical cross-section of radar echo along a marked line (below) (south is to the left) for a storm on July 13, 2008 at 12:20 UTC. There is clear evidence of an internal structure (above) and a very well defined BWER (bounded weak echo region) (below). © ARSO

Najverjetnejši razlog za nastanek osrednjega toplega dela pri IR slikah s hladnim obročem je (Setvak, 2005) diabatno segrevanje zelo hladnih vrhov oblaka v toplejši stratosferi. To je tudi razlog, da obroč nastane šele potem, ko močan vzgornik traja nekaj časa. Mogoči sta tudi dve drugi razlagi: lahko je 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.

Vzorec hladnega obroča se v določenih primerih spremeni v obliko »V« (angl. cold-V shape) ali pa se oblikuje le oblika »V«. Tak primer je prikazan na sliki 4. Vzorec na IR10.8 satelitski sliki oblike »V« nastane zaradi učinka vrtinca na zavetrni strani območja, kjer vrhovi oblakov prodrejo v tropopavzo (Luderer, 2007). Dodatno lahko take oblike »V« nastanejo zaradi učinka lomljenja gravitacijskih valov (Wang, 2007) in/ali zaradi vpliva dodatnega prosojnega oblaka nad vrhom optično debelega oblaka (angl. *plume masking*) (Setvak, 2007). Tudi ob vzorcu »V« posebej poudarjene satelitske slike obstaja velika verjetnost za ekstremno vremensko dogajanje.

Pri satelitskih meritvah je lahko zelo koristno tudi kombiniranje različnih kanalov satelitskih slik z različ-



Slika 8. Slika Dopplerejeve hitrosti za radar z Lisce za nevihtno celico 13. julija 2008. V času posnetka te slike je bila nevihta približno nad vasjo Gozd severno od Kamnika (glej sliko 7). Na sliki se dobro vidi splošni jugozahodni veter – rdeče barve prikazujejo veter v smeri stran od radarja, zelene pa v smeri proti radarju, © ARSO

Figure 8. Doppler velocity image for July 13, 2008 at 12:20 UTC. See Figure 7 for exact location of the storm at that time. Reddish colours show velocities away from the radar whilst green colours show air moving towards the radar. © ARSO

nimi barvnimi kombinacijami. Kot intenzivnost posamezne barve nanašamo informacijo iz različnega kanala satelitske meritve ali celo razlike kanalov. Na ta način dobimo t. i. kompozite RGB (iz angl.: *red, green, blue*), ki informacije ustrezno poudarijo. Dober primer takšne slike je t. i. kompozit močne nevihte (slika 5), v katerem so najpomembnejši podatek rumenkasto beli deli slike, ki predstavljajo majhne in hladne ledene kristalčke, ki zaradi izjemno močnega vzgornika niso imeli časa zrasti.

Radarske meritve

Radarske meritve omogočajo večjo natančnost in dajejo več informacij kakor satelitske slike, hkrati pa to pomeni, da mora biti tudi meteorološko znanje o konceptualnih modelih poglobljeno. V Sloveniji imamo zgolj en radar (na Lisci), kar je za dobro pokritost celotne države vsekakor premalo, kljub temu pa je zelo koristen pri prepoznavanju vzorcev, značilnih za močne nevihte.

Običajno na radarski sliki najprej pregledamo dvodimenzionalno polje (karto) vrednosti maksimalnih odbojev skozi celotni stolpec atmosfere. V takem primeru nas zanimajo dosežene največje vrednosti odbojev in včasih tudi oblika, ki jo tvorijo območja z največjimi odbojnostmi. V sklopu tega prispevka se osredotočava na največjo višino odboja. Tako slika 10 prikazuje višino najvišjega

odboja radarske meritve ob toči v Ilirski Bistrici 8. avgusta 2008. Na podlagi slike največje višine radarskih odbojev (višina vrha oblaka) in hkrati slike največjih odbojev lahko sklepamo na vertikalno zelo razvito nevihto – višina odbojev sega do okoli 15 km ali višje, hkrati pa so tam tudi vrednosti največjih odbojev najvišje. Velika višina vrha oblaka kaže, da gre za močan vzgornik in posledično za zelo intenzivno dogajanje v nevihtnem sistemu. Pričakovati je, da lahko tak sistem povzroči tudi močne vzdolnike, prav tako je velikost zrn toče običajno povezana z izrazitostjo vzgornika v nevihti.

Še več informacij o vremenskem dogajanju lahko dobimo s pregledom trodimenzionalnih radarskih odbojnosti in njihovih vertikalnih prereзов.

Primer takšnega prikaza radarske slike je na sliki 7. Nevihtna supercelica je 13. julija Slovenijo prepotovala po diagonalni, od morja do Prekmurja. Poleg največjega odboja v stolpcu je na sliki 7 prikazan tudi vertikalni prerez skozi nevihtno celico, oboje v trenutku, ko je bila nevihta nekaj kilometrov severno od Kamnika, nad vasico Gozd, kjer je bilo največ zaradi vetra povzročene škode. Pomembna podrobnost na sliki 7 je izrazito območje z nizkim radarskim odbojem, vidno na prerezu skozi celico. To je območje vzgornika in se imenuje tudi omejeno območje nizkega radarskega odboja (v ang. *BWER – bounded weak echo region*) (Bluestein, 1993). Takšna območja so značilna za supercelične nevihte, pogoste v osrednjem delu ZDA.

Na sliki 8 je prikazano hitrostno polje vetra, ki ga radar izmeri na podlagi Dopplerjevega premika sprejetega žarka. Takšna hitrost je izmerjena samo v eni smeri – radialno glede na radar (bodisi le proti radarju ali stran od radarja). Hkrati razlago otežuje tudi napaka potujitve: pri določeni hitrostni meji se vrednosti Dopplerjevih hitrosti preslikajo na nasprotni konec faznega prostora. Ta meja (včasih imenovana tudi Nyquistova hitrost) je pri radarju na Lisci okoli 16 m/s.

Sklepne misli

V današnjem času si kakovostnega operativnega bdenja nad meteorološkim dogajanjem brez neprestanega spremljanja radarskih in satelitskih slik sploh ni mogoče predstavljati.

V prispevku so prikazani značilni vzorci satelitskih in radarskih slik pri močnih nevihtah. Takšne vzorce je zaradi njihovih posebnih lastnosti precej težko zaznati s samodejnimi algoritmi, saj na primer pri pojavu hladnega obroča vpliva precej dejavnikov (višina tropo-

pavze, hitrost vetra in vetrovno striženje, razsežnost procesa ...). Vendar si lahko od nekaterih drugih samodejnih obdelav satelitskih podatkov v prihodnje precej obetamo. Tako je na primer sistem, ki bo na podlagi izmerjene hitrosti ohlajanja oblaka samodejno prepoznal potencialno nevarne nevihtne celice, še v fazi razvoja.

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

Viri in literatura

1. Bluestein, H. B., 1993. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes, vol II. Observation and Theory of Weather Systems, Oxford University Press.
2. Iršič Žibert, M., 2004. Analiza oblačnosti s pomočjo multispektralnih satelitskih slik druge generacije satelitov METEOSAT : magistrsko delo, Univerza v Ljubljani.
3. Luderer G., Trentmann, J., Hungershofer, K., Herzog, M., Fromm, M. and Andreae, M. O., 2007. Small-scale mixing processes enhancing troposphere-to-stratosphere transport by pyro-cumulonimbus storms. V: Atmospheric Chemistry and Physics, Issue 7, 5945–5957.
4. Markošek, J., 2008. Razvoj vremena v juniju 2008. Mesečni bilten, št. 6, letnik XV, str 23–29. Agencija RS za okolje, MOP, Ljubljana.
5. Markošek, J., 2008. Razvoj vremena v juliju 2008. Mesečni bilten, št. 7, letnik XV, str 24–31. Agencija RS za okolje, MOP, Ljubljana.
6. Markošek, J., 2008. Razvoj vremena v avgustu 2008. Mesečni bilten, št. 8, letnik XV, str 24–31. Agencija RS za okolje, MOP, Ljubljana.
7. Setvák M., Rabin R. M., 2005. MSG observations of deep convective storms. Proc. The 2005 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik, Croatia. EUMETSAT P.46, ISBN 92-9110-073-0, ISSN 1011-3932, 460–466.
8. Setvák, M., Rabin, R. M. and Wang, P. K., 2007. Contribution of the MODIS instrument to observations of deep convective storms and stratospheric moisture detection in GOES and MSG imagery. V: Atmospheric Research, Volume 83, Issues 2-4, February 2007, 505–518.
9. Wang, P. K., 2007. The thermodynamic structure atop a penetrating convective thunderstorm. V: Atmospheric Research, Volume 83, Issues 2-4, February 2007, 254–262.