

SLEDENJE NEVIHTNEGA SISTEMA 27. JUNIJA 1998

Tracking of a Storm System on 27 June 1998

Gregor Gregorič* UDK 551.50

Povzetek

Z numerično analizo ali napovedjo vremena, radarskimi meritvami in/ali meritvami razelektritev v atmosferi ter ustreznim računalniškim orodjem lahko sledimo nevihtnim sistemom, ugotovljamo vzroke morebitne preobrazbe posameznih neviht v huda neurja in poskušamo napovedovati njihovo nadaljnje gibanje in življenjsko dobo. Izkušnja pri obravnavanju neurja 27. junija 1998 kaže, da je življenjska doba nevihtnega sistema povezana zlasti s t.i. relativno vijačnostjo v nevihtni celici ter z relativnim dotokom zraka v nevihtno celico v nižjih plasteh.

Abstract

The tracks of storm cells derived from radar and/or lightning discharge measurements can be combined with numerical weather analyses or forecasts in order to obtain the characteristic parameters determining the severity and motion mode of

storms and storm systems. The most important parameters are convective available potential energy (CAPE), which exceeds $2000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ for severe deep convection, storm-relative environmental helicity (SREH) which (according to U. S. literature from) exceeds $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$ in the case of super-cell development, wind shear and low level relative inflow. The storm presented here (27th June 1998), which caused substantial damage due to hail and strong gusts of wind has been developed in an environment with SREH values ranging from 30 to $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (which is below the mentioned threshold value) during the mature stage of the system (when most of the damage occurred). Also, the difference between storm motion and low-level wind seems to be a good indicator of the storm's remaining further life time. These facts can contribute to short term forecasting and nowcasting of severe deep convection.

Uvod

Zelo kratkoročno in zdajšnje napovedovanje (angl. nowcasting) proženja, razvoja, življenjske dobe in najverjetnejšega načina gibanja posameznih neviht in nevihtnih sistemov je zahtevno in zaradi precejšnje negotovosti napovedi tudi nevhvaležno delo. Zaradi kratkih časovnih rokov, v katerih je treba izdelati napoved oz. v katerih je takšna napoved sploh še smiselna in uporabna, se tovrstno napovedovanje tudi precej razlikuje od običajnih vremenskih napovedi za medije. Pomembna je hitrost izdelave napovedi in zlasti način razpošiljanja in uporabe rezultatov napovedi; vse to je podrobno opisano v prispevku v Ujmi (Gregorič in Poredoš, 2001).

Na Katedri za meteorologijo smo v sodelovanju s Hidrometeorološkim zavodom razvili sistem, ki s kombinacijo radarskih meritev in numerične vremenske napovedi lahko pomaga pri procesu zelo kratkoročnega in zdajšnjega napovedovanja nevihtnih sistemov. S sledenjem posameznim nevihtnim celicam se lahko s pomočjo polj vetra, temperature in vlažnosti (izračunanih z numeričnim meteorološkim modelom ALADIN/Sl) izračuna parametre, ki nam nekaj povedo o jakosti in tipu konvekcije in o njeni pričakovani življenjski dobi. Sistem se stalno razvija (v zadnjem času je bilo radarskim meritvam dodano polje razelektritev zaradi strel). Poudariti je treba, da uporaba tega sistema za operativno delo trenutno še ni možna; gre predvsem za raziskovalno orodje. V članku je prikazana uporaba tega sistema na primeru hudega nevihtnega neurja 27. junija 1998.

Parametri, ki določajo jakost in tip neviht in nevihtnih sistemov

Stopnja labilnosti ozračja je eden od najpomembnejših parametrov, ki opredeljujejo možnosti za razvoj neviht in jakost razvitih neviht. V preteklosti, ko še ni bilo na voljo veliko podatkov o stanju atmosfere, so bili razviti različni indeksi stopnje labilnosti ozračja. Pri nas se je največ uporabljal (in se še vedno uporablja) Showalterjev indeks (SI). Za izračun SI potrebujemo podatke o temperaturi in

vlažnosti pri tleh in na višinah približno 1400 m in 5500 m. Glede na vrednost SI se napoveduje možnost pojavljanja neviht in tudi jakost sproženih neviht. V zadnjem času SI (in tudi nekatere druge indekse) nadomešča izračun specifične razpoložljive konvektivne potencialne energije (CAPE). Za izračun CAPE potrebujemo podatke o temperaturi in vlažnosti na več nivojih; pri nas nam te podatke zagotavlja ljubljanska radiosondažna meritev in numerični model ALADIN/Sl. Vrednost CAPE predstavlja največjo možno kinetično energijo vertikalnega gibanja zraka v nevihtni celici in posredno največjo možno hitrost vzgornika. Močna konvekcija se razvije pri vrednostih CAPE okoli $1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$, zelo močne nevihte s točo se običajno pojavijo pri $\text{CAPE} > 2000 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Za življenjsko dobo hudih neviht je poleg nestabilnosti ozračja pomembno tudi striženje vetra z višino (spreminjanje velikosti hitrosti in smeri vetra). V popolnem brezvetrju se lahko razvijejo samo posamezne, relativno kratkotrajne nevihte (glej sliko 3 v prispevku Gregorič in Poredoš, 2001). Pomembno je zlasti striženje vetra v spodnji troposferi (do višine okoli 5000 m). Dolgotrajne, supercelične nevihte se običajno razvijejo pri striženju okoli in nad $20 \text{ ms}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Pomembno je tudi razmerje med labilnostjo ozračja in striženjem vetra, saj premočno striženje v relativno stabilnem ozračju lahko zaduši razvijajočo se konvektivno celico. Kvocijent med CAPE in velikostjo striženja vetra se imenuje konvektivno Richardsonovo število (BRN). Izkušnje iz ameriškega srednjega zahoda kažejo, da se dolgotrajne nevihte razvijejo pri vrednostih BRN pod 50.

Poleg velikosti striženja vetra je pomembno ugotoviti vpliv striženja na vrtenje vzgornika v nevihtni celici. Ravno zaradi vrtenja vzgornika je namreč striženje vetra pomembno, vrtenje vzgornika pa zagotavlja dolgo življenjsko dobo nevihtne celice (glej sliko 4 v prispevku Gregorič in Poredoš, 2001). Učinkovitost pretvorbe striženja vetra v vrtenje vzgornika merimo z relativno vijačnostjo (angl. storm relative helicity, SRH), ki jo lahko dobimo s pomočjo vektorskih operacij na tridimenzionalnem polju vetra. Zato bi morda praveče se nevihte kazalo imenovati vijačne ali helične; uveljavljeni izraz »supercelica«, ki izhaja iz ZDA in je povezan s pri nas redkimi fenomeni (npr. tornadi), je za naše kraje

* mag., Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, Ljubljana, gregor.gregoric@uni-lj.si

manj primeren. S pridevnikom »relativna« pa poudarimo, da to količino izračunamo s pomočjo relativnega toka zraka glede na celico; poleg hitrosti in smeri vetra moramo torej poznati tudi hitrost in smer gibanja celice. Ameriški prag za nastanek supercelične nevihte je $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

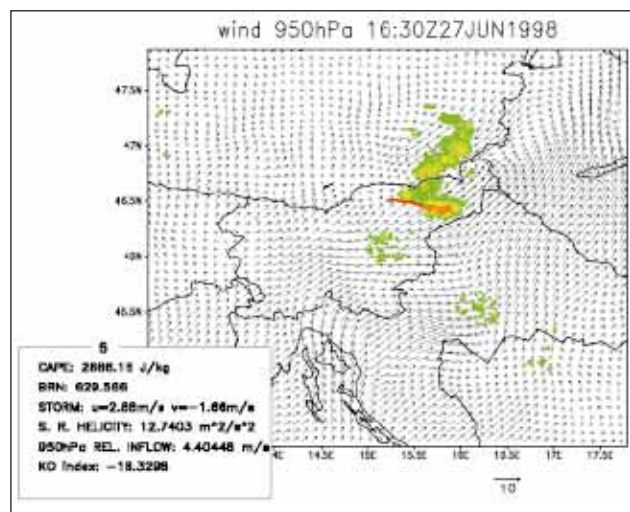
Zelo pomemben je tudi dotok toplega in vlažnega zraka v nevihtni oblak. Dotok lahko ugotovljamo s primerjavo smeri in hitrosti gibanja nevihte in vetra v plasteh ozračja pod bazo oblaka. Če imata ti dve hitrosti približno enako velikost in smer (torej je veter relativno glede na nevihto šibak), je dotok manj učinkovit. Neučinkovit dotok toplega, vlažnega zraka pod bazo nevihtnega oblaka pa je lahko vzrok za začetek odmiranja nevihte.

Neurje 27. junija 1998

Tega dne je med 18. in 19. uro po lokalnem času (torej med 16. in 17. uro po UTC) v okolici Ptuja in na Ptujskem polju pustošila toča; kot jajce debela zrna so razbijala celo vetrobranska stekla. Močan veter je odkrival strehe. Zakaj so se posamezne nevihtne celice razvile v tako hudo neurje? Sinoptična meteorološka situacija je bila ugodna. Nad zahodno Evropo je bil globok ciklon, hladna fronta je ležala severno od Alp. Nad Slovenijo je v nižjih plasteh ozračja pihal vlažen in topel jugozahodni veter, v višinah pa veter zahodne smeri; veter je torej z višino spreminjal smer.

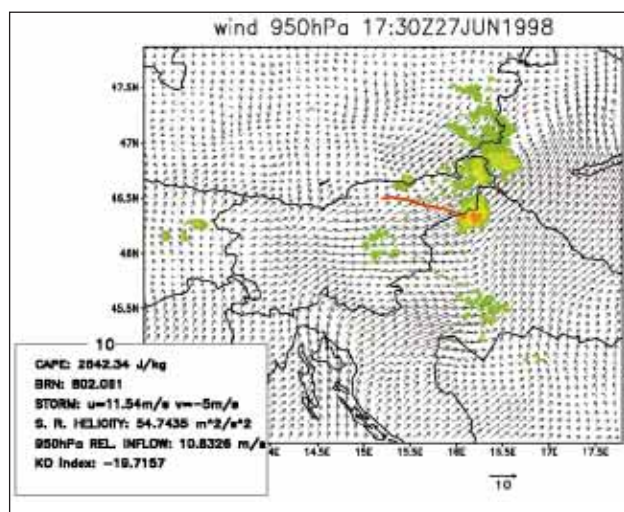
Okoli 13. ure po UTC je na avstrijskem Koroškem nastala nevihtna linija, ki je bila kljub temu, da jo je zastiral greben Karavank, vidna tudi na naših radarskih slikah. Linija se je pomikala proti vzhodu in okoli 15. ure po UTC dosegla slovenski del doline Drave. Tam je očitno prišlo do interakcije med iztokom hladnega zraka (nevihtnim pišem) iz nevihtne linije in med nevihtnimi celicami, ki so se sprožile nad Pohorjem. Ena izmed nevihtnih celic se je okrepila in se pričela premikati proti vzhodu. Do spremembe tipa te nevi-

htne celice je prišlo okoli 16.30 po UTC, ko je nevihta dosegla vzhodne obronke Pohorja in Čučutila« okrepjeni jugozahodni veter, ki je pihal južno od Pohorja. Ta situacija je narisana na sliki 1, kjer sta narisani polji vetra pri tlaku 950 hPa (približno 500 m n. v.) in radarske odbojnosti. Rdeča krivulja označuje pot gibanja nevihtne celice. Situacija uro kasneje, ko je ta nevihtna celica zapustila ozemlje Slovenije, je narisana na sliki 2. Na slikah 3 in 4 sta narisana poteka vijačnosti in hitrosti gibanja nevihte ter relativnega dotoka zraka pri tlaku 950 hPa. Na poteku vijačnosti je vidna omenjena sprememba tipa nevihtne celice; okoli 16.30 prične vijačnost naraščati in preseže vrednost okoli $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Tudi velikost relativnega dotoka zraka pri tlaku 950 hPa po tem času sledi hitrosti gibanja nevihte in jo tudi preseže (ob 17.30 po UTC). Za primerjavo sta dodani sliki 5 in 6, na katerih so narisani poteki vijačnosti, hitrosti gibanja in relativnega dotoka zraka za manjšo, kratkotrajno nevihtno celico, ki se je sprožila nad osrednjo Slovenijo in (po dostopnih podatkih) ni povzročila škode. Vijačnost te nevihtne celice se vseskozi giblje pod vrednostjo $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$, relativni dotok zraka pa je precej manjši od hitrosti gibanja te celice. Morda bi lahko zaključili, da sta ravno ti dve lastnosti v tem primeru določili življenjsko dobo in intenzivnost spremljajočih pojavov teh dveh neviht. Dejstvo je, da sta obe nevihti nastali v okolju s približno enako veliko nestabilnostjo ($\text{CAPE} > 2500 \text{ m}^2/\text{s}^2$).



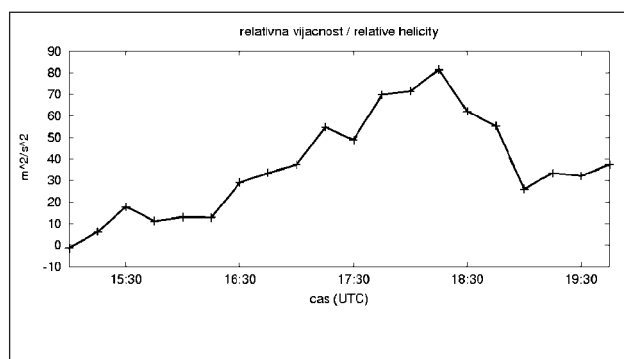
Slika 1. Veter ob 16. uri in 30 minut po UTC času pri tlaku 950 hPa (na višini okoli 500m), izračunan z modelom ALADIN/SI ter radarske meritve padavin ob istem času (rdeča barva označuje jakost padavin nad 100 mm/h, zelena pa okoli 30 mm/h). Rdeča krivulja označuje pot, ki jo je prepotovala obravnavana nevihtna celica

Figure 1. Wind at 16:30 UTC on 950 hPa level (altitude approximately 500 m), determined by the ALADIN/SI numerical model and simultaneous radar measurements of precipitation intensity (red color denotes a precipitation intensity above 100 mm/h, green denotes a precipitation intensity of approximately 30 mm/h). The red curve shows the storm's path



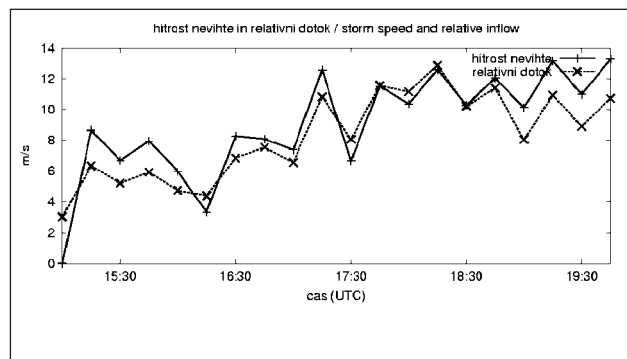
Slika 2. Enako kot slika 1, uro kasneje (ob 17. uri in 30 minut po UTC času)

Figure 2. Same as Figure 1, one hour later (at 17:30 UTC)



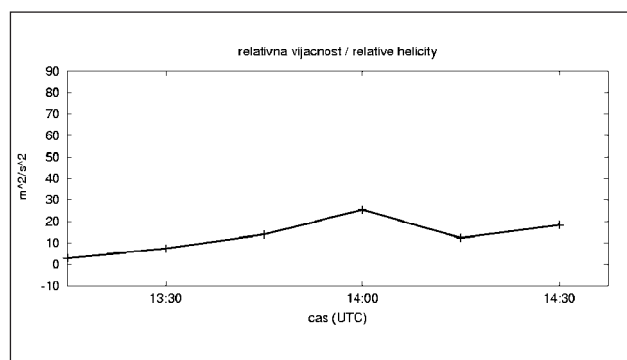
Slika 3. Potek relativne vijačnosti s časom za nevihtno celico s slik 1 in 2

Figure 3. Time series of storm relative helicity of storm cell from Figures 1 and 2



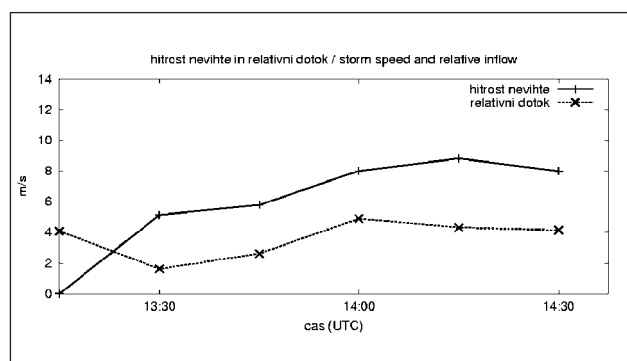
Slika 4. Poteka hitrosti nevihte in relativnega dotoka s časom za nevihtno celico s slik 1 in 2.

Figure 4. Time series of storm speed and relative inflow of storm cell from figures 1 and 2.



Slika 5. Potek relativne vijačnosti s časom za kratkotrajno nevihtno celico, ki se je istega dne sprožila nad osrednjo Slovenijo

Figure 5. Time series of storm relative helicity of a short-lived storm cell initiated over central Slovenia on the same day



Slika 6. Poteka hitrosti nevihte in relativnega dotoka s časom za kratkotrajno nevihtno celico, ki se je istega dne sprožila nad osrednjo Slovenijo

Figure 6. Time series of storm speed and relative inflow of a short-lived storm cell initiated over central Slovenia on the same day

Sklepne misli

S kombinacijo radarskih meritev in rezultatov numeričnega meteorološkega modela ter prepoznavanjem in sledenjem posameznih nevihtnih celic je mogoče določiti, v kakšnem okolju se nevihta razvija. Izkušnje iz obravnavanega hudega neurja kažejo, da se je neurje z daljšo življenjsko dobo razvilo pri vrednosti relativne vijačnosti (SRH) nad $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Seveda pa glede na to, da smo obravnavali samo en nevihtni dan, tega ne moremo posplošiti v pravilo. Prav tako se vidi, da si z mejnimi vrednostmi parametrov iz ameriške literature ne moremo veliko pomagati. Tako SRH kot BRN sta bila pri obravnavanem neurju vseskozi pod kritično mejo, predpisano za supercelične nevihte.

Literatura

1. Gregorič, G. in Poredoš, A., 2001, Zelo kratkoročne in zdajšnje napovedi neviht. V: 14.–15. številka revije Ujma.
2. Conway, B. J., Gerard, L., Labrousse, J., Liljas, E., Senesi, S., Sunde, J. in Zwatz-Meise, V. (uredniki), 1996, COST78-Meteorology; Nowcasting, a survey of current knowledge, techniques and practice – zbornik del, Luxembourg.
3. Jaeneke, M., 1998. Nowcasting, ICCED Training Workshop on Nowcasting 1998.