

VREMENSKI RADAR

Jože Rakovec*

UDK 551.508

Pred tremi leti smo pisali o mreži meteoroloških radarjev v Evropi (1). Takrat smo zapisali, da se je v srednji Evropi izmenjava radarskih slik začela, pa tudi, da se v Sloveniji pri postavitvi drugega, že kupljenega radarja močno zatika. Glede prvega se lahko pohvalimo: eksperimentalno-operativna izmenjava radarskih slik v naši soseščini in izdelava sestavljenih slik (ki so potem, ko sodeluje veliko radarjev, nekako podobne satelitskim) že poteka prek meteorološkega globalnega telekomunikacijskega sistema (GTS). Glede drugega pa je še vse po starem. Kako je torej možno, da smo zainteresirani za radarske slike iz soseščine in oni za naše? Da smo torej pripravljeni vlagati v sistem mednarodne izmenjave radarskih slik, da pa pri tem ne najdemo načina in volje, da bi postavili drugi slovenski radar? Naj razume, kdor more!

Moderen meteorološki radar je namreč naprava, ki deluje s sorazmerno majhno močjo: v sunku kakih 250 kW, v povprečju pa z močjo le kakih 250 W (v Dopplerjevem načinu nekaj več), torej kot močna električna žarnica. Kljub temu je ponekod med ljudmi razširjen strah pred radarskim sevanjem, in to ne glede na vsem razumljiv način delovanja, ko meteorološki radarji "svetijo" navzgor, med oblake, kjer ni nikogar, ki bi ga "obsvetili". (Po drugi strani pa se ljudje nič ne branijo – celo veseli so – elektromagnetnih signalov, ki jim npr. prinašajo zvočne ali slikovne informacije. Nekateri majhne oddajnike/sprejemnike z ramo tiščijo h glavi celo med hojo ali vožnjo z avtom. To kaže, da ljudje ne nasprotujejo zaradi resnične nevarnosti, temveč zaradi namerno ali nenamerno vcepljenega strahu in presojanja o osebni koristih).

Moderen vremenski radar

Moderni radarji iz 90. let ne merijo samo jakosti odboja od oblakov in s tem množine kapljic ali snežink v oblakih, temveč prek dveh polarizacij, vodoravne in navpične, tudi obliko delcev v oblakih in tako ločijo npr. snežinke od dežnih kapljic. Tako lahko opazujemo postopno zniževanje meje sneženja. Preko dopplerjevega učinka na frekvenco merijo tudi hitrost premikanja delov oblakov in oblakov v celoti. V preglednici so predstavljene značilne lastnosti modernega C-pasovnega ($\lambda \approx 5$ cm) vremenskega radarja, kadar dela v t.i. Dopplerjevem načinu (1).

Moderni meteorološki radarji posredujejo vsakih 10 ali 15 minut oceno o prostorski razporeditvi oblakov in njihovi razvitosti po višini. Iz jakosti odboja preračunavamo verjetno intenzivnost padavin pri tleh. Pri nas uporabljamo algoritem o povezavi med največjo odbojnostjo Z v vertikalnem stolpcu nad nekim območjem in jakostjo padavin pri tleh R na tem območju, ki ga

izraža enačba $Z = AR^B$. Nekateri uporabniki dobivajo na računalniški zaslon kar sliko, umerjeno v enotah padavin (torej v mm/h) (slika 1).

V dopplerjevem načinu dela je doseg vremenskega radarja le 120 km, pa tudi v navadnem načinu, ko radar meri le, kako močna je odbojnost Z, je za kvantitativno merjenje padavin uporaben doseg samo do 100 km. Pri večji oddaljenosti je namreč prvič radarska odbojnost Z premalo natančno izmerjena, in drugič zveza med njo in padavinami R: $Z = AR^B$, v kateri sta koeficienta A in B statistično, empirično določena, ni več dovolj zanesljiva. En radar naj bi torej pokrival kakih 100 km okrog sebe.

V Sloveniji, ki je gorata, je potrebno še dodatno upoštevati, kaj radar "vidi" in kaj mu zakrivajo hribi. Zato sta za pokritost naše države potrebna dva radarja: eden že stoji na Lisci, drugi, kot rečeno, zastareva v skladišču. (Toda tudi z dvema ne bo mogoče videti v vse dele Slovenije: Bohinj, Bovško, ali npr. gornjo Savinjsko dolino lahko radar preišče le sorazmerno visoko nad tlemi - nad 2500 ali 3000 metri nadmorske višine. Nad temi predeli lahko opazi le visoko razvite oblake, ne pa npr. plastovite zimske, bolj na spodnji del troposfere omejene oblačnosti).

Uporabnost vremenskega radarja

Bistvena prednost pred drugimi načini merjenja oblakov in padavin je ta, da radar lahko meri dovolj pogosto, na vsakih 10 minut (to prednost imajo tudi meteorološke avtomatske postaje ne tleh). Druga, morda še bolj važna prednost pa je, da radar daje prostorsko informacijo za vse ozračje. Volumskih podatkov pa je ogromno, zato se taka volumska informacija uporablja bolj za raziskovalne name-

ne, uporabnikom pa se pošilja navadno le dvodimenzionalna slika, npr. na neki izbrani višini, ali pa, kot smo že omenili, izbor največje odbojnosti. Toda tudi dvodimenzionalna slika ima prednost, da še vedno prekriva vse zemljepisno območje, medtem ko so klasične meritve omejene na merjenja v merilni točki. Pri padavinah pa se velikokrat intenzivnost iz kraja v kraj tako spreminja, da je meritev pri dalj časa trajajočih padavinah veljavna le za kak kilometer, pri kratkotrajnih nevihtah pa le nekaj deset metrov okrog merilnega mesta.

Časovno seštevane radarskih slik daje podatke o akumuliranih padavinah. To je pomembno pri obravnavi po posameznih povodjih, posebno kadar so padavine močne. Na podlagi podatkov o časovno in prostorsko akumuliranih padavinah lahko predvidimo nastanek visokega vala na vodotoku, to pa je temelj za napoved poplav.

Za marsikoga je pomemben začetek padavin: pri spravi sena je pomembno, ali bo začelo deževati čez pol ali čez eno uro in pol. Podobno je pri škropljenju v kmetijstvu. Premike oblakov in s tem možnost zelo kratkoročnega napovedovanja dajejo slike v 10- ali 15-minutnih zaporedjih. Dopplerjevi radarji pa premike merijo: v krajih, kjer je pogost tornado, ga radarji vnaprej zasledijo. Pri nas je verjetno pomembnejša možnost odkrivanja večjih območij v oblakih z zametki vrtenja v smeri nasprotni urinim kazalcem: tak oblak je potencialno nevaren za orkansko nevihto.

Razločevanje dežja od snega v oblaku je za nekatere morda nepomembna podrobnost. Toda, ko se meja sneženja spušča in kaže, da se bo tudi pri tleh dež sprevrgel v sneg, je to vesel znak za smučarje, in signal za začetek delovanja snežne cestne službe. Razločevanje dežja od toče nam pomaga pri obrambi pred točo.

Večja, moderna letala imajo svoj radar, ki ima sicer omejeno vidno polje, toda pilot vsaj v smeri leta vidi, kaj ga tam čaka. Manjša letala in helikopterji pa tega nima-

* dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, Ljubljana, in Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Vojkova 1b, Ljubljana

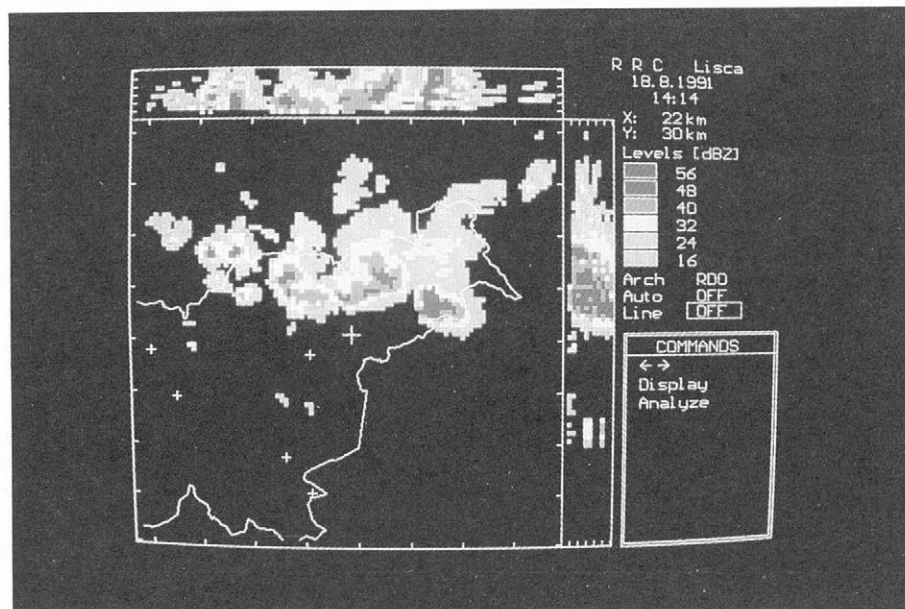
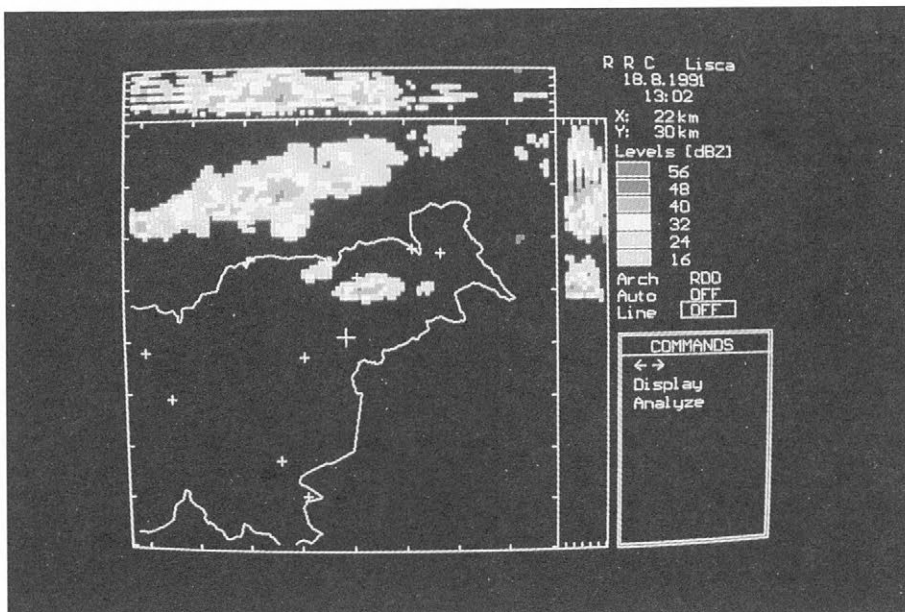
jo. Tudi radarji kontrole letenja imajo na zaslonih toliko drugih, za usmerjanje letal pomembnih podatkov, da bi jih slike oblakov samo motile; zato navadno vse (v primerjavi z odboji od letal sorazmerno šibke) signale pri prikazu na zaslonu zanemarijo. Za meteorološko službo na letališčih, za kontrolo letenja, letala na rednih linijah, ter splošno in vojaško letalstvo je zato dodatna slika, ki jim jo posreduje vremenski radar, zelo koristna.

Takšne so torej nekatere koristi vremenskega radarja. Nekaterim je v pomoč neposredno, drugim posredno. V službah, kjer uporabljajo podatke vremenskega radarja, pravijo, da brez njih ne morejo biti več dovolj zanesljive in uspešne. Pri nas so to npr. letališka meteorološka služba, služba za civilno zaščito, uprava za jedrsko varnost in še nekatere.

Mednarodna povezanost

V uvodu smo omenili, da že poteka poskusna mednarodna izmenjava radar-skih slik v srednji Evropi. COST 73 je namreč ugotovil, da je taka izmenjava možna, in da je slike posameznih radarjev smiselno sestavljati v sliko za širše zemljepisno območje. Po koncu COST 73 so ustanovili neformalno evropsko delovno skupino za take izmenjave, posebej v srednji Evropi pa še skupino CERAD (Centralnoevropski radarji). S soglasjem Svetovne meteorološke organizacije lahko v poskusnem obdobju uporabljajo za izmenjave njen telekomunikacijski sistem GTS. Za sedaj od naših sosed pri izmenjavah radarskih slik sodelujejo Avstrija, Madžarska in Hrvaška. V Italiji je meteorološka služba vojaška, radarji pa, vsaj v severnem delu države, pripadajo deželnim oblastem (večinoma deželnim meteorološkim službam, ki delajo predvsem za potrebe kmetijstva). Italija zaradi administrativnih zapletov zaenkrat še ni začela pošiljati slik v GTS.

Z Osimskim sporazumom smo se obvezali, da bomo na Primorskem postavili radarje in sodelovali raziskovalno in operativno. V Furlaniji-Juljski krajini skrbi za sodelovanje E.R.S.A. (Regionalna ustanova za napredek kmetijstva) iz Gorice, pri nas pa Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije. Italijani so glede postavitev radarja v Fossalonu pri Gradežu že končali gradbena dela, radar sedaj montirajo in konec leta ga bodo poskusno pognali. Sporazum predvideva raziskovalno sodelovanje, zato bo italijanski radar delal predvsem za raziskovalne namene in ne bo vsakih 10 ali 15 minut pošiljal operativno potrebnih slik. Po do sedaj še neformalnih dogovorih pa



Slika. Radarska slika hude nevihte nad vzhodno Štajersko in Pomurjem 18. avgusta 1991; zgornja slika kaže, da je bil zametek te nevihte viden na radarju že ob 13.02, torej vsaj eno uro pred tem (v resnici se je zametek videl še eno uro prej!), ko se je močno razvila (spodnja slika, ob 14.14); zato je radar eno od zelo važnih orodij pri spremljanju in napovedovanju vremena za zelo kratek čas vnaprej

Figure. Radar image of a strong storm over eastern Štajerska and Pomurje on Aug. 18, 1991; Above image shows that the kernel of the storm has been detected by radar already at 13.02, at least an hour before the storm developed into a dangerous one - below image, at 14.14 (in fact, radar detected first echoes even one more hour in advance!); that is why radar is one of the most important tools for weather monitoring and very short range forecasting (the so called nowcasting)

naj bi naš radar na Slavniku delal predvsem redno, operativno, za raziskovalne namene pa pri posameznih zanimivih nalogah. Oba radarja si bosta podatke izmenjevala. Tako bomo preko močnega komunikacijskega kanala dobivali volumske podatke za raziskave – delno v realnem času, delno s časovnim zamikom. Po potrebi bosta radarja delovala tudi v paru v Dopplerjevem načinu merjenja hitrosti premikanja oblakov oz. njegovih delov.

Postavitev drugega radarja je torej potrebna vsaj iz dveh razlogov: ker je za

zgodnje opozarjanje na nevarne vremenske spremembe, pri ploskovnem merjenju padavin itd. treba pokriti tudi zahodno Slovenijo, in ker je to naša obveza po meddržavnem sporazumu. Obenem pa ne moremo (spet v skladu s sporazumom) pričakovati, da bo radar v Fossalonu lahko nadomestil našega v zahodni Sloveniji: namenjen je prvenstveno raziskavam in operativno redno ne bo deloval. Sosedje bodo operativne podatke za kraje, ki so zahodno od njih, lahko dobivali iz Teola pri Padovi – ta pa je za naš Kras, Posočje in Notranjsko že predaleč.

196 Preglednica. Tehnične značilnosti modernega Dopplerjevega vremenskega radarja (2)

Table. Technical characteristics of a modern Doppler weather radar (2)

Antena Antenna	parabolična, premer 4.2 m parabolic, diameter 4.2 m
antensko ojačenje; antenna gain	43 dB
širina snopa; antenna lobewidth	0.9°
moč stranskih snopov; antenna sidelobes	bolje od -27 dB; better than -27 dB
osnovna polarizacija	linearna, horizontalna
main polarisation	linear, horizontal
(druga polarizacija linearna, toda vertikalna; v ne-Dopplerjevem načinu možnost merjenja izmenično z obema polarizacijama) (second polarisation linear, but vertical; in a non-Doppler mode capability of measuring with alternating polarisations)	
Oddajnik Transmitter	koaksialni magnetron coaxial magnetron
moč v sunku; peak power	250 kW
trajanje sunka; pulse length	0.5 μs
ponovitve sunkov; pulse repetition frq. (PRF)	1000 Hz (za Doppler vsakič 32 sunkov) (Doppler mode 32 pulses at each PRF)
Sprejemnik Receiver	z oddajnikom koherentni oscilator (s COHO in STALO) receiver-coherent local oscilator (incl. COHO and cavity-tuned STALO)
šum; noise	< 5 dB
dinamični razpon; dynamic range	> 85 dB
najmanjši ločljivi signal; minimum discernible signal	< -114 dBm (4×10^{-15} W)
faktor izboljšave; improvement factor	> 32 dB na oddaljenosti 20 km; at 20 km range
Pretvorba v digitalno A/D conversion	8 bitov, dolžina vzorca 83 m 8 bits, 83 metres sampling interval
Obdelava signala Signal processing	FFT procesor z 32 vhodi 32 point FFT processor
skupna dolžina vzorca; integr. range cell	1 km
število vzorcev vzdolž žarka; No. of range cells	120 - Dopplerjevski doseg 120 km 120 - Doppler range: 120 km
Dopplerjeva hitrost; velocity coverage	- 48 m/s do + 48 m/s
zanesljivost Doppl. hitrosti	bolje kot 0.3 m/s pri signal/šum > 10 dB bolje kot 0.6 m/s pri signal/šum > 0 dB better than 0.3 m/s at S/N > 10 dB better than 0.6 m/s at S/N > 0 dB
velocity accuracy	
širina Doppl. spektra; spectrum width	4 razredi; 4 classes: 0-2, 2-4, 4-6, >6 m/s

Sklep

Opisan je moderen C-pasovni Dopplerjev radar z možnostjo merjenja z dvema polarizacijama, kakršnega imamo pri nas že leta vskladiščenega. Uporaben je za merjenje količine padavin, (to je bistveno za napovedovanje visokega vala na vodotokih in s tem poplav), zelo kratkoročno napovedovanje začetka padavin, opozarjanje na hude nevihte na temelju radarske odbojnosti in izmerjene hitrosti v oblakih (po Dopplerju), spremljanje zniževanja meje sneženja, pomoč letalstvu itd. Predstavljene so tudi mednarodne povezave: izmenjava radarskih podatkov v srednji Evropi in sestavljanje skupne radarske slike ter program skupnih raziskav neviht in toče po meddržavnem sporazumu z Italijo.

2. Newsome, D.H. (ed.), 1992: Weather radar networking, COST Project 73 Final report of the management Committee. Dordrecht, Kluwer Acad. Publ., xv+254 pp.c

are mentioned: e.g. the exchange of radar data in central Europe, and the bilateral project with Italy on thunderstorm and hail research.

Jože Rakovec

Weather radar

A modern C-band, Doppler and dual polarisation radar is described, such as it is for years already on stocks in Slovenia (and not yet installed). Among useful products are mentioned: precipitation measurement, precipitation temporal and spatial accumulation, which is a base for forecasting of high wave in rivers, and of floods, very short range forecasting of the beginning of precipitation, warning on strong storms, based on reflectivity as well as on Doppler velocity field, a possibility of monitoring of lowering of the melting level, support for aviation and others. Some contemporary international links

1. Rakovec, J., 1992: Mreža meteoroloških radarjev. Ujma 6, 170-173.

UJMA

UJMA