

170 Kolikšna je ta sila, si oglejmo na majhni cisterni za kurilno olje, namenjeni za enodružinsko hišo. Predpostavimo, da je cisterna ležeča valjasta posoda s premerom 1,3 m in dolžino 2,4 m. Debelina uporabljene jeklene pločevine je 4 mm. Izračunana prostornina cisterne znaša približno 3180 l. Če odštejemo 5%, ugotovimo lahko da cisterno napolnimo s približno 3000 l kurilnega olja.

Izračunani celotni vzgon znaša $3180 \times 10 = 31800 \text{ N}$.

Pri izračunu teže cisterne določimo površino porabljene pločevine, ki znaša približno $12,5 \text{ m}^2$. Pri debelini 4 mm je prostornina porabljenega materiala 50 l in teža cisterne $50 \times 79 = 3950 \text{ N}$.

Rezultirajoča sila, ki poskuša cisterno dvigniti, znaša $31800 - 3950 = 27850 \text{ N}$ (po starem 2785 kp ali 2,8 ton).

Hitro nam postane jasno, da morajo sidra, s katerimi pritrdimo cisterno, prenašati v primeru poplave cisterne velike sile.

Seveda se razmere bistveno izboljšajo, če cisterna ni popolnoma prazna, saj teža goriva v cisterni zmanjšuje rezultirajočo silo. Ker je kurilno olje nekaj lažje od vode (približno 10%), lahko računamo, da teža goriva in teža cisterne presegata vzgonsko silo šele, ko je cisterna praktično popolnoma napolnjena z gorivom.

Iz slednje ugotovitve sledi, da je v vsakem primeru, ko obstaja možnost poplave, potrebno cisterno dovolj močno zasedrati in tako preprečiti nastanek še večje škode.

MREŽA METEOROLOŠKIH RADARJEV

Jože Rakovec*

UDK 551.508.5

V Sloveniji imamo en meteorološki radar, drugi je sicer kupljen in dobavljen, a se glede njegove postavitve že nekaj let krepko zatika. V (zahodni) Evropi je takih radarjev okrog 80, že leta 1992 pa se bo njihovo število povzpelo na okrog 100. Pri tem so všeti samo redno delujoči radarji, ne pa raziskovalni ali taki, ki jih vključujejo samo občasno, npr. poleti za potrebe obrambe pred točo. Kaj je torej tako pomembnega v zvezi z meteorološkimi radarji, da jih imajo v Franciji, v Združenem kraljestvu, v Španiji in na Švedskem kar po okrog 10? Zakaj v posameznih državah (npr. naši sosedje Avstriji) sestavljajo slike posameznih radarjev v sestavljeno sliko, zakaj si podatke izmenjujejo tudi po meddržavnih dogovorih, da bi lahko sestavili tako sliko?

Radarska in satelitska slika

Tisti, ki vedo, da meteorologija uporablja radarje, pogosto najprej vprašajo, zakaj sploh radarska slika; ali nimajo meteorologi dovolj informacij že s satelitske slike? Odgovor je predvsem tale: 1. radarska slika je tridimenzionalna, satelitska pa le dvodimenzionalna (slika vrhov oblakov oz. kjer oblakov ni, slika tal) in 2. radarska slika je kvantitativna (pove, koliko vode ali ledu je v oblakih), satelitska pa le delno kvantitativna (npr. izboljšana satelitska slika, dosti dražja od take, kot jo kažejo npr. na televiziji, lahko pove, kakšna je temperatura vrhov oblakov). Razlik je še nekaj: prostorska ločljivost, časovna pogostnost itd.

Če torej hočemo vedeti, kako »gosti« so oblaki, da bi lahko računali, koliko bo iz njih padlo padavin, potrebujemo meteorološki radar, količino vode ali ledu v oblakih sicer z radarjem lahko izmerimo precej natančno, vendar pa je podatek o padavinah pri tleh že manj natančen: ne padejo vse kaplje do tal (npr. predvsem drobne kapljice na poti lahko izhlapijo), veter jih zanaša vstran izpod oblaka ipd. Načini določanja količine padavin tudi niso povsod enako dobri. Nad ravninskimi območji, kjer radar lahko meri nizko nad tlemi, lahko dosežejo boljše natančnosti, saj merijo padavine »skoraj pri tleh«. V goratem svetu pa je treba meriti nad vrhovi hribov, zato je tak podatek lahko precej različen od količine padavin spodaj v dolinah. Zato ocenjujemo (4), da pri nas, v goratem svetu, pri redni operativni uporabi radarja lahko dosežemo najboljše rezultate s časovnim in krajevnim povprečevanjem: pri 24-urnih količinah padavin nad območjem pribl. $20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$ dobimo padavine z natančnostjo okrog $\pm 60\%$. Pri skrbno načrtovanih posebnih raziskovalnih meritvah smo lahko bolj uspešni, slabše podatke pa dobimo, kadar merimo npr. trenutno koli-

čino padavin, ali pa količino nad nekim določenim majhnim območjem.

Ali je taka natančnost vredna precejšnjih stroškov in truda? To je odvisno od tega, koliko je podatek s tako natančnostjo lahko koristen. Vodarji bodo rekli, da je zanje bistveno bolj važen morda malo manj natančen prostorski in krajevni povpreček količine padavin kot pa tisti, ki ga trenutno izmerimo v eni točki (s klasičnim dežemerom). Iz merenj v nekaj posameznih točkah namreč ne morejo doseči natančnosti $\pm 60\%$ nad večjim prostorom, npr. nad vsem povodjem. Torej je zanje radarski podatek še kako več vreden od podatkov iz klasične padavinske mreže.

Mreža meteoroloških radarjev

V zahodni Evropi si države že več let med seboj izmenjujejo radarske podatke in sestavljajo slike (slika 1). V srednji Evropi se taka izmenjava začenja prav sedaj. Npr. Slovenija in Avstrija si slike že izmenjujeta, z Italijo se ravno dogovarjamo, katere informacije si bomo izmenjevali, ipd. V naši okolici je torej že toliko meteoroloških radarjev, da kljub goratemu terenu prekrivajo že precejšen del ozračja (slika 2).

Mreže meteoroloških radarjev so take, da:

- ali iz posameznih radarjev pošiljajo podatke v skupno središče, kjer te podatke (računalniško) sestavijo v enotno sliko za ves prostor, ki ga pokrivajo radarji.
- ali vsi uporabniki pošiljajo svoje podatke vsem uporabnikom, sliko pa sestavlja vsak uporabnik v skladu s svojimi potrebami.

Navadno je največ zanimanja za z radarjem izmerjeno trenutno količino padavin

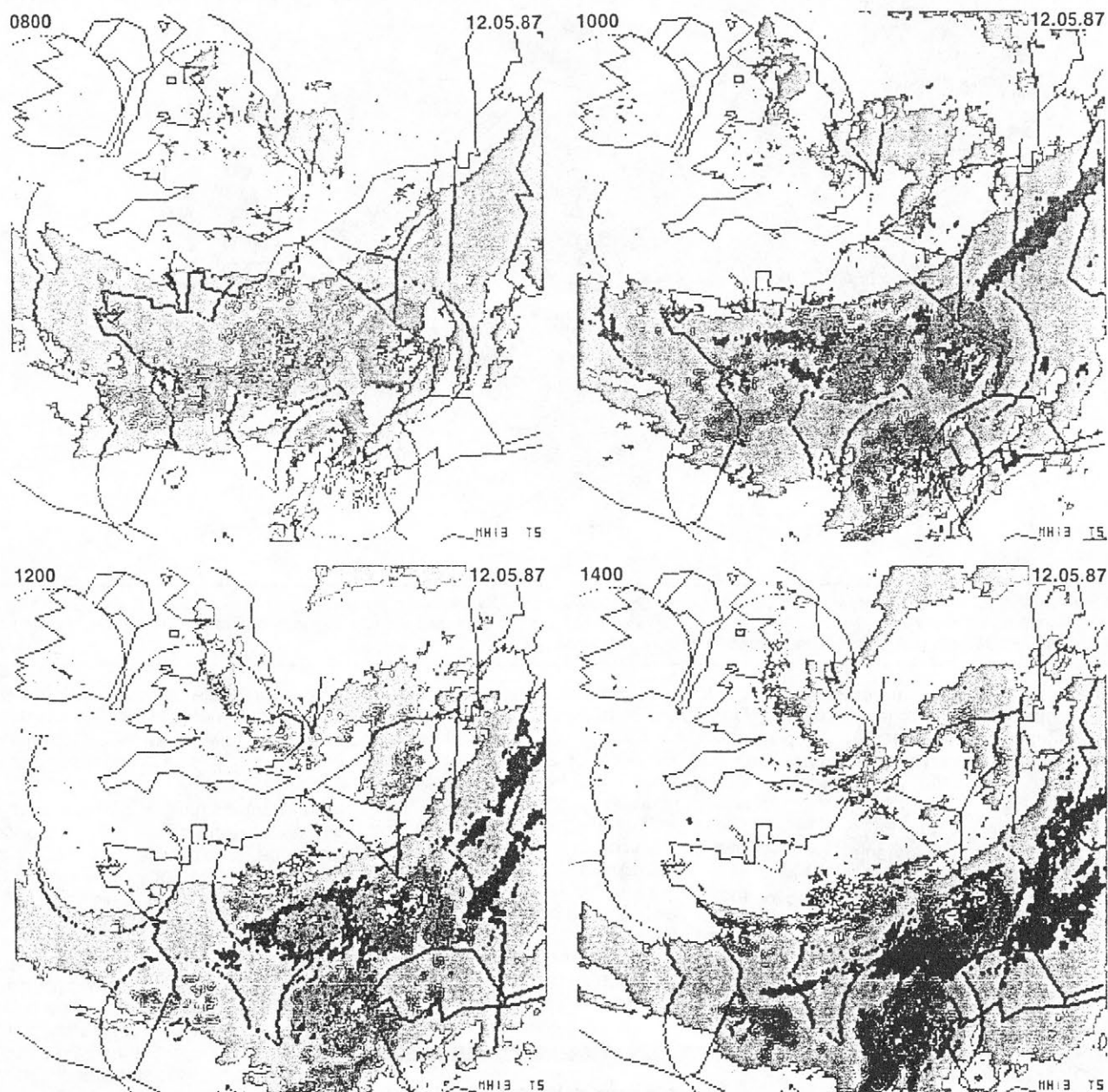
* Izr. prof., Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, Ljubljana.

UJMAA

UJMAA

UJMAA

UJMAA



Slika 1. Časovno zaporedje slik (kombinacija sestavljene radarske in satelitske slike) kaže hitrost napredovanja pasu padavin prek zahodne Evrope in intenzivnost teh padavin (6).

(saj si iz takih podatkov lahko vsak izračuna npr. tudi celodnevne padavine). Zato za posamezne radarje iz tridimenzionalne slike napravijo ploskovno sliko padavin in jo posredujejo v izmenjavo. Koliko podatkov pa vsebuje taka slika? Radar lahko meri z že omenjeno natančnostjo do oddaljenosti kakih 80 ali 100 km. Pri večjih oddaljenostih so napake že tolikšne, da je radar sicer še uporaben za opazovanje oblakov, ne pa več za merjenje količine padavin. Tako je z uporabnimi podatki prekrit krog s premerom kakih 160 km. Ker pa so računalniški zasloni, na katerih se navadno prikazuje taka slika, pravokotni, so pravokotne alimorda kvadratne tudi slike; recimo, da obsegajo območje, veliko 200 km x 200 km. Že kar dobra je ločljivi-

vost 1 km x 1 km, in če za vsak »pixel« porabimo 4 bite (s tem lahko izmerjene vrednosti razvrstimo v 16 razredov), ima slika 20 kB (8-bitnih, kot je to navadno pri PC-jih). K temu gre še kaka dodatna informacija, npr. ime ali oznaka radarja, čas meritve ipd., tako da se količina podatkov za izmenjavo še nekoliko poveča. Pri boljši ločljivosti, ali pri še večjem območju, je količina podatkov še nekaj večja. Tako lahko rečemo, da ima dvodimenzionalna slika posameznega radarja kakih 20 do 30 kB.

Res pa je, da razni programi za zgoščevanje informacije lahko ta obseg precej zmanjšajo. Narejenih je bilo več preizkusov zgoščevanja (3). En način je kodiranje v kodi BUFR, ki je standard bližnje prihodnosti (je že v veljavi, vendar se še

vedno vzporedno uporabljajo tudi stari načini kodiranja) za vse izmenjave meteoroloških podatkov v okviru meteorološkega Svetovnega telekomunikacijskega sistema. V okviru evropskega projekta COST 73 so sestavili softver za kodiranje in dekodiranje radarskih podatkov v kodi BUFR in ga posredovali Svetovni meteorološki organizaciji, ki ga je uvrstila v svoj standard.

Pri kodiranju v kodi BUFR so dosegli (3) zmanjšanje števila bytov na okrog polovico (za manj zapletene radarske slike je zgoščevanje uspešnejše, za bolj zapletene pa manj uspešno). Različni drugi programi za zgoščevanje, npr. zelo popularni ZIP, so približno še enkrat boljši. Žal so uporabni za izmenjave med dvema uporabnikoma, ki se o načinu kodiranja



Slika 2. Čeprav nekateri meteorološki radarji zaradi hribov vidijo le malo ozračja nad sabo (tipičen primer je radar v bližini Innsbrucka), pa vsi skupaj že lahko dajejo precej strnjeno sliko. Za že delujoče radarje je narisano dejansko vidno polje na nadmorski višini 1500 m, za načrtovane pa krog z radijem 100 km okrog njih (izrez, z dovoljenjem H. Wesselsa), (7).

posebej dogovorita, ne moremo pa jih uporabiti npr. za to, da bi tako kodirane oz. zgoščene datoteke radarskih podatkov poslali v Svetovni telekomunikacijski sistem, kjer velja omenjeni standard BUFR.

Trenutne količine padavin imajo uporabno vrednost (npr. za opozarjanje), če niso starejše od kakih 15 minut. To pomeni, da moramo imeti vsakih 15 minut novo sestavljeno sliko. Sama radarska meritve traja kakih 5 minut, v nekaj minutah je treba zbrati slike od okolišnjih, npr. petih do desetih radarjev, da ostane potem še nekaj minut časa za računalniško sestavljanje slike. Vse to pomeni, da so potrebne povezave računalnika z računalnikom s hitrostjo nekaj tisoč b/s.

Seveda so zelo zanimive tudi izmenjave podatkov o »nevarnih« vremenjskih pojavih (Dopplerjevi radarji merijo tudi veter, radarji z dvojno polarizacijo dokaj dobro ločijo led od vode ipd.), o hitrosti premikanja in o razvoju oblačnih sistemov, o višini vrhov oblakov, pač glede na potrebe in želje uporabnikov. Te slike so lahko tudi tridimenzionalne, kar kaj hitro privede do potrebe po povezavah z zmogljivostjo deset ali več tisoč b/s.

Za vzpostavitev mreže radarjev, ki omogoča sestavljanje slik, so torej potrebni dovolj gosto razmeščeni meteorološki radarji, standardizirani postopki za usklajeno delovanje radarjev, za usklajeno pripravo slik posameznih radarjev in dovolj dobre računalniške povezave z usklajenimi načini za izmenjavo podatkov. Evropski pilotni projekt COST 72 je pokazal, da so take sestavljene slike tehnično možne, in določil okvirne lastnosti meteorološkega radarja, kakršnega naj bi nameščali v Evropi. Naslednji projekt COST 73 »Mreža meteoroloških radarjev« pa je

določil okvirne zaželenosti za Dopplerjev radar, izdelal je standarde za usklajene meritve, za enotno kodiranje podatkov, smernice za način sestavljanja slik in za njihovo prikazovanje na računalniških zaslonih, postopke za računalniške povezave in izmenjave itd. (5). Najprej je bila v okviru tega projekta zamišljena vseevropska sestavljena slika, toda pokazalo se je, da je smiselneje razmišljati o kakih 5 do 8 območnih slikah, saj recimo tistih na jugu Evrope navadno ne zanimajo dosti razmere daleč na severu, poleg tega pa je za manjše, območne slike treba izmenjevati manj podatkov.

Uporabnost

Sestavljene radarske slike so bile najprej uporabljene v hidrološke namene: za kraje, niže ob rekah, so pomembne padavine v zgornjem toku reke. Ker mnogi vodotoki tečejo skozi več držav (Tejo, Rhone, Ren, Donava s Savo in Tiso, Vardar, Elba itd.), se je hitro pokazala potreba ne le po sestavljanju slik v okviru posameznih držav, temveč tudi po sestavljanju slikah za večja območja. Glavna vrednost je že omenjena površinsko izmerjena količina padavin (npr. za celo zgornje povodje), pa tudi ta, da z radarjem lahko sproti preverjamo, ali se morada uresničuje siceršnja splošna vremenska napoved o padavinah (6).

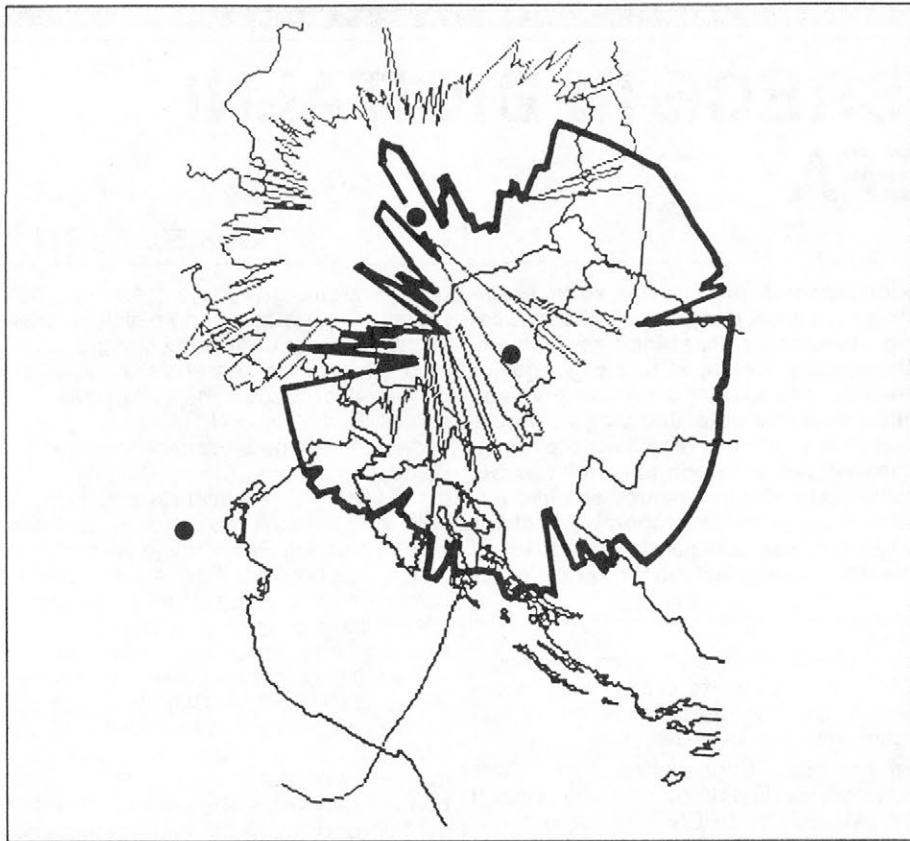
Strokovnjaki poudarjajo tudi pomen sestavljenih slik za promet: za mednarodni transport po cesti in železnici ter po Severnem morju, Vzhodnem Atlantiku in po Sredozemlju (nad drugo morja meteorološki radarji še ne sežejo). Še največjo korist utegne imeti civilno letalstvo, ki je

hitro: zaporedje zadnjih dveh radarskih slik pokriva čas pol ure, predvidevanje na osnovi takih dveh slik vnaprej za pol ure pa zadostuje za prelet prek skoraj pol Evrope.

Med potencialnimi uporabniki sestavljenih slik so tudi strokovnjaki, ki proučujejo izmivanje in izpiranje onesnaženosti iz ozračja in s tem povezani kisli dež. Za ocene o izpiranju radioaktivnih polutantov ob črnboblski katastrofi so bili zaradi neustreznih in neustrezno urejenih podatkov o količinah padavin potrebni zelo dolgotrajni in le delno zadovoljivi postopki, sestavljena radarska slika pa bi dajala vrednosti padavin sproti, vsakih 15 minut, za vso Evropo. Danes zato že vgrajujejo informacije iz sestavljenih radarskih slik v algoritme za taka izračunavanja (da jih le ne bi bilo treba spet kdaj uporabiti!).

To pomeni, da je interes za izmenjavo radarskih podatkov res zelo velik. Resnici na ljubo pa je treba povedati, da so tudi taka področja uporabe, zaradi katerih bi posamezne, predvsem zahodne države raje omejile izmenjavo podatkov, kot pa jo pospeševale. Predvsem gre za preprečevanje nenadzorovane komercialne uporabe teh informacij. Meteorološke službe so povsod državne ustanove in tako države skrbijo za njihovo sorazmerno drago delovanje in razvoj. Tako jim ni všeč, da se s trdom in stroški pridobljeni podatki kar na lepem pojavijo npr. na neki komercialni televizijski mreži.

Značilen primer komercialnega vpliva na t. i. končnega uporabnika je s področja zimskega turizma. Če v zimi, ko je snega povsod malo, turisti pred koncem tedna zvedo, da na nekem območju močno sneži in da je že padlo toliko in toliko snega, na drugem območju pa npr. le



Slika 3. Prostor nad Slovenijo sedaj pokrivajo trije digitalizirani radarji. Prikazana so njihova vidna polja na nadmorski višini 1500 m: na Liscia (debela črta), tisti na Zirbitzkoglu na Koroškem ima zaradi hribov zelo razvejano vidno polje, oni v Teolu pri Padovi, ki je na ravnini, pa precej neovirano vidi na vse strani. Uporabni dosegi radarjev za merjenje padavin pa so v resnici precej manjši: le v radiju približno 80 km od radarja. Zato so v načrtu še drugi radarji, npr. eden pri Gradežu, eden na Slavniku, tudi radar na Sljemenu naj bi nadomestili z novim.

malo ali nič, se reka dopustnikov kaj hitro lahko preusmeri, in to kljub morebitnim vnaprejšnjim rezervacijam. Objava takih informacij za širšo javnost je sicer poštena, toda mnenje omenjenih držav je, da naj bi npr. komercialne televizije vsaj prispevale k visokim stroškom za pridobivanje radarskih informacij, če že uporabljajo komercialno tako zelo vredno informacijo. Zato so zahodnoevropske države naklonjene le izmenjavam v okviru meddržavnih sporazumov z natančno določenimi obveznostmi in pravicami. Tako naj bi se npr. dogovorili, da smejo radarske slike, ki bi si jih brezplačno izmenjevale meteorološke službe, uporabljati samo te službe oz. prek njih druge državne službe. Ne bi pa bilo npr. dovoljeno, da bi slike, ki bi jo dobili od meteorološke službe neke države, posredovali naprej v države, ki niso podpisnice sporazumov. (Zanimivo je, da se tudi na področju satelitske meteorologije pri načrtovanih bodočih generacijah satelitov kaže težnja po uvajanju podobnega načela omejevanja nepooblaščenih uporabe).

Uporabnost pri nas

Imamo samo dve reki, ki pritekata v Slovenijo, Dravo in Muro, pa še tidve imata v

resnici nenaravni, kontrolirani režim, saj pritečeta skozi mnoge akumulacije. Tako bi od sestavljanja radarskih slik na tem področju prej drugi imeli korist od naših podatkov kot mi sami. Seveda pa to ne pomeni, da naša hidrologija ne potrebuje radarskih podatkov za napovedi režimov na naših rekah, le da bomo za svoja povodja dobivali podatke od lastnih radarjev.

Korist pri prometni uporabi bo odvisna od našega deleža v prometu na večje razdalje. Vsekakor lahko predvidevamo korist za letalske prevoznike, za plovbo in navični turizem na Jadranu, ko bodo tudi to morje prekrivali z meteorološkimi radarji, ipd.

Bistvena pa je vrednost za potrebe opozarjanja, npr. o tem, kako hitro se približuje morebitni padavinski sistem, ali se morda krepi ali slabi. Ta informacija ni pomembna le, kadar gre za nevarne pojave z močnimi padavinami. Kmetijstvo in še nekatere dejavnosti, ki so odvisne od vremena, morajo nekatera opravila končati pred dežjem. Tako je npr. za zaščitno škropljenje na Primorskem pomembno, če od (bodočega) radarja v Fossilonu v Furlaniji ali onega pri Teolu v Benečiji dobimo informacijo, da npr. nad Padovo že dežuje. Tedaj se k škropljenju morda ne bomo niti pripravljali, saj nam utegne škropivo sprati, še preden se bo posušilo na listih.

Velika je tudi vrednost informacije za

kontrola, ali se splošna napoved vremena uresničuje tako, kot je bilo napovedano, in ali so umestni kaki zaščitni ukrepi (npr. glede močnih padavin), ali pa bomo morda z že zamišljenimi alarmnimi ukrepi še nekoliko počakali, ker padavine le niso tako močne, kot je bilo predvideno. Še več informacij o uporabnosti sestavljenih radarskih slik je na razpolago v zborniku zaključnega seminarja Projekta COST 73, ki je bil junija 1991 v Ljubljani (2).

1. Collier, C. G., C. A. Fair in D. H. Newsome, 1988: International Weather-Radar Networking in Western Europe. Bull. Am. Meteorol. Soc. 69. 16—21.
2. Collier, C. G., J. Rakovec in M. Chapuis (uredniki), 1991. Weather Radar Networking, COST 73 Final Seminar Ljubljana, Dordrecht, Kluwer Acad. Publishers (v tisku).
3. Dietrich, E., R. M. Leonardi in R. Sorani. BUFR Code & Data Compression, COST 73/Wd/173, 15 pp. + 1 disquette.
4. Divjak, M., 1992. Predpostavke radarskega merjenja padavin. Seminar. FNT, Fizika, Katedra za meteorologijo, Ljubljana.
5. Newsome, D. H. (ur.). COST Project 73 — Final report of the Management Committee. Dordrecht, Kluwer Acad. Publishers (v tisku).
6. Newsome, D. H., Practical Applications of Weather Radar Data in Europe. V: C. G. Collier and M. Chapuis (eds): Weather Radar Networking, Seminar on COST Project 73 Brussels. Dordrecht, Kluwer Acad. Publishers for CEC, 580 pp.

Jože Rakovec

A Network of Meteorological Radar Stations

In Slovenia we have only one meteorological radar station. Another has been bought and delivered, but for some years there have been problems as to where to install it. In Western Europe there are about 80 such radar stations, and it is expected their number will rise to 100 in 1992. This counts only regularly operating radar stations, not research stations of those which function only occasionally, e. g. in summer for necessary forecasting of hail. Why are meteorological radar stations so important that France, the United Kingdom, Spain, and Sweden have about 10 each? Why do individual states such as our neighbour Austria combine pictures from their radar stations into one compound picture and why are data exchanged according to international agreements so that similar composite pictures can be assembled?