

METODA VRLO KRATKOROČNE LOKALNE PROGNOZE TEMPERATURE ZRAKA

A Method of Very - Short - Range Local Forecast of Air Temperature

BORIVOJ ČAPKA, ZORAN REBAC

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb
Primljeno 7. prosinca 1989, u konačnom obliku 23. veljače 1990.

Sažetak: Prikazana je metoda vrlo kratkoročne lokalne prognoze temperature zraka. Metoda se bazira na korekciji aktualnih vrijednosti temperature zraka pomoću njenih srednjih međusatnih razlika ovisnih o srednjoj dnevnoj kao i trenutnoj količini naoblake u času davanja prognoze. Korišteni su podaci iz razdoblja 1960 - 1988. godine stanice Zagreb-Maksimir. Verifikacija pouzdanosti metode učinjena je pomoću srednje kvadratne greške, a rezultati pokazuju primjenljivost metode kod vedrih i poluoblačnih dana, dok se kod oblačnih dana ne mogu očekivati pouzdani rezultati.

Ključne riječi: Vrlo kratkoročna lokalna prognoza, "dijagnoza - prognoza", temperatura zraka

Abstract: This paper presents a method of very-short-range local forecast of air temperature. The method is based on the correction of the actual temperature values by their interhourly differences, dependent on mean daily cloudiness as well as its amount at the moment of forecasting. Data from the 1960-1988 period at the Zagreb-Maksimir observatory are used. This method is tested by means of the root mean square error. Verification has shown the applicability of the method for clear days and for days with changing cloudiness. For cloudy days the method doesn't give sufficient reasonable results.

Key words: Very-short-range local forecasts, nowcasting, air temperature.

1. UVOD

Koncept vrlo kratkoročne prognoze kao takav nije nov. Većina meteoroloških službi mnogo godina izdaje prognoze vremena za 0 do 12 sati unaprijed, uglavnom za operacije civilnog zrakoplovstva, pomorske aktivnosti, poljoprivrede, šire javnosti i drugih.

Zrakoplovne prognoze tipa TREND (nosig, gradu, rapid) predstavljaju tipične primjere takvih vrsta. Čak šta više u ključu TAF za aerodromske prognoze postoji specijalna tako zvana 'nulta grupa' koja ima oblik OHHTT u kojoj se daju prognoze temperature TT za termin HH. Vrlo je važna za aerodrome s kratkom sletno-poletnom stazom zbog mogućnosti da veći avioni koriste staze.

Vrlo kratkoročne prognoze vremena od 0 - 12 sati unaprijed, imaju prvenstveno zadatak da se pravovremenom najavom nekih vremenskih nepogoda spriječe njihove nepoželjne posljedice i time spase ljudski životi i materijalna dobra te da se postignu ekonomske dobiti korištenjem pogodnih vremenskih prilika.

Zbog povećanih zahtjeva korisnika za detaljnijim lokalnim vremenskim prognozama, više zemalja članica Svjetske meteorološke organizacije (posebno Velika Britanija, SAD, Japan, Švedska, Švicarska i Kanada) radi na specijalnim projektima za vrlo kratkoročne vremenske prognoze u kojima su u jedan sistem obuhvaćeni podaci iz različitih

prijemnih izvora i različite tehnike prognoze, zajedno sa specijalnom distribucijom i prikazom metoda (Bodin, 1983).

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja metode vrlo kratkoročne prognoze temperature zraka u srpnju za šire područje grada Zagreba, koja je primijenjena za potrebe međunarodnih studentskih sportskih igara u Zagrebu UNIVERZIJADA-87.

2. METODA

Za razliku od kratkoročnih i dugoročnih prognoza koje su definirane kao prognoze za razdoblje duže od 8 - 12 sati, vrlo kratkoročne prognoze vremena (VKRP) obuhvaćaju vremenski interval od 0 - 12 sati unaprijed. Takve prognoze zahtijevaju analizu mezo-skalnih razmjera od 2 - 2000 km, odnose se samo na lokalna ili regionalna područja i sadrže lokalno-specifične vremenske informacije. Vremenski interval uzastopnih mjerenja i motrenja aktualnog vremena mora biti kraći od jednog sata, udaljenost između stanica nekoliko desetaka kilometara, a obrada podataka vrlo brza. Metode prognoze mogu se bazirati na korištenju specifičnih mezoskalnih modela, statističkim metodama i ekstrapolaciji (prema Beran i MacDonald, 1982).

Za prognoziranje fenomena još manjih razmjera i kraćeg trajanja koristi se podklasa 'dijagnoza-prognoza' (nowcasting) koja daje informacije o trenutnom vremenu i prognozu od 0 - 2 sata unaprijed. Današnji razvoj specifičnih

fizikalno dinamičkih modela za vrlo ograničena područja prvenstveno je, kao što je istaknuto, namijenjen za upotrebu u VKRP. Međutim za prognozu od 0 - 2 sata unaprijed takvi modeli imaju više zadatak kao procjenitelji budućeg vremena, dok se sama 'dijagnoza-prognoza' bazira na ekstrapolaciji trenutnog stanja (Bodin, 1983).

U ovom je radu jednosatna i dvosatna prognoza temperature zraka T_1 bazirana na korekciji njenih aktualnih vrijednosti T_0 s trendom njene promjene ΔT .

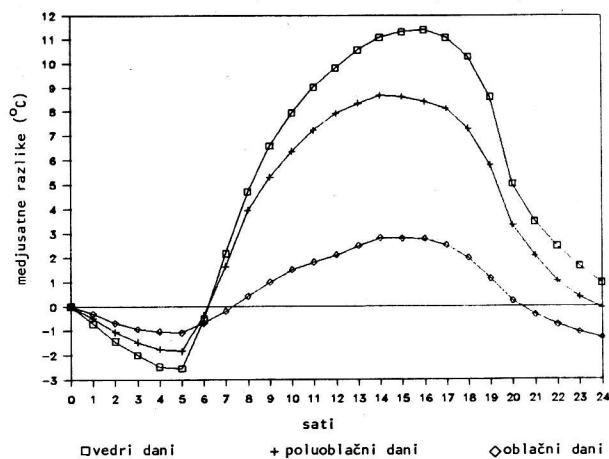
$$T_1 = T_0 + \Delta T \quad (1)$$

To znači da je potrebno poznavati jednosatne i dvosatne promjene temperature zraka u ovisnosti o trenutnoj vremenskoj situaciji i njenoj vrlo kratkoročnoj promjeni na lokaciji za koju se takve prognoze izrađuju.

3. LOKALNE KARAKTERISTIKE TEMPERATURE ZRAKA

Za 'dijagnozu-prognozu' temperature zraka u srpnju na širem zagrebačkom području korišten je 26-godišnji niz podataka 1960-1985. godina stanice Zagreb-Maksimir. Promatrane su međusatne razlike temperature zraka kod tri osnovna tipa vremena: tip stabilnog, promjenljivog i nestabilnog vremena koji ujedno određuju i dinamiku dnevne naoblake. Za tri stupnja naoblake: vedri, poluoblačni i oblačni dani izračunate su srednje međusatne razlike temperature zraka, a karakteristike njihovog dnevnog hoda prikazane su na sl. 3.1.

U razdoblju 1960-1985. godina u srpnju bila su 202 vedra ($N < 2/10$), 489 poluoblačnih ($2/10 \leq N \leq 8/10$) i 115 oblačnih ($N > 8/10$) dana, gdje je N srednja dnevna naoblaka izražena u desetinama pokrivenosti neba oblacima. Srednji dnevni hodovi međusatnih razlika temperature zraka u tim danima pokazali su da je kolebanje temperature zraka u srpnju najizraženije kod vedrih, a najmanje kod oblačnih dana. Od ponoći prema jutarnjim satima temperatura zraka opada i dostiže minimum u 5 sati ujutro u sva tri slučaja s tom razlikom da kod vedrih dana pad temperature iznosi 2,5°C,



Sl. 3.1. Srednje međusatne promjene temperature zraka u srpnju na stanici Zagreb-Maksimir (1960-1985).

Fig. 3.1. Mean interhourly air temperature differences in July at the Zagreb-Maksimir observatory (1960-1985).

kod poluoblačnih 1,8°C a kod oblačnih dana 1,1°C. Kod vedrih dana nakon jutarnjeg minimuma slijedi nagli porast temperature za prosječno 13,9°C do maksimuma u 16 sati nakon čega slijedi njen pad koji je u večernjim satima najizraženiji. Kod poluoblačnih dana oblik dnevnog hoda međusatnih razlika temperature zraka sličan je hodu kod vedrih dana ali s nešto manjom amplitudom (10,5°C), a maksimum dnevne temperature psotiče se najčešće u 14 sati. U oblačnim danima mogu se očekivati najmanje promjene temperature zraka s prosječnim porastom 3,9°C od jutarnjeg minimuma do dnevnog maksimuma.

Prikaz kumulativnih međusatnih razlika na sl. 3.1. pokazuje nadalje da je kod vedrih dana jutarnje i dnevno zagrijavanje zraka veće od večernjeg i noćnog ohlađivanja što znači da vedri dani donose općenit porast temperature zraka. Obrnut je slučaj kod oblačnih dana u kojima dolazi do zahlađenja, dok je kod poluoblačnih dana, u prosjeku, dnevno zagrijavanje gotovo jednako noćnom ohlađivanju.

4. VERIFIKACIJA REZULTATA

S kolikom se sigurnošću možemo osloniti na dobivene rezultate kod vrlo kratkoročne prognoze temperature pokazao je proračun standardnih devijacija (s) međusatnih razlika (Δt), a sama metoda testirana je na međusatnim promjenama temperature zraka nezavisnog trogodišnjeg niza 1986 - 1988. godina.

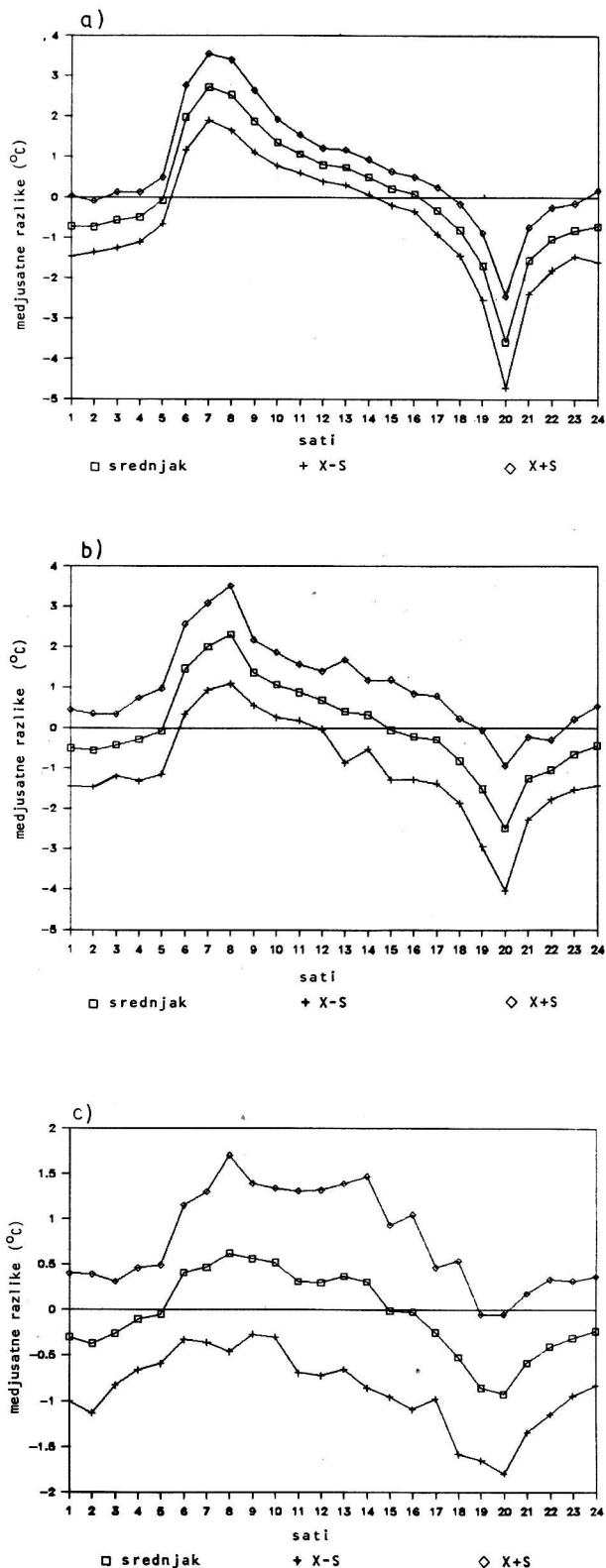
Na sl. 4.1. a-c ucrtan je dnevni hod srednjih međusatnih razlika temperature zraka prema podacima niza 1960 - 1985. godina i pripadne vrijednosti $\Delta t + s$ i $\Delta t - s$ za vedre, poluoblačne i oblačne srpanjske dane.

Kod vedrih dana standardna devijacija tj. prosječno kolebanje međusatnih razlika temperature zraka uglavnom je manje od 1°C. Najbolje prognoze mogu se očekivati sredinom dana i poslije podne kada je standardna devijacija manja od 0,5°C, a najkritičnije je vrijeme ujutro između 5 i 8 sati (standardna devijacija je oko 0,8°C) te osobito uvečer između 19 i 20 sati kada standardna devijacija iznosi 1,1°C. U tim terminima dešavaju se ujedno i najveće međusatne promjene temperature zraka, a naznačena velika promjenljivost međusatnih razlika očito je uzrokovana narušavanjem jutarnje odnosno formiranjem noćne inverzije koja se ovisno o stabilnosti prizemnog graničnog sloja dešava malo ranije ili kasnije oko trenutka izlaska odnosno zalaska sunca.

Kod poluoblačnih dana promjenljivost međusatnih razlika temperature zraka je najizraženija jer i dnevna i noćna temperatura zraka bitno ovise o dinamici naoblake, a ona je kod ovog tipa vremena najpromjenljivija. Standardne devijacije međusatnih razlika temperature zraka najčešće su oko 1°C, a najveće se ponovno javljaju u jutarnjim te osobito večernjim satima kada standardna devijacija iznosi čak 1,5°C. Međutim kod poluoblačnih dana velika promjenljivost međusatnih razlika temperature zraka javlja se i u poslijepodnevnom satima čemu su vjerojatno najčešći uzrok lokalne nestabilnosti kada uz pojavu pljuskova dolazi i do naglog pada temperature zraka.

Kod oblačnih dana najmanja promjenljivost međusatnih razlika (uglavnom manja od 1°C) može se očekivati u noćnim satima, a u razdoblju od izlaska do zalaska sunca najčešće oko 1°C. Međutim treba naglasiti da su kod oblačnih dana međusatne razlike temperature zraka redovito manje od 1°C, a u 75% slučajeva i manje od 0,5°C.

1-satne do 12-satne prognoze temperature izračunate pomoću srednjih međusatnih razlika iz 26-godišnjeg niza 1960 - 1985. testirane su na nezavisnom 3-godišnjem nizu



SI. 4.1. Srednje međusatne promjene temperature zraka i pripadne standardne devijacije u srpnju na stanici Zagreb-Maksimir (1960-1985).

Fig. 4.1. Mean interhourly air temperature differences and their standard deviation in July at the Zagreb-Maksimir observatory (1960-1985).

temperature zraka 1986 - 1988. godine, a ocjena valjanosti prognoze određena je pomoću srednje kvadratne greške:

$$SKG = \sqrt{\frac{(t_i' - t_i)^2}{n}} \quad (2)$$

gdje je t_i' - prognozirana vrijednost, t_i izmjerena vrijednost a n broj prognoza. U tri srpnja 1986 - 1988 godine bilo je 28 vedrih, 53 poluoblačna i 12 oblačnih dana.

U tabeli 4.1. prikazane su vrijednosti srednje kvadratne greške VKRP temperature zraka za odabrane početne termine i interval prognoze za vedre, poluoblačne i oblačne dane dakle uz uvažavanje srednje dnevne naoblake kao i srednja kvadratna greška za prognoze izračunate uz uvažavanje trenutne naoblake u terminu davanja prognoze.

Kod vedrih dana razmjerno male vrijednosti SKG ukazuju da se takva jednostavna metoda ekstrapolacije može se zadovoljavajućom preciznošću koristiti ne samo za jednosatne i dvosatne, nego i za višesatne prognoze uključujući i prognozu maksimalne dnevne temperature zraka. Međutim, usporedba srednje kvadratne greške prognoza računatih za vedre dane (SKG) i srednje kvadratne greške prognoza računatih uz uvažavanje trenutne količine naoblake SKG(N) pokazuje da samo kod jednosatnih i dvosatnih prognoza u jutarnjim satima nema značajnije razlike. U svim drugim slučajevima SKG(N) je veća s time da se idući prema podnevnim satima, za isti prognostički interval, ona povećava. Razlog je tome što i kod stabilnih dana u srpnju vrlo često već u prijepodnevnim satima dolazi do slabog razvoja dnevne naoblake koja fizikalno nema bitnijeg utjecaja na hod temperature i proračun srednje dnevne naoblake. Međutim kod izračunavanja prognoze uz trenutnu naoblaku u terminu davanja prognoze, u nekim su slučajevima korištene vrijednosti međusatnih razlika kao za poluoblačne ili čak oblačne dane, tj. međusatne razlike koje odgovaraju potpuno drugom režimu dnevne naoblake.

Kod poluoblačnih dana za jednosatne i dvosatne prognoze neznačajno bolji rezultati se postižu uz uvažavanje trenutne naoblake. Isto tako bolje se prognoze mogu očekivati u jutarnjim nego u podnevnim i poslijepodnevnim satima. Za trosatne i višesatne prognoze bolji rezultati postižu se uvažavanjem srednje dnevne naoblake.

Kod oblačnih dana općenito se mogu očekivati najnepouzdanije prognoze - osobito uvažavanjem srednje dnevne naoblake, a bolji uz uvažavanje trenutne naoblake. Obzirom da su oblačnim danima u srpnju najčešći uzrok frontalni poremećaji ili izrazita labilnost atmosfere u postfrontalnim situacijama uz prisutnost pojačane advekcije, kišu i pljuskove, očigledno je da se u takvim situacijama kod vrlo kratkoročne prognoze temperature mora znatno veća pažnja posvetiti upravo takvim fenomenima nego samoj naoblaci.

5. ZAKLJUČAK

Verifikacija rezultata pokazala je da se kod stabilnih srpanjskih dana metodom ekstrapolacije mogu dosta precizno prognozirati vrlo kratkoročne dnevne i noćne promjene temperature zraka uključujući i prognozu maksimalne dnevne temperature, a nešto teže jutarnji porast i večernji pad temperature zraka.

U danima s promjenljivom naoblakom bolji se rezultati kod jednosatne i dvosatne prognoze postižu uz uvažavanje trenutne količine naoblake, a za višesatne prognoze uz uvažavanje srednje dnevne naoblake.

Table 4.1. Verifikacija VKRP temperature zraka za odabrane početne termine i interval prognoze.
Tabela 4.1. Verification of the VSRF for the air temperature for selected initial hours and forecast intervals.

| Interval prognoze (sati) | VEDRI $\Delta T(^{\circ}C)$ | DANI SKG | POLUOB. $\Delta T(^{\circ}C)$ | DANI SKG | OBLAČNI $\Delta T(^{\circ}C)$ | DANI SKG | SKG (N) |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|---------|
| 7 do 8 | 2.5 | 0.8 | 2.3 | 1.1 | 0.6 | 0.7 | 0.9 |
| 7 do 9 | 4.4 | 1.2 | 3.6 | 1.5 | 1.2 | 1.3 | 1.2 |
| 7 do 10 | 5.8 | 1.4 | 4.7 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.5 |
| 7 do 13 | 8.4 | 1.7 | 6.7 | 2.5 | 2.7 | 2.4 | 2.6 |
| 7 do 16 | 9.3 | 1.9 | 6.8 | 3.1 | 3.0 | 3.8 | 3.4 |
| 10 do 11 | 1.1 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 0.3 | 1.5 | 0.9 |
| 10 do 12 | 1.9 | 0.6 | 1.6 | 1.5 | 0.6 | 2.0 | 1.3 |
| 10 do 13 | 2.6 | 0.7 | 2.0 | 1.8 | 1.0 | 2.4 | 1.7 |
| 10 do 16 | 3.5 | 1.2 | 2.1 | 2.7 | 1.3 | 4.7 | 2.8 |
| 13 do 14 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.9 | 0.3 | 0.9 | 0.8 |
| 13 do 15 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | 1.5 | 0.3 | 2.6 | 1.5 |
| 13 do 16 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 1.7 | 0.3 | 3.4 | 1.8 |

U danima s oblačnim vremenom općenito se bolji rezultati postižu uz uvažavanje trenutne naoblake. Kod takvog tipa vremena veća se pažnja mora posvetiti advekciji, pojavi kiše i drugih fenomena nego naoblaci.

Daljnje poboljšanje ovakve metode vrlo kratkoročne prognoze temperature zraka trebalo bi prvenstveno usmjeriti na promatranje većeg broja karakterističnih tipova vremena uz primjenu specifičnih fizikalno dinamičkih modela za kratkoročnu procjenu lokalnih fenomena vremena.

LITERATURA

- Beran, D.W. and MacDonald, A., 1982: Designing a very-short-range forecasting system. Nowcasting. Edited by K. Browning. Academic Press.
- Bodin, S., 1983: Very-Short-Range Forecasting - Observations, Methods and Systems, Geneva, WMO-No.621, 1-31.
- Conrad, V., L. W. Pollak., 1950: Methods in Climatology, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 459.
- Critchfield, H.J., 1974: General Climatology, Prentice Hall Inc., Engelwood Cliffs, 465.

SUMMARY: This paper deals with the method of very-short-range air temperature forecast based on the correction of the actual temperature values by means of their tendency of change, dependent on the mean daily cloudiness as well as of the cloud amount at the moment of forecasting.

Verification of the results, by means of the root mean square error, has shown that for stable days in July the extrapolation method of very-short-range changes of day and night temperatures, including maximum air temperature forecasts can be made more precisely than the morning rise and evening fall of the air temperature.

For days with changing cloudiness better results are obtained for 1- and 2-hour forecasts taking into account cloudiness at the moment of forecasting and the mean daily cloudiness for 3-12 hour periods of forecasting.

For cloudy days the method of simple extrapolation taking only the cloud amount cannot be applied because the forecast errors can be as much as several times greater than the relative air temperature changes themselves. In such weather situations greater attention should be given to the occurrence of advection, rain and other phenomena rather than to cloudiness.