

Mr. MILAN SIJERKOVIĆ
Mr. MIHOVIL KISEGI
Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske
Zagreb, Grič 3

Meteorologija u prometu
Pregledni članak
UDK: 556.06 : 656.1
Primljeno: 20.01.1994.
Prihvaćeno: 06.04.1994.

USPJEŠNOST PROGNOZA VREMENA ZA CESTOVNI PROMET

SAŽETAK

U radu se razmatra uspješnost vrlo kratkoročnih i kratkoročnih prognoza, posebno pripremljenih za potrebe cestovnog prometa. Na primjeru lokalnih prognoza za područje grada Zagreba u zimskoj sezoni 1992./1993. provedeno je ocjenjivanje točnosti prognoza oborina općenito, snijega, stvaranja snježnog pokrivača i novoga snijega debljeg od 5 cm, poledice, te minimalne i maksimalne temperature zraka. Ocjenjivanje vremenskih pojava obavljeno je metodom alternacije, a temperature zraka statističkim metodama primjerenim skalarnoj fizikalnoj veličini. Opća uspješnost prognoza svih naznačenih sastojaka vremena bila je dobra, unatoč tomu što se prognoze djelomice još izrađuju subjektivnim metodama. Uspješnijim su se očitovale prognoze odsutnosti neke vremenske pojave važne za cestovni promet nego njezine prisutnosti. To je posljedica subjektivnog elementa izradbe prognoza. Prognošičari su svjesno preneglašavali mogućnost prisutnosti neke štetne vremenske pojave, kako bi izbjegnuli suodgovornost za posljedice, kada bi ona nastala a da nije bila prognozirana ni najavljena. Unatoč tomu, prognoze su se očitovale korisnima za učinkovitiji i ekonomičniji rad zimske službe na području grada Zagreba.

1. UVOD

Sigurnost, ekonomičnost i udobnost cestovnog prometa, a i njegovi ekološki učinci, uvelike ovise o vremenu. Sastojci vremena koji ponajviše utječu na cestovni promet jesu: kiša, snijeg, poledica, magla i vjetar. Djelovanje vremena poglavito je nepovoljno, a najviše se očituje u povećanju skliskosti kolnika zbog kiše, snijega ili poledice, te u smanjenju preglednosti ceste iz vozila uslijed slabe vidljivosti. To uvjetuje smanjivanje protočnosti, redovitosti i čestote prometa, a povećava broj prometnih nezgoda i nesreća. Prema istraživanjima u prometno razvijenim europskim državama, u danima s maglom ili dugotrajnim oborinama promet je 25-50 posto manji nego pri suhom vremenu, ali je unatoč tomu broj prometnih nezgoda i nesreća oko 25 posto veći. U iznimnim okolnostima, pri obilnim snježnim oborinama, ili snježnim vijavicama koje stvaraju snježne zapuhe na cesti, ceste mogu postati neprohodnima za vozila, što uvjetuje prekid prometa. Na našim obalnim cestama, posebice na mostovima koji spajaju otoke s obalom, prestanak prometa nastaje i pri puhanju olujne bure.

Nepovoljni utjecaji vremena na cestovni promet najčešći su i najizrazitiji u hladnijoj polovici godine, osobito zimi. To je zato što su neki od najvažnijih vremenskih čimbenika

za cestovni promet samo tada prisutni (poledica, snijeg i snježna vijavica, primjerice), a drugi tada imaju najveću čestotu tijekom godine ili najdulje traju (magla, kiša ili olujna bura, primjerice).

Stoga su tada i štete koje prouzroči nepovoljno vrijeme najveće, jednako kao i troškovi za održavanje prometnica i sigurnosti prometa na njima.

S obzirom na te okolnosti, neprijeporno je da su dobre meteorološke informacije (meteorološki podaci, klimatološke studije, vremenske prognoze i ekspertize) vrlo korisne u fazi planiranja, izgradnje i eksploatacije cestovne prometne infrastrukture. Osobito je istaknuta njihova važnost glede sigurnosti i ekonomičnosti prometa. Pri tekućem korištenju prometnica osobito su važne prognoze vremena, jer se na osnovi njih može organizirati učinkovit rad zimskih službi za održavanje prometnica, kao i ostalih službi koje paze na sigurnost prometa. One su uz to sastavni dio namjenskih informacija za vozače, čime se također povećava sigurnost prometa, a smanjuje broj prometnih nezgoda i nesreća. Ekonomska korist od korištenja takve vrste meteoroloških informacija nesporna je i razmjerno je vrlo velika. Ona, primjerice, u Francuskoj iznosi 1 posto vrijednosti štete uslijed nezgoda i nesreća prouzročenih maglom i poledicom, 1 posto cijene oštećenja cesta izazvanih otapanjem snijega i leda i 1 posto cijene zimske službe za održavanje prometnica. Prema podacima Svjetske meteorološke organizacije, prognoza oborina za razdoblje od 1 do 6 sati unaprijed donosi u Velikoj Britaniji uštedu od oko 0,5 milijuna funti u godini, i to samo s obzirom na smanjivanje broja nezgoda na autocestama. Ako se uzmu u obzir i sve ostale vrste prognoza (drugih sastojaka vremena, i za dulja razdoblja), ekonomska je korist mnogostruko veća.

Potencijalna korist od prognoza (kao i ostalih vrsta meteoroloških informacija) ovisi prije svega o proizvodnji kvalitetnih meteoroloških informacija primjerenih korisniku, što je osnovna zadaća meteorološke službe. S druge strane, potencijalna korist ovisi o pravilnom korištenju meteoroloških informacija, što je osnovna zadaća korisnika. Da bi meteorolog mogao izraditi kvalitetnu informaciju koja će uistinu biti korisna cestovnom prometu, mora dobro upoznati njegove teškoće u svezi s vremenom, ustrojstvo službi koje paze na sigurnost prometa, kao i djelatnosti osoba koje donose odluke i operativno koriste meteorološke informacije. Da bi prometni stručnjak mogao razumjeti dobivenu informaciju i pravilno je koristiti, treba upoznati proces izradbe, osnovna obilježja i pouzdanost primljene meteorološke informacije.

U ovome radu bit će razmatrana samo jedna vrsta prognostičkih vremenskih informacija iz skupine onih koje

se u Državnom hidrometeorološkom zavodu Republike Hrvatske izrađuju za potrebe cestovnog prometa. To su tzv. operativne prognoze, posebne prognoze za kratka razdoblja. Svrha je tih prognoza da se u službama održavanja prometnica tijekom zime (tzv. zimska služba), u okolnostima kada se ne očekuju takva pogoršanja vremena što zahtijevaju posebna upozorenja, provede takvo tekuće organiziranje poslova, ljudstva i opreme koje će biti primjereno očekivanom vremenu. Osim tih prognoza, za potrebe cestovnog prometa izrađuju se još: 1) upozorenja na opasne i štetne vremenske procese i pojave; 2) planske prognoze (srednjoročne prognoze); 3) orijentacijske prognoze (dugoročne prognoze). Sadržaj, oblik i način izradbe operativnih prognoza, kao i ocjena njihove uspješnosti, bit će predloženi na primjeru takvih prognoza što su izrađivane za potrebe Zimske službe grada Zagreba u zimskoj sezoni 1992/1993. godine.

2. OPERATIVNE CESTOVNE PROGNOZE ZA PODRUČJE GRADA ZAGREBA

Te su prognoze s meteorološkog motrišta kompleksne (prognozira se nekoliko sastojaka vremena), mjesne ili lokalne (za područje malih prostornih razmjera), vrlo kratkoročne i kratkoročne (do 3 dana unaprijed) i namjenske (primjerene posebnim djelatnostima).

2.1. Oblik i sadržaj operativnih prognoza

Za potrebe Zimske službe grada Zagreba izrađivane su dvije vrste operativnih prognoza: "prognoza za tekući dan" i "prognoza za sljedeći dan", koje su se uglavnom razlikovale u duljini prognostičkog razdoblja.

"Prognoza za tekući dan" obuhvaća razdoblje od 08,00 sati dotičnog dana od 08,00 sati sljedećeg dana (prognostičko razdoblje 24 sata). "Prognoza za sljedeći dan" obuhvaća razdoblje od 12,00 sati tekućeg dana do 24,00 sata sljedećeg dana (otprilike 36-satno prognostičko razdoblje). Prisutno je, dakle, "preklapanje" prognostičkih razdoblja, pri čemu svaka nova prognoza automatski preuzima valjanost za preklapajuće razdoblje. Postoji i tzv. dopunska prognoza za noć, zapravo za razdoblje od 18,00 sati tekućeg dana od 08,00 sati sljedećeg dana. Njezina je svrha da na osnovi aktualnih podataka o vremenu i najnovijega prognostičkog materijala potvrdi, dopuni ili općenito promijeni prognozu za sljedeću noć, ako je nastala ili se očekuje takva promjena vremena koja zahtijeva drukčije uvjete rada zimske službe od onih koji su utemeljeni na prethodnoj prognozi vremena.

Prognoze obvezno sadrže informacije o očekivanoj nablaci, oborinama, vjetru, najvišoj (maksimalnoj) i najnižoj (minimalnoj) temperaturi u prognostičkom razdoblju. Posebnost prognoze s motrišta gradskog prometa i zimske službe sastoji se prije svega u prognozi snijega i poledice. U svakoj prognozi izričito se ističe hoće li biti snijega ili neće. Ako se snijeg prognozira, tada se prognozira i hoće li nastati snježni pokrivač ili neće. Ako se prognozira nastanak snježnog pokrivača, tada se prognozira i hoće li visina novoga snijega tijekom prognostičkog razdoblja biti veća od 5 cm ili neće. U prognozi se također izričito ističe hoće li biti poledice ili neće. Ako se prognozira pojava poledice, tada se naznačuje i njezina vrsta, zapravo uzrok nastanka, što posredno upozorava na njezinu jakost i raširenost. Iz prak-

tičnih razloga, sve su poledice svrstane u pet skupina. Poledica vrste 1 nastaje u svezi s tzv. prehladenom kišom (1A) ili prehladenom rosuljom - izmaglicom (1B), čije se kapljice lede u dodiru s tlom. Poledica vrste 2 nastaje u svezi s padanjem tzv. tople kiše (2A) ili rosulje - izmaglice (2B), kojih je temperatura kapljica viša od 0 Celzijevih stupnjeva, ali se ipak lede u dodiru s tlom, jer je njegova temperatura niža od 0 Celzijevih stupnjeva. Poledica vrste 3 nastaje zaledivanjem mokrog i vlažnog tla u uvjetima kada je temperatura zraka niža od 0 Celzijevih stupnjeva. Ako je posrijedi mjesna, mikrometeorološka pojava poledice (mostovi, primjerice), bez prisutnosti oborina, to je podvrsta 3A. Nastaje li nakon padanja oborina (kiše, susnježice) na širokom području, to je podvrsta 3B. Poledica vrste 4 nastaje zaledivanjem ugaženog ili otopljenoga starog snijega pri temperaturi nižoj od 0 Celzijevih stupnjeva. Poledica vrste 5 nastaje zaledivanjem ugaženoga novog snijega ili susnježice pri temperaturi oko 0 Celzijevih stupnjeva. Od vremenskih pojava koje su važne s motrišta cestovnog prometa i zimske službe još se ističu snježna vijavica (i u svezi s njome nastanak snježnih zapahta), te dugotrajne i jake magle.

Prognoze se detaljiziraju glede prostora samo na taj način da se dijele na nizinsko i planinsko područje (Medvednica, Samoborsko i Žumberačko gorje). Vremenska razdjeljenost prognostičkog razdoblja dogovorno se određuje opisno, a pojedini vremenski nazivi približno odgovaraju sljedećim razdobljima: jutro (04,00- 08,00 sati), prijepodne (08,00-12,00 sati), poslijepodne (12,00- 16,00 sati), večer (16,00-20,00 sati), noć (20,00-04,00 sati), dan (08,00-16,00 sati).

Prognoze se sastavljaju u opisnom (tekstualnom) i tabličnom obliku. Tekstualni dio prognoze sadrži opis očekivanog vremena u prognostičkom razdoblju, s pobližom naznakom dijela razdoblja u kojemu se predviđaju vremenske pojave koje su važne za gradski promet. U tabličnom dijelu, odvojeno za "nizinsko" i "planinsko" područje, sadržane su znakovne (slovne ili broječne) specifikacije prognoze oborina, posebice snijega, novoga snježnog pokrivača (glede nastanka i visine), poledice, minimalne i maksimalne temperature. Svrha je tabličnog predočavanja najvažnijih sastojaka prognoze da se operativnom središtu zimske službe konkretnijom naznakom olakša uočavanje najvažnijih sastojaka prognoze i time omogućiti učinkovitost donošenja određenih odluka. Znakovne oznake uključuju kvalitativnu procjenu vjerojatnosti da će se neki sastojak prognoze ostvariti. Koriste se oznake: DA, NE, DA/NE i NE/DA. Oznaka DA upozorava na visoki stupanj vjerojatnosti (redovito veći od 50 posto), a oznaka NE praktičnu nemogućnost (vjerojatnost 0 posto) da će se pojava dogoditi. Oznaka DA/NE sadrži priličnu mogućnost da se pojava dogodi (vjerojatnost manja od 50 posto, ali veća od 30 posto), dok oznaka NE/DA označuje tu mogućnost malom (vjerojatnost manja od 30 posto, ali veća od 0 posto). Kad se prognozira poledica, tada se uz oznake DA, DA/NE i NE/DA dodaje i brojna oznaka od 1 do 5 (pokatkad i dvije istodobno), što upozorava na vrstu poledice, odnosno uzrok njezina nastanka.

2.2. Način izradbe operativnih prognoza

Operativne prognoze, s obzirom na duljinu prognostičkog razdoblja, pripadaju skupinama tzv. vrlo kratkoročnih prognoza (od 0 do 12 sati unaprijed) i kratkoročnih prognoza (od 12 do 72 sata unaprijed). Svaka od tih skupina prognoza ima drukčije metode izradbe.

2.2.1. Kratkoročne prognoze

Kratkoročne prognoze zasada su metodički najbolje riješen sustav prognoza. Prognozičke vremenske karte, na kojima se temelje kratkoročne prognoze, dobivaju se objektivnim metodama, numeričkim rješavanjem osnovnih jednadžbi fizike atmosfere. Sustav takvih jednadžbi naziva se atmosferskim modelom, jer je iz praktičnih razloga to pojednostavnjeni prikaz stvarnih atmosferskih zbivanja. Interpretacija prognozičkih karata, a i ostalih oblika prognozičkog materijala, u smislu kvantitativne prognoze pojedinih sastojaka vremena (temperatura zraka i količina oborina, primjerice) još se poglavito obavlja subjektivnim, iskustvenim metodama. Međutim, u praktičnom se radu već koriste i objektivne metode prognoze različitih sastojaka vremena. Njihova uspješnost još nije na željenoj i potrebnoj razini. Teškoće koje pritom treba svladati uzrokovane su prije svega pronalazanjem dostatno točnih veza između meteoroloških elemenata i fizikalnih procesa u atmosferi. Valja istaknuti da je motriteljski sustav (položaj i raspored meteoroloških postaja, sadržaj i čestota motrenja vremena na njima) prilagođen prije svega potrebama kratkoročne prognoze, koliko zbog tradicije, toliko i zbog raširene uporabivosti i primjene te vrste prognoza.

U praksi izradbe kratkoročnih prognoza golemu važnost ima sustav tzv. Svjetskoga meteorološkog bdijenja (WWW), koji operativno djeluje od 1971., kao dio djelatnosti Svjetske meteorološke organizacije (WMO). Svrha mu je neprestano opažanje stanja atmosfere i vremena na cijelom planetu, brzi prijenos informacija o tomu, kao i kvalitetna i pravodobna obradba tih informacija u obliku prognozičkih vremenskih karata i ostaloga prognozičkog materijala. Ustrojstvo WWW-a temelji se na postojanju svjetskih, regionalnih i nacionalnih (državnih) meteoroloških središta i na učinkovitoj prerazdiobi poslova među njima. Izvorni i obrađeni proizvodi sustava dostupni su svima zainteresiranima bez ikakvih uvjeta. Na taj su način i mala prognozička središta u mogućnosti da raspolazu vrlo kvalitetnim prognozičkim materijalom izrađenim u najrazvijenijim, stručno i tehnički najbolje opremljenim meteorološkim središtima. To je golem doprinos ekonomičnosti i učinkovitosti rada prognozičke službe, poboljšanju kakvoće prognoza i njihove primjene. Jedini uvjeti koje moraju zadovoljavati meteorološke službe pojedinih država da bi bile dio sustava WWW-a jesu učlanjenje države u WMO i ispunjenje tehničkih preduvjeta za uključivanje u operativne sustave WWW-a, a to su: motriteljski sustav (GOS), telekomunikacijski (GTS) i sustav obradbe podataka (GDPS). Prijenos izvornih i obrađenih informacija u sustavu WWW-a mora se, zbog golemoga broja informacija i kratkih, strogo definiranih rokova za njihovu razmjenu, obavljati velikim brzinama. To je moguće provesti samo s pomoću elektroničkih računala, koja su međusobno povezana. Komunikacije između regionalnih i nacionalnih meteoroloških središta uobičajeno se obavljaju brzinom od 9600 bps-a.

Valja istaknuti da u okolnostima rata i raspada bivše Jugoslavije (a time i prijašnjega centraliziranoga meteorološkog sustava), meteorološka služba Hrvatske nije u zimskoj sezoni 1992./1993. bila uključena na odgovarajući način u sustav WWW-a. Stoga je jedan dio prognozičkog materijala (prognozičke vremenske karte, kvantitativne prognoze nekih sastojaka vremena), dobivan posredstvom radiofaksimila od nekih regionalnih meteoroloških središta (Offenbach u Njemačkoj i Bracknell u Velikoj Britaniji). Za potrebe kratkoročne prognoze korišten je i prognozički materijal Europskog centra za srednjoročnu prognozu vre-

mena (ECMWF) u Readingu, Velika Britanija, također u vrlo smanjenom opsegu.

Prognozička razdoblja u takvoj vrsti prognozičkih informacija uglavnom nisu kraća od 24 sata, pa je materijal koji se dobiva iz sustava WWW-a ponajvećma bio prikladan samo za kratkoročne prognoze. Prilagodba prognozičkog materijala mjesnim uvjetima na području Zagreba provodila se subjektivnim metodama, na osnovi iskustva prognozičara. Samo su djelomice razvijene metode za interpretaciju prognozičkog materijala u kvantitativnu prognozu sastojaka vremena na području Zagreba (količina oborina, vrsta oborina, minimalna temperatura zraka). Međutim, ni te metode nisu operacionalizirane za praktičnu uporabu.

2.2.2. Vrlo kratkoročne prognoze

Vrlo kratkoročne prognoze dijele se u dvije skupine. Prva, za razdoblje od 0 do 2 sata unaprijed (uobičajeni naziv u stručnoj literaturi "nowcasting", što bi se pojmovno moglo prevesti kao "usmjerenost (tendencija) vremena"), temelji se prije svega na informacijama koje se dobivaju s pomoću meteoroloških satelita i radara. Koriste se uglavnom metode ekstrapolacije "modela" (oblačnih sustava, oborinskih ili grmljavinskih područja itd.) koji se uočavaju s pomoću tih motriteljskih sustava. Na tomu se temelji izradba upozorenja na bliske opasne vremenske pojave koje se očituju oblačnim sustavima. Vrlo kratkoročne prognoze za razdoblje od 2 do 12 sati unaprijed u mnogim su zemljama još u razvoju. Zasada se uglavnom koriste jednostavne fizikalno-dinamičke i sinoptičko-statističke metode, kakve su, primjerice, vrlo prikladne za prognozu poledice ili radijacijske magle. Takve vrste prognoza zahtijevaju vrlo opsežan i složen motriteljski sustav, u kojemu vrlo važnu ulogu imaju automatske meteorološke postaje, te posebne sustave za obradu, prijenos i diseminaciju informacija korisnicima. Kao najpovoljnije rješenje za tu vrstu prognoza prihvaćeni su objektivni dinamički modeli za atmosferske procese malih i srednjih razmjera, tzv. mezomodeli, koji su tek u razvoju.

Vrlo kratkoročne prognoze nemaju u nas razradene objektivne metode izradbe općenito, pa stoga ni s motrišta cestovnog prometa. Unatoč tomu, ipak se izrađuju specijalne vrlo kratkoročne prognoze. Prognozička osnovica za "nowcasting" (i u svezi s time za "vrlo kratkoročna upozorenja") jesu satelitske slike oblaka i aktualni podaci o vremenu u standardnoj mreži meteoroloških postaja u Hrvatskoj. Prognozička osnovica za vrlo kratkoročne prognoze za prognozičko razdoblje od 2 do 12 sati unaprijed jesu prognozičke vremenske karte za potrebe kratkoročne prognoze vremena i rijetka mreža profesionalnih meteoroloških postaja na širem području Zagreba. Prognoze sastojaka vremena koji su važni za zimsku službu, kao što su to prognoze poledice i količine snijega, izrađuju se uglavnom subjektivno. Stoga vrlo kratkoročne prognoze, koje su osobito važne za učinkovito funkcioniranje zimske službe na području grada, ne sadrže dostatno prostornih i vremenskih pojedinosti, a ni njihova kakvoća nije primjerena potrebama.

3. OCJENA USPJEŠNOSTI OPERATIVNIH PROGNOZA

Kvalitetne meteorološke informacije primjerene korisniku osnovni su preduvjet za ostvarivanje potencijalne koristi od njih. Nažalost, ocjenjivanje kvalitete prognoza u

prognostičkoj službi Državnoga hidrometeorološkog zavoda ne provodi se sustavno i redovito, pa tako ni onih što se izrađuju za potrebe zimske službe na području grada Zagreba. Stoga se ocjenjivanje uspješnosti prognoza, kako je to učinjeno u ovome radu, može držati začetkom takve djelatnosti u nas i jednim od mogućih putokaza kako to treba činiti.

Valja istaknuti da pritom nije ocjenjivana kvaliteta prognostičkih vremenskih karata, premda one odlučujuće utječu na kvalitetu prognoze pojedinih sastojaka vremena. Kako je već istaknuto, takve se karte dobivaju od najvećih prognostičkih središta u Europi i njihova je kvaliteta neprijeporna. Primjerice, prognostičke vremenske karte koje se izrađuju u ECMWF-u, za prognostičko razdoblje od 24 sata, imaju točnost veću od 95 posto. Međutim, točnost prognoze pojedinih sastojaka vremena u načelu je manja od te, jer su sveze atmosferskih procesa s vremenom vrlo složene.

Uz to, uspješnost prognoza sastojaka vremena ovisi o metodama njihova predviđanja, odnosno o tomu koriste li se objektivne ili subjektivne metode, pri čemu je u drugom slučaju važno i osobno prognostičko iskustvo.

3.1. Materijal za ocjenjivanje uspješnosti prognoza

Provedeno je ocjenjivanje prognoza samo za zimsko razdoblje 1992./1993., od 15. studenog 1992. do 15. ožujka 1993., jer za prijašnje zimske sezone nisu bile sačuvane prognoze. Izrađena je ocjena samo 24-satne prognoze, tzv. prognoze za tekući dan, koja se odnosi na razdoblje od 08,00 sati tekućeg dana do 08,00 sati sljedećeg dana. Ta je vrsta prognoze odabrana zbog toga što u prometnoj operativi ima posebno važnu primjenu, a i zato što se daje u obliku koji sadrži određenu kvantifikaciju vremena, pa je stoga prikladna za verifikaciju.

Obavljena je verifikacija za sljedeće sastojke vremena: oborine, snijeg, novi snježni pokrivač, novi snijeg veći od 5 cm, poledicu, te napose maksimalnu i minimalnu temperaturu tijekom prognostičkog razdoblja. Prognoze su verifikirane na osnovi stvarnog opažanja vremena na meteorološkoj postaji Zagreb-Maksimir. Takav način ocjenjivanja uspješnosti prognoza donekle smanjuje stupanj njihove uspješnosti. Prognoze su, naime, izrađivane za područje u cjelini (detaljiziranje je provedeno samo za nizinske i planinske dijelove), pa bi stoga ocjena njihove uspješnosti bila objektivnija i općenito veća da se verifikacija obavila za cijelo područje. Međutim, odabrani način verifikacije je jednostavniji i brži, a rezultati dostatno signifikantni za dobivanje opće predodžbe o uspješnosti prognoza.

Pri ocjenjivanju prognoze vremenskih pojava oborina općenito (bez obzira na vrstu) i snijega napose, uzimala se u obzir samo njihova prisutnost, a ne i količina. Za snježni je pokrivač bilo mjerodavno je li u 07,00 sati sljedećeg dana, kada se mjerila njegova visina, visina novoga snijega bila najmanje 1 cm. Na jednak način je verifikirana i prognoza novoga snijega visine veće od 5 cm. Bilo je teškoće pri ocjenjivanju pojave poledice. Ta je pojava često lokalno uvjetovana, a uvjeti njezina nastanka na cesti bitno su drukčiji od onih na meteorološkoj postaji. Stoga je za verifikaciju njezine prognoze korištena samo potencijalna mogućnost njezine pojave. Pokazatelj za to bila je minimalna temperatura na 5 cm iznad tla izmjerena na meteorološkoj postaji u 07,00 sati sljedećeg dana. Držalo se da je u slučaju kada je ta temperatura bila niža od 0 Celzijevih stupnjeva bio ispunjen osnovni uvjet za pojavu poledice. S obzirom

na sve to, valjanost ocjene te pojave manja je nego za druge sastojke vremena.

3.2. Metode ocjenjivanja prognoze

S obzirom na način predočivanja prognoza za potrebe zimske službe u tabličnom obliku, "metoda alternacije" čini se najprikladnijim načinom ocjenjivanja prognoze sastojaka vremena.

Metoda alternacije koristi se pri ocjenjivanju prognoza u slučajevima kada se ocjenjuje da li se neka vremenska pojava očekuje (F_1) ili ne očekuje (F_2). Ako se s P_1 označi da se prognoza pojave ostvarila, a s P_2 da se nije ostvarila, tada je za ocjenjivanje prognoze metodom alternacije potrebno statistički napraviti tzv. verifikacijsku tablicu, poput one predočene u tablici 1.

Tablica 1. Verifikacijska tablica za ocjenjivanje prognoze

Prognoza	F_1	F_2	
Ostvarenje			
P_1	n_{11}	n_{12}	N_1
P_2	n_{21}	n_{22}	N_2

U tablici su n_{11} i n_{22} brojevi ostvarenih prognoza, a n_{12} i n_{21} brojevi neostvarenih prognoza. Ako se određeni sastojak vremena prognozira različitim metodama A_1, A_2, \dots, A_n , tada za svaku metodu treba napraviti novu verifikacijsku tablicu. Veličine $N_1 = n_{11} + n_{12}$ i $N_2 = n_{21} + n_{22}$ ne ovise o metodi prognoze. Točnost prognoze posebno se ocjenjuje za P_1 i P_2 . Na taj način može se dobiti predodžba o mogućnostima različitih metoda što su korištene za izradbu prognoza koje se ocjenjuju.

Relativni broj neostvarenih prognoza za P_1 može se označiti s α , a za $P_2 = \beta$, pri čemu je

$$\alpha = \frac{n_{12}}{n_{11} + n_{12}}, \text{ a } \beta = \frac{n_{21}}{n_{21} + n_{22}}$$

Ako je broj slučajeva N dostatno velik, tada se može izračunati vjerojatnost ostvarenja neke prognoze s pomoću sljedećih kombinacija

$$(F_i, P_j) \quad (i = 1, 2; j = 1, 2)$$

odnosno

$$P_{11} = \frac{n_{11}}{N} \quad P_{12} = \frac{n_{12}}{N} \quad P_{21} = \frac{n_{21}}{N} \quad P_{22} = \frac{n_{22}}{N}$$

$$\text{Vrijednosti } p = \frac{N_1}{N} = \frac{n_{11} + n_{12}}{N} \quad \text{ i } \quad q = \frac{N_2}{N} = \frac{n_{21} + n_{22}}{N}$$

jesu vjerojatnosti ostvarenja (P_1), odnosno neostvarenja (P_2) prognoze.

Vjerojatnosti P_{11}, P_{12}, P_{21} i P_{22} mogu se predočiti uz pomoć p i q ($q = 1 - p$), te α i β :

$$P_{11} = p(1 - \alpha); \quad P_{12} = p\alpha; \quad P_{21} = q\beta; \quad P_{22} = q(1 - \beta)$$

Kao indeks stupnja uspješnosti alternativne prognoze može se koristiti veličina Q

$$Q = 1 - (\alpha + \beta),$$

koja je za idealnu prognozu 1, a za slučajnu prognozu 0.

To je razmatranje ocjenjivanja uspješnosti prognoza s meteorološkog motrišta. Korisnici, poput cestovnog prometa, mogu imati posebne zahtjeve glede točnosti određenih vrsta prognoza, što se uvažava pridjeljivanjem težinskih čimbenika elementima u verifikacijskoj tablici.

Pri ocjenjivanju točnosti prognoze skalarnih veličina, kao što je to temperatura zraka, koriste se druge metode.

To mogu biti: srednja apsolutna pogreška, relativna pogreška, srednje kvadratno odstupanje, koeficijent korelacije itd., kako je to navedeno u radu Brier and Allen, 1951.

3.3. Rezultati ocjenjivanja prognoza

Prognoze prisutnosti ili odsutnosti oborina općenito, snijega, novoga snježnog pokrivača, novoga snježnog pokrivača debljine 5 cm ili veće i poledice ocjenjivane su metodom alternacije, a temperature zraka metodama primjerenim za skalarnu veličinu.

3.3.1. Ocjena točnosti prognoze vremenskih pojava

Za svaku od navedenih vremenskih pojava određene su čestoće ostvarivanja prognoza tijekom cijeloga promatranog razdoblja, koristeći sljedeće oznake:

DD: pojava je prognozirana, i dogodila se;

DN: pojava je prognozirana, ali se nije dogodila;

ND: pojava nije prognozirana, a dogodila se;

NN: pojava nije prognozirana, i nije se dogodila;

pričem je D kratica od DA, a N od NE.

Posebno su izdvojene prognoze koje nisu bile izričite nego su upozoravale na mogućnost da se pojava dogodi. Pritom su korištena dva stupnja mogućnosti: veća (vjerojatnost od 30 do 50 posto) s oznakom D/N, i manja (vjerojatnost manja od 30 posto) s oznakom N/D. Korištenje izraza "mogućnost" za isticanje stupnja pouzdanosti prognoze bilo je uvjetovano iznimno složenim vremenskim stanjem ili nedostatnim prognostičkim materijalom ili subjektivnom prosudbom o njegovoj nepouzdanosti. Također se koristio i u onim slučajevima kada je ocijenjeno da će prognozirana pojava biti slabog intenziteta, kada je često lokalno uvjetovana, što je osobito primjereno poledici.

Čestoće ostvarivanja različitih vrsta prognoza za sezonu u cjelini pokazane su u zbirnoj tablici 2.

Na osnovi podataka u tablici 2. urađene su tri vrste ocjene uspješnosti prognoza: 1) opća uspješnost prognoze (U), 2) uspješnost prognoze prisutnosti pojave (A), 3) uspješnost prognoze odsutnosti pojave (B). Za svaku od tih vrsta ocjene učinjena je kategorizacija na izričite prognoze (a) i prognoze koje su uključivale mogućnost da se pojava dogodi (b).

Opća uspješnost prognoze definirana je izrazima:

$$U_a = \frac{DD+NN}{DD+DN+ND+NN}$$

$$U_b = \frac{DD+NN+D/N,D+N/D,N}{DD+DN+ND+NN+D/N,D+D/N,N+N/D,D+N/D,N}$$

Uspješnost prognoze prisutnosti pojave definirana je izrazima:

$$A_a = \frac{DD}{DD+DN}$$

Tablica 2. Čestoće ostvarivanja prognoza u razdoblju 15.11.1992. - 15.03.1993.

	DD	DN	ND	NN	D/N,D	D/N,N	N/D,D	N/D,N
oborine	23	3	3	51	8	14	9	10
snijeg	11	5	0	79	6	11	3	6
snježni pokrivač	5	4	0	95	7	5	0	5
snijeg > 5 cm	0	0	1	114	0	2	0	4
poledica	46	3	8	17	14	4	25	4

$$A_b = \frac{DD+D/N,D}{DD+DN+D/N,D+D/N,N}$$

Uspješnost prognoze odsutnosti pojave definirana je izrazima:

$$B_a = \frac{NN}{NN+ND}$$

$$B_b = \frac{NN+N/D,N}{NN+ND+N/D,D+N/D,N}$$

U izrazima za uspješnost parcijalnih prognoza A_b i B_b kategorija prognoza s većom vjerojatnošću (D/N) pridružena prognozama da će se pojava dogoditi (D), a s manjom vjerojatnošću onima koje ne prognoziraju određenu pojavu (N).

Rezultati svih naznačenih ocjena za zimsku sezonu u cjelini predočeni su u zbirnoj tablici 3.

Tablica 3. Ocjena uspješnosti prognoza

	U _a	U _b	A _a	A _b	B _a	B _b
oborine	0,93	0,76	0,88	0,65	0,94	0,84
snijeg	0,95	0,84	0,69	0,52	1,00	0,97
snježni pokrivač	0,96	0,93	0,56	0,57	1,00	1,00
snijeg > 5 cm	0,99	0,98	0,00	0,00	0,99	0,99
poledica	0,85	0,67	0,94	0,90	0,68	0,39

Analiza podataka u naznačenim tablicama upozorava na sljedeće činjenice glede prognoza i njihove točnosti.

1. Stječe se dojam na osnovi podataka u tablici 2. da je u prognozama nekih pojava neopravdano prisutna neodređenost, odnosno pretjerana uporaba termina "mogućnost", što smanjuje njihovu operativnost u primjeni, odnosno učinkovitost i ekonomsku opravdanost. To se posebice odnosi na prognozu poledice (31 posto "neodređenih" prognoza), premda je činjenica da je ta vremenska pojava najviše ovisna o lokalnim čimbenicima i da ta vrsta prognoze pripada skupini najsloženijih prognostičkih proizvoda. S druge strane, određenost prognoze novog snijega debljeg od 5 cm, novoga snježnog pokrivača i padanja snijega (99, 96 i 95 posto) može se smatrati visokom i operativno prikladnom, pogotovo s obzirom na okolnosti načina izradbe prognoza i općenito uvjeta rada prognostičke službe u protekloj zimskoj sezoni.

2. Glede opće uspješnosti prognoza U, zamjećuje se da je u svim slučajevima veća uspješnost U_a , kada su prognoze bile izričite glede događanja ili nedogađanja neke pojave nego u slučajevima kada su prognoze uključivale i mogućnost (U_b). To je ujedno i upozorenje korisniku da se u takve prognoze može više pouzdati. Međutim, ako se U veća od 0,75 (75 posto) drži graničnom za prihvatljivo dobru prognozu nekoga sastojka vremena, tada se može zaključiti da su i prognoze skupine U_b bile dobre. U svim slučajevima U_b je veća od toga, osim za poledicu, za što su razlozi već spomenuti. Posebno valja istaknuti veliku opću

uspješnost prognoza novoga snježnog pokrivača (0,93) i novoga snijega debljeg od 5 cm (0,98).

3. Parcijalna uspješnost prognoze prisutnosti neke pojave A bila je manja od opće uspješnosti U. To je i razumljivo, jer je to posljedica opreza prognostičara u složenijim vremenskim situacijama, kada je svjesno preisticano događanje neke pojave važne za gradski promet. Valja istaknuti da $A = 0,00$ za snijeg veći od 5 cm znači da takve pojave nije bilo, dok visoka vrijednost $A_b (0,90)$ za poledicu znači da je 90 posto pojava poledice dobro prognozirano.

4. Parcijalna uspješnost prognoza odsutnosti neke vremenske pojave B vrlo je visoka. Za novi snježni pokrivač ona iznosi čak 1,00, što znači da je u svim slučajevima, kada nije došlo do stvaranja novoga snježnog pokrivača, to i naznačeno u prognozi. Zamalo jednako velika uspješnost je i prognoza padanja snijega i stvaranja snježnog pokrivača debljeg od 5 cm. Bio je samo jedan slučaj kada je novi snježni pokrivač bio deblji od 5 cm (iznosio je 6 cm), a da nije prognozirano. Zamjetno je slabija uspješnost prognoze odsutnosti poledice, ali se to može dijelom pripisati i mjerilima za utvrđivanje prisutnosti, odnosno odsutnosti poledice, koja nisu utemeljena na stvarnim opažanjima poledice. Općenito se može zaključiti da su prognoze odsutnosti neke pojave važne za cestovni promet vrlo pouzdane.

3.3.2. Ocjena točnosti prognoze temperature

Verifikacija prognoza maksimalne i minimalne temperature obavljena je na drukčiji način, s obzirom na to da su te prognoze predočivane brojčanim vrijednostima iznosa temperature. Budući da se prognoza odnosila na razmjerno veliko područje, predočivana je u obliku temperaturnog intervala. On je bio razmjerno širok, kako bi se obuhvatile moguće razlike u temperaturnim prilikama, a koje potječu od mjesnih utjecaja (mikroklima). Za verifikaciju temperature korištena je sredina prognozirana temperatura intervala. Kao elementi verifikacije korišteni su: srednja apsolutna greška, odnosno razlika stvarne i prognozirane temperature ($t_s - t_p$), koju smo označili sa Sdt; maksimalna i minimalna apsolutna greška, max dt i min dt, pri čemu pozitivna vrijednost greške znači da je prognozirana temperatura niža od stvarne; zatim čestota prognoza koje su bile unutar intervala od ± 2 i ± 3 Celzijeva stupnja u odnosu na stvarnu temperaturu zraka. Rezultati verifikacije prognoza predočeni su u tablicama 4. i 5.

Tablica 4. Ocjena uspješnosti prognoza maksimalne temperature

	Sdt	max dt	min dt	dt ± 2	dt ± 3
studeni	2,7	6,5	-0,2	8	10
prosinac	1,9	8,8	-0,1	21	26
siječanj	2,7	6,8	$\pm 0,2$	14	20
veljača	1,7	4,0	0,0	18	21
ožujak	1,8	4,9	0,0	8	12

Tablica 5. Ocjena uspješnosti prognoza minimalne temperature

	Sdt	max dt	min dt	dt ± 2	dt ± 3
studeni	2,8	6,4	-0,7	7	10
prosinac	2,1	-7,9	-0,2	21	24
siječanj	2,9	7,3	0,0	11	20
veljača	2,2	9,0	0,0	16	22
ožujak	1,6	3,7	-0,1	9	13

Može se zaključiti da je uspješnost prognoza maksimalne i minimalne temperature bila dobra. Srednja apsolutna greška prognoziranih temperatura u odnosu na stvarne bila je malo viša od 2 Celzijeva stupnja. U stvarnosti je više od polovice svih prognoza bilo unutar dvostupanjskog intervala (57 posto kod maksimalne temperature, a 53 posto kod minimalne), dok je u oba slučaja 74 posto prognoza bilo u intervalu greške od ± 3 Celzijeva stupnja. Rezultati bi neprijeporno bili povoljniji da su se u verifikaciji uzimali u obzir podaci o temperaturi za nekoliko meteoroloških postaja. Nekoliko slučajeva razmjerno velikih grešaka u prognozi tih temperatura vjerojatno se manjim dijelom mogu pripisati i subjektivnim razlozima, neiskustvu ili nebrizljivošću pojedinih prognostičara.

4. ZAKLJUČAK

Prognoze vremena doprinose sigurnosti i ekonomičnosti cestovnog prometa. Posebno su važne tzv. vrlo kratkoročne prognoze (od 0 do 12 sati unaprijed), koje su metodički u razvoju, i kratkoročne (od 12 do 72 sata unaprijed), koje se temelje na objektivnim metodama. Za potrebe cestovnog prometa izrađuju se tzv. posebne prognoze koje sadrže prognoze onih sastojaka vremena koji najizrazitije utječu na tu prometnu djelatnost. Takve prognoze pripadaju skupini mjesnih (lokalnih) prognoza i sadrže više prostornih i vremenskih pojedinosti nego prognoze za velika područja. Na vrlo kratkoročnim i kratkoročnim prognozama temelji se operativni rad zimske službe za održavanje prometnica. Ocjenjivanje točnosti takvih prognoza za područje Zagreba za zimu 1992./1993. metodom alternacije i drugim statističkim metodama očitivalo je njihovu opću uspješnost. Pritom je s većom točnošću prognozirana odsutnost neke važne vremenske pojave nego njezina prisutnost, što ukazuje na to na koje se prognoze korisnik može pouzdati s većim povjerenjem. Manja pouzdanost prognoza da će se neka vremenska pojava dogoditi posljedica je donekle opravdanog opreza prognostičara. Željela se smanjiti rizičnost nepovoljnih posljedica izostanka prognoze nekog vremenskog događaja koji može prouzročiti nevolje u cestovnom prometu, a time i u životu velikoga grada.

SUMMARY

SUCCESSFUL PREDICTING WEATHER IN MOTOR TRAFFIC

The paper deals with a review of efficiency of ultra short-term and short-term weather forecasts designed for motor traffic. On the pattern of local forecasts for the region of the City of Zagreb in the winter season of 1992/1993 the authors perform the assessment of accuracy of predicted precipitation in general, snow, snowfall and new snow layer of 5 cm and more, glaze, and minimum and maximum air temperature. The assessment of weather conditions has been completed by method of alternation while the assessment of air temperature has been completed by statistic methods congruent with physical scale values. General efficiency of prediction of all mentioned weather aspects has been satisfactory, despite the fact that forecasts are still being made by subjective methods. More successful have been the forecasts referring to the absence of a phenomenon important for motor traffic than those referring to its presence. This comes as a result of the subjective element in provision of forecasts. Forecasters have consciously over-emphasized the pos-

sibility of presence of some adverse weather condition in order to avoid joint responsibility for consequences at the time of its occurrence without being predicted or announced. Nevertheless, forecasts have proven to be useful for more efficient and more economic operations of The Winter Road Service in the metropolitan area of Zagreb.

LITERATURA

- [1] S.BODIN: Very short-range forecasting-observations, methods and systems. WMO, No. 621, Geneva, 56, 1983.
- [2] G.W.BRIER, R.A.ALLEN: Verification of weather forecasts. Compend. Meteor., Amer.Meteor.Soc., Boston, 1951.
- [3] B.GELO: Meteorološko osiguranje kopnenog prometa. Promet, vol.5., broj 1., str. 19-23, Zagreb, 1993.
- [4] M.SIJERKOVIĆ: Meteorološki aspekti u cestovnom prometu u SR Hrvatskoj u zimskoj sezoni 1982/83. godine. RHMZ, Radno izvješće, Zagreb, 51, 1983.
- [5] M.SIJERKOVIĆ, D.GLASNOVIĆ, Z.ŠUBARIĆ: Vrijeme i meteorologija kao čimbenici sigurnosti, ekonomičnosti i razvoja prometa u Hrvatskoj. Promet, god. 4., Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, Zagreb, 1992., 111-121.
- [6] Ž.TROŠIĆ: Potencijalna korist meteoroloških informacija u prometu. Hrvatski meteorološki časopis, vol. 27., Meteorološko društvo Hrvatske, Zagreb, 1992., 77-83.