

NAPOVEDOVANJE MEGLE NA LETALIŠČU LJUBLJANA Z METODAMI STATISTIČNE INTERPRETACIJE OPAZOVANJ IN REZULTATOV NUMERIČNIH MODELOV

FOG FORECASTING AT LJUBLJANA AIRPORT USING THE STATISTICAL METHODS OF INTERPRETING OBSERVATIONS AND NUMERICAL WEATHER MODELS RESULTS

Uroš BERGANT¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 1. septembra 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Napovedovanje lokalnih vremenskih pojavov, med njimi nastanka in razkroja megle, je zanimiv problem kratkoročne napovedi vremena. Nastanek in razkroj megle bistveno vplivata na varnost in učinkovitost letalskega prometa, hkrati pa je meгла značilen pojav v kotlinah razgibanega reliefa. Pregledan je petletni niz opazovanj vidnosti na letališču Ljubljana, iz katerega so razvidne značilnosti tamkajšnje megle. S pomočjo statistične interpretacije opazovanj in rezultatov numeričnega modela ECMWF določimo povezavo med prediktorji in nominalno spremenljivko 'pojav megle'. Za izbrani statistični metodi, diskriminantno analizo in odločitvena drevesa, sta izpeljani ustrezni povezavi med prediktorji in spremenljivko 'pojav megle' ter prikazani rezultati metod na razvojnem vzorcu. Povezavi sta verificirani na enoletnem časovno neodvisnem vzorcu, ki daje realnejšo sliko natančnosti napovedi. Obe metodi sta se izkazali za primerni in približno enako natančni. Za operativno rabo je natančnost še vprašljiva, vendar bi se z vključitvijo dodatnih prediktorjev, predvsem rezultatov numeričnega modela ALADIN, dalo doseči boljše rezultate.

SUMMARY

The forecast of local weather phenomena, such as formation and dissipation of fog is an interesting problem of short-range weather forecast. Formation and dissipation of fog greatly impact the safety and effectiveness of aviation traffic. At the same time, fog is a distinctive phenomenon in the basins of rough terrain. The five-year sample of visibility

¹ Uroš Bergant, Hidrometeorološki zavod R. Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, uros.bergant@rzs-hm.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

data at the Ljubljana airport is studied to see the characteristics of fog at that place. With the use of statistical methods of interpreting the observations and the ECMWF numerical weather prediction model output we define the relationship between predictors and nominal variable 'fog'. For the two chosen methods, discriminant analysis and decision trees, the relationships between predictors and nominal variable 'fog' are presented. The relationship is then verified on a one-year independent test sample to give an impression of real accuracy of the forecast. Both methods proved appropriate and nearly equally accurate. For operational use the accuracy is still questionable, but with the inclusion of additional predictors, especially the results of the numerical model ALADIN, better results could be achieved.

1 UVOD

Megla že od nekdaj predstavlja velik problem kratkoročne napovedi vremena. Je namreč izrazito lokalno pogojena in izredno občutljiva na vrsto dejavnikov, od sinoptične meteorološke situacije, lokalnih vremenskih posebnosti pa do reliefa v mikro skali, lastnosti tal ipd. Najbolj je megla odvisna od spremenljivk vremena pri tleh, te pa modeli najslabše napovedo. Še posebej slabo modeli napovedo vlažnost, od katere pa je bistveno odvisen nastanek megle.

Kljub omejitvam pa nam rezultati numeričnih modelov z upoštevanjem lokalnih modifikacij vremena lahko pomagajo pri napovedi megle. To nam omogoča statistična interpretacija opazovanj in rezultatov numeričnih modelov, pri kateri iz arhiviranih podatkov iz preteklosti določimo statistično povezavo med prediktorji (to so lahko opazovanja ali rezultati numeričnih modelov) in predikanti (vremenske spremenljivke, ki jih napovedujemo, v našem primeru megla).

Poskušal sem najti primerno statistično metodo in primerne prediktorje za napoved megle za naslednje jutro na letališču Ljubljana. Meglo sem obravnaval kot dvokategorično nominalno spremenljivko, torej je napoved vsebovala le dve možnosti: megla se bo oz. se ne bo pojavila. Prediktorje sem izbral med opazovanimi vremenskimi parametri na letališču Ljubljana ter med rezultati globalnega numeričnega modela ECMWF. Dobljeno statistično povezavo sem preveril na neodvisnem vzorcu (leto 1999), kar mi je dalo realnejši delež pravih napovedi.

2 METODA RAZISKAVE

2.1 Uporabljeni statistični metodi

Prva metoda, ki sem jo uporabil, je 'linearna diskriminantna analiza', pri kateri se določi linearna funkcija prediktorjev in vrednost te funkcije, ki najbolje ločita dogodke z in brez megle med seboj. Druga uporabljena metoda so 'odločitvena drevesa (ang. CART)', pri kateri se iz prediktorjev razvije odločitveno drevo, ki kar najbolje loči dogodke z in brez megle. Pri obeh metodah je treba paziti, da je povezava med prediktorji in predikanti čim bolj preprosta, t.j. da uporabimo čim manj prediktorjev. V nasprotnem primeru se lahko zgodi, da povezava dobro deluje le na razvojnem vzorcu, na testnem oz. v praksi pa ne.

2.2 Izbira prediktorjev

Pri izbiri prediktorjev sem poskušal zajeti glavne fizikalne dejavnike, ki vplivajo na nastanek in razkroj megle:

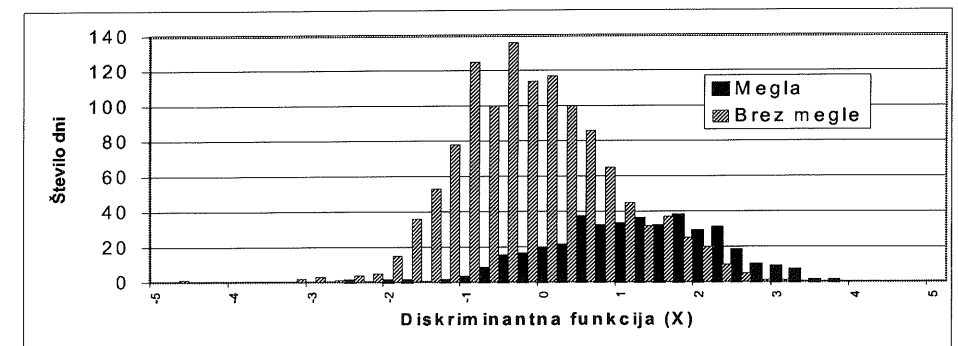
- vlažnost pri tleh,
- dolgovalovno sevanje tal (oblačnost, dolžina noči, vlaga),
- mešanje zraka in advekcija (hitrost in smer vetra na tleh in v višjih plasteh),
- razlika pritiska Portorož – Maribor ter Planica - Lisca),
- vertikalni temperaturni gradient (temperaturna razlika Brnik – Lisca),
- padavine.

Tako sem dobil množico 24. možnih prediktorjev, ki bi lahko vplivali na meglo.

3 REZULTATI

3.1 Diskriminantna analiza:

S statističnim paketom SPSS for Windows 9.0 sem dobil naslednjo diskriminantno funkcijo:



Slika 1. Porazdelitev vrednosti diskriminantne funkcije za dogodke brez in z meglo
Figure 1. Discriminatory function for cases with and without fog.

$$X = 0.587 \cdot Sev / dep + 0.015 \cdot Depresija - 0.084 \cdot TBr_Li - \\ - 0.263 \cdot Dnoci - 0.465 \cdot VBrAvg + 0.066 \cdot VlagaECM + \\ + 0.180 \cdot Obl21_06 + 0.0046 \cdot Sevanje - 0.119 \cdot PPoMbAbs - 5.357$$

Diskriminantna funkcija

Vidimo, da so v diskriminantno funkcijo vključeni prediktorji, ki so značilni za napoved radiacijske megle, na katero najbolj vplivajo vlažnost pri tleh (*Depresija*), dolgovalovno sevanje tal ponoči (*Dnoci*, *VlagaECM*, *Obl21_06*, *Sevanje*), vertikalni gradient temperature (*TBr_Li*) ter hitrost vetra (*VBrAvg*, *PPoMbAbs*). Izkazalo se je, da vključitev nadaljnjih prediktorjev, poleg izbranih devetih, ne bi prinesla bistvenega izboljšanja, lahko pa bi se pojavili problemi na testnem vzorcu, ker bi bilo vključenih preveč spremenljivk.

Vrednost diskriminantne funkcije, pri kateri dobimo največjo zanesljivost, to pomeni, da je število napovedi megle enako dejanskemu številu megel, je enaka 0.828. Z upoštevanjem te vrednosti dobimo spodnjo klasifikacijsko matriko:

NAPOVEDOVANJE MEGLE NA LETALIŠČU LJUBLJANA Z METODAMI STATISTIČNE INTERPRETACIJE OPAZOVANJ IN REZULTATOV NUMERIČNIH MODELOV

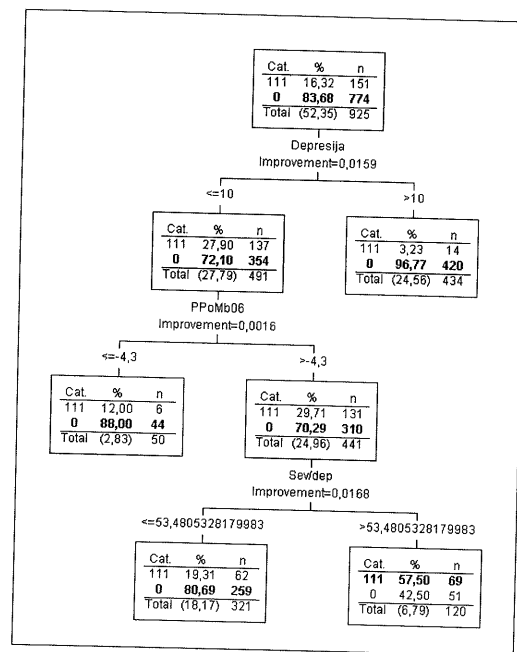
Tabela 1. Klasifikacijska matrika, dobljena z diskriminantno analizo.
Table 1. Classification matrix for discriminant analysis forecasts.

Napovedana Kategorija	prava kategorija			skupaj
	brez megle	megla	skupaj	
	brez megle	1052 (86.44%)	165 (41.25%)	
megla	165 (13.56%)	235 (58.75%)	400	
skupaj	1217	400	1767	

Razvidno je, da so jutra z meglo napovedna v nekaj manj kot 60%, jutra brez megle pa v dobrih 85%.

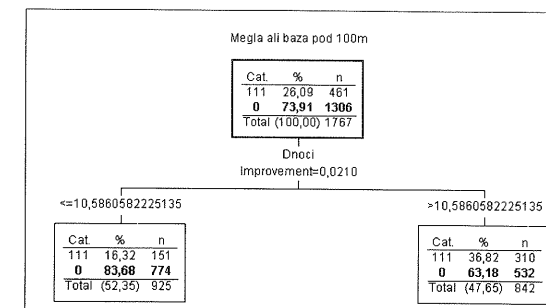
3.2 Odločitveno drevo

S pomočjo programa AnswerTree iz statističnega paketa SPSS for Windows sem sestavil odločitveno drevo, ki vsebuje 7 prediktorjev. Prvi prediktor, dolžina noči -Dnoci, razdeli drevo na topli in hladni del leta:



Slika 2. Odločitveno drevo za toplejši del leta.
Figure 2. Decisions tree for the warm half of year.

U. Bergant



Slika 3. Prvo razvejišče odločitvenega drevesa – delitev na topli in hladni del leta.
Figure 3. The first branching of decisions tree: the warm and cold half of year.

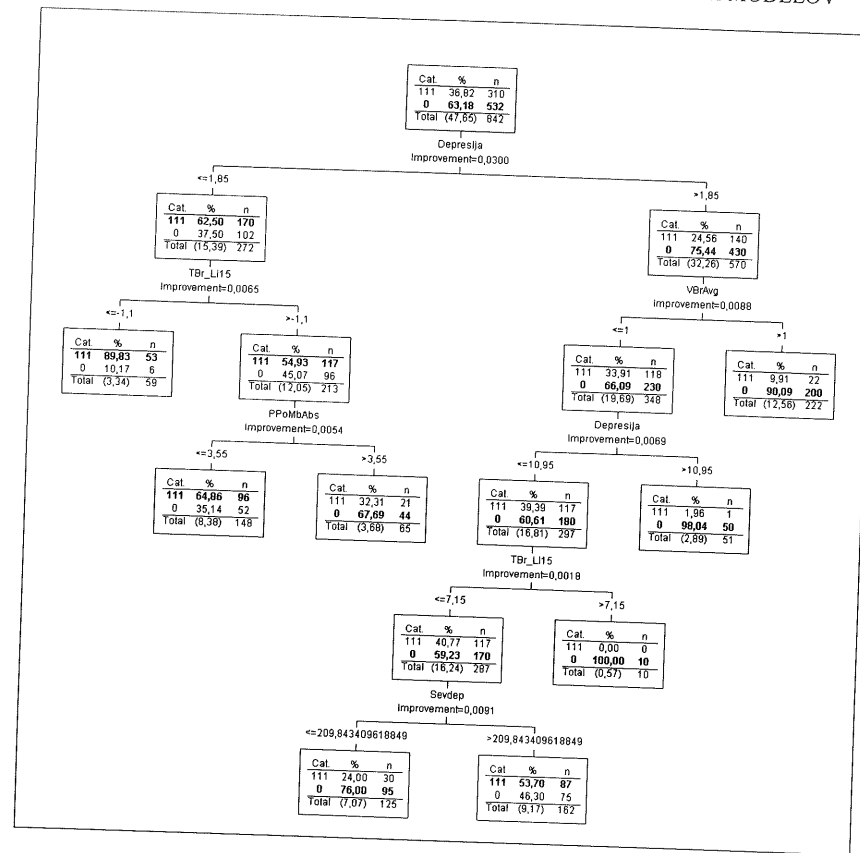
V odločitvenem drevesu so uporabljeni prediktorji *Depresija*, ki je dobro merilo za vlago pri tleh, *PPo_Mb06*, *PPo_Mbab*, *VBrAvg*, ki kažejo na veter pri tleh ter *Sevdep* in *Sevdep*, ki sta povezana z oblačnostjo oz. intenziteto dolgovalovnega sevanja tal. Nekaj prispeva tudi *TBr_Li*, ki je merilo za vertikalni gradient. Klasifikacijska matrika, ki sem jo dobil z odločitvenim drevesom, je prikazana v spodnji tabeli:

Tabela 2. Klasifikacijska matrika, dobljena z odločitvenim drevesom.
Table 2. Classification matrix for decisions tree forecasts.

Napovedana Kategorija	prava kategorija		
	brez megle	megla	skupaj
	Brez megle	1122	156
megla	184	305	489
Skupaj	1306	461	1767

Napovedana Kategorija	prava kategorija	
	brez megle	megla
	Brez megle	85.9%
megla	14.1%	66.1%
Skupaj	100%	100%

Napovedana Kategorija	prava kategorija		
	brez megle	megla	skupaj
	brez megle	87.8%	12.2%
megla	37.6%	62.4%	100%



Slika 4. Odločitveno drevo za hladnejši del leta.
Figure 4. Decisions tree for the cold half of year.

3.3 Verifikacija

Preizkusil sem obe metodi – diskriminantno analizo in odločitvena drevesa. Za verifikacijo sem izbral podatke iz leta 1999, torej 365 dni. V tem letu je bilo 117 dni z meglo in 248 dni brez megle. Odstotek dni z meglo je bil tako 32%, kar je nad povprečjem iz razvojnega vzorca (1994-1998), ki znaša 26%.

Pri obeh metodah, tako diskriminantni analizi kot pri odločitvenem drevesu je bil odstotek pravilnih napovedi okoli 62%, kar ni praktično nič slabše kot pri razvojnem vzorcu. To pomeni, da je dobljena statistična povezava med prediktorji in predikantom stabilna in velja tudi na neodvisnih podatkih.

4 ZAKLJUČEK

Statistična interpretacija opazovanj in rezultatov numeričnih modelov je ena izmed metod objektivne napovedi vremena. Glavni namen te metode je izraziti subjektivne izkušnje prognostikov na objektivni način. Tako dobimo bolj natančno in bolj zanesljivo napoved, ki je neodvisna od prognostika.

Uporabljeni metodi, diskriminantna analiza in odločitvena drevesa, sta se izkazali kot primerni za napoved megle in približno enako natančni. Odstotek pravilnih napovedi za dneve z meglo je pri obeh metodah okoli 62%, za dneve brez megle pa okoli 83%. Najbrž bi bilo za operativno rabo najbolje za vsako napoved preizkusiti obe metodi in izbrati tisto, ki zagotavlja večjo verjetnost kategorije, ki naj bi se pojavila. Glede na verjetnost pravilne napovedi, ki jo obe metodi posredujeta, bi se prognostik odločil, če bo napoved upošteval ali ne.

Možnosti za izboljšanje dobljene metode za napoved megle, s tem mislim na povečanje deleža pravilnih napovedi, je veliko. Poleg večjega razvojnega vzorca si veliko obetam od uporabe rezultatov numeričnega modela ALADIN. Zaradi prekratkega niza shranjenih rezultatov tega modela žal nisem mogel uporabiti že sedaj.

Naslednja možnost za izboljšanje bi bila prav gotovo v tem, da bi napovedi razvili posebej po vremenskih tipih. Precej bi prinesla že delitev na anticiklonalne in ciklonalne situacije. Seveda bi bil za take delitve potreben večji razvojni vzorec.

Izkazalo se je, da uporabljena metoda za določanje povezave med prediktorji in predikantom sploh ni tako pomembna kot dobra izbira prediktorjev. Na tem področju bi se dalo še marsikaj izboljšati. Tako bi se dalo oba izvedena prediktorja, ki sta merilo za dolgovalovno sevanje in s tem ohlajanje tal ponoči, še nekoliko optimizirati, predvsem pa bi bilo potrebno bolje določiti vlažnost zraka. Edini prediktor, ki je merilo za vlažnost, je namreč depresija rosišča prejšnji dan ob 15h. S tem pride do razlik med zimo in poletjem, saj je ta termin pozimi tik pred nočjo, poleti pa sredi popoldneva. Dobro bi bilo, če bi uvedli še meritev vlažnosti v kontrolnem stolpu, to je na višini 25 metrov. Preizkusiti bi bilo potrebno, če k boljši napovedi kaj pripomoreta prediktorja, ki sta odvisna od stanja tal (suha, mokra in snežna odeja).

LITERATURA

- Wanner, H., 1979: *Zur Bildung, Verteilung und Vorhersage winterlicher Nebel im Querschnitt Jura – Alpen*.
 Cegnar, T. 1987: *Metoda objektivne prognoze lokalnega vremena v razgibanem reliefu*, Univerza v Ljubljani, FNT, magistrsko delo.
 Hrabar, A. 1998: *Študija o zmanjšani vidnosti na pristajalni stezi – RWY31 na letališču Ljubljana* Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana.
 WMO 1999: WMO technical note No. 195 - Working Group on Advanced Techniques Applied to Aeronautical Meteorology, *Methods od interpreting numerical weather prediction output for aeronautical meteorology* WMO, Geneve, Switzerland.