

Wantuch Ferenc<sup>1</sup>

## MÓDSZEREK A LÁTÁSTÁVOLSÁG ELŐREJELZÉSÉRE<sup>2</sup>

*Számos olyan fontos meteorológiai elem létezik, amelyek nem állnak elő numerikus előrejelzési modellek output-jaként, ugyanakkor előrejelzésük fontos volna. A látástávolság megfelelő pontosságú előrejelzése a repülésmeteorológiában komoly feladat elé állítja az előrejelző szakembert, hiszen a nemzetközi előírások (ICAO), szigorúan szabályozzák ezt a területet. Mind a mai napig nem létezik olyan, a hazai gyakorlatban alkalmazható eljárás, amely igazán hathatósan segítené az előrejelzők munkáját. E cikkben összefoglaló jelleggel röviden szeretnénk ismertetni olyan magyar és nemzetközi kutatási eredményeket, elsősorban statisztikai módszereket amelyek bevezetése hathatósan segítené a látástávolság előrejelzését a repülőtereken.*

### APPLIED METHOD FOR VISIBILITY FORECAST

*There are a plenty weather elements which are important, but not produced directly by the NWP model. Such as the visibility forecast at the airport. Suitable accuracy of the visibility prediction in aviation meteorology is the prominent and the ICAO regulators are very rigorous. Present days there is no enough good visibility forecast method in Hungary. This paper is an overall review of different visibility forecast method in the world with examples. By the help of this review there is a chance to organize a new visibility forecast system at the Hungarian military airports.*

## BEVEZETÉS

E cikkben először meghatározzuk a különböző látástávolság előrejelzésre vonatkozó módszer-családokat, röviden megismertetjük az olvasóval a módszerek konstruálásának elméleti hátterét, a módszerek előnyeit és hátrányait. Számos példát mutatunk be a lehetséges alkalmazásokra. Fontos feladat lenne az ismertetésre kerülő eljárások gyakorlatban való tesztelése és annak meghatározása, hogy különböző időtávú látástávolság előrejelzésekben melyik algoritmust érdemes alkalmazni. Néhány olyan módszer kapcsán, amelyek várhatóan az elkövetkező évtizedekben széles körben alkalmazásra kerülnek a többiekhez képest részletesebb ismertetésre kerülnek. A tárgyalandó módszerek elvi megközelítésben természetesen alkalmazhatók a látástávolságon kívül más elemre is, hiszen több olyan légköri jelenség létezik (pl. alacsony felhőzet, jegesedés, talajmenti hőmérséklet, turbulencia, időjárási extrémumok) amelyeknek előrejelzése jelenleg nem lehetséges megfelelő pontossággal numerikus modellekből (NWP). A különböző módszerekre példákat azonban a látástávolság és a köd előrejelzése kapcsán fogunk mutatni. A látástávolság előrejelzésére természetesen fel lehet állítani differenciál, illetve parciális differenciálegyenleteket, elvileg ezeknek az egyenleteknek az egzakt megoldása szolgáltatná a látástávolság alakulását. Számos országban fejlesztenek jelenleg is ilyen modelleket, azonban ezek, az egydimenziós (1D) vagy háromdimenziós modellek (3D) [1] szolgáltatta eredmények még alatta maradnak a statisztikai alapú előrejelzéseknek. A statisztikai előrejelzési módszerek

<sup>1</sup> Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Bíróné Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu



csoportosításánál a WMO módszerét követjük [2], e szerint három módszer család illetve kategória létezik, megkülönböztetünk, un. klasszikus módszert, „tökéletes prognózis módszert” (perfect prognosis PP) valamint modell output statisztikai módszert. A továbbiakban ezeket a módszereket fogjuk ismertetni.

## A KLASSZIKUS MÓDSZEREK

A klasszikus módszer alkalmazásánál nem használják fel a numerikus előrejelzési modellek előrejelzéseit csak a megfigyeléseket. A megfigyelt időjárási elemekből, un. prediktorokból próbál a módszer előrejelzést szolgáltatni. A klasszikus módszeren belül általában három különböző eljárási módot lehet megkülönböztetni. Az első a meteorológiában régóta alkalmazott analógiás módszer, a második az un. fuzzy algebrai módszerek, míg a harmadik csoportba az un. konceptuális modellek tartoznak. A továbbiakban röviden térjünk ki ezeknek a módszereknek az ismertetésére.

Az analógiás módszer elméleti ismertetésénél a továbbiakban Gulyás Ottó ez irányú munkájára támaszkodunk.[3] Az analógiák alapján való becslés alapelve a következő: Megkeressük a múltbeli helyzeteket tartalmazó archívumban a jelen időszak időjárási helyzetéhez leghasonlóbbat, és a leghasonlóbbat követő időszak jellemzőit adjuk, meg mint becslést, előrejelzést. Alapfeltevése tehát az, hogy hasonló helyzeteket hasonló helyzet követ. Ez a megfogalmazás természetesen pontosítást követel. Meg kell mondanunk, hogy mi az az időjárási helyzet, mikor nevezzük azokat hasonlónak, mi az az archívum és milyen pontosságot várhatunk el az eljárástól? Tekintsük a  $\underline{\varepsilon}=(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_N)$  vektor valószínűségi változót. Ezt a  $\underline{\varepsilon}$  - prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük. A prediktor vektor írja az időjárási helyzetet. A  $\underline{\varepsilon}$  vektor megválasztás, annak eldöntése, hogy milyen légköri elemek, milyen elrendezésben, hogyan kerüljenek a prediktorok közé elsősorban meteorológusi feladat, bár léteznek matematikai segédeszközök a kiválasztás segítésére. Természetesen  $\underline{\varepsilon}$  jó megválasztása a feladat megoldásának egyik kulcsa, azonban itt ezzel nem foglalkozunk,  $\underline{\varepsilon}$  -t adottnak tekintjük.

A  $\eta$  valószínűségi változó jelöli a prediktandust. Az analógiás, módszerhez egy archívumot használunk fel. Archívumnak a  $(\underline{\varepsilon}, \eta)$  változó pár független és azonos eloszlású kísérletekkel nyert minta elemeinek a sorozatát nevezzük, amelyet

$$(\underline{x}^1, \vartheta_1), (\underline{x}^2, \vartheta_2), \dots, (\underline{x}^L, \vartheta_L), \dots, (\underline{x}^n, \vartheta_n),$$

-nel jelölünk. A mintanagyságot  $n$  mutatja. Ahhoz, hogy a realizációkat összehasonlíthassuk, be kell vezetni egy metrikát (távolságot). Az  $N$  dimenziós vektorok  $\underline{x}=(x_1, x_2, \dots, x_N)$   $\underline{y}=(y_1, y_2, \dots, y_N)$  terét  $R^N$  -et vizsgáljuk. Az  $R^N$  -beli vektorok párjain értelmezzük a  $\rho(\underline{x}, \underline{y})$ . metrikát, azaz egy olyan függvényt, amelyik a következő feltételnek tesz eleget:

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) = \rho(\underline{y}, \underline{x}) \geq 0$$

$$\rho(\underline{x}, \underline{x}) = 0$$

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho(\underline{x}, \underline{z}) + \rho(\underline{z}, \underline{y})$$

minden  $\underline{x}, \underline{y}, \underline{z}$  vektorhármásra  $R^N$  -ben. E metrika, fejezi ki az  $R^N$  -beli vektorok egymáshoz viszonyított közelségét. Segítségével a  $\underline{\varepsilon}$  prediktor (valószínűségi változó), különböző realizációinak távolságát is mérhetjük. Így ha  $\underline{\varepsilon}$  -re re végzett kísérlet eredménye  $\underline{x}$ , a  $(\underline{x}^1, \vartheta_1), (\underline{x}^2, \vartheta_2)$

...,  $(\underline{x}^n, \vartheta_n)$  párok pedig egy archívumot alkotnak, akkor megkereshető a  $\underline{x}$  „legközelebbi társa”, az archívum azon  $x^{i0}=\underline{x}$  eleme amelyre  $\rho(\underline{x}, \underline{x}^i) \leq \rho(\underline{x}, \underline{x}^i)$ ,  $i=1,2,\dots,n$ . Ennek alapján az  $\underline{x}$  megfigyelésre vonatkozó döntés  $d(\underline{x})=\vartheta_{i0}$  a legközelebbi társ archívumbeli párja.

A meteorológiában a metrika helyett az analógia fogalma a szokásos. A két látszólag különböző döntési módszer a valóságban teljesen ugyanaz. Könnyen látható, hogy lehet olyan  $\rho(\underline{x}, \underline{y}) \gg \rho'(\underline{x}, \underline{y})$  transzformációt találni amelyre  $\rho'$  is metrika, vagyis megtartja az előzőekben definiált tulajdonságai és azon kívül 1-el korlátozva van.

$$0 \leq \rho'(\underline{x}, \underline{y}) \leq 1,$$

és fenn áll, hogy ha

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho(\underline{x}, \underline{z}) \text{ akkor } \rho'(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho'(\underline{x}, \underline{z})$$

minden  $\underline{x}, \underline{y}, \underline{z}$  vektorhármásra. Ilyen transzformáció például

$$\rho'(\underline{x}, \underline{y}) = \rho(\underline{x}, \underline{y}) / (1 + \rho(\underline{x}, \underline{y}))$$

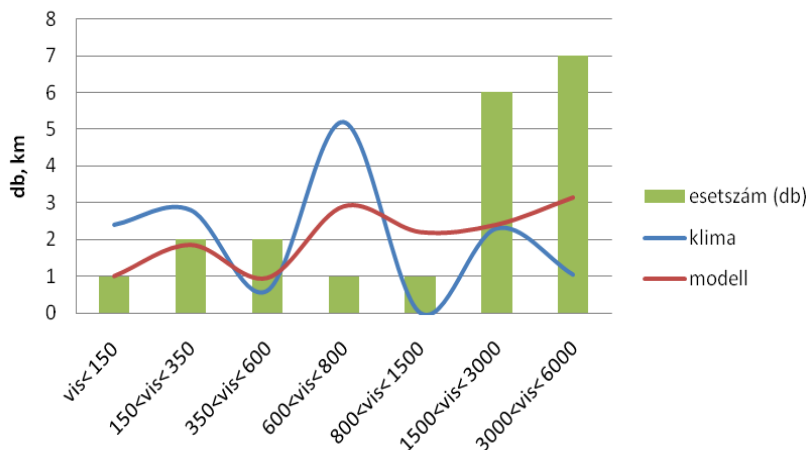
Világos ennek alapján, hogy ha  $\underline{x}$  legközelebbi társa  $\underline{x}'$  akkor ugyanazon archívumból a  $\rho'$  metrika szerint is ugyanaz a  $\underline{x}'$  lesz a legközelebbi társ. A  $\rho'(\underline{x}, \underline{y})$  metrika alapján definiált analógia indexnek nevezzük az  $R^N$ -beli vektorpárokon értelmezett

$$\delta(\underline{x}, \underline{y}) = 1 - \rho'(\underline{x}, \underline{y})$$

függvényt. Így világos az a szóhasználat, hogy ha  $\underline{x}$  közel van  $\underline{y}$ -hoz, azaz  $\rho'(\underline{x}, \underline{y})$  kicsi, akkor  $\delta(\underline{x}, \underline{y})$  nagy és azt mondjuk, hogy az analógiájuk nagy.

Az analógiás módszer látástávolság célú felhasználására a közelmúltban is számos módszer került kidolgozásra [4]. Deák Bianka és szerzőtársai klíma analógiás eljárást dolgoztak ki és azt kapták, hogy a klíma adatokban is jelentős prognosztikai jellegű információ található. A szerzők analógiás módszerű klíma előrejelzéseket hasonlítottak össze, más látástávolság előrejelző módszerekkel ICAO látástávolság kategóriánként bontva 08 UTC-re vonatkozóan 2009 februárjában a Szolnokra (1. ábra).

### Előrejelzések átlagos eltérése kategóriánként



1. ábra Az előrejelzések átlagos eltérése kategóriánként

Fuzzy algebra, illetve fuzzy és analóg módszerek kombinációjával kapott módszerek.

Ezekre a módszerekre számos példát lehet találni hazai és külföldi vonatkozásban [5][6][7][8][9].

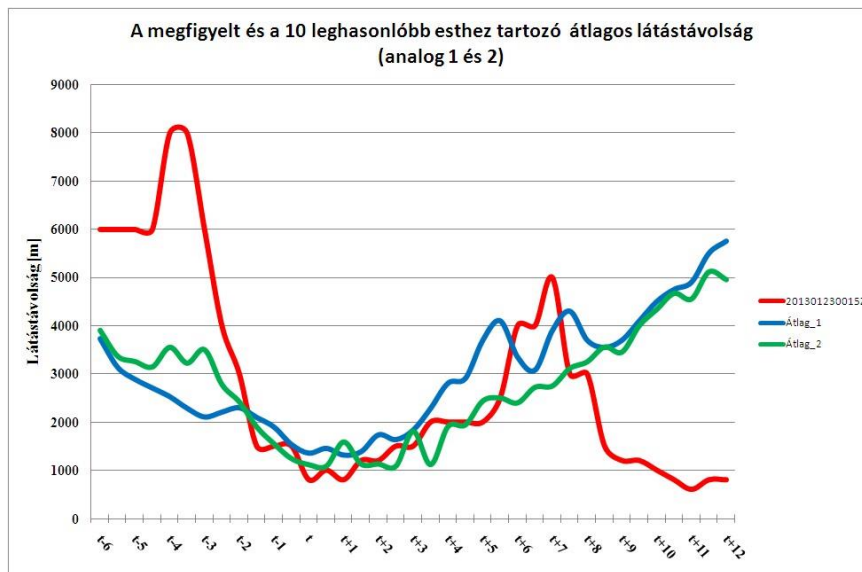
A fuzzy halmaz olyan halmaz, melynek minden elemhez egy 0 és 1 közé eső valós számot rendelünk, ahol a hozzárendelést tagsági függvénynek nevezzük. Tehát egy  $A$  fuzzy halmaz esetén ez a következőképpen írható fel:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1],$$

ahol  $X$  az univerzum és  $\mu_A$  az  $A$  fuzzy halmaz tagsági függvénye.

Összehasonlítva az eddig megszokott halmazképpel, azt mondhatjuk, hogy ha egy halmaz azon elemeihez, amelyek nem részei a halmaznak 0, míg a halmazban szereplő elemekhez 1 egész számot rendelünk (legyen ez a tagsági függvény), megoldottuk halmazunk fuzzy halmazzá való leképezését.

A fuzzy halmaz tagsági függvény értékei nem valószínűségi mértéket jelölnek. Annál is inkább, mert míg valószínűségek esetén valamely az elemekhez tartozó valószínűségek összege 1, addig ez - a tagsági függvény értékeinek összegére - fuzzy halmaz esetében nem követelmény. Valószínűségek és fuzzy halmazok között a fuzzy mérték teremthet kapcsolatot [10]. Hazai vonatkozásban találhatunk fuzzy technikával készült látástávolság előrejelzési modellt [5]



2. ábra A megfigyelt és a 10 leghasonlóbb esethez tartozó átlagos látástávolság.[5]

A 2. ábrából látható, hogy a fuzzy technikával kialakított analógiás módszerek alkalmasak a látástávolság rövid távú előrejelzésére. Az előrejelzett első nyolc óras időtartamban, mindkét módszer esetén elég jól korrelál a valóban bekövetkezett látástávolságokkal, azonban 8. óra után a görbék széttartása figyelhető meg, ami valószínűleg az eltérő dinamikai folyamatoknak köszönhető. Más országok is hasonló kutatási eredményeket kaptak WMO kiadványokban általában 6 óras előrejelzési intervallum az, amire a klasszikus módszereket alkalmazzák [2]. A klasszikus módszercsaládon belül a következő még nem említett eljárás a konceptuális modellek családjá.

## A konceptuális modellek

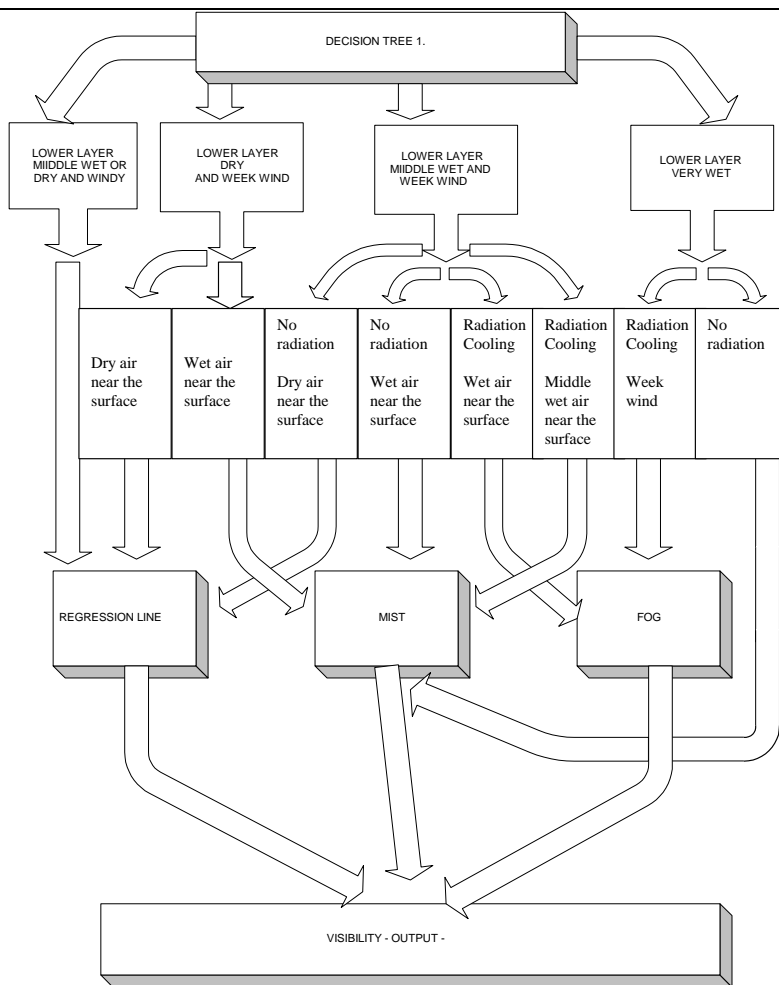
A konceptuális modellek általában leírnak egy tipikus időjárás helyzetet. A helyzet leírásához a hagyományos szinoptikai leírás mellett, gyakran távérzékelési eszközök nyújtotta információkat is felhasználnak [11]. Itt is felmerül a gyakorlatban az, hogy az éppen aktuális időjárás helyzet vajon milyen mértékben hasonlít a konceptuális modellben megfogalmazott időjárás helyzethez. Itt általában két választás előtt állnak a fejlesztők, vagy elkezdnek egy az analógias módszerben ismertetett távolságot definiálni vagy pedig döntési sorozatot dolgoznak ki. A döntési sorozat lépéseire adott válaszokon végighaladva végül megerősítésre vagy elvetésre kerül az hogy használhatjuk-e a konceptuális modellt esetünkben vagy sem [12].

### A „TÖKÉLETES PROGNÓZIS” MÓDSZERE (PP MÓDSZER)

A tökéletes prognózis módszere (Perfect Prognosis PP) módszer alkalmazásánál már szükségünk lesz az előrejelzési modellek nyújtotta információkra. Ismételten tekintünk a  $\underline{x}=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$  vektor valószínűségi változót, ahol  $\underline{x}$ -t prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük most  $y$  legyen a becslendő a légköri modell által nem előrejelezhető paraméter (prediktandusz) [13].  $\underline{x}$  a légkör azon paramétereinek együttese, amelyeket az NWP modell előre tud jelezni. A megfigyelt adatok alapján konstruálunk egy  $y=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)+h$  ahol „h” a statisztikai módszer hibáját jelenti. Ha előrejelzést akarunk készíteni, akkor az egyenletbe  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$  helyett az NWP modell által előrejelzett értékeket kell használnunk. ez azt jelenti, hogy hallgatólagosan azt feltételezzük, hogy az előrejelzési modellünk tökéletes lesz. Innen származik a módszer elnevezése is. Nyilvánvalóan ez a gyakorlatban nincs így és a „h” statisztikai módszer hibához hozzájárul a NWP modell hibája is, ez a PP modellek hátránya. Mindenképpen a PP modellek előnye az, hogy mivel az  $f$  függvény konstruálása megfigyelési adatok alapján történt, így az semmit nem határoz meg az NWP modell irányába. Bármelyik numerikus előrejelzési modellről feltehetjük, hogy tökéletesen szolgáltatja az előrejelezhető paramétereket így a PP modell, könnyen alkalmazható bármelyik numerikus modell esetén.

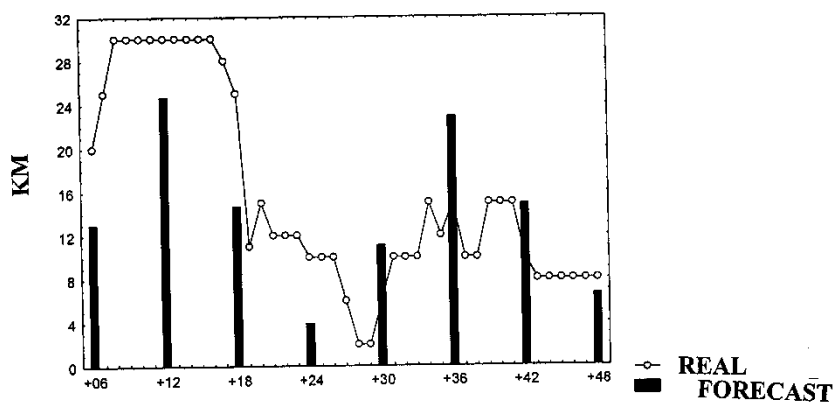
Természetesen az  $f$  függvény megkonstruálásán múlik csaknem minden. Az  $f$  függvény megadása nagyon sokféleképpen történhet. Leggyakrabban valamilyen statisztikai módszer választanak, gyakran szerepel korrelációs, multikorrelációs technika, döntési fa vagy ezek kombinációja. Hazai gyakorlatban használt módszer egy döntési fával (3. ábra) kombinált korrelációs módszer [14]. Az említett módszer sok esetben ad használható eredményt, mint azt a 4. ábra is tanúsítja. Az  $f$  függvény megkonstruálása természetesen történhet, kiválasztáson alapuló genetikai módszer vagy valamilyen tanuló algoritmus segítségével is. A leggyakrabban alkalmazott jelenlegi módszer a Neurális Hálózat (Neural Network) NN. Számos cikket lehet találni a látástávolságra vonatkozóan ilyen megoldásokra is.[15][16]

A neurális hálózatok további elterjedése várható a meteorológiai előrejelzésekben, mivel sokszor meglepően hatásosan működnek. A leggyakrabban alkalmazott NN módszer a 3 rétegű perceptron modell alkalmazása. Azt azonban el kell mondani, hogy egy megfelelően összeállított tanuló anyagon kialakított, jól beállt súlyokkal rendelkező NN modell ugyan jó gyakorlati eredményeket adhat, de az esetek nagy részében nehezen kideríthető, hogy milyen fizikai kapcsolatokat is tárt fel a NN modell, illetve mit is tanult meg valójában.



3. ábra Döntési fa hideglégpárna esetén a Kárpát-medencében

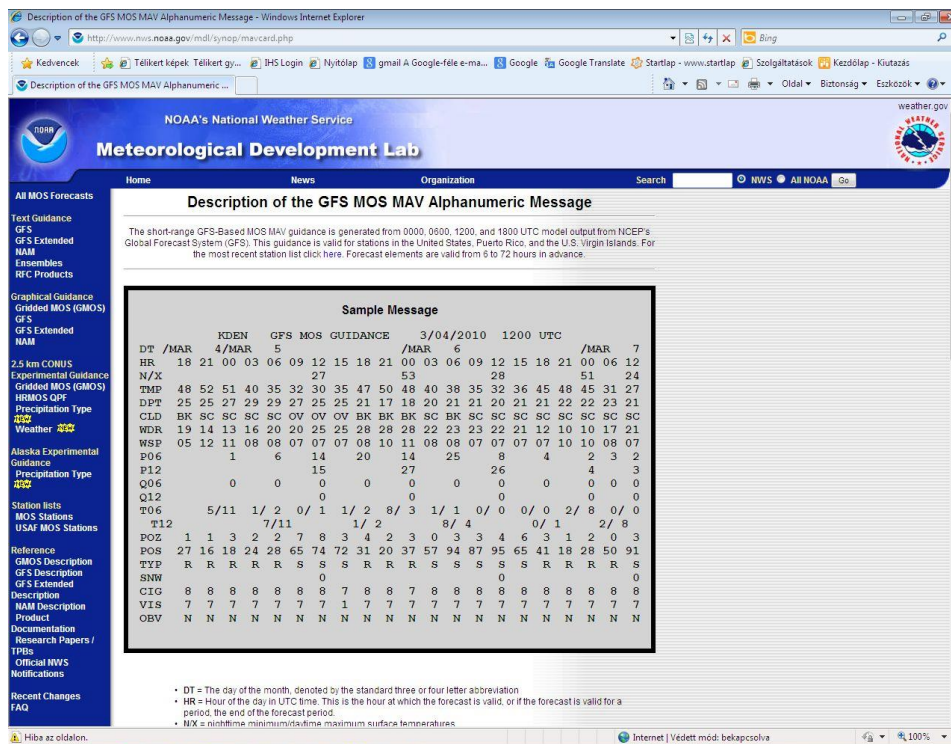
**24-25 APRIL 1997 STATION SZEGED /ALADIN-MODEL/  
FORECAST AND REAL VISIBILITY**



4. ábra Előrejelzett és észlelt látástávolságok Szeged állomáson.

## A MODELL OUTPUT STATISZTIKAI MÓDSZER (MOS MÓDSZER)

Ismétlően tekintünk a  $\underline{z}=(z_1, z_2, z_3... z_N)$  vektor valószínűségi változót, ahol  $\underline{z}$ -t prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük,  $y$  legyen a becsülendő a légköri modell által nem előrejelezhető paraméter (prediktandusz) [13].  $\underline{z}$  a NWP modell azon paramétereinek együttese, amelyeket az NWP modell előre jelezett. Ilyenkor  $y=f(z_1, z_2, z_3... z_N)$ -ként áll elő a keresett paraméter. Ezzel a megoldással elvileg kiküszöböljük a modell előrejelzési hibájával összefüggő pontatlanságot. Mivel a légköri modell outputja segítségével határozzuk meg most az  $f$  függvénykapcsolatot, a módszer modell output statisztika (MOS) néven vált ismertté. A továbbiakban tekintünk át, a MOS módszer előnyeit és hátrányait. A módszer nyilvánvaló előnye, hogy alkalmazásával kiküszöbölhetők a NWP modellben fellépő szisztematikus hibák. Hátránya, hogy az így konstruált  $f$  függvény nagyban tükrözi az NWP sajátosságait és esetleg kevésbé a valóságot. További hátrányt jelent, hogy a módszer kevésbé hordozható, hiszen más fizikával rendelkező NWP modellre más  $f$  függvényt kell konstruálni, így az NWP módszerek nehezen összehasonlíthatók. Az is problémát jelent, ha a meglévő NWP modellünkön jelentős fejlesztés történik, hiszen ilyenkor már lehet, hogy nem érvényes az  $f$  függvény többé. A MOS látástávolság előrejelzésére szép módszert találhatunk a Dán Meteorológiai Intézetnél ahol az előrejelzett modell értékek és a ténylegesen bekövetkezett látástávolság értékek táblázatos és statisztikai feldolgozásával történt a látástávolság MOS szerinti előrejelzése [16]. A napjainkban széleskörűen használt GFS modellhez is fejlesztettek adott földrajzi helyekre vonatkozó MOS alapú döntést. Az 5. ábrából jól látható, hogy az előrejelzések között szerepel a látástávolság kategóriára (VIS) vonatkozó MOS döntés is.[18]



The screenshot shows the NOAA's National Weather Service website, specifically the 'Description of the GFS MOS MAV Alphanumeric Message' page. The page features a navigation menu on the left and a main content area with a 'Sample Message' table. The table displays forecast data for KDEN on 3/04/2010 at 1200 UTC, including parameters like DT, HR, N/X, TMP, DPT, CLD, WDR, WSP, P06, Q06, Q12, T06, POZ, POS, TTP, SNW, CTG, VIS, and OBV. A legend at the bottom explains the abbreviations used in the table.

Sample Message																						
DT	KDEN				GFS MOS GUIDANCE				3/04/2010 1200 UTC													
/MAR	4/MAR	5	06	09	12	15	18	21	00	03	06	09	12	15	18	21	00	06	12			
HR	18	21	00	03	06	09	12	15	18	21	00	03	06	09	12	15	18	21	00	06	12	
N/X																						
TMP	48	52	51	40	35	32	30	35	47	50	48	40	38	35	32	36	45	48	45	31	27	
DPT	25	25	27	29	29	27	25	25	21	17	18	20	21	21	20	21	22	22	23	23	21	
CLD	BK	SC	SC	SC	SC	OV	OV	BK	BK	BK	BK	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	
WDR	19	14	13	16	20	20	25	25	28	28	28	23	23	22	21	12	10	10	17	21		
WSP	05	12	11	08	08	07	07	08	10	11	08	08	07	07	07	10	10	08	07			
P06			1		6		14		20		14		25		8		4		2	3	2	
Q06			0		0		15		27		26		26		0		4		3			
Q12			0		0		0		0		0		0		0		0		0			
T06		5/11	1/	2	0/	1	1/	2	8/	3	1/	1	0/	0	0	0/	0	2/	8	0/		
POZ	1	1	3	2	2	7	8	3	4	2	3	0	3	3	4	6	3	1	2	0	3	
POS	27	16	18	24	28	65	74	72	31	20	37	57	94	87	95	65	41	18	28	50	91	
TTP	R	R	R	R	R	S	S	S	R	R	S	S	S	S	S	S	R	R	R	R	S	
SNW																						
CTG	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
VIS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
OBV	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	

5. ábra MOS alapú döntések a GFS modelltoutputokra

Cikkünkben ismertettük a legfontosabb látástávolság előrejelzési módszerek elvi felépítését, osztályozását, taglaltuk az előnyöket és a hátrányokat egyaránt. Törekedtünk arra, hogy amennyiben arra lehetőség van, hazai és külföldi példákon keresztül megvilágítsuk ezek gyakorlati megvalósítását. A szakirodalom részletes vizsgálata során megállapítható, hogy valószínűleg kombinált módszer használatával tudnánk a legjobb eredményt elérni. ez azt jelenti, hogy az előrejelzési időszak első hat vagy nyolc órájában klasszikus analógiás vagy Fuzzy módszer kellene alkalmazni, a mérési adatokra alapozva majd ezt követően korlátos tartományú modell outputon alkalmazott PP vagy MOS módszert célszerű alkalmazni. A cikkben említett függvény konstruálásában a hagyományos statisztikai eljárásokon kívül mindenképpen érdemes lenne neurális hálózatokat is kipróbálni.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Mathias D. Müller: One-dimensional ensemble fog forecasting and three-dimensional simulation experiments with sophisticated micrphysics. COST Action 722 final report 2008
- [2] WMO CAeM Working Group: Methods of interpreting numerical weather prediction output for aeronautical meteorology. WMO- No.770 Technical NOTE 195
- [3] Gulyás Ottó: fejezetek a matematikai statisztika meteorológiai alkalmazásaiból. OMSZ belső kiadványa 1981.
- [4] Bottyán, Zs, Deák, B, Wantuch, F, 2010.: A látástávolság és a köd rövid távú előrejelzésének lehetőségei. Repüléstudományi Konferencia 2010 Szolnok, 2010. április 16. Repüléstudományi közlemények 2010/2 különszám, Szolnok, 2010 április 16.
- [5] Hadobács Katalin, Tuba Zoltán, Wantuch Ferenc, Bottyán Zsolt és Vidnyánszky Zoltán: A pilóta nélküli légi járművek meteorológiai támogató rendszerének kialakítása és alkalmazhatóságának bemutatása esettanulmányokon keresztül. Repüléstudományi Közlemények, 25, (2), 405-421, 2013.
- [6] Bjarne K. HANSEN: A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather Forecasting, Vol.22, 1319-1330, 2007.
- [7] Bjarne K. HANSEN: Analog forecasting of ceiling and visibility using fuzzy sets, 2nd Conference on Artificial Intelligence, American Meteorological Society, 1-7., 2000.
- [8] Denis RIORDAN-Bjarne K. HANSEN: A fuzzy case-based system for weather prediction, Engineering Intelligent Systems, Vol.10, No.3, 139-146, 2002.
- [9] Bjarne K. HANSEN-Denis RIORDAN: Weather Prediction Using Case-Based Reasoning and Fuzzy Set Theory, url: ([http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper\\_2001.pdf](http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper_2001.pdf)) (2012.10.24.)
- [10] DR. SCHUSTER György Phd-TERPECZ Gábor: Fuzzy logik alkalmazási lehetősége automata repülő szerkezetekben, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 537-541, 2012.
- [11] Diane Tzanos and Vicent Guidard: Combining of Synop and MSG data. COST Action 722 final report 2008
- [12] Dario Cano and Enric Terradelas: A conceptual model of mountaine breeze in Madrid developed to improve fog forecasting. COST Action 722 final report 2008
- [13] Matyasovszky István: Előrejelzés légköri modellekből. Természet világa. 1998/I. különszám.
- [14] Wantuch, F., 2001: Visibility and fog forecasting based on decision tree method. Időjárás 105, 29-38.
- [15] John Bjornar Bremnes and Silas Chr. michaleides: Probabilistic forecast using neural networks. COST Action 722 final report 2008
- [16] Ferenc Wantuch, Silas Michaelides 2005: Comparing different visibility forecast methods referring to Larnaca Airport Cyprus. COST 722-Short-range forecasting methods of fog, visibility and low clouds. Symposium. ABSTRACTS Larnaca Cyprus. 2005.
- [17] Claus Petersen, Niels woetmann Nielsen: Diagnosis of visibility in DMI-HIRLAM. Danish Meteorological Institut. SCIENTIFIC REPORT 00-11 2000.
- [18] <http://www.nws.noaa.gov/mdl/synop/mavcard.php>