

Hadobács Katalin<sup>1</sup> – Tuba Zoltán<sup>2</sup> – Wantuch Ferenc<sup>3</sup> –  
Bottyán Zsolt<sup>4</sup> – Vidnyánszky Zoltán<sup>5</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK METEOROLÓGIAI TÁMOGATÓ RENDSZERÉNEK KIALAKÍTÁSA ÉS ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK BEMUTATÁSA ESETTANULMÁNYOKON KERESZTÜL<sup>6</sup>

*A pilóta nélküli légi járművek (UAV) száma az utóbbi években rohamosan növekedett, és már hazánkban is egyre elterjedtebbé vált az alkalmazásuk. A repülési feladat megtervezése során és a megfelelő döntések meghozatalához azonban a kezelő személyzetnek kellően pontos, korrekt meteorológiai információkkal kell rendelkeznie. Sajnos hazánkban még komoly hiányosságok vannak ezen a téren, de egyre inkább felmerül az igény egy meteorológiai támogatórendszer kialakításának szükségességére. Egy még most is folyamatban lévő kutatás fő célja, egy ilyen szoftver kifejlesztése, majd egy kezelőfelület kialakítása, annak érdekében, hogy akár meteorológus szakemberek jelenléte nélkül is megfelelő meteorológiai támogatást lehessen nyújtani a repülési feladatok biztonságos végrehajtásához. E cikkben röviden szeretnénk ismertetni az általunk tervezett rendszer struktúráját, illetve külön hangsúlyt fektetünk a rendszer egy alapvető pillérét képező fuzzy logikán alapuló hasonlóság kereső statisztikai eljárás bemutatására, majd e módszer alkalmazhatóságát két esettanulmányon keresztül mutatjuk be.*

### **DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL SUPPORT SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND INTRODUCTION ITS APPLICABILITY THROUGH CASE STUDIES**

*The number of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) rapidly increased in the past years and they are already widely used in Hungary. The operators of UAVs have to have accurate and actual meteorological information during the decision making processes of planning and mission execution. In spite of the increasing needs of meteorological support systems, there is a lack of them in Hungary. The main goal of our current research is to develop such kind of system and a suitable user interface, which gives the chance for appropriate weather support even in the absence of a professional meteorologist. In this article we would like to introduce briefly the structure of the whole system, highlighting the fuzzy logic-based analog statistical method which is its fundamental part. Then we give some examples of its applicability through two different case studies.*

## BEVEZETÉS

A közeli, rövid távú és a nagy távolságú UAV-k csoportja egyre nagyobb fontossággal bír a katonai műveletekben, mivel a robotikai eszközök alkalmazása csökkenti az emberi életet- és egészséget fenyegető kockázatokat. Ezen pilóta nélküli légi járművek széleskörű elterjedése szükségessé tette folyamatos fejlesztésüket [1][2].

<sup>1</sup> meteorológus, MH Geoinformációs Szolgálat, katalin.hadobacs@gmail.com

<sup>2</sup> PhD hallgató, NKE Katonai Repülő Tanszék, tubazoltan.met@gmail.com

<sup>3</sup> meteorológus, NKH LI, e-mail:wantuch.f@]mail.com

<sup>4</sup> egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>5</sup> PhD hallgató, ELTE, Matematikai Intézet, vidnyanszkyz@gmail.com

<sup>6</sup> Lektorálta: Biróné Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu



A fedélzeten lévő pilóta hiányában egy UAV repülés sikeressége, biztonságos működése azon információktól függ, melyeket a személyzetnek szolgáltatnak, ezek közé tartozik az időjárás pontos ismerete is. A pilóta nélküli eszközök már csak méretüknél fogva is jobban ki vannak szolgáltatva az időjárásnak, kiváltképp, amikor alacsony magasságokon történik a repülés.

Az UAV-k pilótája, illetve a katonai kiszolgáló személyzet az aktuális és a feladat során várható változások ismeretében tudja megfelelően megtervezni, illetve végrehajtani a repülést.

Tehát látható, hogy elengedhetetlen a meteorológiai támogatás, mely lehetővé teszi a kezelő személyzet számára megfelelő döntés meghozatalát a repülés végrehajtására vonatkozóan [3].

Egy korrekt, pontos repülésmeteorológiai előrejelzés elkészítése megköveteli az általános meteorológiai ismereteken túl a repülés szempontjából fontos elemekre vonatkozó speciális ismereteket [4]. Egy előrejelzőnek, mivel többnyire adott pontra – általában a repülőtérről illetve annak közvetlen környezetére – készít prognózist, pontosan ismernie kell az adott régió klimatológiai sajátosságait, illetve azon tényezőket, melyek esetlegesen befolyásolhatják az időjárást mind mikro-, mind pedig mezoskálán. Ez a tapasztalati tudás évek, évtizedek alatt szerzhető meg. Azonban napjainkban már nem elfogadható, egy kezdő meteorológustól sem, kiváltképp egy reptéren, hogy hibás prognózist készítsen mindössze azon okból kifolyólag, hogy még nem szerzett elég tapasztalatot.

Ezért is célszerű egy olyan módszer kifejlesztése, mely valamilyen szisztéma szerint megpróbálja összegyűjteni és rendszerezni azt a tapasztalati tudást, amelyet a szakemberek évek alatt sajátítanak el, majd ezeket matematikai, illetve statisztikai módszerek felhasználásával az adott repülőtérről vonatkozó archív észlelési adatokból előállítja.

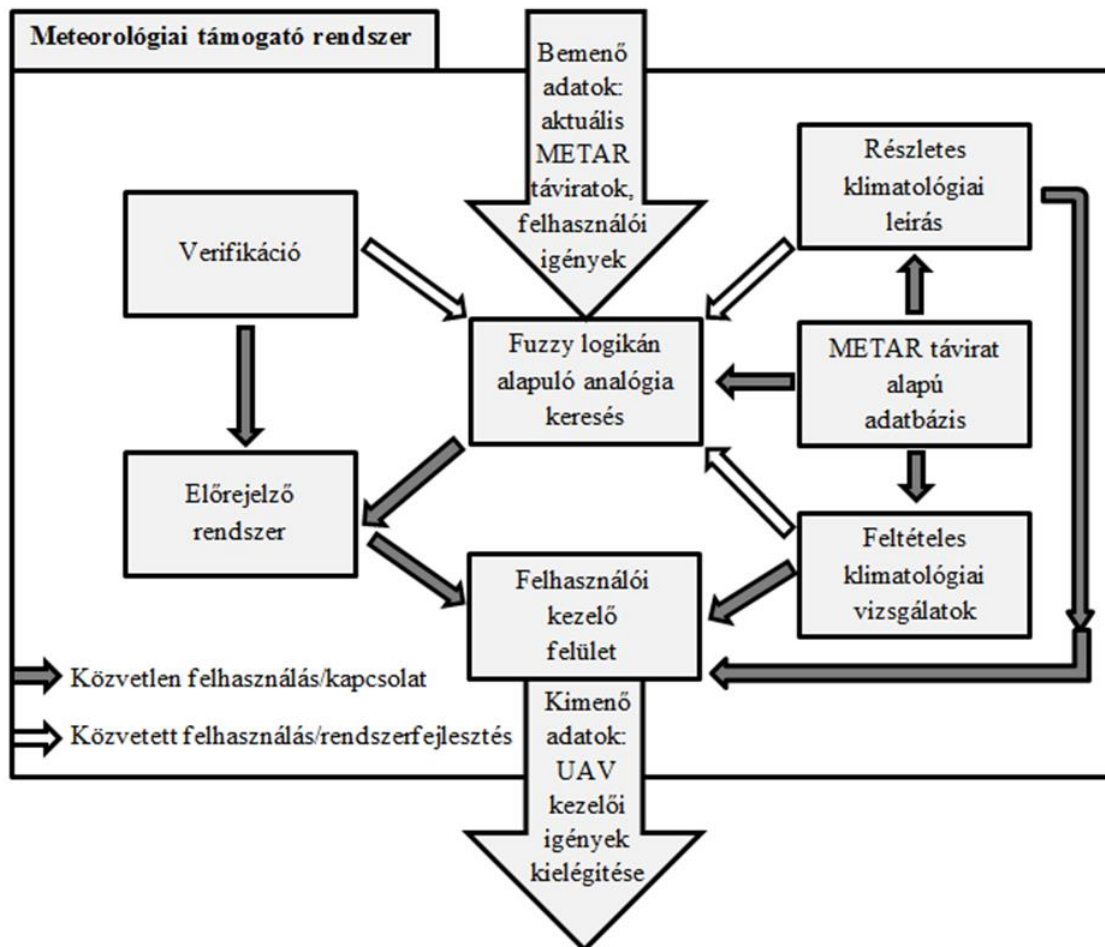
E cikkben egy ilyen eljárás kidolgozásának menetét ismertetjük. Elsőként röviden bemutatjuk a kidolgozás alatt lévő meteorológiai támogatórendszer struktúráját, majd részletesebben ismertetjük a fuzzy logikán alapuló analógia kereső program matematikai alapjait, illetve a kidolgozott algoritmust, mely a statisztikai szegmens alapja. Ezután egy dinamikus változásokkal járó és egy stabil időjárási szituációra vonatkozó esettanulmányon keresztül bemutatjuk a program működését, illetve alkalmazhatóságát. Végül röviden felvázoljuk a jövőbeni terveinket.

## A METEOROLÓGIAI TÁMOGATÓ RENDSZER MŰKÖDÉSI ELVE

Egy még most is folyamatban lévő kutatás során egy olyan szoftver kialakítását tűztük ki célul, mely meteorológiai szempontból teljes mértékben ki tudja elégíteni a felhasználók igényeit.

Terveink szerint e szoftver outputjaiban ötvözésre kerülne a dinamikus modellek és a statisztikus alapokon nyugvó modellek által készített előrejelzés, mely lehetőséget ad még pontosabb ultrarövidtávú prognózisok készítésére.

A következő ábra (1. ábra) segítségével röviden szeretnénk összefoglalni a kialakításra kerülő rendszer statisztikai paneljének fő részeit, és működési elvét.



1. ábra Meteorológiai támogatórendszer felépítése

Az előrejelző rendszer kialakításának megkezdése előtt, elengedhetlenné vált, valamilyen adattár kijelölése. Megvizsgálva lehetőségeinket, egyértelművé vált, hogy a legalkalmasabb adatokat a szabadon elérhető METAR táviratok tartalmazzák, amelyek célzottan az időjárás repülésmeteorológiai leírását szolgálják. Habár hazánkban a táviratok mind a civil, mind a katonai repülőtereken archiválásra kerülnek, azon formájukban nem használhatók fel információk kigyűjtésére.

Így első feladatunk egy, az igényeinknek megfelelő adatbázis kialakítása volt. Annak érdekében, hogy későbbiekben a szoftver bárhol alkalmazható legyen, az adatbázis egy weblapon keresztül elérhető [5].

A létrehozott adatbázis lehetőséget ad arra, hogy a METAR táviratokban rejtőző többlet információkat könnyedén kinyerjék a szakemberek. Első körben, tehát elkészítettük a három katonai repülőtér klimatológiai jellemzését, melyekben a különböző statisztikai vizsgálatok során keletkezett eredmények a megszokott táblázatos formától eltérően, diagramok segítségével lettek szemléltetve a szöveges kiértékelés mellett, így alkalmazkodva a nem meteorológus végzettségű felhasználók igényeihez.

A megszokott leíró rész mellett a dokumentumok olyan leírásokat is tartalmaznak, amelyek eddig repülőtéri klimatológiai jellemzésben nem szerepeltek, mint például feltételes relatív és feltételes rákövetkezési gyakoriságok [6].



A rendszer második fő pillére, egy fuzzy logikán alapuló analógia-kereső eljárás kialakítása volt, mely egy konkrét időponthoz tartozó meteorológiai paraméterek kombinációjához (aktuális METAR távirathoz) keresi ki a felhasználó igényeinek megfelelően (elemek fontossági sorrendje) az adatbázist felhasználásával, a leginkább hasonló eseteket.

Majd az eredmények egy ún. előrejelző rendszerbe továbbítódnak, ahol előre meghatározott statisztikai módszerek alapján a program az egyes meteorológiai paraméterek lehetséges változásait hivatott előre jelezni, figyelembe véve az adott időpontokat megelőző „n” óra során elkezdődött tendenciákat is. Első körben néhány egyszerű alapstatisztika kerül beépítésre a rendszerbe, mint például az első n leghasonlóbb esethez tartozó elemek egyszerű vagy súlyozott számtani közepe a következő órákban, vagy ensemble előrejelzés (fáklya diagram) készítése.

E módszer, és annak matematikai háttere, részletesebben a következő fejezetben kerül ismertetésre.

Végül utolsó lépésként kialakításra kerül egy felhasználói felület, melyen az összes eredmény (klimatológiai leírás, rákövetkezési valószínűségek) mellett a nyers adatbázis is elérhető lesz, valamint itt lehet majd a statisztikai programot is futtatni.

Habár az ábrán nem tüntettük fel, mert nem képezi a cikk részét, de ezzel az analógiás statisztikai programmal párhuzamosan fut a WRF numerikus modell is, mely a rendszer harmadik fő szegmensét alkotja. Ez a modell fogja biztosítani a dinamikus (numerikus) előrejelzést a támogató rendszerünkben, és az általa előállított outputokból és az analógiás modell eredményeiből generálódik majd a végleges rövidtávú előrejelzés.

A támogató rendszer egyes részei külön-külön folyamatos tesztelés illetve fejlesztés alatt állnak, így hamarosan minden szegmens alkalmassá válik arra, hogy megkezdődjön az összeillesztésük.

## A FUZZY HALMAZ ELMÉLETEN ALAPULÓ ANALÓGIÁS ELŐREJELZŐ RENDSZER KIALAKÍTÁS

Ebben a fejezetben az analógiás eljárás alapuló statisztikai előrejelző szoftver kerül röviden bemutatásra, mely előreláthatólag alkalmas lesz a UAV-k repülési feladatainak meteorológiai támogatására, és ezzel együtt mind parancsnoki, mind üzemeltetői szinten a döntéshozatalt is segíteni fogja. Ehhez az analógiás rendszerhez a nemzetközileg egyre eredményesebben alkalmazott fuzzy halmazokat, logikai elméleteket használtuk [7][8][9][10].

### **A fuzzy halmazelméleti módszer rövid bemutatása**

Fuzzy halmazokat már a 60-as évek óta egyre eredményesebben alkalmazzák több területen is, mint például telekommunikációban, orvostudományban, robotikánál [11][12].

A bonyolult, nehezen leírható tudományokban, mint például a természettudományok, különböző matematikai modelleket fejlesztenek ki a tapasztalati jelenségek megfigyelésére alapozva, majd ezeket a modelleket használják fel a valós dolgok jövőbeni viselkedésének meghatározására.

Olyan folyamatok válnak viszonylag egyszerűen leírhatóvá, amelyek nem, vagy csak igen körülményesen lennének kezelhetők, mivel gyakran előfordul, hogy vannak olyan elemek, amelyek valamilyen bizonytalan pontatlansággal rendelkeznek. Ezért is kapta a módszer a fuzzy elnevezést, mivel jelentése, homályos, elmosódott körvonalú.

Tehát a fuzzy logikai alkalmazásával lehetőség nyílik a gyakorlati tapasztalatok során szerzett tudás rendszerezésére, irányíthatóvá tételére.

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 (1):

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1], \quad (1)$$

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 [11][13].

A fuzzy elmélettel tökéletesíthető a feltételes klimatológia módszere [14][15]. Sőt azt is mondhatnánk, hogy a fuzzy logikán alapuló hasonlóság keresési eljárás nem más, mint feltételes klimatológiai vizsgálatok többszörös alkalmazása [6].

A fuzzy logikán alapuló analóg előrejelző folyamat 3 fő lépésből áll:

1. Elsőként előállítja a fuzzy halmazokat a hasonlóság méréséhez.
2. Majd átvizsgálja a az esetek halmazát (adatbázist) az analógiák megtalálásáért (hasonló esetek).
3. Végül előrejelzéseket készít a megadott statisztikák felhasználásával, ami lehet például a hasonló esetek súlyozott átlaga.

A lehetséges kapcsolatokat a tulajdonságok között ún. fuzzy szavakkal (mint például hasonló, nem hasonló, részben hasonló... stb.) leírhatjuk, ezzel megalkotjuk a fuzzy halmazokat az összehasonlíthatóság érdekében. Így lehetőség lesz a tulajdonságok /paraméterek többféle csoportjának összehasonlítására.

### **A fuzzy logikán alapuló hasonlóság vizsgáló algoritmus**

A fuzzy hasonlóság vizsgáló algoritmus megkeresi és kigyűjti az adatbázisban található korábbi METAR-ok közül az éppen aktuális időjárást leíró távirathoz leghasonlóbb eseteket [7]. Az 1. táblázatban feltüntetett elemeket vizsgálja a programunk, és mindegyikre előállít egy hasonlósági mérőszámot ( $\mu_x$ ), ahol  $x$  az adott elemre utal, mint például hőmérséklet esetén ( $T$ ).



Kategória	Paraméter
Dátum	Hónap
	Nap
	Óra
Szél	Szélesség [KT]
	Szélirány [°]
	Széllokás [KT]
Látás	Látástávolság [m]
Felhőzet	Felhőalap magassága [m]
	Legalacsonyabb felhőzet magassága [m]
	Cb/TCu létezése
Hőmérséklet	Hőmérséklet (2m-en) [°C]
	Harmatpont [°C]
Nyomás	Tengerszinti légnyomás [hPa]
Jelenidő	Csapadéktípus

1. táblázat A szoftver által vizsgált meteorológiai elemek

A táviratokban a paramétereknek két típusát lehet megkülönböztetni. Az egyik a folytonos elemek halmaza (hőmérséklet, szélesség), a másik a diszkrét (határozott) elemek halmaza (jelenidő típusok (csapadékfajták)). A folytonos változók egy részénél a hasonlóság mértékének ( $\mu_x$ ) megadása a 2. táblázat alapján történt. Minél nagyobb a különbség két változó között, annál alacsonyabb a hasonlósági fok ( $\mu$ ). A táblázatban a hasonlóság mértékét szövegesen adtuk meg, a szoftverben természetesen minden különbséghez egy hasonlósági mérőszám van rendelve.

	Részben hasonló	Hasonló	Nagyon Hasonló
Dátum (nap)	60 nap	30 nap	10 nap
Óra	3 óra	2 óra	1 óra
Hőmérséklet	4 °C	2 °C	1 °C
Harmatpont	4 °C	2 °C	1 °C
Szélirány	40°	20°	10°

2. táblázat Néhány folytonos elem esetén megadott fuzzy halmazok. (Jelen táblázatban a fuzzy csoportok csak egy része került megadásra, a terjedelembeli korlátok miatt.)

Programunk jelenlegi verziójában a hasonlóság ( $\mu$ ) csak diszkrét, előre meghatározott értékeket vehet fel, de minden esetben 0 és 1 közé esik ( $0 \leq \mu_x \leq 1$ ).

Például a nyomás esetén, ha a két elem különbsége ( $p_1 - p_2$ ) 0 és 6 hPa közé esik, akkor az ehhez tartozó  $\mu_p = 0,9$ .

Néhány folytonos változó esetében, mint például a látástávolság egy más módot választottunk fuzzy halmazzá alakításhoz. Itt vettük a két paraméter hányadosát, és az így kapott eredmény szolgáltatva a hasonlóság fokát ( $\mu_x$ ). Mivel az elmélet egyik követelménye, hogy a hasonlóság foka nem lehet nagyobb 1-nél, ezért minden esetben az osztandó lesz a kisebb, és az osztó a

nagyobb érték.

Például vegyük a látástávolságot, ahol az egyik érték 6000 m, a másik 4000 m, akkor:

$$\mu_{\text{vis}}(t)=4000 \text{ m}/6000 \text{ m}=2/3.$$

A csapadék típusok összevetésére, amelyek a METAR táviratban szövegesen jelennek meg, egy harmadik módszert alkalmaztunk. Első lépésben létrehoztunk 5 csoportot, ahol a csapadékhoz tartozó típusokat osztályoztuk, mint például záporos jellegű csapadék. Majd ezeket a csoportokat hasonlítottuk össze. Egy mátrixot állítottunk elő, melyben minden egyes lehetséges párra megadtuk a  $\mu_x$  értékét (3. táblázat).

	TS	SHRA	DZ	....
TS	1	0,75	0,1	...
SHRA	...	1	0,25	...
DZ	...	...	1	...
....	...	...	...	...

3. táblázat A csapadéktípus párokhoz tartozó hasonlósági mérőszámok. (TS-zivatar, SHRA-záporosó, DZ-szitalás)

Miután az egyes paraméterek összehasonlításra kerültek és már minden elemhez tartozik egy  $\mu_x$  érték, akkor többféle lehetőség létezik, hogy a két METAR távirat hasonlóságát egyetlen értékkel tudjuk jellemezni. Esetünkben két módot építettünk be a programba. Egyik lehetőség, hogy az egyes  $\mu_x$  értékeknek a súlyozott átlagát vesszük.

A súlyokat, amivel az egyes  $\mu_x$  értékeket megszorozzuk, választhatjuk teljesen szubjektíven, vagy valamilyen objektívebb módon is, mint például az AHP-módszer segítségével [16][17].

Egy másik mód, a két METAR hasonlósági mérőszámának előállítására, amikor az egyes paraméterpárok hasonlósági mérőszámai közül vesszük a legalacsonyabbat, azaz a hasonlóság mértékét a legrosszabbul bevált paraméter fogja meghatározni.

Ennél a módszernél is van lehetőség az egyes paraméterek  $\mu_x$  értékét súlyozni. Itt az általunk meghatározott mennyiség hozzáadódik az egyes  $\mu_x$  értékekhez, tehát minél nagyobb számot adunk egy  $\mu_x$  -hez, annál kevésbé játszik szerepet a vizsgálatnál.

Miután az adatbázisban szereplő összes távirattal megtörtént az általunk megadott METAR összehasonlítása, és hasonlósági mértékének megadása, a rendszer kigyűjti az általunk meghatározott mennyiségű „leghasonlóbb” esetet, ahol a legnagyobb  $\mu$  értékkel rendelkező lesz az első helyen.

## A TÁMOGATÓ SZOFTVER MŰKÖDÉSÉNEK BEMUTATÁSA ESETTANULMÁNYOKON KERESZTÜL

A szoftver folyamatos tesztelés alatt áll, az esetlegesen felmerülő hibák kiszűrése végett. Számos futtást végeztünk, különböző időjárás szituációk vizsgálatára. Ebben a fejezetben két

konkrét példán keresztül szeretnénk bemutatni az statisztikai előrejelző szoftver tesztverziójának operatív alkalmazhatóságát, a futtatás menetét.

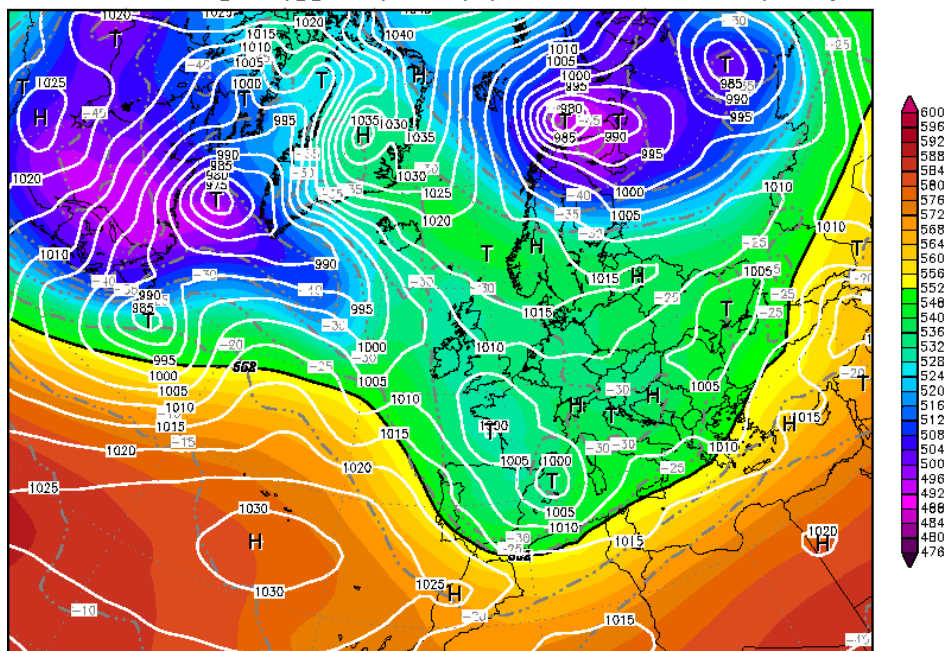
## Támogató rendszer alkalmazhatósága dinamikus változásokkal járó eseményeknél

Elsőként egy dinamikus változásokkal kísért esetet választottunk ki.

### 2013. Január 23. szinoptikus elemzése

2013. január 22-én és 23-án Európa nagy része fölött egy kiterjedt hideg csatorna helyezkedett el. Hazánk január 22-én ennek a hideg teknőnek az előoldalára került, ennél fogva délnyugatias áramlás vált uralkodóvá a magasban. A fejlődő mediterrán ciklon január 23-án estig alakította az időjárásunkat, majd fokozatosan északkelet felé helyeződött, és elhagyta a térséget. Január 22-én még országszerte borult vagy erősen felhős volt az égbolt, többfelé havazott, majd másnap, ahogy a ciklon lassan haladt kelet, északkelet felé, a Dunántúlon fokozatosan vékonyodott a felhőzet, és a csapadék is megszűnt. Ezzel szemben a Duna-Tisza közén, illetve a Tiszántúlon továbbra is maradt az erősen felhős, csapadékos (havazás) idő.

Init : Wed,23JAN2013 00Z Valid: Wed,23JAN2013 00Z  
500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

2. ábra 2013. 01. 23. 00 UTC 500 hPa geopotenciál és hőmérsékletei térkép [18]

Szolnok szinoptikus állomás adatai alapján január 22-én már reggel 7.15 UTC-kor észleltek gyenge esőt:

METAR LHSN 220715Z 28005MPS 6000 -RA OVC10 03/01 Q0997 TEMPO NSW RMK GRN=,

majd 16.15 UTC-től jelentettek havazást.

METAR LHSN 221615Z 26006MPS 5000 -SN BR BKN008 OVC017 00/M02 Q1001 NOSIG RMK GRN=



A havazás megszűnte után hirtelen lecsökkent a látástávolság, és ködössé vált az idő.

METAR LHSN 231715Z 16001MPS 0600 FG OVC023 00/M01 Q1010 RESN NOSIG RMK RED=.

A futtatás elvégzéséhez a következő észlelés adatait használtuk fel:

METAR LHSN 230615Z 27005MPS 0800 +SN BKN005 OVC017 M02/M03 Q1006 NOSIG RMK AMB=

### Az adott szituációra vonatkozó modellfuttatás

A futtatáshoz szükséges beállítások, kezdeti értékek megadásának egyszerűbbé tételéhez elkészítettünk egy kezelő felületet, melyet a 3. ábra szemléltet.



3. ábra Analógiakereső program kezelő felülete

Ezen a felületen keresztül van lehetőség a paraméterek kezdeti értékeinek valamint az egyes változók fontosságát meghatározó súlyok megadására és az egyéb beállítások elvégzésére.

A fuzzy logikán és analógiás módszereken alapuló hasonlóság vizsgáló program az eredményeket sorrendbe állítva külön fájlba rendezi, amely tartalmazza a jelzőszámokat, melyek segítségével könnyen kikereshető a távirat és a hasonlóság mértéke. Egy másik dokumentumban pedig a jelzőszámokhoz tartozó teljes METAR táviratok kerülnek kigyűjtésre, hogy egyszerűen

tudjuk az eredményeket elemezni, illetve a későbbiekben az előrejelzésekhez felhasználni.

### A vizsgálat eredményei

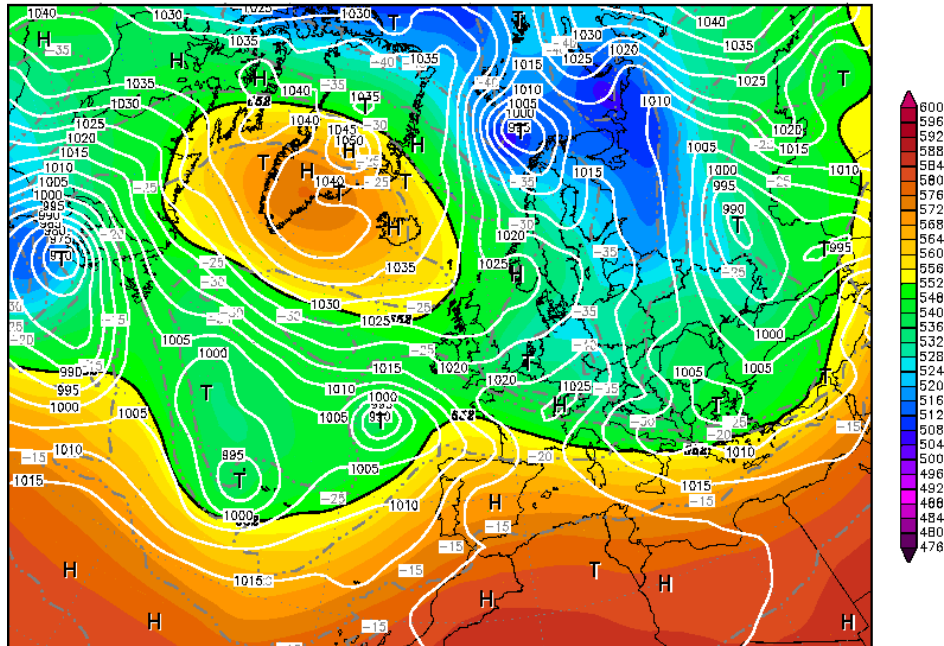
Az ismertett kezdeti értékekkel elvégzett futtatás eredményeit a 4. táblázatban közöljük. Az első módszernél a hasonlóság mértéke az egyedi paraméterek egyszerű számtani átlagaként lett előállítva (analógia 1), míg másokban a legrosszabbul bevált elem hasonlósági értéke (analógia 2) adja az összesített hasonlósági paramétert.

	analógia 1	$\mu_{\text{átl}}(t)$	analógia 2	$\mu_{\text{min}}(t)$
1. legjobb	201001030645	0,8736	201001030645	0,5
2. legjobb	201001030745	0,8626	201001030715	0,5
3. legjobb	200902130745	0,8566	201001030745	0,5
4. legjobb	201001030715	0,8372	200501310845	0,4167
5. legjobb	201012260515	0,8273	200901150745	0,4
6. legjobb	201012260545	0,8273	200901150815	0,4
7. legjobb	200902130715	0,8202	200901150845	0,4
8. legjobb	201201260645	0,8190	200901150715	0,3918
9. legjobb	201001030445	0,8182	201101200515	0,2565
10. legjobb	200902130515	0,8172	201101200545	0,2565

4. táblázat Az analógia-kereső program lefuttatásával kapott 10. leghasonlóbb eset.  
(A mindkét módszerrel hasonlóknak bizonyult esetek zöld háttérrel lettek kiemelve.)

Az eseteket megvizsgálva azonnal szembetűnik, hogy annak ellenére, hogy 10 darab hasonló szituációt akartunk keresni, tulajdonképpen az analógia 1 módszerrel 3, míg az analógia 2 módszerrel 4 különböző esetet kaptunk, ugyanis a kigyűjtött METAR táviratok között több olyan van, mely ugyanazon napra vonatkozik, ezek mindössze 1-2 óra különbséggel lettek kiadva. Terveink szerint az ilyen szituációk a későbbiekben szűrésre kerülnek. A zöld háttérrel jelzett esetek azok, amelyek mindkét módszer szerint hasonlóknak bizonyultak az eredeti távirathoz. Látható, hogy mindkét módszernél az első két helyen ugyanaz az eset szerepel, sőt a leghasonlóbb még időpontban is megegyezik. Tehát első közelítésben azt mondhatjuk, hogy az alapesetben lévő paraméter kombinációhoz a leginkább hasonlító időjárási helyzet 2010. 01. 03-án 6:45 UTC-kor állt fenn.

A következő lépésben arra kerestük a választ, hogy találunk-e párhuzamokat szinoptikus skálán is, vagy csak távirat szinten lépett fel egyezés.



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

4. ábra 2010. 01. 03. 00 UTC 500hPa geopotenciál és hőmérsékletei térképe

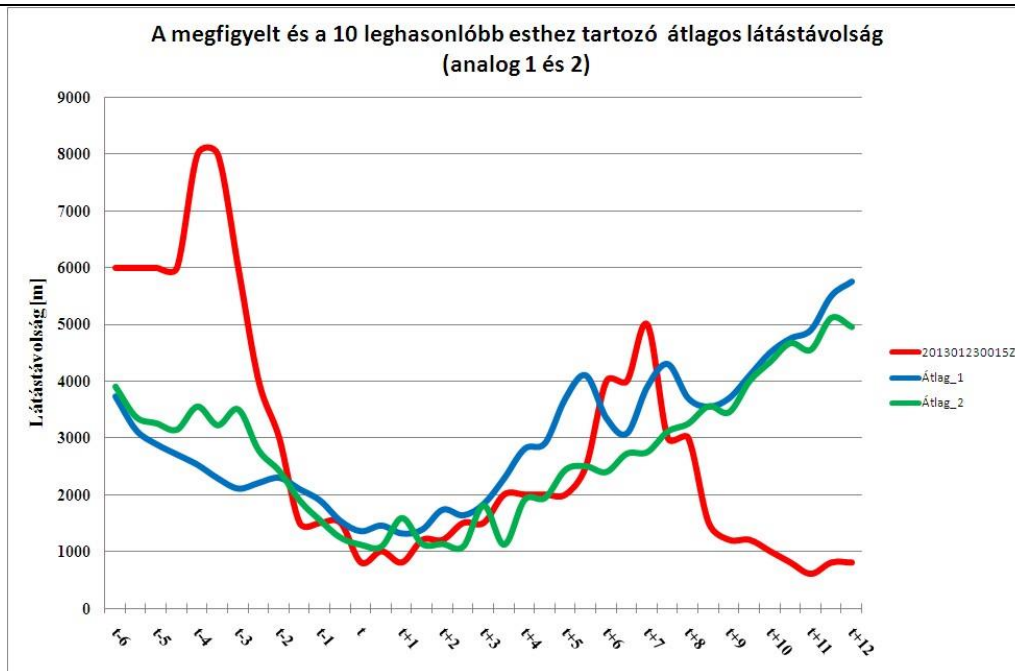
Az 500 hPa-os geopotenciál térképet tekintve, jól látszik, hogy hasonlóan, mint 2013.01.22-én és 23-án Európa nagy része fölött egy kiterjedt hideg csatorna helyezkedett el, így Magyarország is e hideg teknőben helyezkedett el (4. ábra).

Európa legnagyobb részén egy több középpontú ciklon helyezkedett el, melynek egyik centruma hazánktól délre található. 2010. január 2-án e rendszer hatására országszerte borult csapadékos idő volt jellemző. A csapadék hó formájában hullott. Január 3-án a ciklon fokozatosan távolodott kelet felé, de hátoldalán továbbra is hideg, eleinte nedves, majd szárazabb levegő áramlott a Kárpát-medencébe, így a Dunától keletre eső területeken még ezen a napon is havazott.

Összességében megállapítható, hogy nem csak lokális szinten van hasonlóság, hanem párhuzamokat lehet felfedezni a makro, illetve szinoptikus skálájú állapotok között is.

Az esettanulmány alapján a szoftver első közelítésben megfelelő eredményt adott.

A repülésmeteorológiában kiemelt szerephez jut a látástávolság és a felhőalap magasság, így a következőkben e két paraméter közül választottunk, és a látástávolság segítségével elemezzük az eredményeket. Azért a látástávolság előrejelzését részletezzük az esettanulmányokban, mert ez egy igen fontos repülésmeteorológiai paraméter, ugyanakkor rendkívül nehezen előre jelezhető és az NWP modellek egyelőre nem tudják közvetlenül pontosan megadni az értékét. Habár még a program nem alkalmas időbeni változások vizsgálatára, MS Excel környezetben megvizsgáltuk a látástávolságra vonatkozóan az egyes esetekhez tartozó időbeni viselkedéseket is, és összehasonlítottuk az alapesetbe tartozó változásokkal. Vettük az első 10 leghasonlóbb esetet (külön-külön a két módszerre) és képeztük az átlagos értékeket a vonatkozó időpontot megelőző 6 és az azt követő 12 órára (5. ábra).



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

A látástávolság az első nyolc órára 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.

### Támogató rendszer alkalmazhatósága stabil időjárási szituációkban

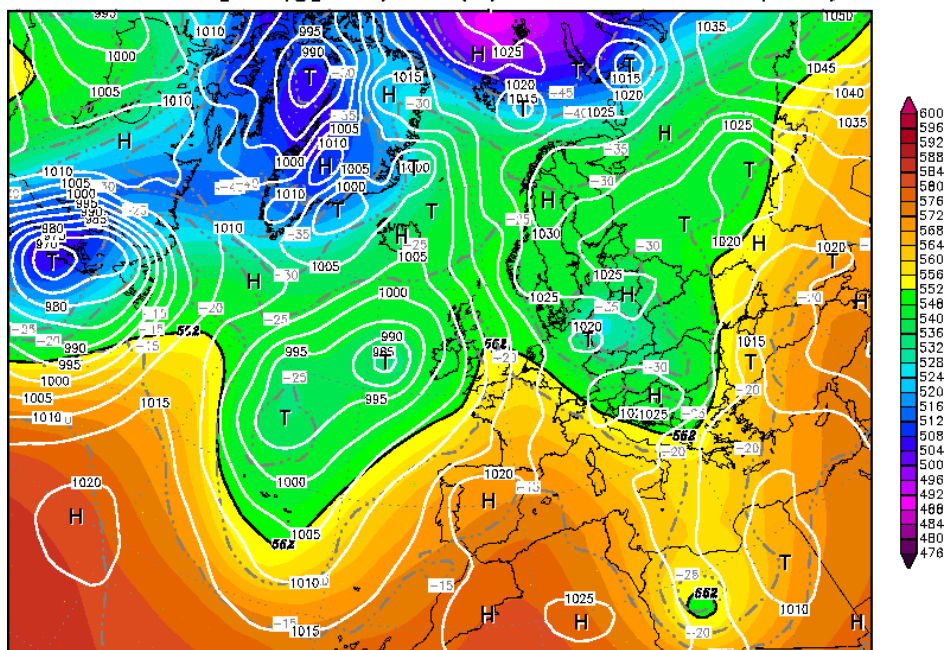
Második esetnek egy többnyire stabil, dinamikus változásoktól mentes időjárási szituáció mellett döntöttünk. 2010. december végén többnyire egyhangú, hideg, téli idő volt jellemző a Kárpát-medencében, így ebből az időszakból választottuk ki az alap esetünket.

#### 2010. December 28. szinoptikus elemzése

2010. december 28-án a Kárpát-medence fölött egy hideg csatorna húzódott. Hazánk északkeleti határain egy hidegcsepp helyezkedett el, mely északkeleti irányba mozdult, így fokozatosan délnyugati peremére kerültünk (6. ábra).

A talajon kontinensünk északkeleti területein, valamint a Brit-szigetek fölött ciklonok örvénylettek, míg a Skandináv régióban és Európa középső területei felett anticiklon helyezkedett el, így hazánkban is jellemzően anticiklonális hatások uralkodtak. Változóan felhős, párás, ködös időre lehetett számítani egész nap, számottevő csapadék nem volt, legfeljebb helyenként gyenge havazás, hószállingózás alakulhatott ki. A következő néhány napban változások nem következtek be.

Init : Tue,28DEC2010 00Z Valid: Tue,28DEC2010 00Z  
 500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
 (C) Wetterzentrale  
 www.wetterzentrale.de

6. ábra 2010. 12. 28. 00 UTC 500 hPa geopotenciál és hőmérséklet térképe [18]

Ismét Szolnok szinoptikus állomás észlelési adatait használtuk fel a vizsgálatainkhoz. Annak érdekében, hogy elkerüljük annak eshetőségét, hogy a téli félévben igen gyakori hajnali ködös, párás eseteket kapjunk a futtatás eredményeként, egy 2010. december 28-án 12.15 UTC-kor kiadott táviratot választottunk.

METAR LHSN 281215Z 10001MPS 1500 BR BKN083 M10/M10 Q1022 REFZFG  
 TEMPO 3000 BR RMK AMB=

#### Az adott szituációra vonatkozó modellfuttatás

A repülésmeteorológiai prognózis elkészítésénél egy hideg légpárnás szituációban általában a legnagyobb feladatot a felhőalap és a látástávolság változásának előrejelzése okozza, kiváltképp, ha időnként a köd elemelkedik a talajtól, stratus felhőzetet alkotva, majd hirtelen újra lesüllyed. Így most a futtatás során a hangsúlyt e két elemre helyeztük.

Ezért szükségessé vált új súlyértékek megadása, melyeket egy ún. AHP<sup>7</sup> döntési modell segítségével állítottunk elő, annak érdekében, hogy minél inkább matematikai alapokra helyezzük a választást [16][17]. Az 5. táblázat tartalmazza néhány elemre kapott súly értékét.

<sup>7</sup> Analytic Hierarchy Process



Paraméter	Súly
Dátum	0,048
Szélirány	0,034
Látás	0,311
Jelenidő	0,095
Felhőzet	0,231
Harmatpont	0,036
Nyomás	0,046

5. táblázat A futtatásnál beállított súlyok

Az első eljárásnál a hasonlóság mértéke az egyedi paraméterek súlyozott számtani átlagaként lett előállítva (analógia 1), míg másiban a legrosszabbul bevált elem hasonlósági értéke (analógia 2) adja az összesített hasonlósági paramétert.

### A vizsgálat eredményei

	analógia 1	$\mu_{\text{átl}}(t)$	analógia 2	$\mu_{\text{min}}(t)$
1. legjobb	201112261115	0,0810	200801041145	0,0322
2. legjobb	201112261045	0,0792	200801041215	0,0322
3. legjobb	200801050945	0,0779	201012311415	0,0252
4. legjobb	201012150715	0,0779	201012311445	0,0252
5. legjobb	200801041115	0,0771	200801051015	0,0180
6. legjobb	201112261015	0,0771	200901011015	0,0180
7. legjobb	200801041215	0,0767	200901041045	0,0180
8. legjobb	200801051015	0,0760	200901101145	0,0180
9. legjobb	200801041145	0,0758	200901101215	0,0180
10. legjobb	201202181015	0,0752	201012301015	0,0180

6. táblázat Az analógia-kereső program lefuttatásával kapott 10 leghasonlóbb eset

A táblázatban szereplő dátumokból jól látszik, hogy ismét az első tíz leghasonlóbb esetet használtuk fel. A cellák színezésével csoportosítottuk az eredményeinket. Az azonos színű cellák, azonos naphoz tartozó esteket jelölnek. Mivel egy olyan esetet választottunk alapul, amelynek a METAR táviratai már szerepeltek az adatbázisban, így ahogyan arra számítottunk is, az első helyekre az adott naphoz tartozó táviratokból került be néhány, ezeket azonban nem vettük figyelembe, mert valószínűleg erősen befolyásolták volna a végső eredményt. Nemcsak az általunk felhasznált jelentést vettük ki az adatok közül, hanem a teljes napét.

A hasonlóság mérőszáma nagyságrendekkel kisebb a 4. táblázatban szereplő értékeknél, ami magyarázható a súlyoknál fellépő nagyságrendi különbségekkel. A analógia 1 eljárás ismét elég kevés eltérő esetet adott, míg az analógia 2 módszer esetén 7 különböző dátumhoz tartozó táviratok lettek gyűjtve.

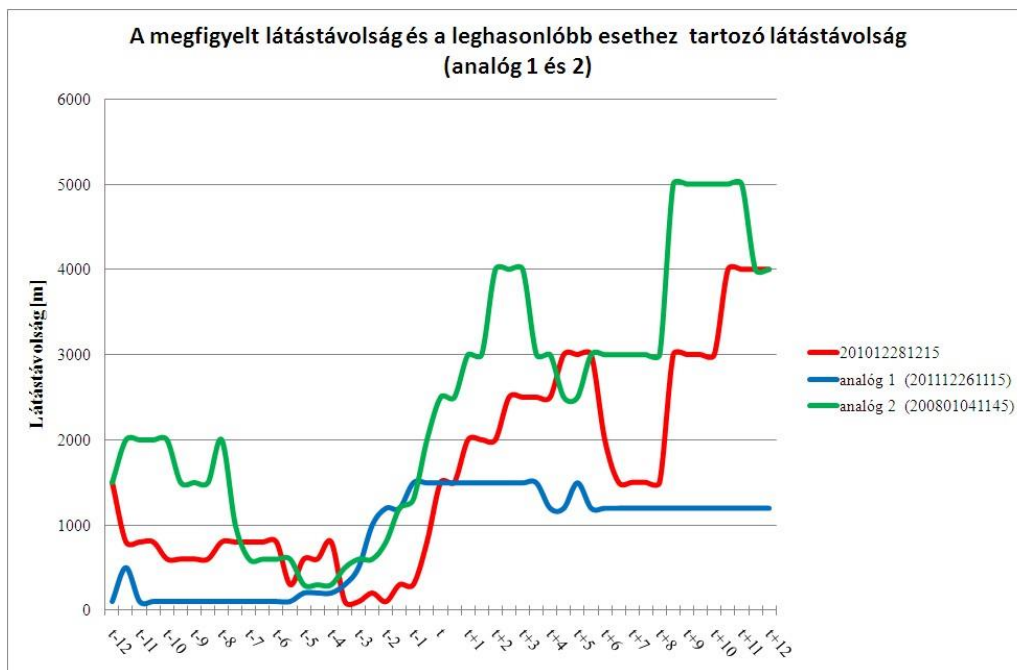
Most nem láthatunk túl sok egyezést a két módszer eredményei között, azonban megvizsgáltuk

az esetekhez tartozó időjárási szituációkat alakító nagytérségű folyamatokat, és elmondható, hogy nagyrészüknél anticiklon alakította az időjárást, és többenél megfigyelhető volt az ún. hideg légpárna jelensége is.

Itt is megállapítható, hogy nem csak lokális szinten, hanem egyértelműen makro illetve szinoptikus szinten is hasonlóságok vannak.

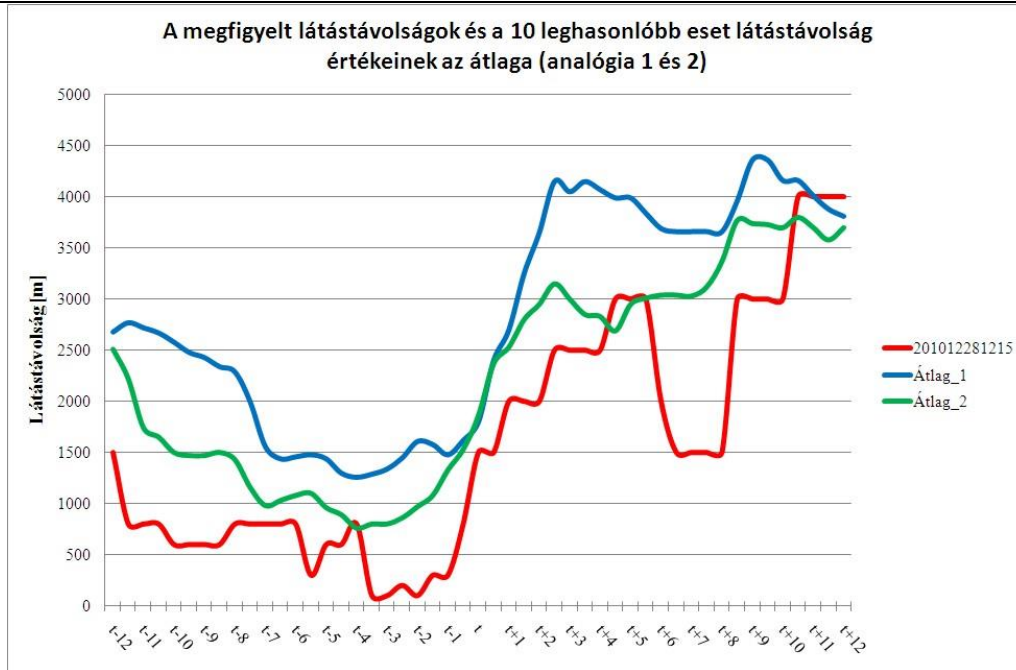
Érdekes kérdés volt ebben az esetben, hogy vajon a stabil időjárási szituációknál alkalmasabb lesz-e a szoftver a paraméterek, jelen esetben a látástávolság időbeni változásának közelítő előrejelzésére.

Most is elsőként a leghasonlóbb eseteket vizsgáltuk meg (7. ábra). Egyértelműen látható, hogy a súlyozott számtani középpel kapott eredmény (analóg 1) nem, míg az analóg 2 eljárással kapott, tendenciájában elég jó korrelációt mutat a valóságban bekövetkezett változásokkal, habár időben körülbelül 1,5 órával el van csúszva. Ez az időbeni eltérés, annak köszönhető, hogy a programba még nem tápláltuk bele azt a funkciót, mely miután az adott időponthoz megkeresi a leghasonlóbbakat, megnézi azok időbeni fejlődését, és azt összeveti a kezdeti értékek időbeni változásával.



7. ábra A megfigyelt és a leghasonlóbb esethez tartozó látástávolság (analóg 1 és 2)

Az első 10 esethez tartozó látástávolságok egyszerű számtani közepét véve már elég meggyőző eredményt kaptunk, ahogy az a 8. ábrán is látszik. Itt elmondható, hogy még a 12. órában is használható eredményt kaptunk. Az 5. és 6. órában távolodott el egymástól a megfigyelt és az átlagos látástávolság értéke, amikor hirtelen romlás következett be az alap esetnél. Ez a hirtelen változás egy rövid ideig tartó (2 óra) gyenge havazásnak volt köszönhető.



8. ábra A megfigyelt látástávolságok és a 10 leghasonlóbb eset látástávolság értékeinek átlaga (analóg 1 és 2)

Az esettanulmányok eredményeire alapozva elmondhatjuk, hogy a támogató szoftverünk a dinamikus változásokkal járó meteorológiai események esetén és a stabil szituációk esetén is alkalmas az időjárási elemek egy megadott kombinációjához leginkább hasonló esetek kigyűjtésére, de a kapott eredménynek még nem megfelelőek rövidtávú statisztikai alapokon nyugvó prognózis készítésére, habár a stabil esetekben már így is elfogadható eredményeket szolgáltatott a program.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben ismertettük egy még most is folyamatban lévő kutatás eddigi eredményeit. Külön hangsúlyt fektettünk egy hazánkban még meglehetősen szűk körben alkalmazott, a fuzzy logikán és analóg helyzetek kiválasztásán alapuló előrejelző rendszer bemutatására. Látható hogy az ezen a módszeren nyugvó általunk készített támogató szoftver jelenlegi tesztverziója már működőképes, és a cikk második részében közölt esettanulmány bizonyítja, hogy valóban jó eredménnyel szolgál a hasonló esetek kigyűjtésénél, azonban jelen állapotában még nem feltétlenül használható előrejelzés készítésére. A szoftver fejlesztése jelenleg is folyamatban van, így hamarosan már rövid távú statisztikai előrejelzés előállítására is alkalmas lesz.

Középtávú terveink közé tartozik a WRF numerikus előrejelző modell és e kizárólag statisztikai alapokon nyugvó modell összekapcsolása.

Hosszú távú elképzelésünk egy felhasználói felület kialakítása, amely előreláthatólag alkalmas lesz egy UAV repülési feladat megtervezéséhez illetve végrehajtásához szükséges teljes körű meteorológiai háttér biztosítására.



A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMP-2011-00010 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Pilóta nélküli repülőgép, Wikipédia A szabad enciklopédia, e-dok., url: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Pilóta\\_nélküli\\_repülőgép](http://hu.wikipedia.org/wiki/Pilóta_nélküli_repülőgép) (2013.02.20.)
- [2] HALÁSZNÉ DR. TÓTH Alexandra-SOMOSI Vilmos-PONGRÁCZ Gábor: Esettanulmány a pilóta nélküli légi járművek jövőbeni alkalmazása tükrében, Repüléstudományi Közlemények, 24 (2), 607-615, 2012.
- [3] PAULIK Beáta- DR. WANTUCH Ferenc-OZOLI Zoltán: Pilóta nélküli légi járművek meteorológiai üzemeltetése, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 315-325, 2012.
- [4] SÁNDOR Valéria-WANTUCH Ferenc: Repülésmeteorológia, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2005.
- [5] BOTTYÁN Zsolt-WANTUCH Ferenc-TUBA Zoltán-HADOBÁCS Katalin-JÁMBOR Krisztián: Repülésmeteorológiai klíma adatbázis kialakítása az UAV-k komplex meteorológiai támogató rendszeréhez, Repüléstudományi Közlemények, 24, (3), 11-18, 2012.
- [6] TUBA Zoltán-WANTUCH Ferenc-BOTTYÁN Zsolt-HADOBÁCS Katalin-JÁMBOR Krisztián: Repülésmeteorológiai klíma adatok felhasználásának lehetséges aspektusai pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) meteorológiai támogatásában, Szolnoki Tudományos Közlemények XVI., 192-197, 2012.
- [7] Bjarne K. HANSEN: A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather Forecasting, Vol.22, 1319-1330, 2007.
- [8] Bjarne K. HANSEN: Analog forecasting of ceiling and visibility using fuzzy sets, 2ndConference on Artificial Intelligence, American Meteorological Society, 1-7., 2000.
- [9] Denis RIORDAN-Bjarne K. HANSEN: A fuzzy case-based system for weather prediction, Engineering Intelligent Systems, Vol.10, No.3, 139-146, 2002.
- [10] 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.)
- [11] L.A. ZADEH: Fuzzy sets, Information and Control, Vol.8, 338-353, 1965.
- [12] DR. SCHUSTER György Phd-TERPEZ Gábor: Fuzzy logik alkalmazási lehetősége automata repülő szerkezetekben, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 537-541, 2012.
- [13] A mesterséges intelligencia alapjai, oktatási segédanyag, url: <http://users.iit.uni-miskolc.hu/~radai/MI/fuzzy.htm> (2012.11.04.)
- [14] Bjarne K. HANSEN-Ismail GULTEPE-Alistair LING: Conditional persistence of ceiling and visibility. 44th Annual Congress of the Canadian Meteorological and Oceanographic Society, Ottawa, Canada, 31 May - 4 June 2010.
- [15] D. MARTINEZ – J. CUXARTL – J. CUNILLERA: Conditioned climatology for stably stratified nights in the Lleida area. Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean, Tethys, 5, 13-24, 2008.
- [16] RAPCSÁK Tamás: Többszemponú döntési problémák AHP modellek, Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetben kihelyezett Gazdasági Döntések Tanszék, 2007.
- [17] BÉKÉSI Bertold: Harcászati repülőgépek összehasonlítására használható Analytic Hierarchy Process, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 2005. Közlemények, 24, (2), 2005.
- [18] Wetterzentrale, url: <http://www.wetterzentrale.de/> (2013.03.03.)