

Tuba Zoltán¹ – Bottyán Zsolt²

ANALÓGIÁS ELVEN ALAPULÓ REPÜLÉSMETEOROLÓGIAI ELŐREJELZÉSEK ÉS A MAKROSYNOPTIKUS IDŐJÁRÁSI SZITUÁCIÓK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA³

Napjainkban egyre szélesebb körben alkalmazzák az analógiás elven alapuló statisztikai előrejelzéseket az ultrarövid távú repülésmeteorológiai prognosztikában. Ezek használata során az előrejelzést készítő modell adott helyre vonatkoztatva, az aktuális időjárási helyzethez keres hasonlót a múltbeli szituációk között. Jogos kérdésként merülhet fel, hogy a pontbeli analógiák, azaz az egyes meteorológiai paraméterek hasonlósága megjelenik-e szinoptikus skálán is. Jelen tanulmány célja ennek a kérdéskörnek a vizsgálata valamint az azonosított kapcsolatok függvényében a további kutatási irányok kijelölése a vázolt repülésmeteorológiai előrejelzések további fejlesztésének érdekében.

EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN MACROSYNOPTIC PATTERNS AND ANALOG FORECASTING OF AVIATION METEOROLOGY

Nowadays statistical based analog forecasting is a widely used technique in ultra-short term aviation weather prediction. This type of models search weather situations in a climatic database which are similar to the actual one in a given location. This raises the questionnaire: does the similarity of meteorological parameters of a given location appear on the synoptic scale, too? The aim of this paper to examine this question and depending on the located relationship to designate the research directions in favor of the further development of aviation meteorological forecasting.

BEVEZETÉS

A repülésmeteorológiai prognosztika területén a két legfontosabb előrejelzendő paraméter a horizontális látástávolság és a felhőalap magassága. Ez a tény kiemelten igaz az állami célú repülések esetében, ahol gyakran nem magát a repülést, hanem a végrehajtandó speciális feladatot korlátozzák az említett meteorológiai paraméterek. Az előrejelzők munkájuk során alapvetően numerikus modellek kimeneti produktumaira alapozzák szakmai állásfoglalásukat, azonban éppen a két fenti változó esetében kell gyakran alternatíva után nézniük. Származtatott paraméterek révén ugyanis mind a látástávolság, mind pedig a felhőalap előrejelzése a numerikus modellek egyik legneurálisabb pontját képviseli [1]. Ráadásul ez akkor válik különösen igazzá, amikor a legnagyobb szükség lenne használatukra, azaz amikor komoly korlátozó tényezőt jelentenek a repülési feladatok végrehajtása során. Sajnálatos módon még a numerikus modellek futtatásával párhuzamosan alkalmazott különböző utófeldolgozó eljárások sem képesek jelentősen javítani ezen előrejelzések

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem, HHK KÜI, Katonai Repülő Tanszék

³ Dr. Wantuch Ferenc Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu

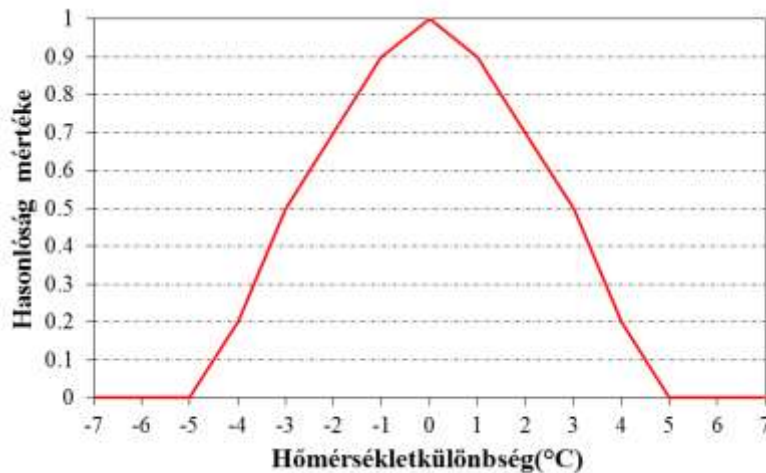
beválásán. Ez a permanens problémakör motiválta a témával foglalkozó kutatókat újabb, hatékonyabb előrejelzési módszerek kidolgozására, amelyek – ha csak ultrarövid távon is – jelentősen segíthetik az előrejelzői munkát. Ezek közül legszélesebb körben a statisztikai alapokon nyugvó analógiás előrejelzéseket alkalmazzák. Az ezen elven működő repülésmeteorológiai előrejelzések egyes helyeken már az operatív meteorológiai kiszolgálás részét képezik [2], de a napi gyakorlatba való implementálásuk már hazánkban, a Magyar Honvédség meteorológiai alegységeinél is megkezdődött. Ugyanakkor ezek az előrejelzések sem tökéletesek és alkalmazhatóak feltétel nélkül. Alapelvüknél fogva helyhez kötöttek, csak a lokális viszonyokat veszik figyelembe, információt a nagytérségű meteorológiai viszonyokról csak a vizsgált paramétereken vagy azok változásain keresztül hordoznak. Jelen tanulmány célja annak vizsgálata, hogy a lokális skálákon és ultrarövid távon alkalmazott, látástávolságra és felhőalapra optimalizált analóg előrejelzések alkalmasak-e a szinoptikus skálájú időjárás helyzet rekonstrukciójára, azaz a különböző meteorológiai paraméterek lokális értékei alapján meghatározható-e az azok kialakulásáért felelős nagytérségű makroszinoptikus szituáció. A vizsgálatok során a hazánkban szemi-operatív módon működő repülésmeteorológiai előrejelző rendszer (IFS), statisztikai előrejelző alrendszerét (SMS) [3] alkalmazzuk analógiás szegmensként, míg a nagytérségű szinoptikus helyzet jellemzésére a Péczely György által definiált makroszinoptikus kódokat használjuk [4]. A vizsgált időszakra előállított kódokat Károssy Csabától kaptuk meg, aki Péczely munkáját folytatja [5]. A kijelölt vizsgálatokon túl pedig a későbbiekben arra is megpróbálunk rámutatni, hogy az esetleges kapcsolatok milyen fejlesztési irányokat jelölhetnek ki a repülésmeteorológiai előrejelzések területén.

ANALÓGIÁS ELŐREJELZÉSEK

A repülésmeteorológiai szakirodalomban analógiás előrejelzések alatt olyan statisztikai alapon nyugvó prognózisokat értünk, amelyek napjainkban fuzzy logikán alapuló hasonlósági metrika segítségével, arra alkalmas adatbázisban keresnek adott meteorológiai paraméter(ek)hez hasonlót. Majd az így nyert adat együttes segítségével a kiválasztott változók jövőbeli értékeit jelzik előre, jellemzően a következő néhány órára, azaz ultrarövid távon. Kutatásuk, fejlesztésük külföldön már évtizedes múltra tekint vissza [6], de az utóbbi években Magyarországon is növekvő érdeklődéssel fordultak e terület felé [3][7][8][9]. Ahogyan a bevezetésben is említettük, vizsgálataink során a Dr. Bottyán Zsolt és társai által fejlesztett repülésmeteorológiai előrejelző rendszer (IFS), statisztikai előrejelző alrendszerét (SMS) alkalmazzuk analógiás szegmensként. A továbbiakban ezt csak áttekintően mutatjuk be, a modell fejlesztésének és működésének részletesebb információit az olvasó a fentiekben idézett publikációkban találhatja meg.

Ez a prognosztikai modul a METAR táviratokban hordozott elemi (pl.: időpont, szélesség, hőmérséklet) és származtatott (pl.: felhőalap magasság) információk időbeli együtteséhez keres a repülésmeteorológiai adatbázisban hasonló információkat. Időbeli együttes alatt azt értjük, hogy nem egyetlen időpont adatai, hanem egy hat órás időszak összes információja képezi az összehasonlítás tárgyát, melyek az aktuális időpont felé haladva egyre nagyobb súlyt kapnak a művelet során. Az

időbeli súlyozás mellett az egyes meteorológiai és időbeli (pl.: éven és napon belüli helyzet) paraméterek is fontosságuknak megfelelő súlyt kapnak, amely súlyvektor kialakítása az AHP (Analytic Hierarchy Process) módszer alkalmazásával történt. Az egyes vizsgálatra kerülő változók összehasonlítása fuzzy logikán alapuló eljárás segítségével történik, melynek során szakértői konszenzussal létrehozott úgynevezett tagsági függvények adják meg az egyedi hasonlóság mértékét. A tagsági függvények az adott paraméter esetében meghatározzák az összevetésre kerülő értékek különbsége alapján, hogy azok egyáltalán nem, kevésbé, közepesen vagy nagyon hasonlítanak egymásra, esetleg azonosak. Ezek a 0 és 1 közé eső egyedi értékek kerülnek aztán a fent említett súlyok segítségével paraméterek és idő szerint átlagolásra és ezzel áll elő egy-egy időjárási szituáció hasonlósága.



1. ábra Példa az alkalmazott tagsági függvényre

A statisztikai előrejelző alrendszer az összehasonlító vizsgálatot az aktuális előrejelzés készítésénél a rendelkezésre álló adatbázis minden egyes elemére elvégzi. Az adatbázis jelenlegi közel tíz éves hossza mellett ez tízmillió nagyságrendű egyedi összehasonlítást jelent a tagsági függvényekkel. Ezután az egyes időjárási szituációkat hasonlóságuk szerint rangsorolja, majd kiválasztja a harminc leghasonlóbb esetet. A kiválasztott harminc leghasonlóbb időpont rákövetkező kilenc órájának adatai az előrejelzendő paraméterenként kerülnek begyűjtésre, majd a modell előrejelzési időlépcsőnként nagyság szerinti sorrendbe állítja őket és a harmincadik percentilis értékével becslést ad a prediktandusz várható értékére. Ezzel előrejelző változónként előáll egy 18 elemű vektor, amely adott repülőtér esetében tartalmazza a következő 9 órára szóló előrejelzést félórás időlépcsővel.

MAKROSZINOPTIKUS OSZTÁLYOZÁS

Péczely György az 1950-es években definiálta a Kárpát-medencére vonatkozó makroszinoptikus időjárási helyzeteket. A nagytérségű nyomási rendszerek elhelyezkedése alapján 13 különböző típust határozott meg, amelyek az 1. táblázatban találhatók. A hat ciklonális és 7 anticiklonális helyzet segítségével egyértelműen tipizálható minden időjárási szituáció a közép-európai térségben. Ez a

klaszterezett adathalmaz kiválóan alkalmas statisztikai vizsgálatok céljára, amit a legkülönbözőbb szakterületeken született publikációk is igazolnak [10][11][12].

Sorszám	Típuskód	Péczy-féle makroszinoptikus típus
1.	<i>mCc</i>	Meridionális ciklon hidegfrontja
2.	<i>AB</i>	Anticiklon a Brit szigetek felett
3.	<i>Cmc</i>	Mediterrán ciklon hidegfrontja
4.	<i>mCw</i>	Meridionális ciklon melegfrontja
5.	<i>Ae</i>	Anticiklon a Kárpát-medencétől keletre
6.	<i>Cmw</i>	Mediterrán ciklon melegfrontja
7.	<i>zC</i>	Zonális ciklon
8.	<i>Aw</i>	Anticiklon a Kárpát-medencétől nyugatra
9.	<i>As</i>	Anticiklon a Kárpát-medencétől délre
10.	<i>An</i>	Anticiklon a Kárpát-medencétől északra
11.	<i>AF</i>	Anticiklon a Skandináv-félsziget felett
12.	<i>A</i>	Anticiklon a Kárpát-medence felett
13.	<i>C</i>	Cikloncentrum a Kárpát-medence felett

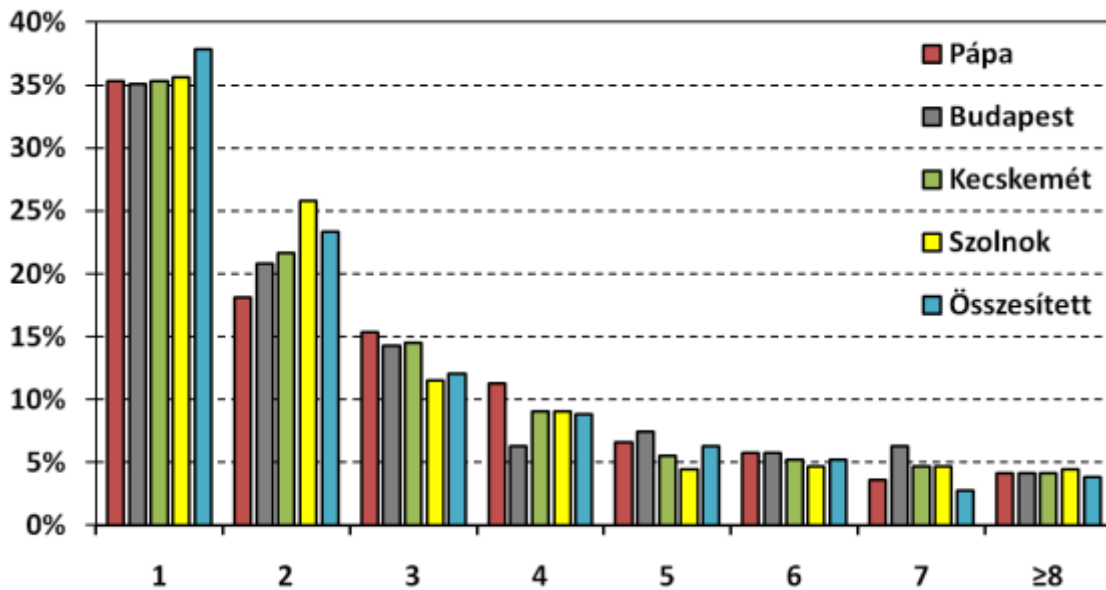
1. táblázat A Péczy-féle makroszinoptikus típusok

Közkedveltsége és alkalmazhatósága mellett azonban fel kell hívnunk a figyelmet a tipizálás szubjektív voltára és a módszertanából fakadó hiányosságaira. A kódot ugyanis az határozza meg, hogy melyik típus képviselt nagyobb részarányt az adott nap 24 órája alatt, viszont a makroszinoptikus típus az adott teljes napra vonatkozik. Ebből következik, hogy a naptári napnál részletesebb időbeli felbontás alkalmazása esetén szükségszerű hiba fog megjelenni a típusváltások miatt. A következőkben bemutatandó vizsgálati eredményeink is ezzel a hibával terheltek.

VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A vizsgálatok alapvető tárgyát az a bevezetésben is vázolt kérdés adta, hogy az analógiás előrejelzéseket előállító modell valamely kimeneti vagy köztes produktumának segítségével azonosítható-e a makroszinoptikus szituáció valamilyen módon. Indirekt módon megfogalmazva a kérdést: a nagytérű szinoptikus szituáció markánsan meghatározza-e a lokális viszonyokat, azaz a kapcsolat közel egyértelműen azonosítható-e? A kérdés vizsgálatához az előző fejezetekben ismertetett analógiás előrejelzések verifikációs munkáit és a vizsgált időszak Péczy-féle makroszinoptikus kódjait használtuk fel. Az előrejelzések verifikációja során a rendelkezésre álló repülésklimatológiai adatbázist (2005.08.01–2014.07.31) két részre osztottuk. Ezek közül az első rész (2005.08.01–2013.07.31) szolgált az analógiás előrejelzés adatbázisául, a második rész (2013.08.01–2014.07.31) minden harmadik órájára pedig elvégeztük a modell verifikációs célú futtatását. Ebből következik, hogy a vizsgált egy éves verifikációs időszak minden egyes napjára 8 modellfuttatás történt, azaz egy adott repülőtéren naponta 8×30 db leghasonlóbb időjárás szituáció került kiválasztásra. Ahogyan a későbbiekben is lát-

hatjuk majd, ezt az eljárást mind a négy folyamatos észlelési renddel dolgozó hazai repülőtérre (Budapest, Kecskemét, Pápa, Szolnok) elvégeztük. A vizsgálat során verifikációs paraméterek számításával nem foglalkoztunk, mivel ez a leghasonlóbb szituációk kiválasztása szempontjából nem volt releváns. Ezután az adott naphoz tartozó, repülőterenkénti 240 különböző időjárás-szituációhoz hozzápárosítottuk a Péczely-féle makroszinoptikus kódokat és hozzájuk rendeltük az adott naphoz tartozó relatív gyakorisági értékeiket. Majd repülőterenként és összesítve is statisztikát készítettünk a verifikációs időszakra, hogy az eredeti Péczely kód hányadik helyen szerepel a relatív gyakorisági rangsorban. Ennek a statisztikának az eredményeit a 2. ábra szemlélteti, amely az 1–7 helyezéseket egyenként a 8–13 helyezéseket pedig összevontan ábrázolja.



2. ábra Az adott vizsgálati nap Péczely-kódjával azonos kód rangsorbeli helyeinek relatív gyakorisága az egyes repülőterek esetében és összesítve.

Az esetek több mint 1/3-ában az adott szituáció a statisztikus előrejelző modul által kiválasztott hasonló esetek közül a legnagyobb gyakoriságú volt, az első három helyezés gyakorisági értékeit kumulálva pedig 2/3-ot meghaladó arányt kaptunk az összes vizsgált repülőtér esetében. Ez a tény és a helyezések sorrendjében szigorúan monoton csökkenő relatív gyakorisági értékek arra engednek következtetni, hogy az adott időjárás-szituációkhoz – egyedi és lokális meteorológiai paraméterek alapján – történő analógia keresés során a makroszinoptikus szituáció indirekt módon, de megjelenik az információ tartalmában.

Ha a helyezésekhez tartozó, a helyezések sorszámával kumulálódó relatív gyakoriságokat határozzuk meg, csak az éppen fennálló makroszinoptikus szituációt figyelembe véve, akkor a 3. ábrán látható információkat kapjuk. A táblázat első sorában a modell adatbázisának időszakára vonatkozó statisztikát láthatjuk, ahol kiemeltük a legalább 10%-os relatív gyakoriságot elérő négy esetet.



A növekvő arányokkal párhuzamosan sötétedő színezés hatására jól kitűnik, hogy a nagyobb gyakoriságú szinoptikus helyzetek esetében nagyon gyorsan kumulálódik a gyakoriság már az első néhány helyezés esetében is.

Az adott Péczely-féle makroszinoptikus kód relatív gyakorisága a modell adatbázisának időszakában

17%	8%	1%	5%	11%	8%	2%	14%	5%	11%	5%	10%	4%
-----	----	----	----	-----	----	----	-----	----	-----	----	-----	----

Péczely-féle makroszinoptikus kódok

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	63%	47%	0%	0%	40%	20%	0%	65%	17%	18%	0%	46%	0%
2	89%	53%	0%	30%	70%	50%	0%	80%	25%	62%	0%	73%	7%
3	96%	65%	0%	41%	86%	60%	0%	90%	50%	94%	6%	81%	13%
4	96%	88%	0%	59%	90%	75%	0%	98%	67%	97%	22%	97%	27%
5	99%	100%	0%	67%	96%	80%	0%	100%	92%	97%	61%	100%	33%
6	100%	100%	0%	85%	100%	90%	50%	100%	100%	100%	67%	100%	67%
7	100%	100%	0%	89%	100%	90%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	87%
≥8	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

3. ábra Az adott Péczely-félemakroszinoptikus kódok relatív gyakoriságai és az egyes helyezésekhez tartozó kumulált relatív gyakoriságok azokban az esetekben, amikor adott makroszinoptikus helyzet áll fenn.

Példaként az első három helyezés kumulált relatív gyakoriságát tekintve, azok minden esetben meghaladják a 80%-ot a 10%-nál nagyobb relatív gyakoriságú szinoptikus kódok esetében. E mögött az állhat, hogy az előrejelző modell az analógia keresés során az ilyen esetekben nagyobb eséllyel talál hasonlót adott szinoptikus helyzetű alapszituációból. Ez ugyanakkor azt is jelenti, hogy a kisebb gyakoriságú, ritkább helyzetek esetében a kisebb merítés miatt a leghasonlóbb esetek is kevésbé lesznek hasonlóak, mint más esetekben, ami a modell megbízhatóságának csökkenéséhez vezethet. Természetesen ennek a ténynek az ismerete a vizsgált modellel dolgozó operatív meteorológus szakemberek számára fontos információt hordoz. Ugyanis az aktuális makroszinoptikus helyzet előrejelezheti a modell megbízhatóságának csökkenését, ami magával vonhatja a kapott előrejelzési produktum fenntartásokkal való kezelését és ezzel egy jobb beválású végproduktum kialakítását.

A fenti eredmények tükrében a statisztikus előrejelző rendszer ígéretes fejlesztési iránya lehet az összehasonlítás alapját képező paraméterek számának bővítése a makroszinoptikus szituációra vonatkozó információval, ami valószínűleg nagytérségű dinamikai folyamatokban jobban hasonlító helyzetek kiválasztását tenné lehetővé. Ugyanakkor azt látni kell, hogy az aktuális nap kódjának meghatározása során ez szakmai többletinformáció hozzáadását várja el az operatív előrejelzőtől, aminek a metodikáját hozzá kell igazítani a jelenlegi makroszinoptikus osztályozási eljáráshoz.

ÖSSZEFOGLALÁS

A repülésmeteorológiai prognosztikában használatos előrejelző modellek fejlesztése, előrejelzéseik beválásának javítása elsődleges prioritású, ugyanis közvetett módon ugyan, de a jobb előrejelzések a repülésbiztonság egy magasabb szintjének elérését szolgálják. Különösen fontos ez az olyan modellek esetében, amelyek olyan repülésmeteorológiai paraméterek pontos előrejelzését tűzték ki célul, amelyek a repülési feladatok során kiemelt fontosságúak. Ez a fejlesztő, javító

munka gyakran olyan, addig ismeretlen kapcsolatok felderítésével kezdődik, amelyek nem csak az alapvető megértést segítik, hanem a modellek potenciális fejlesztési irányait is kijelölik. Tanulmányunkban megmutattuk, hogy a vizsgált analógiás elven működő statisztikai előrejelző rendszer a fentiekben megismert korlátokkal (pl. kis gyakoriságú helyzetek esete), de képes a makroszínoptikus szituáció behatárolására. További vizsgálat tárgyát képezheti ezen a területen, hogy az előrejelző meteorológus az adott napi szinoptikus helyzetről szóló szakmai állásfoglalásával mennyiben módosíthatja az előrejelző rendszer eredményeit, azok kedvező irányú szűrésével.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BLANKERT, R. L. – HADJIMICHAEL, M. Data mining numerical model output for single-station cloud-ceiling forecast algorithms, *Weather and Forecasting*, 25, 2007
- [2] HANSEN, B. K. A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. *Weather and Forecasting*, Vol. 22, 1319–1330., 2007
- [3] BOTTYÁN ZSOLT – GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ – WANTUCH FERENC – TUBA ZOLTÁN – KURUNCZI RITA – KARDOS PÉTER – ISTENES ZOLTÁN – WEIDINGER TAMÁS – HADOBÁCS KATALIN – SZABÓ ZOLTÁN – BALCZÓ MÁRTON – VARGA ÁRPÁD Measuring and Modeling of Hazardous Weather Phenomena to Aviation Using the Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS), *Időjárás*, 2015 – megjelenés alatt
- [4] PÉCZELY, G. (1961): Magyarország makroszínoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése. *OMI Kisebb Kiadványai* No. 32: 132.
- [5] KÁROSSY CSABA (2015): 2015-02-10:xy regisztrációs számú személyes közlése.
- [6] RIORDAN, D. – HANSEN, B. K. A fuzzy case-based system for weather prediction. *Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications*, 10(3), 139-146., 2002
- [7] BOTTYÁN ZSOLT – WANTUCH FERENC – TUBA ZOLTÁN – HADOBÁCS KATALIN – JÁMBOR KRISZTIÁN Creation of a new climatic database for aviation meteorological support system of unmanned aerial vehicles (in Hungarian), *Repüléstudományi Közlemények* 24, (3), 11-18., 2012
- [8] TUBA ZOLTÁN – VIDNYÁNSZKY ZOLTÁN – BOTTYÁN ZSOLT – WANTUCH FERENC – HADOBÁCS KATALIN Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in fuzzy logic-based meteorological support system of unmanned aerial vehicles, *AARMS*, Vol. 12. 2., 2013
- [9] NAGY ROLAND Új módszerek vizsgálata a légiforgalmi irányításban használatos, látástávolságra vonatkozó döntéstámogató célprognózisok készítésében Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren, Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, Budapest, 2014
- [10] BOTTYÁN ZSOLT – TUBA ZOLTÁN Felületi jegesedést okozó időjárási helyzetek statisztikai vizsgálata és a jégakkréció becslése pilóta nélküli repülőeszközök (UAVs) esetében, *Repüléstudományi Közlemények* 24, (2), 642–651., 2012
- [11] KOLLÁTH KORNÉL – TÓTH KATALIN A tapadó hóteher mennyiségi előrejelzése, *Légekör* 54, (2), 10-14., 2009
- [12] KÁROSSY CSABA – PUSKÁS JÁNOS – NOWINSZKY LÁSZLÓ – BARCZIKAI GÁBOR Feromon csapdákkal gyűjtött gyümölcsmolyok száma a Péczely-féle makroszínoptikus időjárási helyzetek függvényében, *Légekör* 54, (2), 20-22., 2009