



Dr. Bottyán Zsolt<sup>1</sup> – Tuba Zoltán<sup>2</sup>

## FELÜLETI JEGESEDEST OKOZÓ IDŐJÁRÁSI HELYZETEK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA ÉS A JÉGAKKRÉCIÓ BECSLÉSE PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK (UAVs) ESETÉBEN<sup>3</sup>

*A pilóta nélküli repülőeszközök méretükénél és egyéb jellemzőiknél fogva fokozottan érzékenyek a repülésre veszélyes időjárási jelenségekre. Az egyik legfontosabb ilyen jelenség a jegesedés, amely a megfelelő elővigyázatosság, a modern jégteletítő és a jegesedést megelőző berendezések használata ellenére is potenciális veszélyforrást jelent. Tanulmányunkban az egyes jegesedési események azonosításához egy adatbázist hoztunk létre, amelyet a Péczy-féle makroszintoptikus helyzetekkel összevetve, meghatároztuk azokat a tipikus időjárási szituációkat, melyek jelentős felületi jegesedést okozhatnak. Külön figyelmet szenteltünk az alacsony magasságú (2000 méter alatti) zónában előforduló jegesedési szituációkra, melyek a SUAV-k és nagyobb hatótávolságú UAV-k üzemeltetése szempontjából egyaránt fontosak. Az adatbázisban előforduló alacsony szintű jegesedési szituációkra vonatkozóan a felületi jegesedés intenzitására és geometriájára vonatkozóan is adunk becslést egy konkrét UAV típus esetében, figyelembe véve az FAA ajánlásokat is.*

### **STATISTICAL ANALYSIS OF WEATHER SITUATIONS WITH STRUCTURAL AIRCRAFT ICING AND ESTIMATION OF ICE ACCRETION ON UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)**

*The unmanned aerial vehicles are increasingly reactive to dangerous weather phenomena because of their size and other characteristics. The aircraft structural icing is one of the most important, which can be a potential threat for the aircraft in spite of the anti-icing and ice protection systems. In our study we built a database to identify the icing events. Then we set them against the connected Péczy's macrosynoptic types and we selected the suitable weather situations for significant structural icing. We highlighted the low level (under 6000') icing events, which are more important respect of the maintenance of (small) unmanned aerial vehicles. In a case study, which is based on a low level icing event in our database, we gave an estimation of the ice accretion and geometry on a concrete type of UAV considering the recommendation of FAA.*

## BEVEZETÉS

A repülőeszközök felületi jegesedése régóta ismert jelenség, melynek során a repülőgépek, helikopterek felületén jég akkumulálódik, megzavarva a repülés számos folyamatát. Magának a jégfelület kialakulásának, a repülésre gyakorolt hatásainak és a jéglerakódás becslésének áttekintéséhez számos korábbi tanulmány áll rendelkezésre. [1][2]

A pilóta nélküli repülőeszközök (továbbiakban UAV-k) esetében azonban néhány eltérő szempontot is figyelembe kell vennünk, amikor a keletkező jégakkréció hatásait valamint becslését szeretnénk elvégezni. Az egyik lényeges momentum, hogy az UAV-k döntő többsége nem rendelkezik

<sup>1</sup> szds., egyetemi docens, Nemzeti Közzszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>2</sup> MH 86. Szolnok Helikopter Bázis

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Wantuch Ferenc, repülésmeteorológia szakértő, Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.f@gmail.com

jégtelenítő berendezéssel (anti-icing), így a repülés közbeni védelem nem megoldott! Ebből az következik, hogy a kezelő személyzetnek (UAV pilóta, specialista stb.) távolról kell úgy vezetnie a repülőgépet, hogy az ne kerüljön jegesítő kondíciók közé. Másrészt, az UAV-k szárnykialakításánál figyelembe vett szárnyprofilok karcsúak, nagy görbülettel rendelkeznek a belépőélnél, ezáltal felhőben repülve nagy hatékonysággal gyűjtik a felületen kifagyó túlhűlt vízcseppeket. [3]

Mindenképpen szükséges tehát egy meteorológiai támogatás, mely lehetővé teszi a kezelő személyzet részére a repülési feladat és eszköz függvényében történő döntés meghozatalát a repülés végrehajtására vonatkozóan (indulási meteorológiai feltételek). Ugyanakkor, az időjárás a repülési feladat időtartamától és helyétől függően gyors változásokat produkálhat térben és időben egyaránt, ami a repülés alatti várható légköri viszonyok minél pontosabb ismeretét kívánja meg az irányító személyzet részére (repülés alatti meteorológiai feltételek).

Az UAV-k meteorológiai támogatásának egyik fontos pillére, az adott földrajzi helyre vonatkozó minél pontosabb éghajlati ismeretanyag bevonása az előrejelzések készítésébe. Ennek számos módszere ismert a szakirodalomból. Munkánkban a Kárpát-medencére, Péczely György által definiált makroszinoptikus helyzetek és a repülőgépek által szolgáltatott jegesedési adatok összevetését végeztük el valamint a kisebb méretű SUAV-k repülési magasságában előforduló konkrét jegesedési szituációban történő jégakkréció becslését adjuk meg konkrét repülőeszközre vonatkozóan. [4]

## ADATBÁZIS

A jegesedéses események kiválasztásához ún. PIREP táviratokat használtunk fel. A PIREP távirat a repülőgép személyzete által kiadott jelentés, amely az aktuális meteorológiai feltételekhez kapcsolódó, a repülések szempontjából releváns információkat tartalmaz. Általában az alapinformációt rádiólevelezés útján továbbítják, majd a földi kiszolgálás a megfelelő formátumban folytatja a terjesztését. Ezekben a speciális jelentésekben általában a repülési szaknyelvben, valamint a repülésmeteorológiai táviratokban és jelentésekben is megtalálható rövidítések használatosak, de esetenként szabadszavas leírással is találkozhatunk bennük.

A rendelkezésre álló időszakokból (2006.01.01-02.07.; 2008.06.05.-2008.12.23.; 2009.04.17-2010.12.30.) összesen 436 darab távirat került feldolgozásra, amelyek közül 139 darab tartalmazott jegesedéssel kapcsolatos információt. Ez a 139 távirat 84 jegesedéses napon<sup>4</sup> került forgalomba. Egy-egy ilyen kapcsolódó távirat az esetek többségében a következő információkat tartalmazza: a jelentés ideje, a jegesedési réteg aljának és tetejének magassága, a jegesedés erőssége és helye. (pl: 2010-12-15 18:04:52 | AIR REPORT SPECIAL AT 1802 MODERATE ICING BETWEEN 2500FEET AND 5500FEET IN TERMINAL CONTROL AREA BY BOEING 737) Az összes jegesedéssel kapcsolatos PIREP 88%-ában, 122 esetben volt egyértelműen meghatározva a jegesedési réteg alja és teteje. 2 esetben egyáltalán nem volt megadva magasság, míg a

---

<sup>4</sup> Olyan naptári nap, amikor legalább 1 db jegesedést jelentő PIREP távirat került kiadásra Budapest FIR-ben.

maradék esetekben egyetlen érték szerepelt a jelentésben. 7 esetben nem volt megadva a jegesedés helye, míg 98 esetben a TMA<sup>5</sup>-n belül észlelték.

A PIREP-ekből kinyerhető információk felhasználásával egy adatbázis került kialakításra, amely a korábbiakban már említett adatok mellett tartalmazza az adott naptári napokra vonatkozó Péczely-féle makroszinoptikus tipizálás kódjait, valamint a PIREP táviratot megelőző és az azt követő rádiószonda felszállás vonatkozó magassági mérési adatait is. A szonda által mért adatok szinkronizálásra kerültek az egyes jegesedési rétegekkel, mégpedig úgy, hogy az adatbázisban a jegesedési rétegben és annak 300 lábas környezetében található főizobárszinti és szignifikáns szintbeli mérési adatok kerültek megjelenítésre. Amennyiben az adott réteghez kapcsolódóan a felszállásból csak egy adat állt rendelkezésre, akkor csak az került felhasználásra, ha pedig a jegesedési réteg 300 lábas távolságán belül nem volt mérési adat, akkor lefele és felfele is az első elérhető adat lett figyelembe véve. Ez minden esetben olyan környezeti mérési adatokat biztosít az adatbázisnak, amelyek a TEMP táviratok összeállítási módszeréből adódóan legalább az egyik szintben reprezentatívak lesznek, ha a környezet jól jellemezte a jegesedés környezeti feltételeit.

dátum	pirep ideje	jegesedés erőssége	alja	teteje	helye	felszállás ideje	Péczely	Péczely alkalmi	Péczely napi	HGHT feet	TEMP C	RELH %	osztályozás
2010.03.11	21:35	mod	4000	4000	frnal	12:00	5	5	5	3051	-4,5	91	1
2010.03.11	21:35	mod	4000	4000	frnal	24:00	5			4056	-6,5	95	0
2010.03.11	21:35	mod	4000	4000	frnal	12:00	5			4355	-7	89	1
2010.03.13	12:21	mod	6000	7000	tca	12:00	2	2	2	6554	-9,9	94	0
2010.03.13	12:21	mod	6000	7000	tca	12:00	2			6587	-9,9	94	0
2010.03.13	12:21	mod	6000	7000	tca	24:00	2			7234	-12	86	1
2010.04.05	9:42	sev		12000	?	12:00	1	1	1	11685	-9,2	95	0
2010.04.05	9:42	sev		12000	?	0:00	1			12226	-11,6	87	1
2010.04.05	9:42	sev		12000	?	12:00	1			12952	-11,9	94	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2	2	2	4952	-1,5	86	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			5088	3,4	65	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2			6027	-4,3	94	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			6080	0,8	68	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2			6312	-4,8	94	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			7008	-1,7	71	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			7443	-2,3	55	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			8511	-3,7	29	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2			8580	-9,2	91	0

1. ábra Az adatbázis egy részlete

Ekkor minden kigyűjtött jegesedési eseményhez két-két felszállás adatai voltak hozzárendelve. Az egyes időjárás-situációk jegesedéssel kapcsolatos sajátosságaiból és az időjárás természetes időbeli változásából adódóan azonban gyakran csak az egyik felszállás, sőt esetenként még az egyik sem reprezentálta megfelelően a jegesedési feltételeket. Ahhoz, hogy a jegesedés környezeti feltételeit a lehető legpontosabban reprodukálják, a megfelelő statisztikai vizsgálatok elvégzésére is alkalmas adatsort hozunk létre, szükség volt a nem megfelelő adatok kiszűrésére. Ennek megfelelően az adatbázis adatai attól függően, hogy mennyire reprezentálták az észlelt jegesedés feltételeit az adott rétegben, szűrésre, osztályozásra kerültek. Ezt a következők szerint végeztük: először az adott jegesedési eseményhez kapcsolódó két felszállás közül került kiválasztásra az, amelyik jobban reprezentálta a jegesedés feltételeit. Itt reprezentatív körülmények alatt az önké-

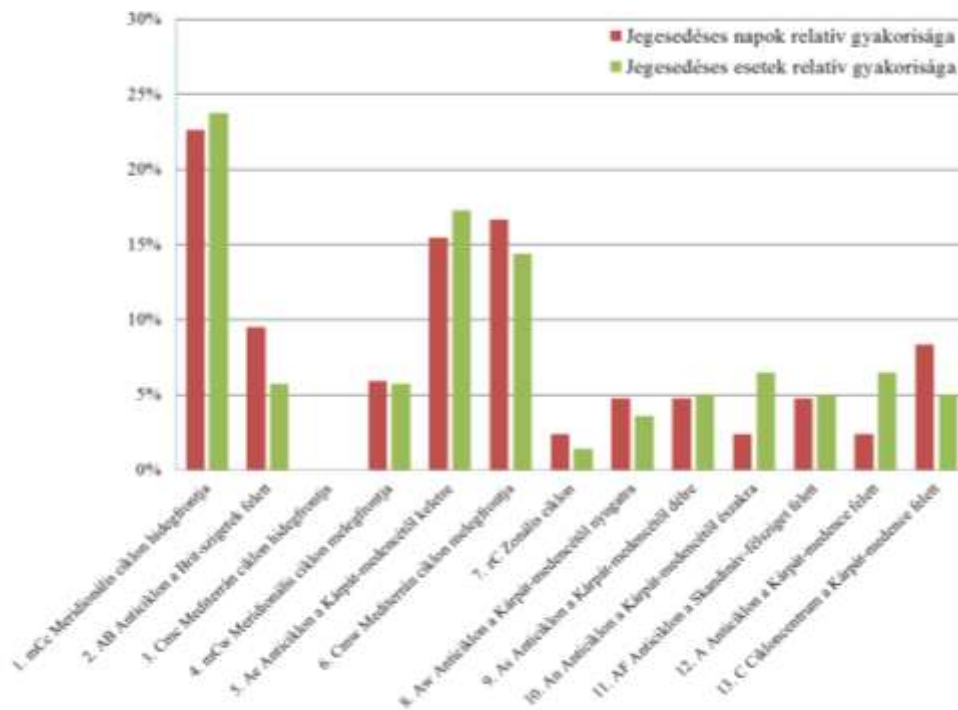
<sup>5</sup> Terminal Manouvering Area, vagyis a légitforgalmi irányításnak a repülőtér körzetében kijelölt területe, LHBP esetében egy kb. 90 km átmérőjű szabálytalan kör.

nyesen kiválasztott 80%-os relatív nedvesség feletti és a 0°C alatti értékek együttes előfordulását értjük. A felszállások kiválogatása után a jegesedési rétegre vonatkozóan rendelkezésre álló összes adat osztályozásra került. Ez alapján az adatok a következő négy osztály valamelyikébe kerültek besorolásra:

- 0 – kiválasztott felszállásban szerepel és a felszállás nagy részben vagy teljes egészében megfelelően, valamint az adott adat is megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh > 80\%$ ,  $T < 0^\circ\text{C}$ );
- 1 – nem kiválasztott felszállásban szerepel, a felszállás nagy részben vagy teljes egészében megfelelően, valamint az adott adat is megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh > 80\%$ ,  $T < 0^\circ\text{C}$ );
- 2 – a felszállás nagy részben megfelelően, de az adott adat nem megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh < 80\%$ ,  $T > 0^\circ\text{C}$ );
- 3 – elvetett felszállásban szerepel, sem a felszállás összességében, sem pedig az adott adat nem megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh < 80\%$ ,  $T > 0^\circ\text{C}$ ).

## MAKROSZINOPTIKUS HELYZETEK VIZSGÁLATA

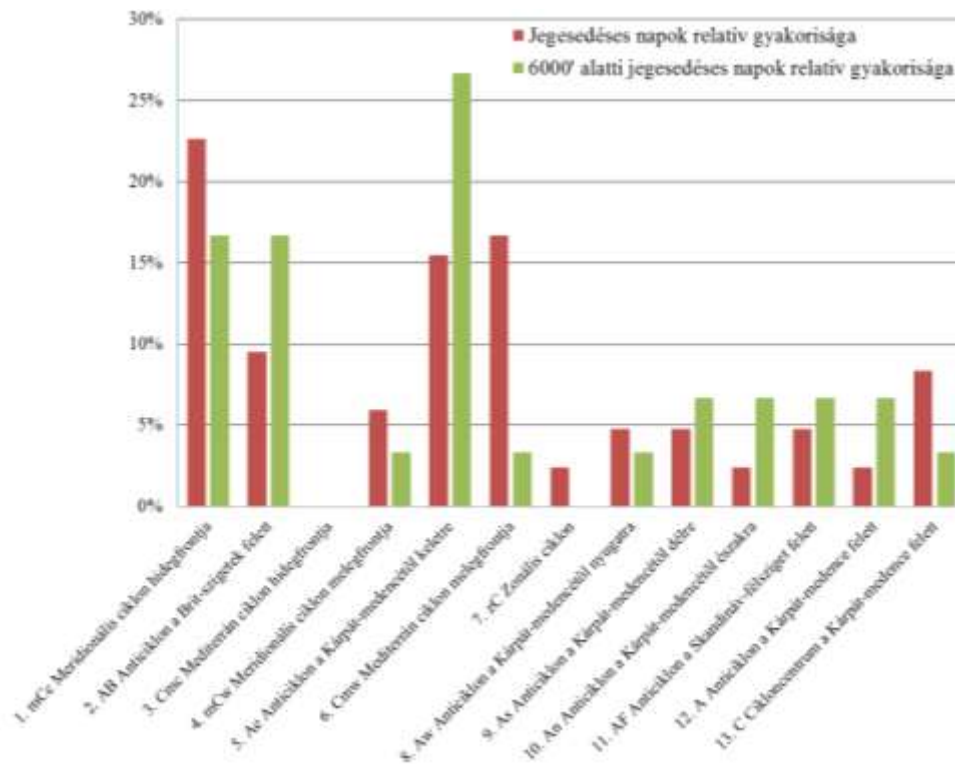
Mielőtt a tényleges eredmények ismertetésére és értelmezésére rátérnénk, tisztáznunk kell, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján és a szubjektív, empirikus észlelési metodika miatt, a vizsgálati következtetéseket csak egy logikai irányban tudtuk megtenni.



2. ábra A jegesedéses napok és esetek relatív gyakorisága az egyes Péczely-féle makroszinoptikus időjárás-helyzetekben

Ez alatt azt értjük, hogy míg pozitív észlelési esemény (pl.: jegesedést detektáltak) előfordulása-  
kor biztosak lehetünk abban, hogy az esemény bekövetkezett, addig az ellenkező esetben (pl.  
nem érkezett jelentés jegesedésről) nem egyértelmű, hogy nem fordulhatott elő. Mivel a jegese-  
dés mérése, észlelése tapasztaláson alapuló módszerek alkalmazásával történik, ezért a közeljö-  
vőben a fent említett logikai irányban változás nem várható. Ebből következik, hogy a mérési  
adatok olyan részletes statisztikai elemzésére, mint amilyen a távérzékeléssel felderíthető időjárá-  
si jelenségek (pl.: zivatartevékenység) esetében lehetséges, egyelőre nem vagy csak erősen egy-  
szerűsítő feltételekkel valósítható meg.

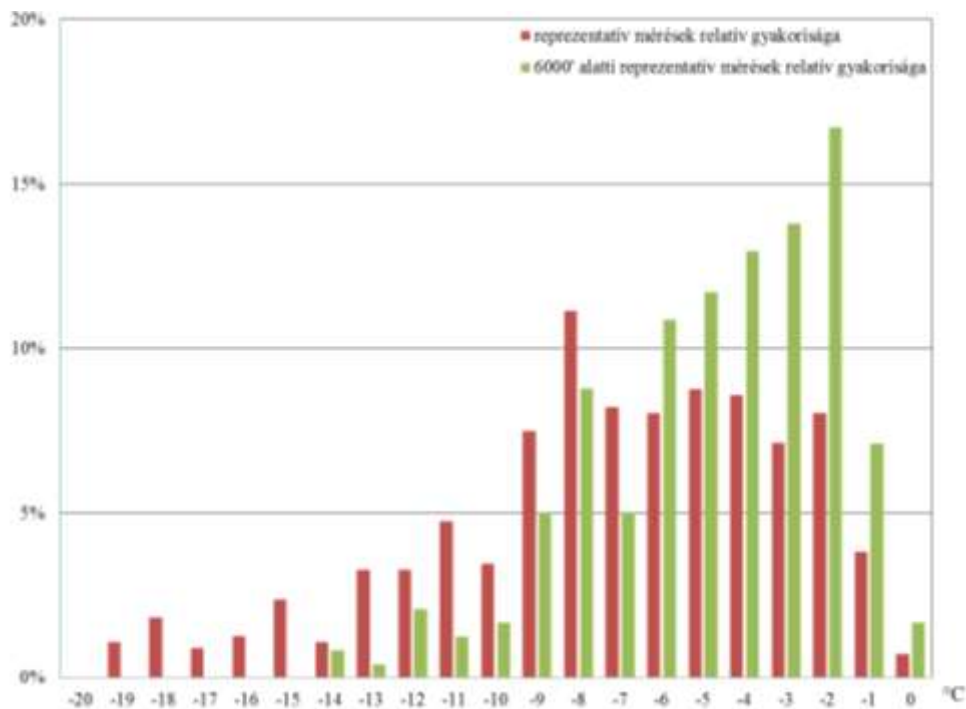
Az 2. ábrán első ránézésre kitűnik, hogy az összes jegesedés nap több, mint 50%-át mindössze 3  
makroszinoptikus időjárási szituáció adja. Ezek közül kettő ciklonális (*mCc*, *Cmw*), egy pedig  
anticiklonális (*Ae*) helyzetet reprezentál. A ciklonális esetek mindegyike meridionális irányítottságot  
jelent, ami a lehetséges erős hőmérsékleti advekciónak miatt a potenciális jegesedés feltételeinek kedvez.  
Az anticiklonális *Ae* szituáció pedig a téli félévben a hideg légpárnás időjárási helyzet kialakulását  
segítheti, lehetőséget teremtve ezzel egy vastag, alacsonyszintű stratus felhőzet létrejöttének. Ameny-  
nyiben a 2. ábrán zöld színnel jelölt jegesedéses esetek relatív gyakoriságának eloszlására tekintünk,  
észrevehető, hogy az *An* és *A* makroszinoptikus helyzetekben a jegesedéses napok relatív gyakorisá-  
gához képest több, mint kétszeresére nőtt. Ez arra vezethető vissza, hogy mindkét szituáció kedvez a  
korábban említett hideg légpárnás helyzetnek, amelyben annak stabilitása és így permanens volta  
miatt nagyobb valószínűséggel fordul elő napon belül többször jegesedési esemény.



3. ábra A jegesedéses napok és a 6000' alatti jegesedéses napok relatív gyakorisága az egyes Péczy-féle makroszinoptikus időjárási helyzetekben



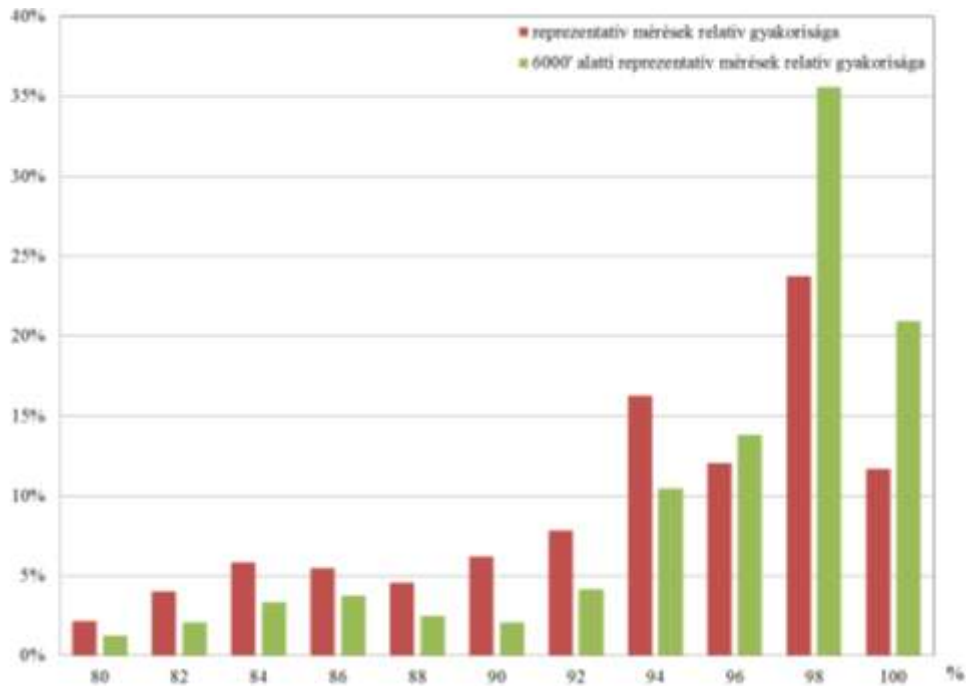
A 3. ábrát megvizsgálva látható, hogy az alacsonyabb szinteken (<6000') előforduló jegesedéses napok relatív gyakorisága jelentősen eltérő képet mutat a jegesedéses napok hasonló jellemzőjéhez képest. A ciklonális szituációkban minden esetben jelentősen csökkent, míg az anticiklonális helyzetekben szinte minden esetben jelentősen nőtt a gyakoriság. Számszerűsítve ez azt jelenti, hogy a jegesedéses napok között a ciklonális napok aránya az 56%-os értékről, az alacsonyszintű jegesedés esetében kevesebb, mint felére, 27%-ra csökkent. Mindezek alapján levonhatjuk azt a konzekvenciát, hogy jegesedési szempontból, a pilótánélküli repülő eszközök tipikus üzemeltetési magasságát figyelembe véve az anticiklonális helyzetek nagyobb jelentőséggel bírnak. Ugyanis az időjárási feltételek statikus fennállásakor, jellemzően a vázolt anticiklonális szituációkban, a jegesedés elsősorban alacsonyszintű felhőzetben vagy annak közvetlen környezetében fordul elő. Ezekben a helyzetekben a pilóta nélküli repülőgépek irányítása a rossz látási viszonyok miatt gyakran nem végezhető vizuálisan, így a potenciális jegesedési szituációk is nehezebben elkerülhetővé válnak. Mindezt tovább tetézi, hogy a réteges felhőzet általában nem rendelkezik határozott kontúrokkal, a felhő és környezete között diffúz átmenet van, megnehezítve ezzel annak megítélését is, hogy a repülőeszköz felhőbe került-e.



4. ábra A jegesedés körülményeit reprezentáló környezeti hőmérsékletek relatív gyakorisága az összes és a 6000' alatti méréseket figyelembe véve

A 4. ábra a jegesedés körülményeit jól reprezentáló, azaz 0-s osztályú mérési adatokat dolgozza fel. Az összes reprezentatív mérést figyelembe véve jegesedés a (-8)-(-9)°C közötti értékek mellett fordult elő a legnagyobb gyakorisággal, ugyanakkor közel kiegyensúlyozottan jelenik meg a (-2)-(-10)°C közötti tartományban. Amennyiben a zöld színnel jelölt 6000' alatti reprezentatív méréseket tekintjük, akkor az alacsonyabb hőmérsékletektől indulva, a -2°C-os maximális gyakoriság eléréséig egy meredek, lineáris trendet figyelhetünk meg, ami a csúc elérése után gyors

lecsengést mutat. A  $-10^{\circ}\text{C}$ -nál hidegebb és a  $-1^{\circ}\text{C}$ -nál melegebb értékek összesített relatív gyakorisága mindössze 8%-ot tesz ki.



5. ábra A jegesedés körülményeit reprezentáló relatív nedvesség adatok relatív gyakorisága az összes és a 6000' alatti méréseket figyelembe véve

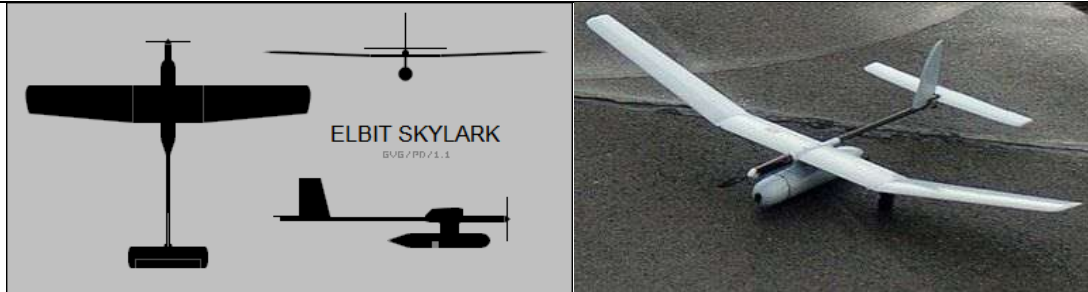
A hőmérsékletek relatív gyakoriságát szemléltető ábrához hasonlóan, a relatív nedvesség hasonló jellemzőinek eloszlása is jelentősen változik a 6000' alatti reprezentatív mérések esetében. Jól észrevehetően megnő a telítéshez közeli relatív nedvesség értékek gyakorisága.

## A JÉGAKKRÉCIÓ BECSLÉSE

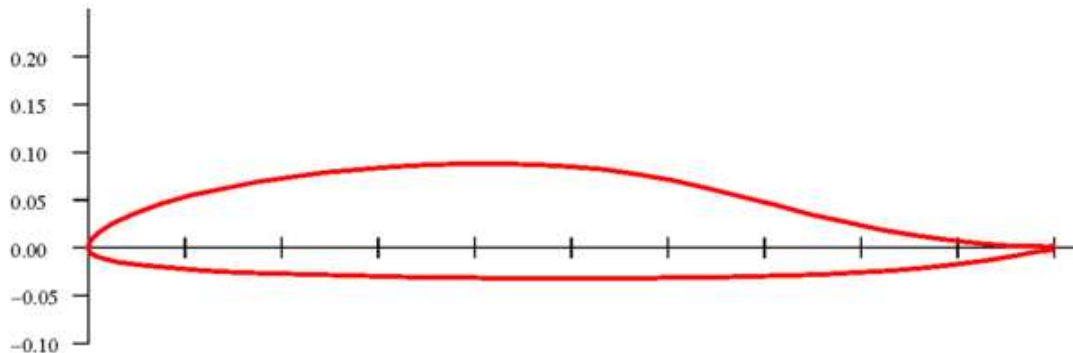
Az UAV-k felületén (elsősorban szárnyain) kialakuló jéglerakódás mennyisége (tömege), intenzitása és alakja (geometriája) egyaránt fontos. Munkánkban az akkréció becsléséhez a korábban már alkalmazott Lozowski-féle modellt használtuk. A modell a repülőeszköz felülete és környezete közötti energiafluxusok vizsgálatán, és ezen fluxusok összegének zérus értékén alapuló differenciál-egyenlet megoldásán alapul. [5] A modell nem forgó hengerre végzi el a jéglerakódás becslését, ami egyszerűsítést tesz lehetővé a számítások elvégzése során.

A becsléshez a réteges felhőzetben tapasztalható cseppméret-eloszlást ( $\Gamma$ -eloszlás) alkalmaztunk  $20\ \mu\text{m}$ -es közepes cseppátmérővel, ami jól közelíti a vizsgált meteorológiai helyzetben előfordult St felhőzet cseppméret-karakterisztikáját. [6]

A jégbevonat kialakulását az ELBIT cég Skylark-I LE SUAV repülőeszközén (6. ábra.) modelleztük, melynek a szárnyprofilját jól közelíti a Roncz Low Drag szárnyszelvény (7. ábra.)  $0,3\ \text{m}$  húrhosszal (mivel a húrhossz a szárny mentén változik, ezért alkalmazzuk az említett konstanst). Az említett alakú és méretű szárny esetén az illeszkedő henger átmérője  $0,0105\ \text{m}$ -nek adódott. [7]



6.ábra. Az ELBIT cég Skylark I-LE SUAV repülőeszköze



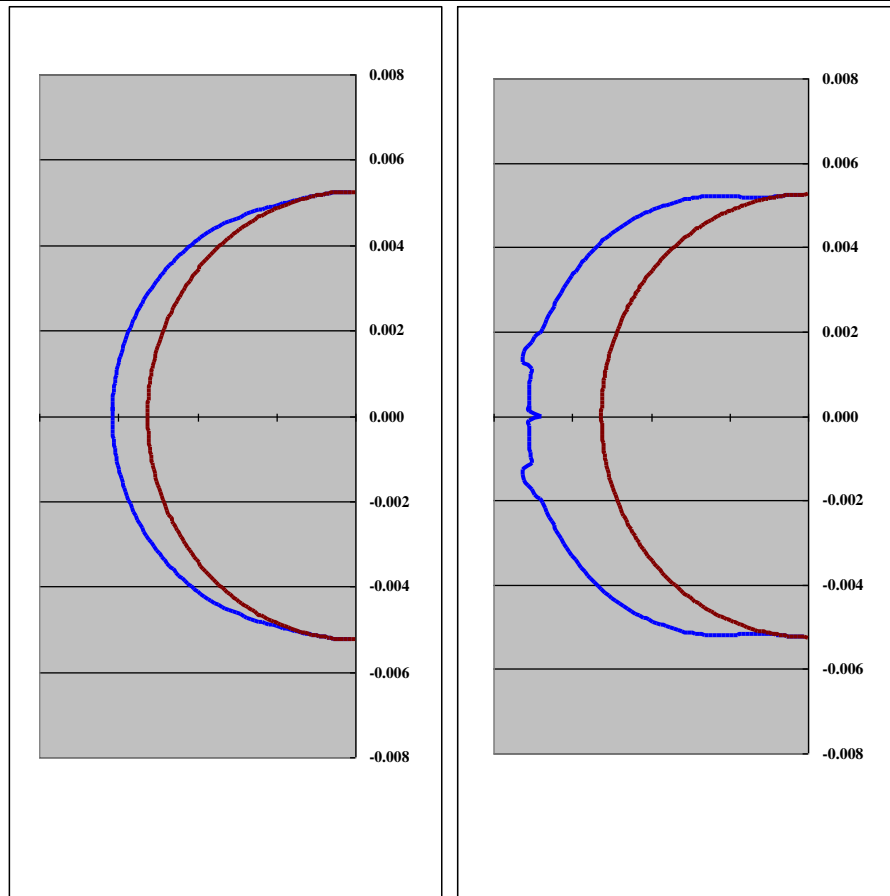
7.ábra. A Roncz Low Drag szárnyszelvény geometriája. Forrás: <http://www.worldofkrauss.com/foils/1791>

A repülési sebességet a 10 és 20 m/s értékkel vizsgáltuk, ami megfelel a típusra megadott értékintervallumnak.

## ESETTANULMÁNY

A jégakkréció becsléséhez egy – a Kárpát-medencében igen gyakori téli – ún. hideg légpárnás szituációt választottunk, melynek jellegzetessége az alacsony felhőalappal rendelkező, túlhűlt St felhőzet kialakulása és hosszú időn keresztül (5-15 nap) történő fennmaradása. A konkrét meteorológiai szituációt a 2006. január 14-én mért és észlelt időjárási adatok segítségével reprezentáljuk, valamint feltételezzük, hogy a túlhűlt folyékony víztartalom (LWC) értéke 0,0005 g/kg volt. Az ezen a napon beérkezett AIREP táviratok alapján a felszíntől számítva 4000-5000 láb magasságig erősen jegesítő volt a légkör Budapest környékén. Az adatok alapján a modellt 1010 hPa statikus légnyomásnak megfelelő magasságon,  $-3^{\circ}\text{C}$  környezeti hőmérséklet mellett futtattuk le, a korábban megadott LWC értékkel, figyelembe véve a Skylark-I SUAV geometriai és műszaki karakterisztikáit. A hipotetikus repülési időtartam 5 perc.





8. ábra A szóban forgó SUAV szárnyfelületét közelítő hengeren történő jéglerakódás becslése egy hideg légpárnás szituációban. Bal oldal: repülési sebesség 10 m/s. Jobb oldal: repülési sebesség 20 m/s. Kék szín a becsült jéglerakódás felszínét, a sötétpiros pedig a szárnyprofilhoz illeszkedő henger felszínét jelöli.

A 8. ábrán feltüntetett eredmények 5 perces hipotetikus repülés után kialakuló jégbevonatot reprezentálnak, melyek esetében a szárnyprofil (henger) szinte teljes felületére modellezhetővé vált a jégakkréció eloszlása. Az ábrán világosan látható, hogy az adott meteorológiai szituációban már 10 m/s repülési sebességnél is jól mérhető jégbevonat képződik (kék görbe), melynek maximuma a belépő élnél helyezkedik el, ami száraz típusú jegesedésre utal. A számított maximális jegesedési intenzitás 0,18 mm/perc értékű, ami gyenge jegesedésre utaló érték az FAA skáláján. Ugyanakkor, figyelembe kell venni, hogy a jegesítő zónában történő huzamosabb idejű repülés esetén a jégbevonat vastagsága tekintélyes méretűvé nőhet!

Amennyiben a repülési sebesség a kétszeres értékre nő (20 m/s), a jegesedési folyamat jellege alapvetően megváltozik! Ebben az esetben a jéglerakódás típusa már nedves, azaz a maximális jégvastagság nem a belépő élnél található, hanem attól távolabb alakul ki (8. ábra, jobb oldali kép). Ez a típus aerodinamikai szempontból veszélyesebb az előbbinél, ráadásul a maximális jegesedési intenzitás már 0,43 mm/perc értékű, ami már közepes erősségűnek felel meg az FAA skálán. Ez azt jelenti, hogy kevesebb, mint 30 perc repülési idő alatt 10 mm-nél vastagabb jégbevonat képződése várható, az adott meteorológiai és aerodinamikai feltételek mellett.

A pilóta nélküli repülőeszközök gyors elterjedése és többcélú alkalmazása megkívánja egy meteorológiai támogató rendszer kialakítását. Ennek a rendszernek – véleményünk szerint – a korábban mért adatok statisztikus feldolgozására és numerikus modell-számításokra célszerű épülnie a real-time adatok ismerete mellett.

Munkánkban az UAV-k szempontjából fontos, kritikus repülésmeteorológiai jelenség (felületi jegesedés) repülésmeteorológiai megközelítésével valamint számszerű modellezésének lehetőségével foglalkoztunk.

Megállapítottuk, hogy a 6000' alatti jegesedési szituációk, több mint 90%-a a  $-1^{\circ}\text{C}$  és  $-9^{\circ}\text{C}$  közötti hőmérsékleti tartományba esett valamint felhözethez kapcsolódóan jelent meg. Makroszínoptikus szempontból az anticiklonális időjárási helyzetek gyakorisága volt a legnagyobb a tapasztalt jegesedési esetekben, melyek fennmaradási időtartama akár 15-20 nap is lehet.

Egy konkrét téli hideg légpárnás időjárási helyzetre vonatkozóan – figyelembe véve a vizsgált SUAV repülőeszköz aerodinamikai tulajdonságait – becslést adtunk a szárnyon képződő jégbevonat növekedési intenzitására, alakjára és a jegesedés jellegére, egyaránt. Láttuk, hogy a repülési sebesség függvényében eltérő intenzitás és jégbevonat jelenik meg a szárnyon. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy az adott körülmények közötti repülési időtartam jelentősen befolyásolja a kirakódott jég mennyiségét és így a repülőeszköz repülési tulajdonságait is.

A felhasznált jégbevonat-modell jól használható numerikus modellek által szolgáltatott prognózisok alapján történő felületi jegesedési előrejelzések készítéséhez is, melynek kialakítása munkánk további részét képezi a jövőben.

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GENT, R. W., DART, N. P., CANSDALE, J. T.: Aircraft Icing. Philosophical Transactions of The Royal Society. Lond. A., 358, 2000. 2873-2911.
- [2] LIST, R.: Ice accretions of structures. Journal of Glaciology, Vol. 19. , No. 81, 1977, 451-465.
- [3] BOTTYÁN, Z.: A szárnyprofil-geometria és az ütközési hatékonyság kapcsolata a repülőgépek felületi jegesedésének folyamata során. Repüléstudományi Közlemények, Vol. 24., No. 1., 43-50.
- [4] PÉCZELY, G. (1961): Magyarország makroszínoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése. OMI Kisebb Kiadványai No. 32: 132.
- [5] LOZOWSKI, E. P., STALLABRASS, J. R., HEARTY, P. F.: The Icing of an Unheated, Nonrotating Cylinder. Part I: A Simulation Model, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 22., 1983, 2053-2062.
- [6] GERESDI, I.: Felhőfizika. Dialóg Campus Kiadó. Budapest-Pécs. 2004.
- [7] BOTTYÁN, Z.: Estimation of structural icing intensity and geometry of aircrafts during different conditions - a fixed-wing approach. Időjárás, Vol. 115., No. 4., 2011., 275-288.