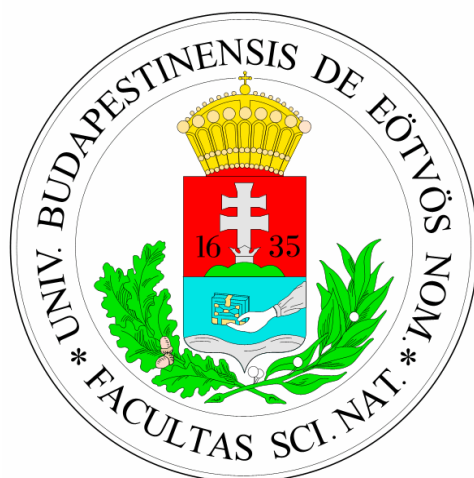


EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
METEOROLÓGIAI TANSZÉK



Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtér
szélviszonyainak vizsgálata és szélelőrejelzési
módszerek

KÉSZÍTETTE: TAKÁCS PÉTER

Témavezető:

KARDOS PÉTER



HungaroControl
Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.

HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.

RIRK-FMET

Tanszéki konzulens:

DR. WEIDINGER TAMÁS

ELTE Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2010.

Tartalom

1. Bevezetés.....	4
2. A Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtér, a meteorológiai mérőhálózat és az adatfeldolgozás.....	6
2.1. Ferihegyi repülőtér története	6
2.2. Ferihegyi repülőtér napjainkban	8
2.2.1. Repülőtéri futópályák.....	9
2.3. A meteorológiai mérőhálózat (ALMOS)	9
2.3.1. Szélmérők a földetérési zónánál.....	10
2.3.2. A meteorológiai mérőkert	12
3. Ferihegy szélviszonyainak vizsgálata.....	13
3.1. Az adatfeldolgozás folyamata	13
3.2. Szélirány vizsgálatok	16
3.3. Szélsébség vizsgálatok.....	20
3.4. A meteorológiai mérőkert mérési eredményei	28
4. Szélelőrejelzés Ferihegyen	30
4.1. Szélelőrejelzések fontossága a pályairány meghatározásában.....	30
4.2. Pályairány meghatározása	32
4.3. Szél-előrejelzési módszerek	34
4.3.1. Jelenlegi módszerek, eszközök	34
4.3.2. A kutatás során használt módszerek	35
4.4. WRF EMS környezeti modellező rendszer felhasználása	36
4.4.1. Technikai háttér.....	36
4.4.2. Előrejelzési szakaszok.....	37
4.5. A magassági szél és 10 méteren mért szél közötti kapcsolat.....	39
4.6. A WRF-EMS szélelőrejelzésének verifikálása	45

4.6.1.	Magassági szélelőrejelzések verifikálása.....	45
4.6.2.	10 méteres szélelőrejelzések verifikálása.....	49
4.7.	Az előrejelzési eredmények összegzése.....	52
5.	Esettanulmányok	53
5.1.	Csapadékos időjárás a Kárpát-medencében 2008 nyarán	55
5.1.1.	A MYJ séma 2008. július 23-án.....	56
5.1.2.	A YSU séma 2008. július 23-án.....	57
5.1.3.	2008. július 23.-i modellfuttatások összegzése	58
5.2.	Nyári záporok 2009 júniusában	59
5.2.1.	A MYJ séma 2009. június 28-án.....	60
5.2.2.	A YSU séma 2009. június 28-án.....	61
5.2.3.	2009. június 28.-i modellfuttatások összegzése	62
5.3.	Hidegfront utáni erős északnyugati szél 2009 őszén	63
5.3.1.	A MYJ séma 2009. október 13-án	64
5.3.2.	A YSU séma 2009. október 13-án	65
5.3.3.	2009. október 13-i modellfuttatások összegzése.....	66
5.4.	Ködös időjárás Ferihegyen 2010 február elején.....	67
5.4.1.	A MYJ séma 2010. február 4-én	68
5.4.2.	A YSU séma 2010. február 4-én	69
5.4.3.	2010. február 4-i modellfuttatások összegzése	70
5.5.	Az esettanulmányok összesítő elemzése.....	71
6.	Összegzés	72
7.	Felhasznált irodalom	89

1. Bevezetés

A repülés lételeme a levegő, a repülésmeteorológia ezért is a légiközlekedés egyik nélkülözhetetlen szakterülete. Meghatározó szerepe van a pontos előrejelzéseknek a repülésbiztonságban, a repülőtér üzemeltetésében, a környezetszennyezés és zajterhelés csökkentésében.

A dolgozat célja a Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtér szélviszonyainak részletes megismerése és a légiforgalmi-irányítás számára időben és térben az eddigieknél pontosabb és részletesebb rövidtávú szélelőrejelzés fejlesztése. A repülőtéren két fő pályairányt használnak a légiforgalmi irányítók, amely alapján kijelölik az induló és érkező repülőgépek útvonalát. A pályairányok számjele a futópálya tájolásából származik. Az egyik irány a 31-es, amelynél az induló járatok Budapest irányába szállnak fel és Vecsés felől érkeznek a repülőtérre. Ez az előnyben részesített, mert így a fővárosra és környezetére jutó zajterhelés kisebb. A 13-as irány a másik, ahol Budapest felől szállnak le a gépek és Vecsés irányába, délkelet felé indulnak útnak. Célunk, hogy a tanulmány segítségével növeljük a repülőtér működési hatékonyságát azáltal, hogy 24 illetve 36 órás időtartamra előrejelezzük a várható szélirányt, szélesebséget, és ebből leszarmasztjuk az optimális pályairányt. Ezzel csökkenthető a felesleges pályairányváltások száma, amely hatással van a repülőtér környezetét érő zajterhelésre, a légi járatok útvonalának tervezésére, valamint többlet üzemanyag-fogyasztást okoz. E feladatot a WRF-EMS mezoskálájú nem-hidrosztatikus előrejelzési modell adaptációjával oldottuk meg. A lokális szélelőrejelzés sikeressége alapján optimalizáltam a modell beállításait.

A repülőtér tervezése óta 70 év telt el és ezen időszak alatt jelentősen megnövekedett a járatok száma, az 1950-es kezdeti 50 ezres utasforgalom 2008-ban meghaladta a 8,4 millió főt. Az ICAO (Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet) Annex III. nemzetközi szabályozása és az IATA (Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség) számos olyan feltételt szab, amelynek eleget kell tennie a repülőtéri meteorológiai irodának és a repülőtéri műszerezettségnek.

A második fejezetben részletesen megismerjük a második világháború előtti tervezés eseményeit és az akkori mérési módszereket, valamint a repülőtér napjainkig

tartó fejlődését, továbbá a meteorológiai mérőhálózatot. Ezen belül a szélmérő hálózat műszereit.

A harmadik fejezet tartalmazza (i) a szélstatistikai vizsgálatokat, amelyek segítséget nyújtanak a helyi áramlási viszonyok részletesebb megismeréséhez, valamint (ii) a rádiószondás szélmérések és a repülőtéri széladatok összehasonlító elemzését.

A negyedik fejezetben a jelenleg használt szélelőrejelzés ismertetése után az általunk fejlesztett WRF-EMS modellre alapozott előrejelzési technikát mutatom be. A fejezetet az új módszer statisztikai vizsgálata zárja.

Az ötödik fejezetben az esettanulmányok kaptak helyet. Végezetül megfogalmazok néhány javaslatot az új eljárás operatív alkalmazásával kapcsolatban.

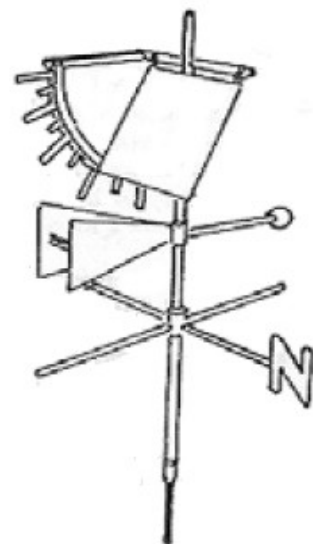
2. A Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtér, a meteorológiai mérőhálózat és az adatfeldolgozás

2.1. Ferihegyi repülőtér története

Világszerte a repülőterek futópályáit – amennyiben nem korlátozza helyi adottság (domborzat, sziget, tó vagy pl. tenger) – az uralkodó szélirányoknak megfelelően tájolva tervezik és építik meg. Ennek fontossága azon alapszik, amelyet Leonardo Da Vinci már megállapított a madarak repüléséből a XV. században: a felszállást és a leszállást mindig széllel szemben kell végrehajtani! A szárny körül már álló helyzetben is kialakul áramlás, ha fúj a szél és ez csökkenti a felszálláshoz szükséges sebességet. Leszálláskor pedig szintén kisebb sebességgel lehet megközelíteni a futópályát. Hátszél esetén a helyzet megfordul és ez kedvezőtlenül hat a földközeli manőverező repülőgép aerodinamikai tulajdonságaira (Horváth, 1978).

A második világháború előtt vetődött fel egy új repülőtér építésének terve, amely kiváltaná az addigra már teljes kapacitással üzemelő Budaörsi repülőteret. Ez volt akkor Magyarország belföldi és nemzetközi repülőtere is. 1938 tele és 1939 tavasza közötti időszakban Pestszentlőrinc-Rákoshegy-Vecsés települések által határolt területet jelölték ki az új repülőtér számára. A terület 1723-tól a Grassalkovich család tulajdona volt, amelyet az 1790-es években Mayerffy Xavér Ferenc budai sörfőző bérelt. A jégkorszaki Duna-hordalékból és az azt fedő futóhomokból álló 140-150 méter magas homokbuckákat nevezték el róla Ferihegynek. 1928-tól a Magyar Tudományos Akadémia tulajdonába került a birtok.

Dr. Hille Alfréd vezetésével 1939. február 1-én kezdődnek meg a mérések és megfigyelések. A Kereskedelmi Minisztérium Légügyi Főosztálya Orincsi László leszerelt repülő időjelzőt¹ bízta meg az észlelések elvégzésével. A fővárostól lévő csekély távolság nem volt számottevő abban, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálat Budapest-kőbányai mérőállomásának

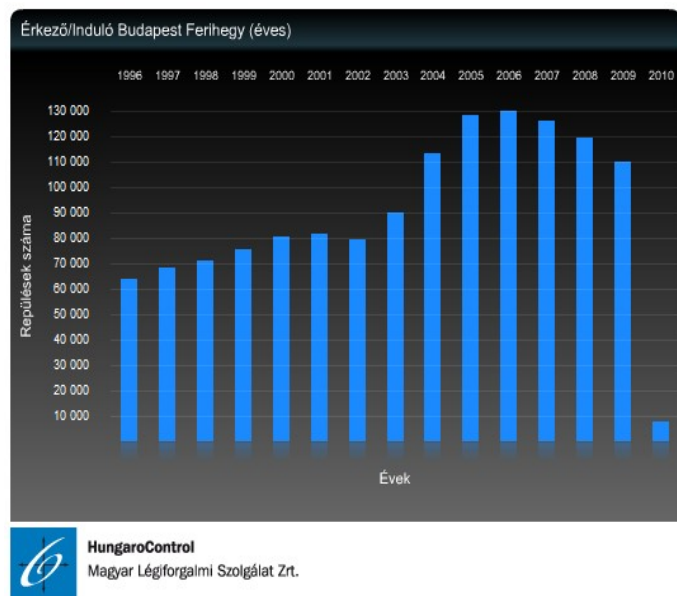


1. ábra Wild-féle nyomólapos szélmérő.

¹ A honvédségi repülésmeteorológus akkori megnevezése

légnyomás, hőmérséklet, relatív nedvesség és csapadék értékeit használják fel, amelyek jó közelítéssel alkalmazhatóak a repülőtérre. Nagyobb hangsúlyt fektettek a szélviszonyokra, amely a futópálya és az épületek fekvésére van hatással, illetve a párasságra, ködre, és az alacsony szintű felhőzetre, amely a repülést jelentősen befolyásolja és szoros kapcsolatban áll a domborzattal. Az észlelések a nappali órákban történtek, nyáron 7-17 óra között, télen pedig 8 és 16 óra közötti időszakban. Az említett időjárási paraméterek nagyrészt becsléssel kerültek megállapításra, egyedül a szélirány és szélesség méréséhez állt rendelkezésre egy Wild-féle nyomolapos szélmérő (1. ábra). A szélirányok gyakoriságának megállapítása 1939. február 1-től 1941. október 31-ig tartó majdnem három éves időszakban 3 ütemben történt, amely során 8590 észlelést regisztráltak (Hille, 1947).

A repülőtér tervezésekor több érdeket is figyelembe vettek, így az északnyugati területen a polgári repülés számára biztosítottak volna létesítményeket, a délnyugati részekben pedig a katonai repülés részére. A keleti oldalon a sportrepülés szerelmeseinek jutott hely. 1940-től már folytak repülések az akkor még füves futópályán. 1942-től kezdődött meg a terminál építése ifj. Dávid Károly tervei alapján, amely felülnézetben egy repülőgépet szimbolizál és napjainkban Ferihegy 1 terminál épületeként funkcionál. A második világháború alatt komoly károkat szenvedett a repülőtér, ideiglenesen német és orosz csapatok is megszállták. 1947-ben döntöttek a repülőtér újjáépítéséről, eltakarították a robbanószereket és helyreállították a sérült épületeket. 1948-ban kezdték lebetonozni a futópályát 2500 méter hosszan a mérési eredmények alapján a leggyakoribb széliránynak megfelelően észak-nyugati irányba, 310° felé tájolva. 1950. május 7-én volt az ünnepélyes átadó és innentől átveszi a budaörsi repülőtér forgalmát. A növekvő forgalom és a nagyobb repülőgépek miatt 1958-ban 3010 méterre hosszabbítják a pályát. Az egyes pálya szélméréseit felhasználva és a pontos tájolás eredményeképpen

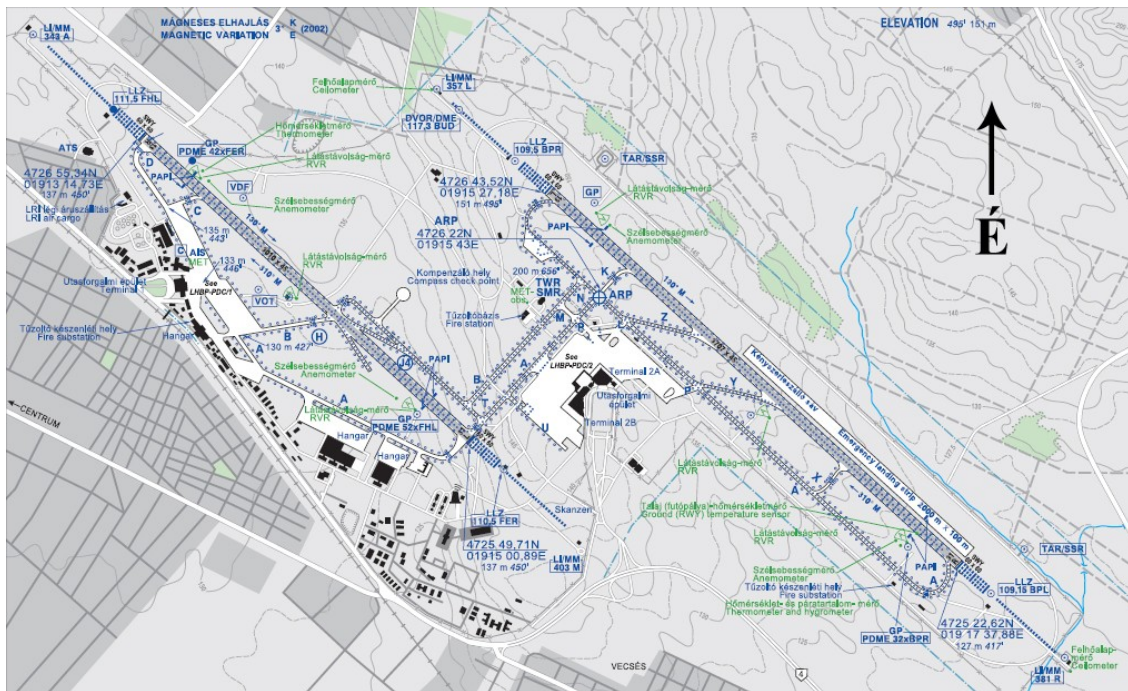


2. ábra Érkező és induló járatok száma Ferihegyen (2010. március).

1983. augusztus 30-ára megépül párhuzamosan a kettős pálya 3707 méteres betoncsíkkal. Napjainkban is ez a két futópálya bonyolítja le az évente több mint 100.000 érkező és induló repülőgép forgalmát (2. ábra).

2.2. Ferihegyi repülőtér napjainkban

Ferihegy Dél-Pesten 1500 hektárnyi területen terül el 16 kilométerre a város szívéből a XVIII. kerületben. Magyarország legnagyobb nemzetközi repülőtere, amelynek forgalma megközelíti a 8 millió utast évente. Két futópályával, 27 gurulóúttal, amelyekből tizenegy a pályákat látja el és két terminállal rendelkezik. Ferihegy 1-es terminál a „fapados” járatok kiszolgálásáért felelős. Ferihegy 2 pedig két terminálépületből áll: Ferihegy 2A, amely 2008 nyarától a schengeni országok járatait látja el, valamint Ferihegy 2B terminálból, ahol a Schengeni egyezményen kívüli országok repülőgépeit fogadják.



3. ábra Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtér domborzati térképe.

2.2.1. Repülőtéri futópályák

A repülőtéren a két futópálya párhuzamosan helyezkedik el 130° és 310° azimut irányok felé tájolva. Az egyes pálya (13R/31L)² 3010 méter hosszú, 45 méter széles betonburkolatú. A kettes pálya (13L/31R)³ 3707 méter hosszúságú és szintén 45 méter széles betonburkolattal rendelkezik.

A repülőtér domborzata egyenletesnek tekinthető, de az áramlások kialakításában nagy szerepet játszanak a helyi adottságok (3. ábra). A legmagasabb pont a 13L pályaküszöb 151 méteres tengerszint feletti magassággal. A repülőtér legmélyebben fekvő része a 31R földterési pont, azaz a kettes pálya Vecsés felőli vége, amely 127 méteren helyezkedik el. Ez körülbelül 0,65%-os lejtőt jelent. Az egyes pálya végei között nincs ekkora szintbeli különbség, mindössze 10 centiméter. A 13R 136,6 méter magasan van a Balti alapszinthez képest, a 31L pályaküszöb pedig 136,7 méteren.

2.3. A meteorológiai mérőhálózat (ALMOS)

Ferihegyen a meteorológiai mérőrendszer (a továbbiakban ALMOS) 2004 júliusában kezdte meg működését, és ezzel kiváltotta az 1984 óta üzemelő ELECMA rendszert. Az ICAO és a WMO által előírt szabványok szerint lett telepítve az új mérőrendszer. A műszerparkot képező eszközök az 1. táblázatban láthatóak. A szélmérő műszerek a vizsgálat szempontjából a legfontosabbak, de nem szabad elhanyagolni a repülőtér működéséhez szükséges többi érzékelőt. Ezek közül még a felhőalap-mérő és az RVR mérő (Runway Visual Range –

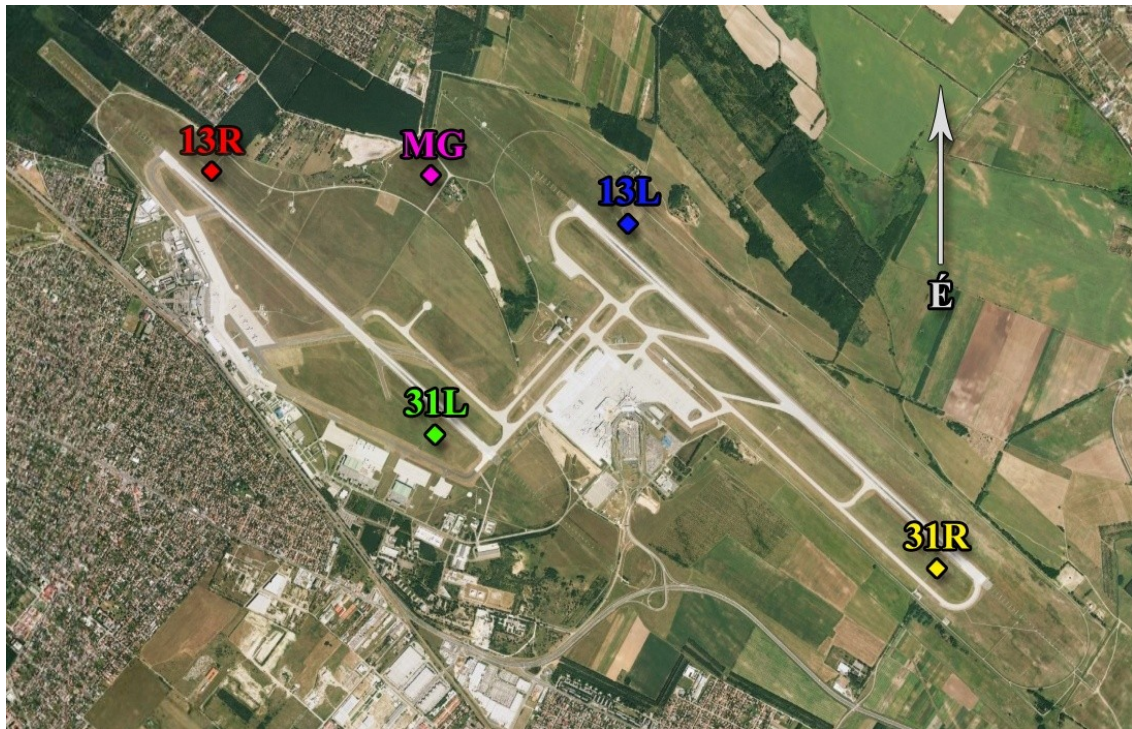
<i>Műszer</i>	<i>Darabszám</i>
Szélmérő	12
Felhőalapmérő	4
RVR	6
Jelenidő-szenzor	3
Futópálya hőmérő	6
Aktív jegesedés mérő	6
Hőmérő	6
Légnyomásmérő	2
Légnedvesség mérő	6
Csapadékmérő	1
Napfénytartam-mérő	1
Hórétegvastagság-mérő	1
Talajhőmérő	4

1. táblázat Meteorológiai műszerek Ferihegyen

² 130° azimuton megközelítve a jobboldali pálya (13 Right), 310°-os irányból pedig a baloldali (31 Left)

³ 130° azimuton megközelítve a baloldali pálya (13 Left), 310°-os irányból pedig a jobboldali (31 Right)

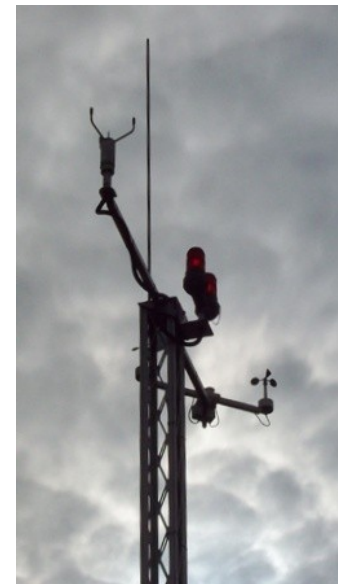
pályamenti látástávolság-mérő) elengedhetetlen a biztonságos repülési üzemeltetéshez.



4. ábra Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtér ALMOS rendszerének szélmérő hálózata.

2.3.1. Szélmérők a földetérési zónáknál

Kutatásunk tárgya a szélmérés, így a továbbiakban ez kerül részletesebben bemutatásra. Ennek szemléltetésére a Budapest Ferihegy Nemzetközi repülőtér szélmérő hálózata látható a 4. ábrán. Az ICAO III. Annexében ajánlásszerűen az szerepel, hogy a szelet a futópálya mentén a földetérési zónáknál (TDZ⁴) kell mérni (*International Civil Aviation Organization, 2007*). Ferihegyen mind a négy földetérési zónánál, a pályatengelytől 120 méterre szabványosan 10 méteres magasságban végzik a szélmérést (5. ábra). Ennek fontossága abban nyilvánul meg, hogy a leszálláshoz készülő repülőgépek személyzete az aktuális szélviszonyokról kap információt ott, ahol a gép



5. ábra 13R szélmérő oszlop.

⁴ TDZ – Touch Down Zone: földetérési terület a futópályán, amelyet két vastag fehér csíkkal jelölnek. A pilótáknak itt kell a repülőgéppel földet érni, hogy elegendő út maradjon a fékezésre.

alacsonyan, kis sebességgel repül, és így ki van téve az átesés veszélyének. Az akadályos miatt helyezik biztonságos távolságra a szélmérő oszlopokat, így elkerülhető annak veszélye, hogy ütközés következzen be.

A szélmérő oszlopokon kanalas szélsébségmérő, széliránymérő és biztonsági tartalékként szónikus anemométer is megtalálható (5. ábra). A kanalas szélsébségmérő az egységnyi idő alatt bekövetkező körülfordulásokból számítja ki a szélsébséget 1 kt pontossággal. A szélirányjelző egy potenciométer elvén működik. A különböző irányokhoz tartozó elektromos ellenállásokból 5°-os pontossággal méri a szél irányát, amelyről 3 másodpercenként küld adatot. Az ALMOS feldolgozó rendszere 15 másodperces, kétperces és tízperces átlagokat készít a bejövő mérésekből, így az



6. ábra Szónikus anemométer a MetGardenben.

átlagolás során 1°-ra kerekített szélirány adatokat kaptunk. A szónikus anemométerek szenzorjai egy egyenlő oldalú háromszög csúcspontjaiban találhatóak, amelyek másodpercenként ciripeléshez hasonló hangot bocsátanak ki egyszerre (6. ábra). A hang terjedése áramlásmentes, nyugalomban lévő közegben irányfüggetlen. Azonban bármilyen szélsébség esetén „megtörik ez az egyensúly”, Doppler-effektus tapasztalható. A szenzorok az egymás által kibocsátott hangimpulzusok érzékelik és az eltelt időből képesek mérni a szél sebességét és háromszögelés elvén pedig a szél irányát, így egy műszerként képes ellátni a szélirány és szélsébség mérés feladatát. Hátránya a kanalas anemométerrel szemben, hogy kis szélsébség értékek esetén pontatlanabb. Viszont nagy előnye, hogy miután mozgó alkatrészt nem tartalmaz, ónos csapadék esetén is megbízhatóan működik s emellett nagy szélsébségeknél a kanalas szélmérővel szemben pontosabb. A kanalas szélmérés a szellőkések regisztrálásában is nagy segítséget nyújt, mert kicsi a kanál tömege, ezért érzékeny a változó intenzitású légmozgások érzékelésében.

A földetérési pontok (TDZ) szélmérői mellett mindenhol megtalálható egy-egy *anemoszkóp*, azaz



7. ábra Szélzsák a 13R TDZ-nél.

szélzsák (7. ábra). Ez az eszköz szemléletesen mutatja a szél irányát és erősségét. Fontossága abban rejlik, hogy felszállás előtt, amikor a légiforgalom-irányító kiadja az engedélyt a pilótának, amelyben röviden tájékoztatja a pillanatnyi szélértékekről, akkor még egyszer személyesen is meg tud győződni az aktuális áramlási helyzetről. A szél erőssége csak becsléssel állapítható meg a szélzsák alakjából, de a jól csapágyazott tengelyen könnyedén befordul a szél irányába.

2.3.2. A meteorológiai mérőkert

Az alacsonyszintű szélprofil mérése céljából található a meteorológiai mérőkertben (MetGarden) egy 20 méter magas szélmérő oszlop. Ezen négy szónikus anemométer található fél méteren, 2 méteren, 8 és 20 méter magasan. A magasság változásával jól kimutatható a sűrűdés hatása és így a szélerősség növekedés, amelyről részletes elemzést láthatunk majd a klimatológiai vizsgálatoknál. A mérőtornyon hőmérséklet és relatív nedvesség profilt is mérnek Vaisala műszerekkel a szélméréssel megegyező szinteken (6. ábra). A megfigyeléseket nyomás és csapadékmérések egészítik ki, de rögzítik a talajhőmérséklet adatokat is. Itt található a hang terjedési sebességére épülő hóvastagság-mérő, de a telepítettek jelenidő-szenzort is.



6. ábra Szélmérő oszlop a mérőkertben.

3. Ferihegy szélviszonyainak vizsgálata

A légkörben megjelenő áramlások vízszintes komponensét szélnek nevezzük. A Napból érkező sugárzás egyenlőtlen földi eloszlása és a nyomáskülönbségek okozzák kialakulását. A helyi áramlási képet a szinoptikus és a mezoskálájú folyamatok illetve a lokális hatások (domborzat, besugárzás, advekción, stb.) együttesen alakítják ki (Péczeley, 1979). A meteorológiai állapothatározók közül a szél a legösszetettebb, mert vektormennyiség és ezért irányával és nagyságával (sebességével) határozzuk meg. A meteorológiában a szélvektor irányát azzal az égtájjal jelöljük, ahonnan fúj pl. ÉNy-i szél. *Megjegyezzük, hogy a környezetvédelemben ez nem így van, ott legtöbbször a terjedés irányának megfelelően jelölik az égtájakat, a szél irányát.* A szélvektor nagyságát a szél sebességével írjuk le, általában a mozgó légrétegszeke által 1 másodperc alatt megtett méterekben kifejezve. A repülésben az ICAO és az IATA feltételei miatt még sok helyen angolszász mértékegységeket alkalmaznak, így a repülőgépek és a szélesebbesség mérése csomóban (knot, kt) történik, amely a tengeri mérföld távolságegységen alapszik. Tekintettel erre, a továbbiakban, a dolgozatban a sebességegységek csomóban szerepelnek. Az SI alapegységgel összeegyeztethető:

$$1 \text{ kt} = 1,85 \text{ km/h} = 0,51 \text{ m/s}; 1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h} = 1,94 \text{ kt} \approx 2 \text{ kt}.$$

Kutatásunkban a vizsgálatokat külön választottuk szélirány és szélesebbesség elemzésre. A szélklimatológiai vizsgálatoknál diagramok értelmezésének megkönnyítésére egységesen a 2. táblázatban alkalmazott színezést használjuk a repülőtér egyes szélmérőinek elkülönítésére.

13R
13L
31R
31L

2. táblázat TDZ-k színjelölése.

3.1. Az adatfeldolgozás folyamata

Az ALMOS rendszer 2004 júliusában kezdte meg működését. A statisztikai és klimatológiai vizsgálatokhoz tehát közel 6 éves adatsor áll rendelkezésre. Az ALMOS 15 másodpercenként regisztrálja a reptéren mérhető időjárási paramétereket, amelyből 2 és 10 perces mozgóátlagokat készít. Az adatokat hetente mentik CD-re és juttatják el a meteorológiai mérőrendszer karbantartó technikusai a Meteorológiai Részleg irodájába.

A lemezekon két fajta fájl típus található. Az egyik a mérési eredményeket tartalmazza, a másikban pedig a repülőtéren elvégzett észlelések METAR és SPECI táviratai vannak. Az adatbeolvasás kisebb-nagyobb hiányosságokkal 350 CD lemezről történt PHP szkriptek segítségével. Ezeket egy kifejezetten erre a célra kialakított MySQL adatbázisba töltöttük fel, amelyek így könnyebben kezelhetővé váltak a további kutatásokhoz. A feldolgozás során az eredeti hatalmas – és emiatt gyakorlatilag kezelhetetlen – adatbázist töredékére csökkentettük oly módon, hogy csak a 2 és 10 perces átlagokat tartottuk meg. A feldolgozás után még így is több mint 1.434.000 mérési rekordunk maradt, amely bőségesen elegendő részletgazdagsággal rendelkezett a vizsgálódásunkhoz. Az 3. táblázatban látható az ALMOS mérőhálózat adatsorának teljessége havi bontásban, amely a vizsgált 5 évre vonatkozóan összesítve 97 %-os adatlefedettséget jelent.

	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
2004							17.8%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75.7%	62.8%	53.2%	100%	100%	100%
2006	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	76.7%	100%	100%	100%
2007	100%	100%	100%	100%	77.4%	98.3%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2008	100%	78.6%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2009	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2010	100%	89.2%	22.6%									

3. táblázat Az ALMOS mérőhálózat adatsorának teljessége havi bontásban.

A két perces átlagokat tekintve óránként 30 mérési adat áll rendelkezésre, azaz naponta 720. Havi bontásban a 100 %-os teljesség annak felel meg, ha rendelkezésre áll a tárgyhónap összes napján ez az adathalmaz. Az így előállt adatsor helyenként nem teljesen homogén, mert néhány hét adatai nem voltak elérhetőek illetve a CD lemez olvashatatlan volt. Ettől függetlenül mégis jó lefedettséget mutat a 6 évre visszamenőleg. Főbb hiányosság a rendszer működésének kezdetén van (2004. július 26.) és a diplomamunka megírásánál a kutatás eredményeinek addigi összegzésekor (2010. március 11.). Ezek figyelembevételével a kutatási adatok homogén vizsgálata 2005-2009 közötti időszakból történt.

A szélklimatológiai vizsgálatokba bevontuk az Országos Meteorológiai Szolgálat Budapest-pestszentlőrinci Marcell György Főobszervatóriumának szondázási adatait is, amelyeket az Egyesült Államokbeli Wyoming Egyetem honlapjáról⁵ töltöttünk le 2004 júliusától napjainkig. Az összehasonlító elemzésekhez a magaslégköri

⁵ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

mérések adatait is PHP szkriptek segítségével olvastuk be, és lineáris interpolálást végeztünk az alsóbb légrétegekben 25 hPa-onként a hőmérsékleti és szélmezőkben. Ezt követően az eredményeket egy erre a célra kialakított MySQL alapú adatbázisba írtuk a könnyebb kezelhetőség érdekében.

Az 1939-1941 időszak alatt mért szélvizsgálatok eredményei és a napjainkban archivált szélértékek közötti trendvizsgálat részeként felhasználtuk az OMSZ Gilice téri meteorológiai állomásának (12843) széladatait 1952-től 2010-ig, amelyet a NOAA Nemzeti Klíma Adatközpontjának weboldalán⁶ lehet elérni.

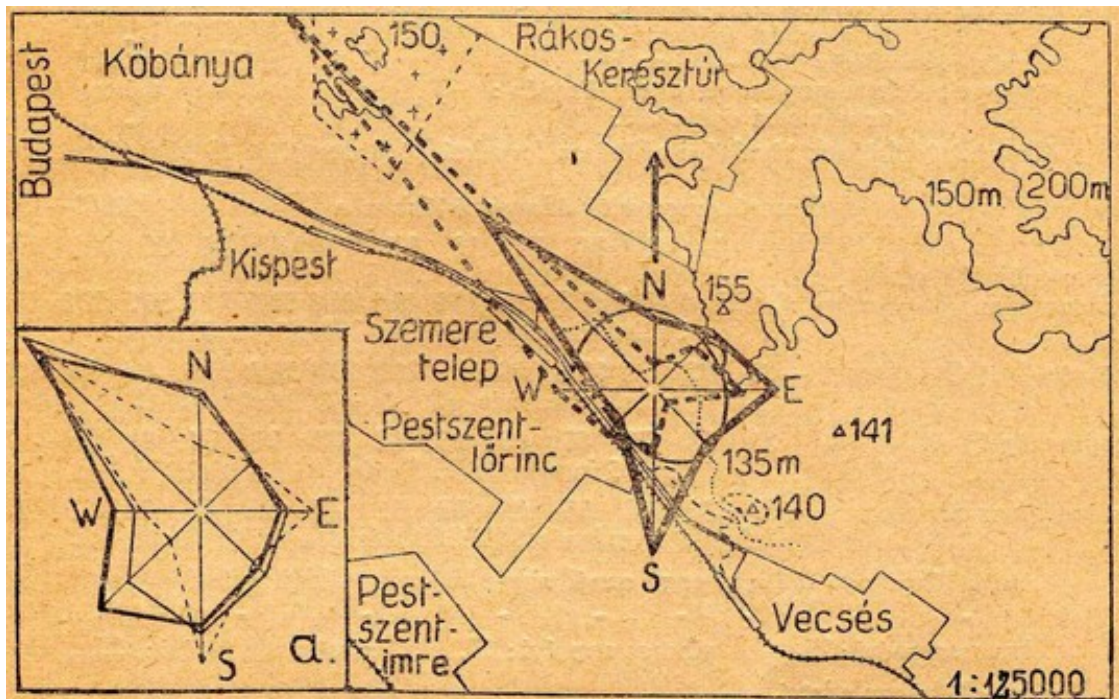
A kutatási eredmények és diagramok elkészítésében a Microsoft Office 2007 irodai programcsomag Excel táblázatkezelő alkalmazása állt rendelkezésre továbbá a PHP programozási nyelv GD grafikai osztályát használtuk fel szélrózsák készítésében.

⁶ <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv=&georegionabbv=>

3.2. Szélirány vizsgálatok

Az ALMOS mérőhálózat szélmérői által rögzített 10 perces szélátlagok kerültek feldolgozásra a szélirány vizsgálatok során. Elemzésünket összevetettük a repülőtér tervezésekor végzett mérések eredményeivel, amit Dr. Hille Alfréd az Időjárás 1945. évi 49. kötetének január-decemberi füzetében publikált.

A 7. ábrán látható a kezdeti szélmérések eredményei. Vastagon szedett vonallal az első mérési ütem szélrózsái láthatóak. Ekkor a szél erősségét nem vették figyelembe és így végezték el az irányok szerinti gyakoriságok ábrázolását. Szaggatott vonallal az 5 m/s feletti szélsébségekhez tartozó irányok gyakoriságait rajzolták ki, tehát a mérsékelt, élénk és erős szelek eseteit. A bal alsó sarokban látható 7/a ábrán pedig az 500 és 1000 méteren mért szelek gyakorisági értékei találhatóak.



7. ábra Szélirányok gyakorisága a Ferihegyi repülőtéren (1939-1941).

Domborzat adottságaiból megállapították, hogy a terep északkelet felől délnyugat felé lejt, így szélcsendes időben „leszivárgás” alakul ki keleti és északkeleti irányból. Az ellenkező irányú gyenge szelek gyakorisága ebből következően kis százalékban jelentkezik. A szélerősödéssel a keleti szélkomponensek ritkábbá válnak és a nyugati összetevőjű szelek kerülnek túlsúlyba. A déli szelek gyéresebb számú előfordulása arra vezethető vissza, hogy a ciklonok előoldali árama gyengébb, mint a hidegfrontok után következő északnyugati szél. Az északi szelek ritkasága pedig a

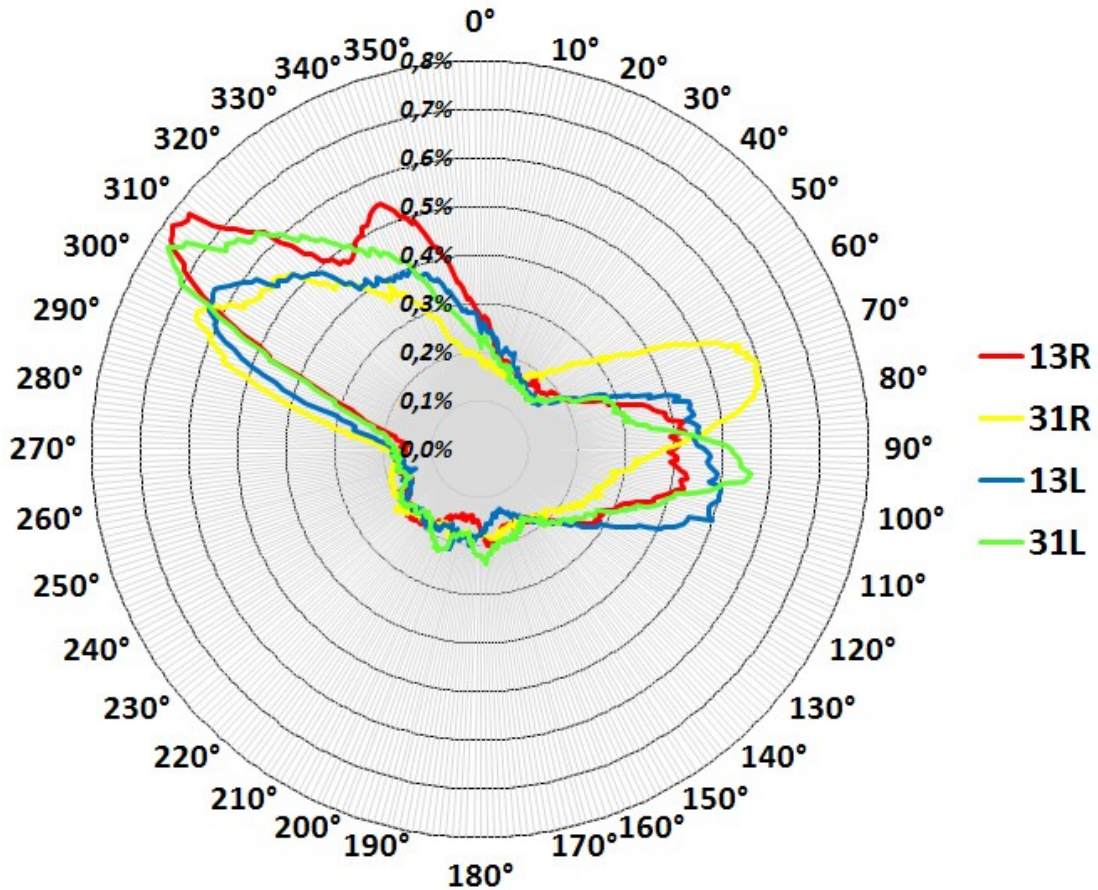
felvidéki hegyek áramlasmódosító hatásának tudható be. Az északnyugati szelek nagy aránya megfigyelhető minden szélesebbégi értéknél (Hille, 1947).

A 9. ábrán a szélirányok relatív gyakorisági értékei láthatóak 1°-os felbontásban a négy TDZ-ra lebontva. Az elmúlt 70 év alatt nem változott a leggyakoribb szélirány, amely továbbra is az északnyugati maradt 295° és 340° között. Másodlagos maximum figyelhető meg keletről, 80°-105° irányok



8. ábra Az erdő áramlasmódosító hatása a 13R-nál.

felől. A délkeleti-déli és délnyugati szelek valószínűsége közel azonos eloszlást mutat 150°-250° iránytartomány között. A legritkábbak az északkelet felől fújó szelek, amelyek gyakorisága 2-3%-ot tesz ki. Megfigyelhető, hogy a 31R pályaküszöbön mért szelek gyakorisága irányonként akár 20 fokkal is eltérhet, amely 2.2.1.-es fejezetben bemutatott domborzati adottságoknak tudható be. A piros színnel ábrázolt 13R szélmérőjénél 325°-on egy gyakorisági minimum látható, amelyet feltehetőleg a szélmérőtől nagyjából 1 kilométerre lévő erdő okoz (8. ábra). Ettől jobbra, 340°-nál viszont egy másodlagos gyakorisági-érték növekedés van, amelyet szintén az előbb említett orografikus hatás vált ki. A 8. ábrán jól látható az egyes pálya északnyugati végénél a 13R szélmérője és a mérési eredményekre hatással lévő erdő, amelynek koronamagassága általában 25-30 m. A pálya tengelyvonalában, a leszállást könnyebbé tevő bevezető fénysor mentén a szél szabadon áramlik északnyugat felől így itt ezért jelent meg a gyakorisági szélmaximum.



9. ábra Szélirányok relatív gyakorisági értékei a pályaküszöbönél (2005-2009).

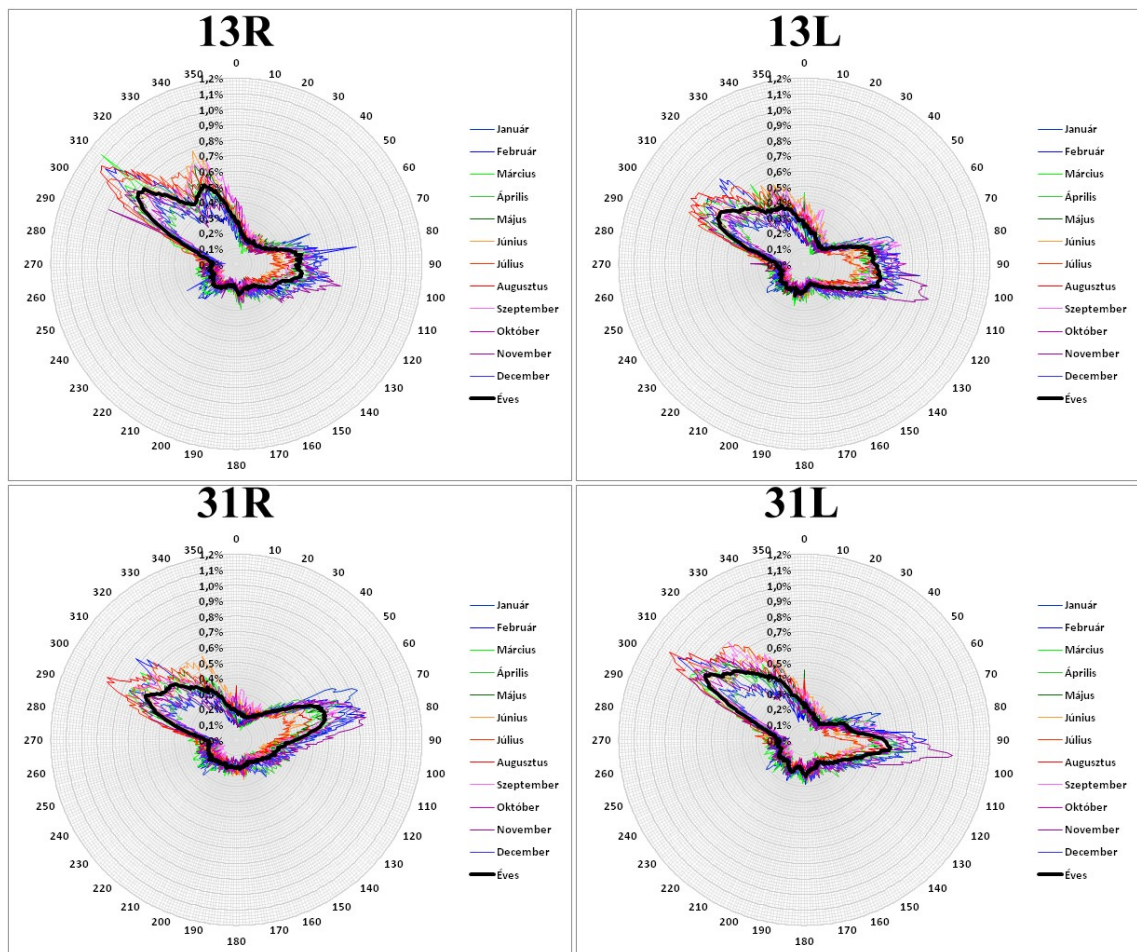
A diagram értelmezésének megkönnyítése érdekében a relatív gyakorisági adatokat a 4. táblázatban közöljük 30°-os bontásban a fő- és mellékégtájak szerint.

	13R	31R	13L	31L
<i>Fokok</i>	<i>Relatív gyakoriság</i>	<i>Relatív gyakoriság</i>	<i>Relatív gyakoriság</i>	<i>Relatív gyakoriság</i>
ÉÉNY-É-ÉÉK	13.8%	9.0%	12.4%	11.1%
ÉÉK-ÉK-KÉK	8.5%	12.8%	8.2%	7.9%
KÉK-K-KDK	17.3%	19.0%	20.5%	18.6%
KDK-DK-DDK	10.0%	8.8%	10.6%	10.0%
DDK-D-DDNY	7.1%	7.8%	7.2%	8.8%
DDNY-DNY-NYDNY	7.9%	8.3%	7.8%	8.2%
NYDNY-NY-NYÉNY	8.8%	12.5%	10.7%	9.3%
NYÉNY-ÉNY-ÉÉNY	26.5%	21.8%	22.6%	26.1%

4. táblázat Szélirányok relatív gyakorisági értékei a pályaküszöbönél (2005-2009).

Kutatásunk folytatásaként elvégeztük a szélirányok havi relatív gyakorisági értékeinek az elemzését, amely a 10. ábrán látható. Kékes árnyalatú színekkel a téli hónapok (december-január-február), zöld színekkel a tavaszi hónapok (március-április-május), narancssárgával a nyári időszak (június-július-augusztus) és lilás színekkel az

őszi hónapok (szeptember-október-november), vastag fekete vonallal pedig az éves átlag van ábrázolva. Jól látható novemberben és a téli hónapokban a keleti szélkomponensek átlagon felüli gyakorisága, míg a nyári hónapokban az északnyugatias áramlás a jellemző, amit a markánsabb hidegfront átvonulások idéznek elő. Az északi-északkeleti és déli-délnyugati szelek gyakoriságában nem látszik évszakos eltérés. Megfigyelhető egy 20 fokos eltérés a 31R szélmérőjénél mért havi gyakorisági értékekben a többi földtérési pont (TDZ) eredményeihez képest.



10. ábra Szélirányok relatív gyakorisági értékei havi bontásban (2005-2009).

3.3. Szélsébség vizsgálatok

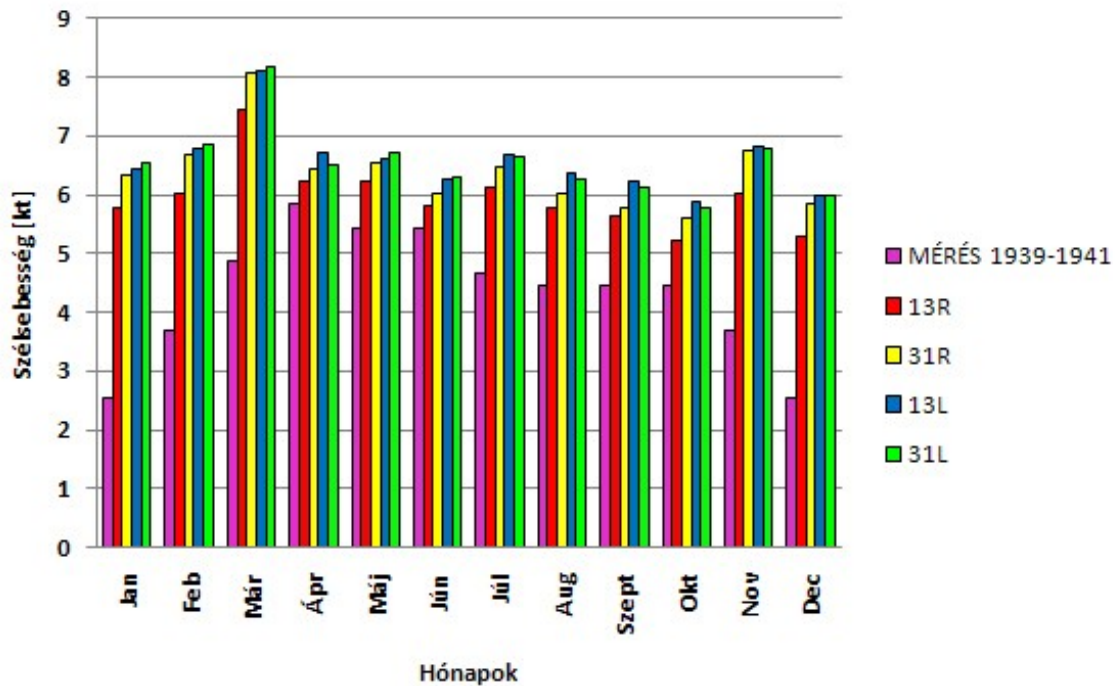
Magyarország az átlagos szélsébségek alapján a mérsékelt szél területek közé tartozik, ami szerint a szélsébség évi átlaga 2–4 m/s (~ 4–8 kt) körül mozog (Sándor és Wantuch, 2004). A repülőtér futópályájának tervezésekor a szélsébség megállapítására egy Wild-féle nyomólapos szélmérőt alkalmaztak, amely a tengerészetenél már jól ismert Beaufort-skálára épül. A Beaufort-skála egy fokozatrendszer, amelyet Francis Beaufort brit hajóskapitány fejlesztett ki 1805-ben a szél erősségének megfigyelésére és osztályozására. 12 intervallumot képezett, amelyeknél a tereptárgyak viselkedéséből illetve a vízfelszín fodrozódásából képes a szélsébség intenzitását közelíteni az 5. táblázatban leírtak szerint. Itt csak a szárazföldi észlelések vannak felsorolva.

Beaufort-fokozat	Szélsébség				
	csomó	km/h	m/s		
0	0	0	0-0,2	Szélcsend	A füst egyenesen száll felfelé.
1	1-3	1-6	0,3-1,5	Gyenge szél	A felszálló füst gyengén ingadozik, a szél alig érezhető.
2	4-6	7-11	1,6-3,3	Gyenge szél	A fák levelei zizegnek, az arcon érezhető a légmozgás.
3	7-10	12-19	3,4-5,4	Mérsékelt szél	A szél a fák leveleit, vékony hajtásait mozgatja.
4	11-15	20-29	5,5-7,9	Mérsékelt szél	A szél a fák gallyait, kisebb ágait állandóan mozgatja.
5	16-21	30-39	8,0-10,7	Élénk szél	A nagyobb faágak is mozognak, a levegő mozgása jól hallható.
6	22-27	40-50	10,8-13,8	Erős szél	Már a legvastagabb ágakat is mozgatja; a drótkötelek, villanyvezetékek zúgnak.
7	28-33	51-62	13,9-17,1	Igen erős szél	A kisebb fák törzsei erősen hajladoznak, vékonyabb gallyak letörnek. A széllal szemben nehéz a gyaloglás.
8	34-40	63-75	17,2-20,7	Viharos szél	A szél a fákról ágakat tör le, a nagyobb fák törzsei is erősen hajladoznak.
9	41-47	76-87	20,8-24,4	Vihar	A vihar a gyengébb fákat kidönti, a vastagabb ágakat letöri. Kisebb épületek megrongálódnak, a tetőcserepek lesodródnak.
10	48-55	88-102	24,5-28,4	Erős vihar	A vihar gyökerestül forgatja ki a fákat, az épületekben jelentős károk keletkeznek.
11	56-63	103-119	28,5-32,6	Orkánszerű vihar	Súlyos anyagi károk, a téglalapítvány házak is megsérülnek.
12	64-80	>120	32,7-40,8	Orkán	A szél épületeket, tetőket rombol, súlyos pusztítást végez.

5. táblázat Beaufort-féle szélsébskála (Czelnai, 1994, Weidinger és Tasnádi, 2007 alapján)

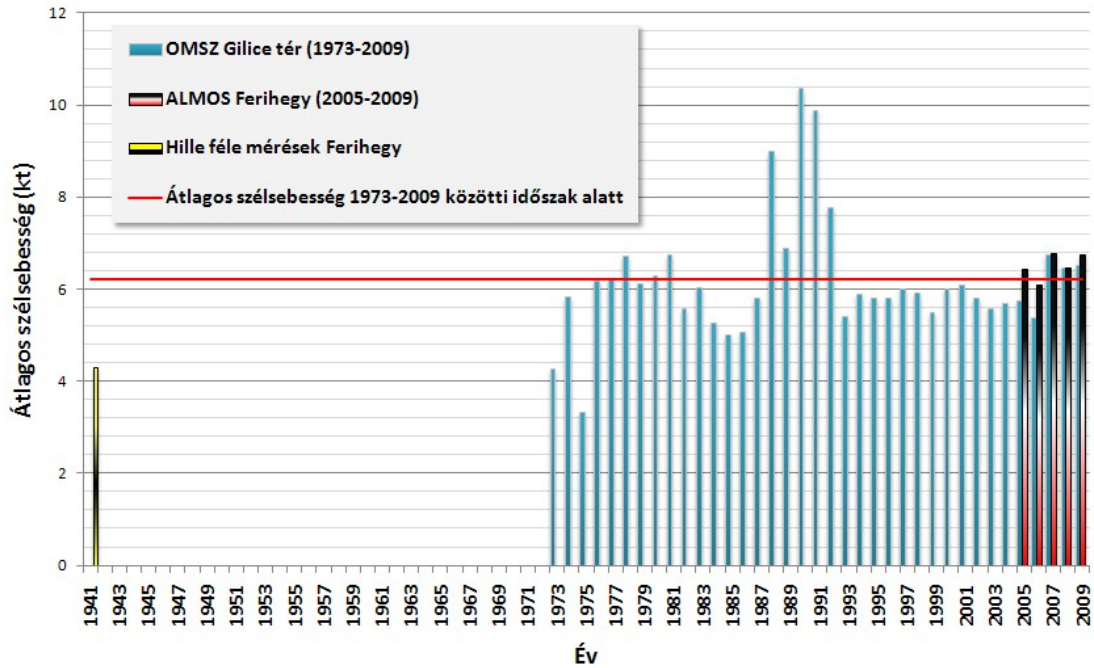
Ezzel a módszerrel végzett mérések havi átlagos szélsébség értékeit összevetettük az ALMOS mérőhálózat mostani eredményeivel (11–12. ábra és a 6. táblázat). Látható, hogy a havi átlagos szélsébség értékek jellemzően jóval nagyobbak a 2000-es években, mint a második világháború előtt. A téli hónapokban átlagosan 3,5 kt a különbség, viszont a tavaszi időszaktól kezdve ez a differencia jelentősen csökken. Az eltéréseknél három feltételezést vettünk figyelembe: (i) a mérési módszerek pontatlanságából származó hibát, (ii) a beépítettség változását illetve (iii) a két mérési időszak közötti 70 év alatt fellépő szélsébség növekedést – ez utóbbi a legkevésbé valószínű. Az első hipotézis egyértelműen belátható a mostani mérési

módszerek tükrében, vagyis az alulbecslés miatt a tavaszi átlagos szélsébség nagyobb is lehetett, mint a mostani értékek így ezt fontos figyelembe venni.



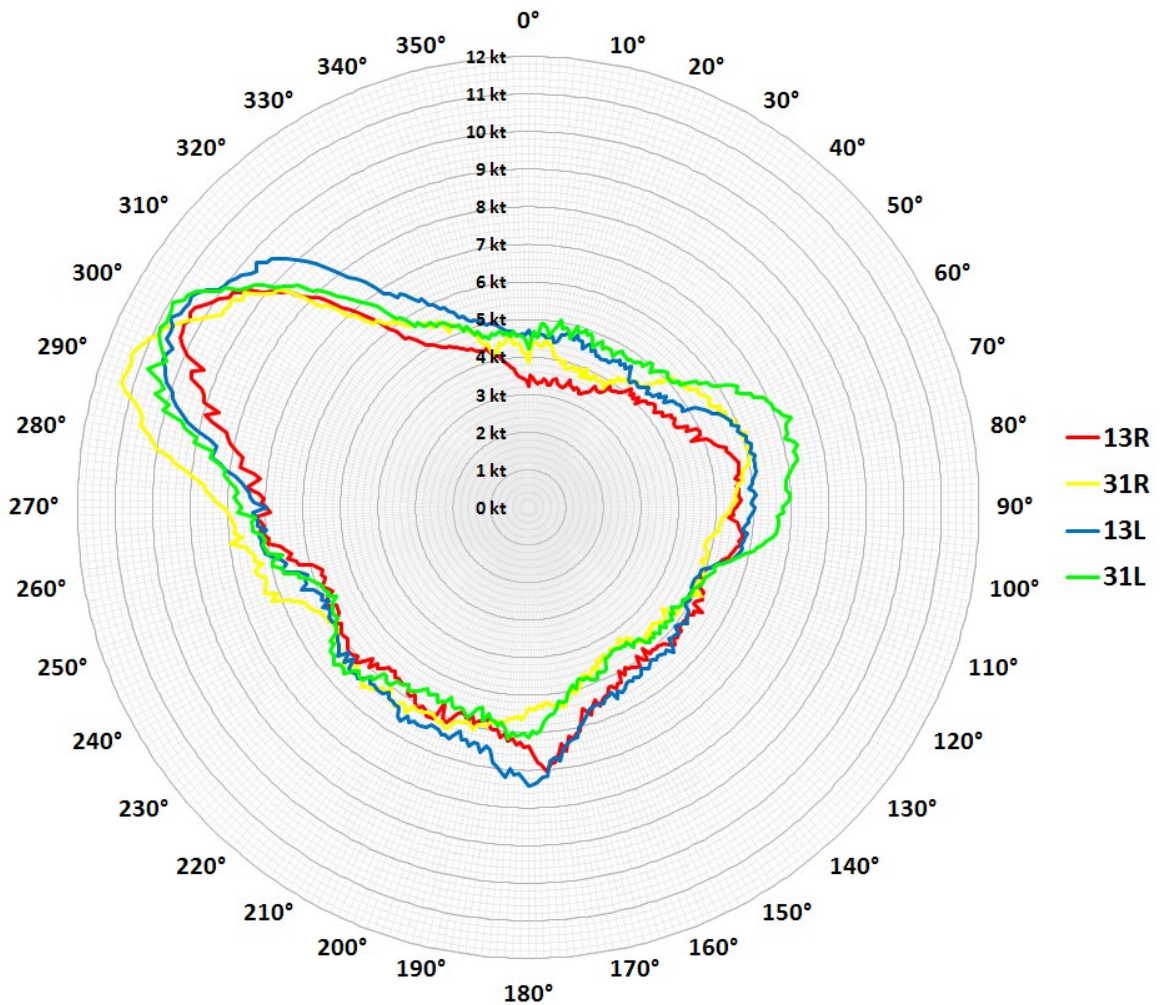
11. ábra Havi átlagos szélsébség értékek 1939-1941 és 2004-2010 közötti időszakban

A következő lépésben a pestszentlőrinci állomás (12843) széladatait elemezzük. A 70-es évek előtti időszakról sajnos nem áll rendelkezésünkre adat. Kiugróan magas átlagszeleket kapunk 1988 és 1992 között. A sokévi 10 m-es szélsébség átlaga 3,2 m/s-hoz (~6,2 kt) közele. Összehasonlításképpen: Orincsai László észlelései során az éves átlagos szélsébség 2,2 m/s-nak, azaz 4,3 kt-nak adódott (*Hille*, 1947). A *12. ábrán* látható a repülőtér építése előtti mérési eredmény sárga-fekete oszloppal, kékkel a Gilice téri állomás átlagos szélsébség adatai 1973-tól 2009-ig és piros-fehér-fekete oszloppal az ALMOS mérőhálózat eredményei. Piros vízszintes vonallal az utóbbi 36 év átlagát jelöltem, így valamelyest összehasonlítható a 70 évvel ezelőtti adattal. A fentebb említett feltételezést belátva egyértelmű, hogy kevésbé számottevő a szélsébség változás, inkább a mérési módszer pontatlansága okozza az alacsonyabb értékeket.



12. ábra Az OMSZ Gilice téri állomásának szélesebesség adatai, az átlagos szélesebesség 1973-2009 közötti időszak alatt, az ALMOS mérőhálózat szélesebesség értékei, valamint a repülőtér tervezésekor mért átlagos szélesebesség.

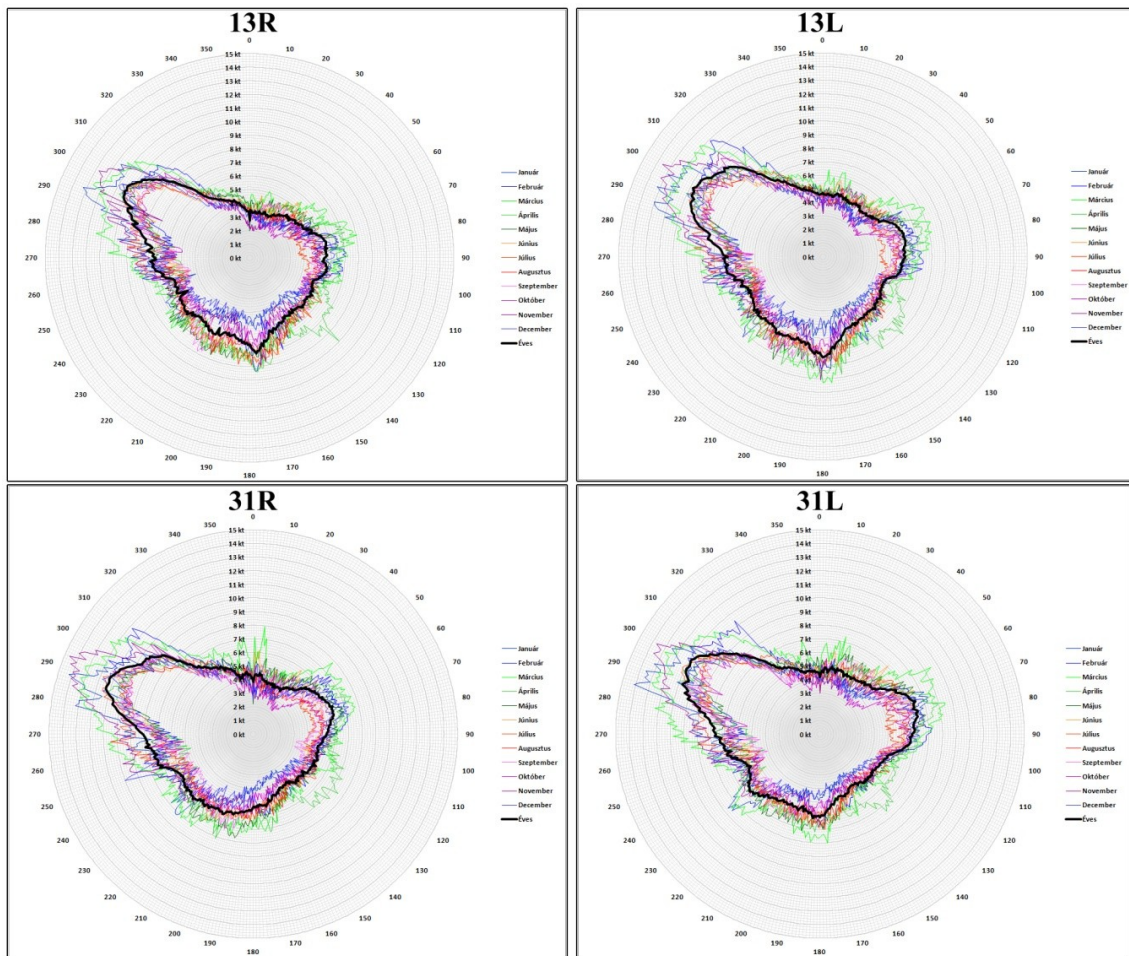
A 13. ábrán a szélirányok szerinti átlagos szélesebesség értékeket láthatjuk a négy pályaküszöbre lebontva. A leggyakoribb északnyugati szélirány esetén figyelhető meg a legnagyobb átlagsebesség, jellemzően 10 kt körüli értékkel. A keleties szeleket 5,5–6 kt sebesség jellemzi, ezzel szemben a ritkán fújó déli-délnyugati szelek nagyobb, 6–7 kt körüli értékeket produkálnak, ami azt bizonyítja, hogy a ciklonok előoldalán és a hidegfrontok előtti délnyugati feláramlás intenzív légmozgásokat eredményez. Az északi szelek ritka előfordulások mellett kis szélesebességgel képviseltetnek. A szélesebességi diagramon nem látható a jelentős eltérés a négy szélmérő átlagai között, szemben a szélirányok relatív gyakorisági értékeinél, ahol a 31R TDZ anemométere 20°-os iránybeli elfordulást regisztrált az orografikus hatások miatt.



13. ábra Szélirányok szerinti átlagsebességek a pályaküszöböknél

A szélirány vizsgálatokhoz hasonlóan a szélesebesség elemzéshez is elvégeztük a havi átlagos szélesebességek ábrázolását, amely a 14. ábrán látható. Az északnyugati szelek tavasszal és ősszel a legélénkebbek. Keleti és délkeleti irányból a télen érkező légáramlatok jellemzően az átlagértékek alatt maradnak, a nyári időszakban pedig közel azzal együtt mozog. Az északi szelek esetében nem látható jelentős évszakos változás, ahogyan a délnyugati szeleknél sem (14. ábra). Összességében elmondható, hogy közel azonos eredményt kaptunk a mérési pontokon.

Következő lépésként a 6. táblázatban a különböző égtájakhoz tartozó átlagos szélesebességeket adjuk meg a négy pályaküszöbre. Az eltérések elérhetik az 1 kt értéket, ami nem elhanyagolható. A legkisebb értékek a 13R, a legnagyobbak a 13L mérőpontot jellemzik.



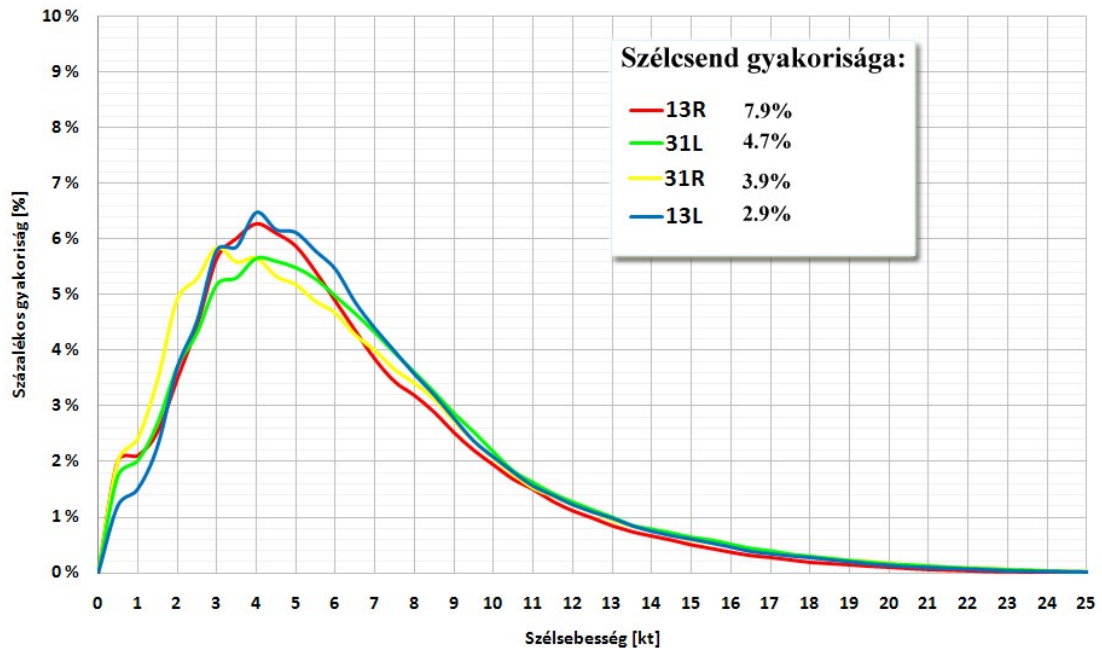
14. ábra Szélirányok szerinti átlagsebességek havi bontásban.

	13R	31R	13L	31L
<i>Fokok</i>	<i>Átlagsebesség</i>	<i>Átlagsebesség</i>	<i>Átlagsebesség</i>	<i>Átlagsebesség</i>
ÉÉNY-É-ÉÉK	3.7 kt	4.3 kt	4.7 kt	4.7 kt
ÉÉK-ÉK-KÉK	4.2 kt	4.9 kt	4.9 kt	5.5 kt
KÉK-K-KDK	5.5 kt	5.5 kt	5.9 kt	6.7 kt
KDK-DK-DDK	5.1 kt	4.6 kt	5.2 kt	4.7 kt
DDK-D-DDNY	6.0 kt	5.4 kt	6.4 kt	5.5 kt
DDNY-DNY-NYDNY	5.8 kt	6.1 kt	6.2 kt	5.9 kt
NYDNY-NY-NYÉNY	7.4 kt	8.9 kt	7.9 kt	8.0 kt
NYÉNY-ÉNY-ÉÉNY	7.6 kt	7.9 kt	8.8 kt	8.2 kt

6. táblázat Irányok szerinti átlagos szélesebességek a négy pályaküszöböknél (2004–2010).

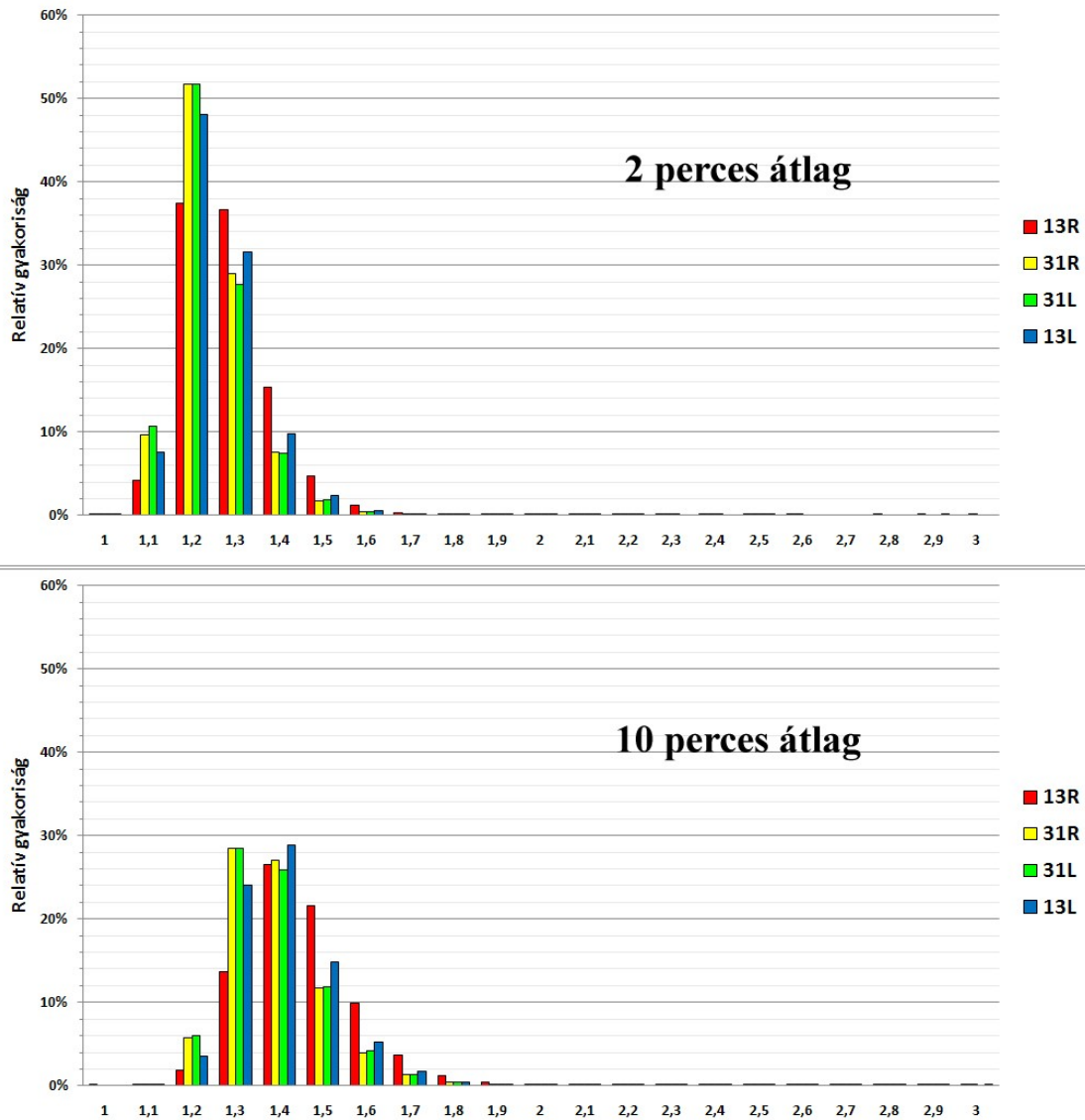
Megvizsgáltuk a szélesebességek erősség szerinti gyakorisági eloszlását is (15. ábra). A szélesebesség idősorát (kivéve a szélcsendes eseményeket) általában Weibull-eloszlással modellezik (Dévényi és Gulyás, 1988). A szélcsendes eseteket figyelembe véve a 13R szélmérője a legszélárnyékosabb helyen van, itt az esetek 8%-ában volt szélcsend.

A másik három mérőeszköz 5% alatti értékben regisztrált szélcsendet. Látható, hogy a leggyakoribb szélesebesség 4 kt, kivéve a 31R szélmérőnél, ahol 3 kt értéknél éri el maximumát a gyakorisági görbe. Nagy szélesebességek csökkenő gyakorisággal fordulnak elő. 10 kt felett már nem látható lényeges eltérés a négy szélmérő adataiban. 25 kt feletti értékek kevesebb, mint az esetek 0,1%-ában fordulnak elő.



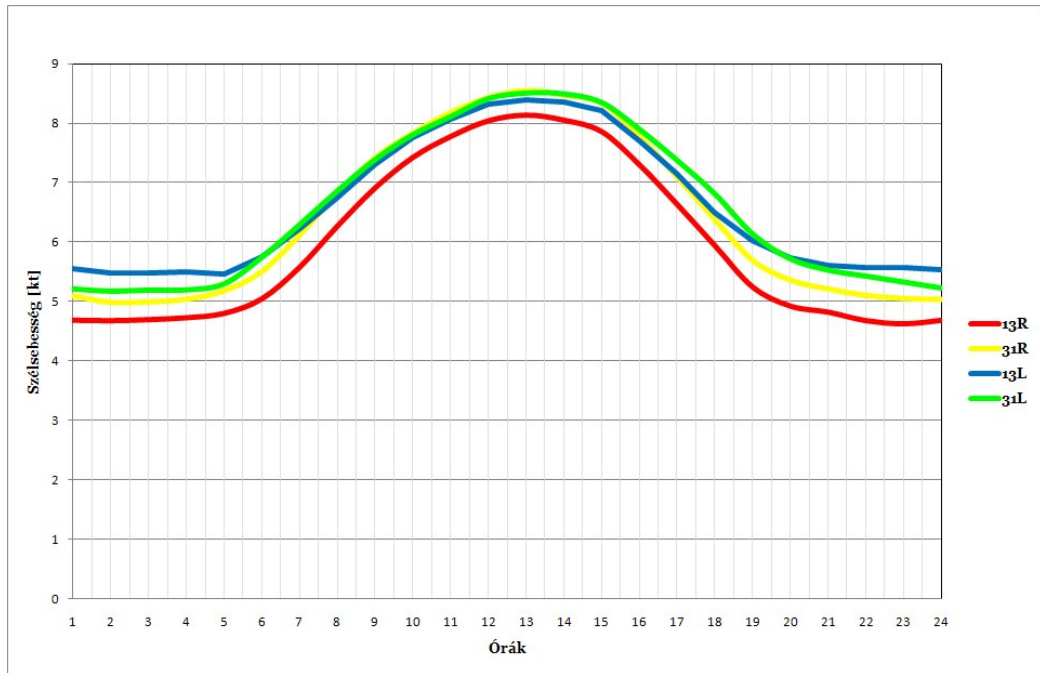
15. ábra Szélesebességek relatív gyakorisági értékei

A 10 csomó feletti szélesebességek és szélleőkések viszonyának jellemzésére elkészítettük e két állapotjelző hányadosának gyakoriságát ábrázoló diagramot, amely a 16. számot kapta. Itt a kétperces és tízperces szélesebességi átlagok és maximális szélleőkések hányada látható. Ennek fontossága abban nyilvánul meg, hogy egy repülőgép leszállása átlagosan 1,5-2 percnél többet nem vesz igénybe, így ez a mérőszám jól reprezentálja egy adott áramlási mezőben várható maximális szélleőkés nagyságát. A tízperces hányadosok jóval laposabb és elnyújtottabb görbét mutatnak, mert ezen az átlagolási intervallumon már kisimulnak a rövid ideig tartó szélleőkések. Az esetek 50%-ban a kétperces szélleőkés intenzitások 1,2-szeresei az átlagos alapszélnek (Péliné et al., 2009).



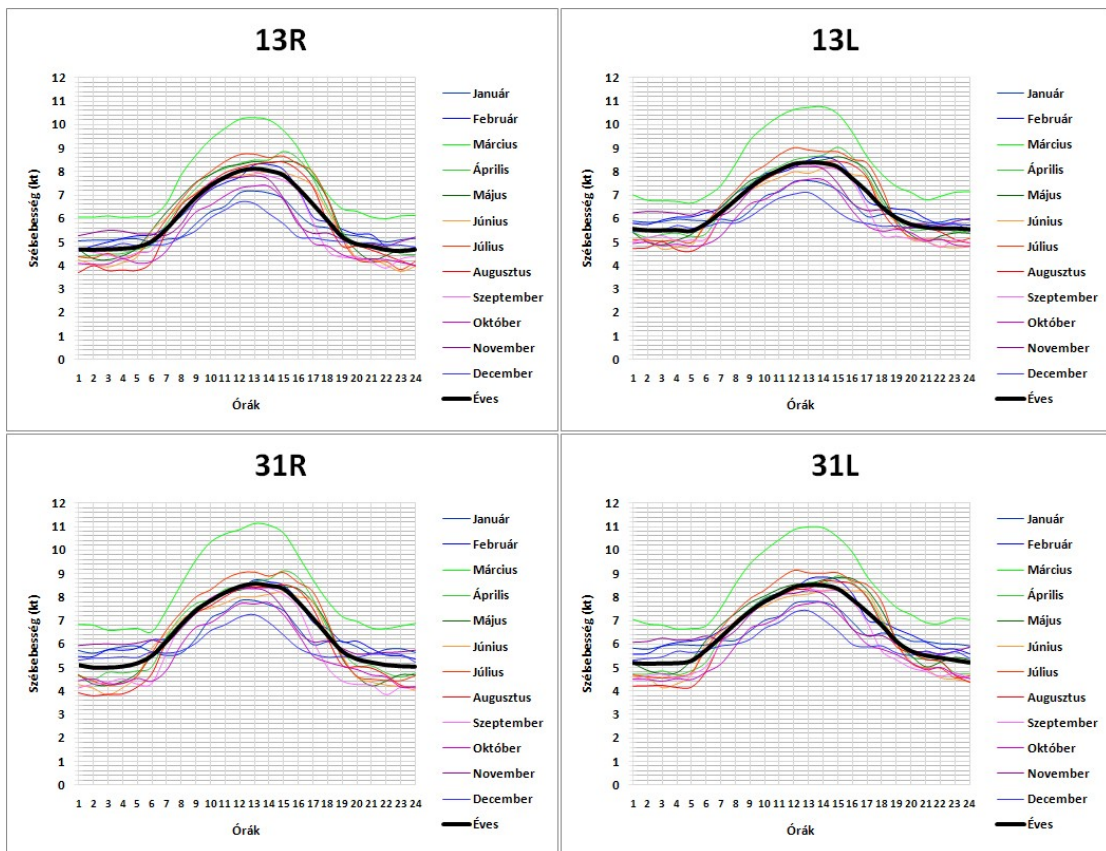
16. ábra Két- és tízperces maximális szélleőkés és átlagos szélebeesség hányadosai 10 kt feletti szelek esetén.

A 17. ábra a szélebeesség átlagos napi menetét mutatja a repülőtér területén. A szélebeesség a maximumát 12-13 óra környékén éri el, amely jellemzően 8,3 kt értékű. A 13R szélmérője a szélvédettebb hely miatt átlagosan fél csomóval a többi mért érték. alatt fut. Az esti órákban a napnyugta után lelassulnak az áramlások és 20-21 óra környékén eléri a minimum értékét, amely 5-5,5 kt körüli. A hajnali időszakban átlagosan 6 órától, napkelte után a besugárzás mértéke jelentősen növekszik, így beindulnak a helyi cirkulációk is, amely a szélerősség növekedésében nyilvánul meg.



17. ábra A szélsebesség átlagos napi menete (2005-2009).

A 18. ábrán havi bontásban látható a szélsebesség napi menete. Mind a négy pályaküszöb esetén megfigyelhető, hogy márciusban napközben erősebb szél fújt, mint bármely másik hónapban.



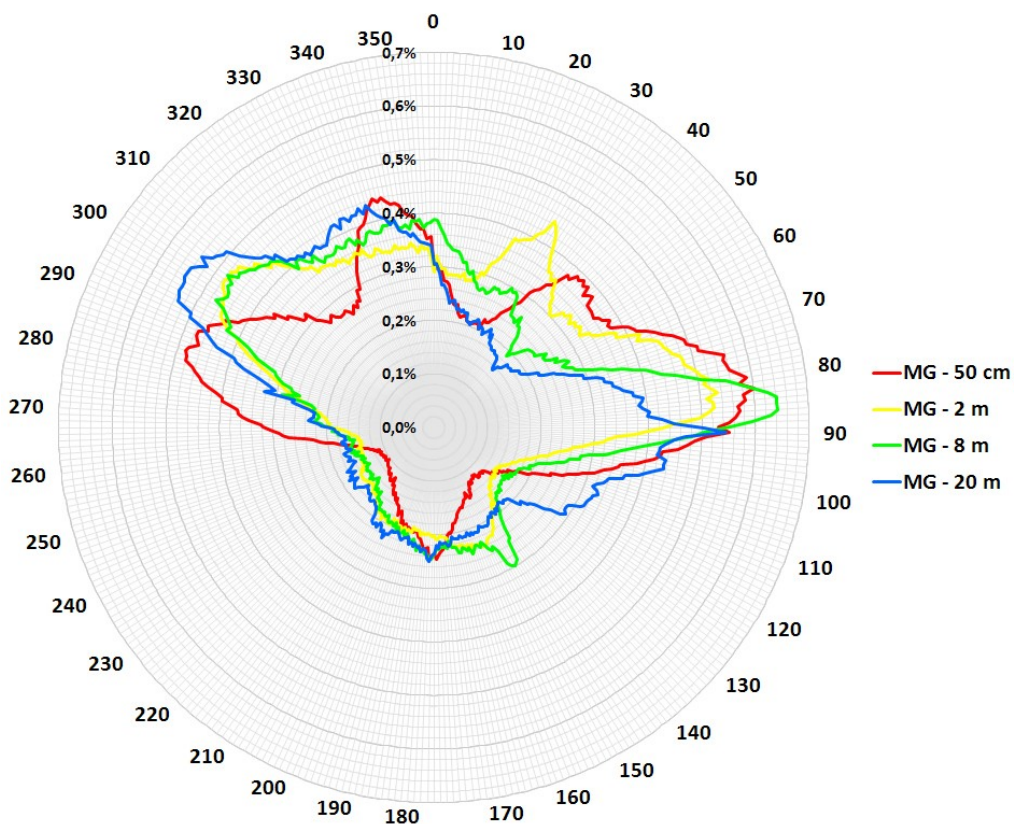
18. ábra Szélsebesség napi menete havi bontásban a TDZ-knél (2005-2009).

A téli hónapok közül decemberben és januárban napközben átlagon aluli szélértékeket mértünk, míg a hajnali és késő esti órákban a nyári hónapok esetében volt mérsékelt a légmozgás.

3.4. A meteorológiai mérőkeret mérési eredményei

A meteorológiai mérőkeretben alkalmazott 20 méteres szélmérőtorony a repülőtér területén egy elkülönített helyen található. A mérőoszlop mérési eredményei hozzásegítik a Repülésmeteorológiai Részleg szinoptikusait a különböző talajközeli szintek hőmérsékleti és széladatainak figyelemmel kíséréséhez. Az itt történő mérések adatai közvetlenül nem kerülnek felhasználásra a repülésirányítás során, szemben a földetérési pontok szélméréseivel. Ezért kutatásunk során nem foglalkoztunk részletesebben az ide vonatkozó archívummal.

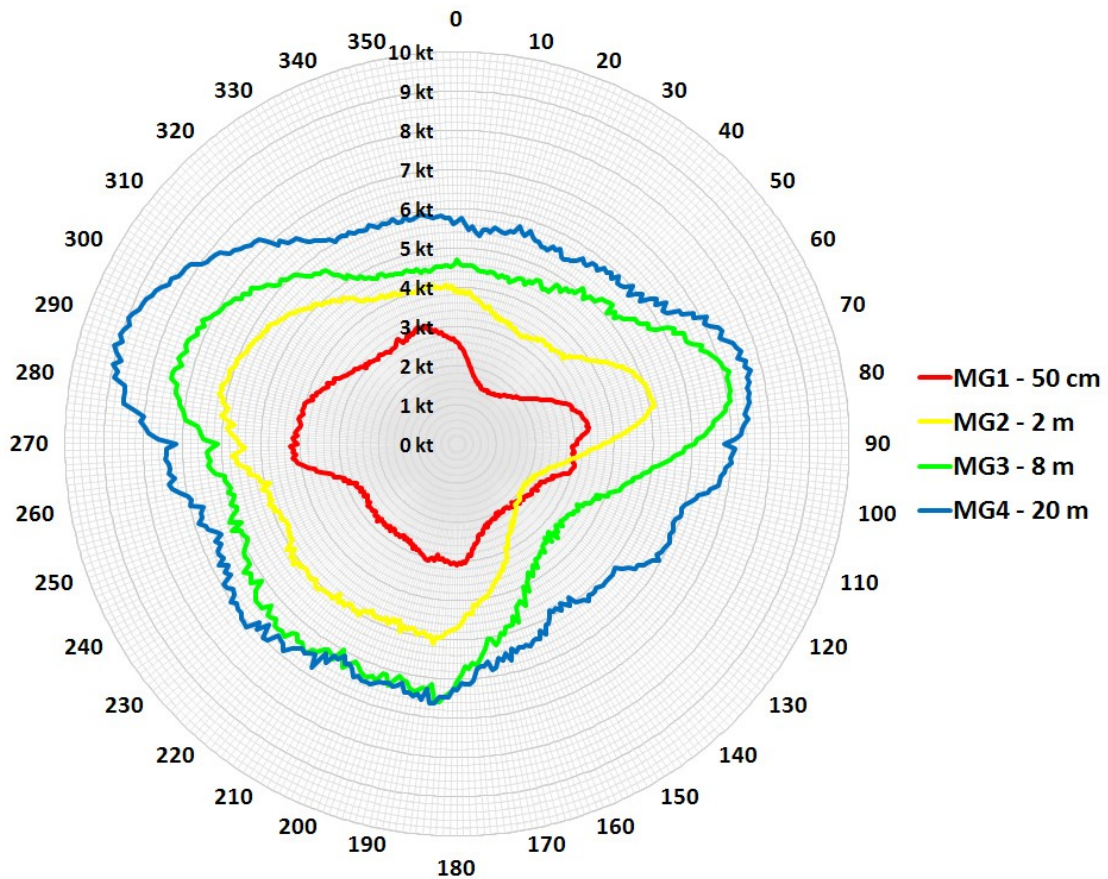
A szélirányok relatív gyakoriságát a 19. ábrán szemléltetjük. Itt a különböző magasságú szélmérőket láthatjuk. Piros színnel az 50 centiméteren elhelyezett, sárgával a 2 méteres, zölddel a 8 méteren elhelyezett és kékkel a 20 méteres szélmérő adatait.



19. ábra Szélirányok relatív gyakorisági értékei a meteorológiai mérőkeret oszlopán (2005-2009).

Az eredmények kapcsán megfigyelhető, hogy közel azonosak az irányok szerinti relatív gyakoriságok. A fél méteren elhelyezett szélmérőnél pár fokos eltérés van a többi szélmérőhöz képest, de itt ez jelenség betudható annak, hogy a mérőkertet egy körülbelül 1 méter magas kerítés veszi körül, amelynek az áramlásmódosító hatása ilyen módon érvényesülhet, továbbá a kis szélességek esetén az iránymérés is bizonytalanabb.

A mérőoszlopon mért irányok szerinti átlagos szélességet a 20. ábrán mutatjuk be. A magassággal erősödő szélesség jól megfigyelhető, amelyet a talaj közelében fellépő súrlódás okoz. Ez az állandó fluxusú felszínközeli réteg.



20. ábra Irányok szerinti átlagos szélesség a meteorológiai mérőkertben (2005-2009).

4. Szélelőrejelzés Ferihegyen

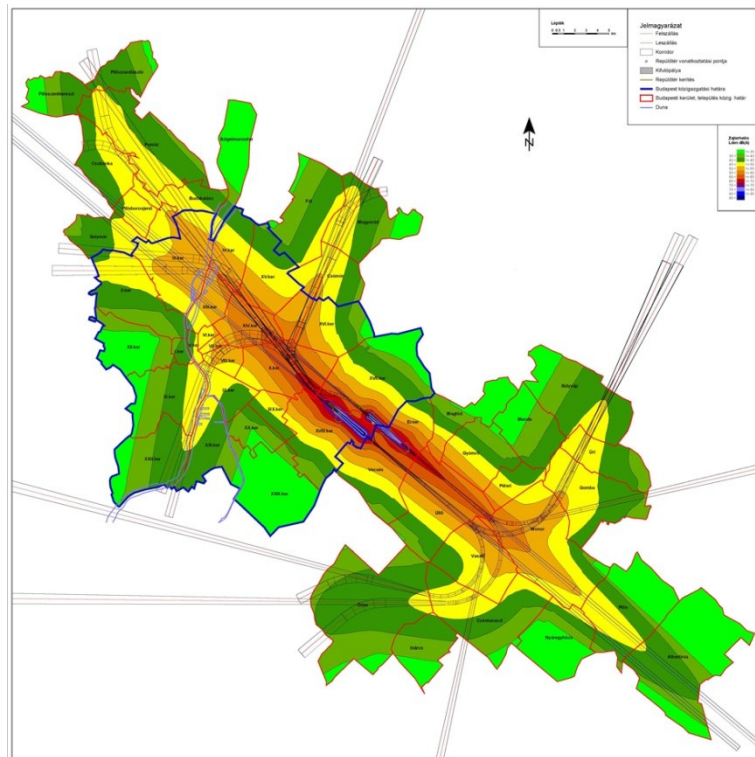
A repülésben a szél előrejelzésének fontossága mindig kulcskérdés. A meteorológiai állapothatározók közül a szél változatossága az, amelynek ki van téve a siklóernyőstől kezdve egy több száz tonnás repülőgépig minden égi szerkezet. Gondoljunk csak a szélesebség, illetve a szélirány változékonyságára, a vertikális, vagy horizontális szélnyírásra, illetve a vertikális sebességi mezőre. A következő részben a repülőtéri szélelőrejelzéssel foglalkozunk. Célunk a 10 m-es szélesebség és szélirány minél pontosabb előrejelzése, illetve a le és felszálló repülőgépek számára fontos szélprofilok előrejelzése, a felszíni és a magassági szelek közötti statisztikai kapcsolatok keresése egyszerű döntési eljárások kialakításához.

A repülőtér építéséről szóló fejezetben már láthattuk, hogy a futópályák tervezésekor az uralkodó szélirányokat veszik figyelembe. Azonban az esetek nagy százalékában így is más irányokból fúj a szél, amely a repülés szempontjából oldal- illetve hátszelessé teszi a repülőtér betonjának elhagyását vagy éppen a leszállást. Azokon a légi kikötőkön, ahol több pálya is rendelkezésre áll más-más irányokkal, ott könnyebb alkalmazkodni a szél irányához, hogy melyiket használják a várható forgalom lebonyolítására. Ferihegy ilyen szempontból sajátságos, mert két párhuzamosan elhelyezkedő pályája miatt nincs lehetőség az aktuális széliránynak leginkább megfelelő futópályát kiválasztani, hanem engedmények árán kell a kevésbé rossz, illetve jó lehetőségek közül dönteni.

4.1. *Szélelőrejelzések fontossága a pályairány meghatározásában*

A légi járatok útvonalának tervezéséért a EUROCONTROL Központi Áramlásszervezési Egysége (CFMU) felelős. A feladatuk az, hogy a leadott kiindulási és célrepülőtér között a legrövidebb utat biztosítsák a légitársaságoknak úgy, hogy figyelembe veszik az útvonalat keresztező repülőgépeket, valamint az utazómagasságra történő emelkedést és az onnan való süllyedést is megpróbálják a lehető legkevésbé lépcsőzetesen tervezni. Az előrejelzésünk szerepe ott kap nagy hangsúlyt ebben a feladatban, hogy az induló és az érkező repülőtéren a meteorológiai tájékoztatás alapján kell az aktuálisan toronyban szolgálatot teljesítő légiforgalom irányítók vezetőjének

(TWR SV⁷) döntést hozni a használatos futópálya irányról. Minden nemzetközi repülőtér indulási és érkezési eljárással rendelkezik az éppen használatos pályairánytól függően, amely figyelembe veszi az adott légtérben a domborzati akadályokat, más repülőterek légtereit, tiltott légtereket, valamint a környező településeket a zajterhelés csökkentése céljából. Ferihegyen a két pályából adódóan 4 alapvető eljárást különíthetünk el, pályairányonként egy-egy indulót és érkezőt. Probléma akkor adódik, amikor a szélviszonyok már a pályairány váltást indokolják és egy korábban indult repülőgép repülési tervében még a régebbi érkezési eljárás van. Az ún. közelkörzeti légiforgalmiirányítók feladata a köztes (TMA⁸) légtérben a repülőtér megközelítő és onnan induló járatok irányítása. A pályairány váltás alaposan megnehezíti a dolgukat, ugyanis a korábban érkező és induló gépek még a régebbi eljárás szerint repülnek, a későbbi gépek pedig már ezt keresztezve az új repülési eljárás szerint közlekednek. Az új eljárásra való áttérés során a repülőgépeket további manőverezésre kell kényszeríteni, amely többlet üzemanyag-fogyasztást jelent és helyzettől függően akár 15-20 perccel is megnövelheti a járat menetidejét. Ez fokozza a környezetszennyezést és az útvonalak alatt élők zajterhelését is növeli, amelyeknek súlyos gazdasági vonatkozásai vannak (21. ábra, 3. számú melléklet).



21. ábra Budapest-Ferihegy Nemzetközi Repülőtér stratégiai zajtérképe (forrás: KTI)

⁷ ToWeR SuperVisor: A torony vezető irányítója, a fő döntéshozó.

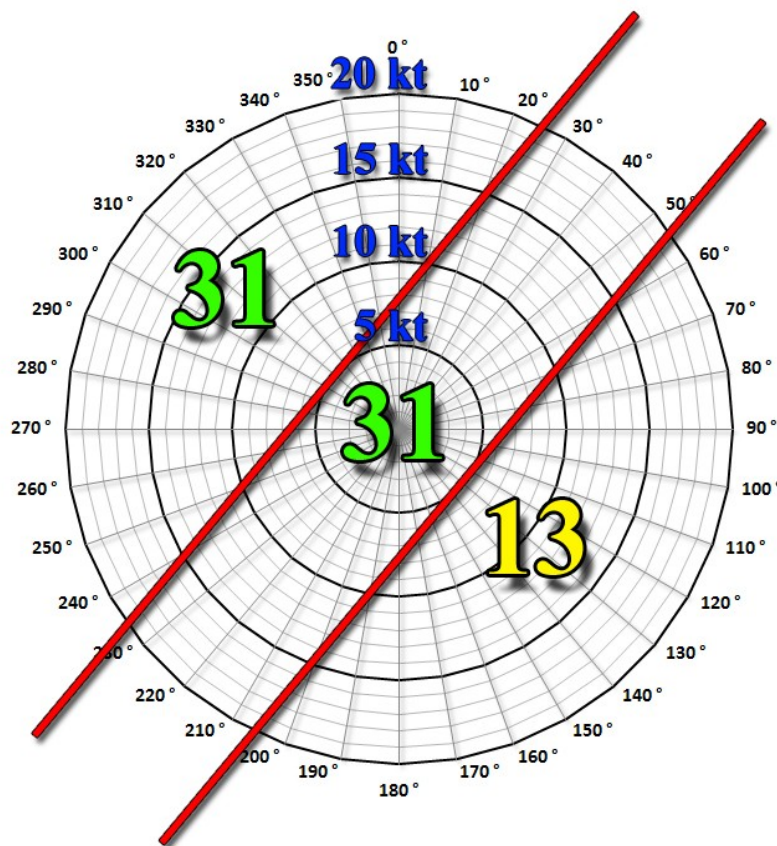
⁸ TerMinal control Area: közelkörzeti légtér, egy vagy több nagyobb repülőtér közelében.

Jelen kutatással célunk ezen a szituációk számát minimálisra csökkenteni, és olyan előrejelzési-döntési rendszer kialakítása, amely a pályairány meghatározásához nyújt segítséget és hatékonyabbá teszi a légiforgalomirányítók és a pilóták közös munkáját.

4.2. *Pályairány meghatározása*

Az aktuálisan használatos pályairány meghatározása több tényezőtől függő döntés eredménye. A futópályát és futópályairányt az irányítótorony vezető irányítója (TWR SV) jelöli ki, és erről tájékoztatja a magaslégtéri légiforgalomirányítók vezetőjét is. A légi járművek alapvetően széllel szemben szállnak le és fel, kivéve, ha biztonsági, futópálya elhelyezkedési (beleértve a környezetvédelmi szempontokat) illetve a meteorológiai körülmények, a rendelkezésre álló műszeres megközelítési eljárások vagy a légiforgalmi körülmények miatt az attól eltérő irány az előnyösebb. Ferihegy környezetének zajterhelése szempontjából a rendelkezésre álló 4 pályaküszöb közül a következő elsőbbségi sorrendet kell követni: 31R, 31L, 13R, 13L. Így elsősorban a 31-es pályairányt kell használni, a 31R pályát a leszálláshoz és 31L pályát pedig a felszállásokhoz. 13-as pályairány esetén felszállásra a 13L pálya van kijelölve, leszállásra pedig a 13R. Éjszakai időszakban, 00:00 és 05:00 között felszállásra a 13L és leszállásra pedig a 31R futópálya az előnyben részesített. Egyéb meghatározó tényezők is befolyásolhatják a pályairány kijelölését, többek között, ha munkálatok vannak az adott pályán, hóeltakarítás van folyamatban, szennyezett a pálya vagy egy adott légi jármű számára nem fogadható el a rendelkezésre álló pályahossz, és még hosszán lehetne sorolni. A szél szempontjából, amikor az ALMOS rendszer által megjelenített 31-es pályairányhoz tartozó hátszél összetevő, beleértve a szélökéseket is, meghaladja az 5 kt határértéket, a TWR SV-nek konzultálnia kell a Repülésmeteorológiai részleggel. Ha ez megerősíti és a forgalmi helyzet is alátámasztja (pilóták szóbeli visszajelzése) a váltás igényét, akkor meg kell kezdeni az átállást 13-as futópályairányra. Akkor lehet visszaállni, ha a 31-es pályairányra vonatkoztatott hátszélkomponens értéke legalább 1 óra időtartam alatt folyamatosan 5 kt-nál kisebb, valamint a Repülésmeteorológiai részleg is ezt a tendenciát támasztja alá. Mivel a ferihegyi futópályák párhuzamos elhelyezkedésűek, így az oldalszél komponens nem szempont a használatos futópályairány kijelölésekor.

A hátszélkomponens értelmezéséhez az alábbi szemléletes diagramot készítettem (22. ábra). A két piros vonal a 31-es pályairányhoz tartozó 5 csomós szembeszél és hátszél komponenst mutatja. Az 5 kt feletti szembeszél komponens egyértelműen a 31-es pályairányt jelöli ki, az 5 kt feletti hátszélből származó összetevő pedig a 13-as pályairány használatát indokolja. Az 5 csomó alatti pályairányú hátszélkomponens pedig szintén a 310° felé tájolt pályákhoz tartozó repülési eljárások használatát vonja maga után.



22. ábra Pályairány meghatározására szolgáló szélrózsa

4.3. Szél-előrejelzési módszerek

A pontos szélelőrejelzés készítésére többféle módszer kínálkozik. A numerikus modellekből számított értékek nyers felhasználása nem minden esetben vezet megbízható prognózishoz. Belátható, hogy pusztán szinoptikus analízis alapján sem lehet hosszútávon vagy akár csak egy napra előre – olyan szakterületen, mint a repülés – pontos szélirány és szélesebesség adatokat szolgáltatni.

Ezek tudatában, és ismerve a prognózis egy adott helyszínhez kötött speciális felhasználását, kézenfekvő, hogy a szél előrejelzése a statisztikus klimatológiai adatok és numerikus előrejelzési produktumok ötvözéséből, a tapasztalatainkkal kiegészítve készíthető el. A továbbiakban egy ilyen összetett módszertanhoz szükséges építőelemeket mutatok be.

4.3.1. Jelenlegi módszerek, eszközök

A HungaroControl Repülésmeteorológiai részlegén napi rendszerességgel készülnek szélelőrejelzési produktumok. Az ügyeletes szinoptikusok feladata, hogy helyi időben számítva reggel 7 óráig elkészítse Budapest Ferihegy Nemzetközi repülőtérre szóló szél- és látástávolság előrejelzést. Az előrejelzések célja, hogy az irányító szakszolgálatok felkészüljenek az időjárásra visszavezethető munkamenet-változásokra, elsősorban a pályairány-váltásra. A szélelőrejelzést a következő 72 órára szólóan kell kiadni úgy, hogy a várható szignifikáns szélesebesség és szélirányváltozások időpontját is feltüntetik. A szélelőrejelzés elkészítéséhez az előrejelző szinoptikusok rendelkezésre áll a HAWK munkaállomáson az ECMWF 6 és 12 órás időbeli felbontású numerikus modellfuttatásai, az OMSZ ALADIN korlátos tartományú modellje, az NCEP GFS modellje valamint a WRF nem-hidrosztatikus térségi modellje. A prognózist a 1-es számú melléklet szerinti formanyomtatványon kell leadni.

A repülőtérre az Országos Meteorológiai Szolgálat is készít előrejelzéseket TAF táviratok formájában. Az ICAO szabályozása, és a helyi egyezmények alapján 24 órás, úgynevezett hosszú TAF-ot készítenek. A TAF előrejelzések pontosságának követelménye az ICAO III. Annexében szerepel, ahol a szélirány előrejelzéséhez $\pm 20^\circ$, a szélesebesség előrejelzéséhez ± 5 csomó a megengedett (*International Civil Aviation Organization*, 2007). A magyarországi repülőterek TAF előrejelzéseinek összehasonlító verifikációját Potor Anita és Wantuch Ferenc végezte 2009-ben (Potor, 2009; Potor és

Wantuch, 2009). A beválás vizsgálata a félóránként rendelkezésre álló METAR táviratok alapján történt, amelybe a távirat kiadása előtti 10 perc átlagos szélirány és szélsébség adatai kerülnek. A ferihegyi szélirány előrejelzések szempontjából a 9 órás érvényességi idejű TAF-ok beválása 80% feletti értéket mutatott, majd 2008 novemberétől életbe lépő 24 órás TAF táviratok verifikálása már rosszabb eredményt adott. Éves szinten átlagosan 84% körüli a beválások valószínűsége. A szélsébség előrejelzések 78%-os éves megbízhatóságot mutattak. Összességében a TAF előrejelzések beválása pontos eredményeket mutat, de a pályairány meghatározásához egy időben részletesebb, és az ICAO ajánlásától eltérő, speciális – helyi adottságoktól függő – irányérzékenyséű szél előrejelzési produktumra van szükség.

4.3.2. A kutatás során használt módszerek

A munkánk során a következő módszereket vizsgáltuk meg:

(i) Tisztán numerikus előrejelzési megközelítés

Ebben a megközelítésben a WRF-EMS környezeti modellező rendszert, mint segédeszközt használtuk. Nem tűztük ki célul a numerikus előrejelzési modell fejlesztését, hanem csupán annak optimális adaptálását a célfeladatra, vagyis a térségre vonatkozó legmegbízhatóbb parametrizáció-együttes kiválasztását az előrejelzési produktumok verifikálása alapján. Ebben a módszerben az előrejelzési feladathoz a numerikus modellen kívül más eszközt nem használtunk.

(ii) Statisztikai megközelítés

Ennél a módszernél a meglévő szélmérési adatsorok vizsgálatával, összehasonlításával és felhasználásával nyerünk az előrejelzéshez adatokat. A napi előrejelzési feladatban közvetve ez a módszer közvetlenül nem alkalmazható hanem csupán járulékos információt szolgáltat, de a hosszabb távú előrejelzésekhez való felhasználása például havi előrejelzés a repülőtér statisztikai vizsgálatában, pályairányok megoszlása a tavaszi félévben, stb. egyértelműen használható.

(iii) „Perfekt prognosztikai” megközelítés

Ez a módszer egy sajátos perfekt prognosztikai megközelítést alkalmaz, amelyben azt feltételezzük, hogy a magassági szélelőrejelzés a modell által jól előrejelzett paraméter, amelynek segítségével a talajszelet kezeltük előrejelzendő paraméterként és statisztikai kapcsolatot kerestünk a magassági és talajszél között (ld. (ii)). Tehát a harmadik módszer a két fentebb említett alkalmazás ötvözéséből áll. A lényege, hogy a magassági szél előrejelzéséből a repülőtérré vonatkozó pályairány gyakoriságot készítünk.

4.4. *WRF EMS környezeti modellező rendszer felhasználása*

Kutatásunkban az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Légkör Kutatási Központja, a NCAR és a Központi Előrejelző Intézete, a UCAR valamint számos egyetem fejlesztését, a WRF numerikus időjárás előrejelzési modellt használtuk fel. A Weather Research and Forecasting szavakból áll a rövidítése, amelynek jelentése: az időjárás kutatása és előrejelzése. A WRF modelles család alkalmas globális és korlátos tartományú modellezésre ezen felül pedig hidrosztatikus és nem-hidrosztatikus beállításra is, amelyet bárki futtathat kutatás és előrejelzés céljából a saját számítógépén. Két változata létezik, a WRF-ARW (Advanced Research WRF) magja, amely kutatási feladatokra a legkiválóbb és a WRF-NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) mag, amely az operatív előrejelzési feladatokhoz a legalkalmasabb. A nyílt forráskódnak köszönhetően a WRF egy dinamikus fejlődő előrejelzési modell. Sorra jelennek meg újabb verziók, amelynek hatása a munkánk során is jelentkezett. Mi a WRF-EMS 3.1-es verziót adaptáltuk.

4.4.1. *Technikai háttér*

Az előrejelzéshez egy 4 GB RAM memóriával rendelkező 8 processzormagos számítógép állt rendelkezésre, amelyet az Amatőr Meteorológusok Egyesülete bocsátott rendelkezésre a kutatáshoz. Naponta kétszer fut a WRF-ARW 00 és 12 UTC időpontkor 4 km-es rácsfelbontással, 72 óra időtartamra, óránkénti adatkimenettel a GFS globális modell kezdeti- és peremfeltételeivel. A GFS modell jelenleg 3 óránkénti kimenettel rendelkezik és 0.5°-os horizontális felbontással, amely a budapesti földrajzi szélességen

körülbelül 50 km-nek feleltethető meg. A pontos szélelőrejelzés készítéséhez és a verifikáláshoz a Grads meteorológiai elemző és megjelenítő alkalmazás segítségével a repülőtér geometriai középpontjára interpolált széladatokkal dolgoztunk.

4.4.2. Előrejelzési szakaszok

Az előrejelzési folyamat három ütemben történt a fejlesztések miatt. 2009. július 28-tól október 10-ig a WRF 3.0-ás verziója üzemelt operatívan a Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) planetáris határréteg sémával, amely 2,5-ed rendű lezárást alkalmaz. Ennél a PBL sémánál a turbulens diffúziós együttható a szomszédos rácspontok között függőleges keveredéssel jut át (*local-vertical K mixing*). A TKE⁹ számítása a planetáris határréteg és a szabad légkör közötti vertikális keveredésre épül (*Wang et al.*, 2009; *Mellor and Yamada*, 1974, 1975, 1982).

A következő időszak 2009. október 10-től 2010. február 19-ig tartott. Ekkorra lett frissítve a WRF 3.1-es verziójára és a téli időszakra való tekintettel a QNSE (Quasi-Normal Scale Elimination) határréteg sémát alkalmaztuk, amelynél a turbulens kinetikus energia előrejelzése a stabil légrétegzettségű állapotoknál megbízható (*Seaman*, 2008). A leírások szerint a stabil légrétegzettségű helyzetek szimulálásához alkalmazható, így vélhetően a Magyarországon előforduló téli hideglégpárnás helyzetek előrejelzésére jobban használható.

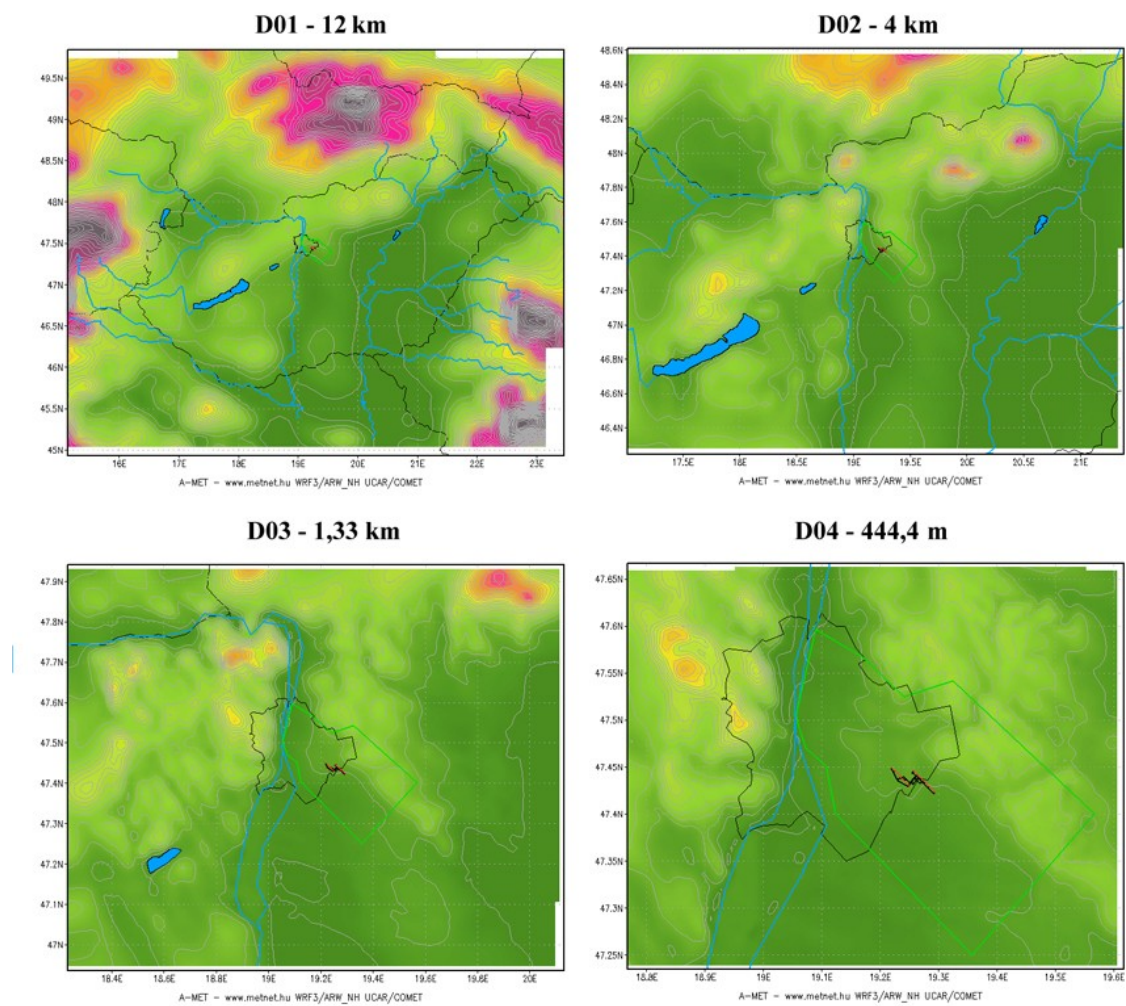
2010. február 19-től a WRF történetében egy új fejlesztés jelent meg. A WRF-EMS (Environmental Modeling System) 3.1 verzió, amely az eddigieknél optimalizáltabb, így a számítási igény is csökken, valamint az előző verziókban fellépő problémák is javítva lettek (jellemzően a parametrizált mezőknél jelentkező interferencia képek voltak tapasztalhatóak, amelyek a határfelületről visszaverődő belső hullámok eredményeként jelentek meg). Programozási szempontból is felhasználóbarátabb az új frissítés és könnyebbé teszi a WRF használatát a telepítéstől kezdve az operatív futtatásig. Innentől szintén a MYJ határréteg sémát alkalmaztuk, amely az eddigieknél jobbnak bizonyul az új konfigurációban, másrésről a készítő a WRF-ARW modellhez ezt ajánlják (*Wang et al.*, 2009).

A rendelkezésre álló időszak hossza négy hónap híján nem ölel fel egy teljes évet, így az eredmények nem teljesen objektívek, mert a nyári időszak nincs lefedve.

⁹ Turbulens kinetikus energia

Ezért a teljeskörű vizsgálat érdekében futtattunk esettanulmányokat, amelyekkel különböző, de gyakran előforduló időjárási szituációkat próbáltunk előrejelezni. A futtatások abban tértek el az operatív előrejelzéstől, hogy ennél négy egymásba ágyazott nestet alkalmaztunk 12 km – 4 km – 1,33 km és 444,4 méteres horizontális rácsfelbontással (23. ábra).

A horizontális felbontás növelésével a CFL-kritérium miatt csökkent az integrálási időlépcső, ezért a számításigény jelentősen megnövekedett. Miután másfajta fizikát alkalmaztunk, így a domaineik között is kellő oldaltávolságot kell tartani, hogy a nagyobb felbontású tartományon a dinamikai és fizikai számítások érvényesülni tudjanak. Ezeknél az esetvizsgálatoknál a két planetáris határréteg parametrizációt felváltva futtattuk le és a valós mérési eredményekhez, valamint egymáshoz is viszonyítottuk, amelyet a későbbiekben bemutatunk.



©AD5: COLA/RES

23. ábra Esettanulmányok futtatása során egymásba ágyazott modell tartományok domborzati térképei

4.5. *A magassági szél és 10 méteren mért szél közötti kapcsolat*

Ferihegytől légvonalban 5,5 km-re található az Országos Meteorológiai Szolgálat Gilice téri obszervatóriuma. Innen naponta kétszer 00 és 12 UTC időpontokban végeznek magaslégköri rádiószondázást. Magasság, nyomás, hőmérséklet, relatív nedvesség, keverési arány, szélirány és szélesebbség a legfontosabb paraméterek, amelyeket felszállás közben rögzít. Átlagosan 35 kilométeres magasságig képesek feljutni, de a ballon minőségétől függően ez lehet kevesebb is.

A planetáris határréteg a légkörnek a földfelszínnel érintkező rétege, amelynek sajátosságait a szilárd- és folyékony földfelszín alapvetően meghatározza, valamint a légkör közötti hő- és nedvességkicserélődés mechanikai kölcsönhatásai jellemezzék. Éjszaka a mechanikai, nappal a termikus és mechanikai turbulencia együttes hatása alakítja a határréteg szerkezetét. A határréteg egyik jellemző sajátossága, hogy a szél a magassággal az északi félgömbön jobbra fordul, sebessége növekszik és meghatározott napi menetet mutat, ahogyan láthattuk a *19. ábrán* (Bodolai, 1983). A határréteg felett a szabad légkörben az áramlásokat közepes és magas szélességi fokon a nyomási gradiens erő és a Coriolis-erő határozza meg. Buys-Ballot bárikus széltörvénye értelmében hátulról fújó szél esetében az alacsony nyomású terület bal kéz felé esik, míg a magasnyomású jobb oldalt helyezkedik el. A talajközeli rétegben ez a geosztrófikus egyensúly módosul, ugyanis a felszín hatása miatt súrlódás lép fel és így a nyomási gradiens erő, a Coriolis-erő és a súrlódási erő egyensúlya fogja meghatározni az áramlást (Götz és Rákóczi, 1981).

A szélesebbség összetevőinek magassággal való megváltozására az alábbi képleteket lehet használni. A sebesség abszolút értékére és az iránytangens értékére vonatkozó egyenletek azt mutatják, hogy a z magasság növekedésével arányosan növekszik a sebesség, a hajlásszög pedig csökken. Ez annál gyorsabb, minél nagyobb az a értéke, vagyis minél kisebb a turbulens kicserélődés és minél nagyobb a vizsgált hely földrajzi szélessége. Az a szint, ahol a szél geosztrófikussá válik, a planetáris határréteg felső határának tekintjük.

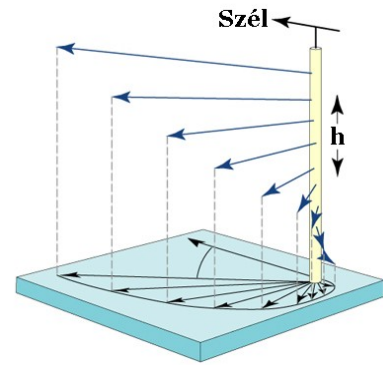
$$u = V_g(1 - e^{-az} \cos az), \quad v = V_g e^{-az} \sin az, \quad \text{ahol} \quad a = \sqrt{\frac{\omega \sin \varphi}{k}}.$$

$$\text{A } V = \sqrt{u^2 + v^2} \text{ abszolút értéke: } V = V_g \sqrt{1 - e^{-az} \cos az + e^{-2az}}.$$

$$\text{A hajlásszög: } \operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{u} = \frac{e^{-az} \sin az}{1 - e^{-az} \cos az}.$$

1. egyenlet Az Ekman-réteg szélegyenlete. $V=V(u,v)$ a horizontális szélesebesség a z szinten, V_g a geosztrófikus szél, a az elfordulás szöge, k a kicserélődési együttható, φ a földrajzi szélesség, ω a Föld forgási szögsebessége

Ha megszerkesztjük a szélesebesség z magasság szerinti változását, akkor az Ekman-spirált kapjuk. Ez egy 45° -os logaritmikus spirál, amely átmegy az origón és aszimptotikusan közeledik a $V = u_g$ ponthoz. A spirálból látható, hogy a planetáris határrétegben a Coriolis-erő és a turbulencia együttes hatására a szélesebesség a magassággal kezdetben gyorsan, később lassabban növekszik, és jobbra fordul. A szél erősödése és jobbrafordulása nem mindig tapasztalható. Az ok az, hogy a nyomási gradiens iránya és nagysága a magassággal gyorsan változik. Ez a változás olyan is lehet, hogy a szél balra fordulását és a sebesség csökkenését is eredményezheti, valamint a szél változhat a termikus mező hatására is. Így belátható, hogy a talajközeli rétegben a szél több tényezőtől függ: a Coriolis-erő, a nyomási gradiens erő, a súrlódási erő és az adott rétegre jellemző termikus szélvektor együttes szerepétől (Bodolai, 1983).



24. ábra Ekman-spirál

Az így mért magassági széladatokat jól reprezentálják a Ferihegy feletti légoszlopot. Ezzel a megállapítással élve összehasonlító elemzést végeztünk a 850 hPa-on és 10 méteresen mért szél között. A vizsgálatnál arra az elhatározásra jutottunk, hogy 00 UTC-s szondafelszállás a túlnyomóan inverziós helyzetekből adódóan sokkal kevésbé használható, így csak a 12 UTC-s szondázásokat vettük figyelembe. Az Excel táblázatkezelő alkalmazásban a Solver eszközzel dolgoztunk. A folyamat abból állt, hogy a szélirány és szélesebesség értékeket u és v szélesebesség-komponensekre bontottuk, majd lineáris kombinációval próbáltuk előállítani a 10 méteres szél segítségével a 850 hPa-on mért szelet. Az x_i és y_i értékeket összegeztük külön-külön és a Solver segítségével az A, B, C és D együtthatók változtatásával próbáltuk a $\sum x_i$ és

$\sum y_i$ értékeket minimalizálni, 0-hoz közelíteni, tehát gyakorlatilag a legkisebb négyzetek módszerének elvét használtuk fel.

$$x_i = abs(u_{i\ 850\ hPa} - (A * u_{i\ 10\ méter} + B))$$

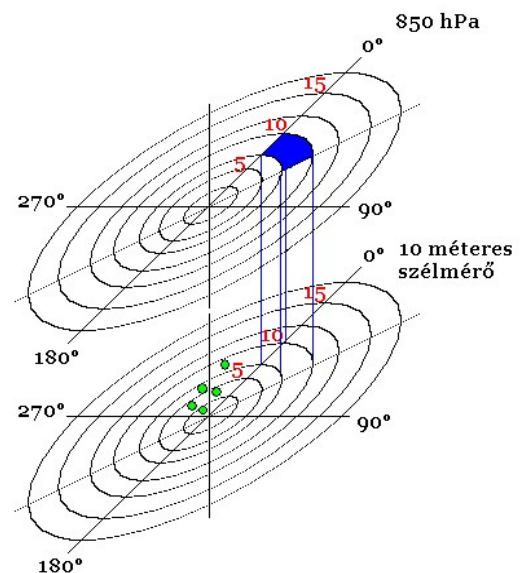
$$y_i = abs(v_{i\ 850\ hPa} - (C * v_{i\ 10\ méter} + D))$$

2. egyenlet Szondázási és talajszél közötti kapcsolatra felírt tapasztalati képlet

Az eljárás során átlagolva a négy pályaküszöb méréseiből származó eredményeket az $A=0.856$, $B=-2.918$, $C=1.269$ és $D=0.486$ értékeket kaptuk, de az eltéréseket nem sikerült jelentős mértékben csökkenteni. A vizsgálat során tehát azt tapasztaltuk, hogy ez a módszer összességében nagyon minimális javulást hoz az átlagos beválás vizsgálatokor – a szélesség-különbség vektor abszolút értékének átlaga néhány tized csomót javult – ráadásul olykor jelentős hibát vitt az ily módon korrigált előrejelzésekbe. Így módszerünk nem vezetett érdemi eredményre, ezért a továbbiakban ezt a módszert elvetettük és másfajta tapasztalati vizsgálatokra összpontosítottunk.

A 850 hPa-os szél és a talajszél összehasonlításában az 5 év alatt rendelkezésre álló nagyjából 1500 szondázási adatot csoportosítottuk szélirány és szélességek szerint. Így 22.5 fokként készítettünk iránybeosztást, amellyel 16 irányszektort kaptunk. A szélességnél pedig 0-5 kt, 5-15 kt, 15-25 kt csomó közötti és 25 csomó feletti intervallumokat állítottunk elő. Hasonló vizsgálatokat végeztek már 1990-ben, ahol a számított nyomási gradiens és a mért reptéri szél alapján próbálták meghatározni az áramlási viszonyokat. A nyomási gradiens meghatározásához 16 szinoptikus mérőállomás nyomásadatait használták fel és így a 4 fő- és 4 mellékégtáj szerint 8 irányszektorra osztották fel a szélrózsát. A vizsgálathoz egy évnyi 12 UTC-s számítások eredményeit használták fel (Bozó, 1990).

A kísérletben azt vizsgáltuk, hogy az irányok és szélességek által határolt szektorban a mérési időszak alatt hány szondázás volt, amelynek a mérési eredményei



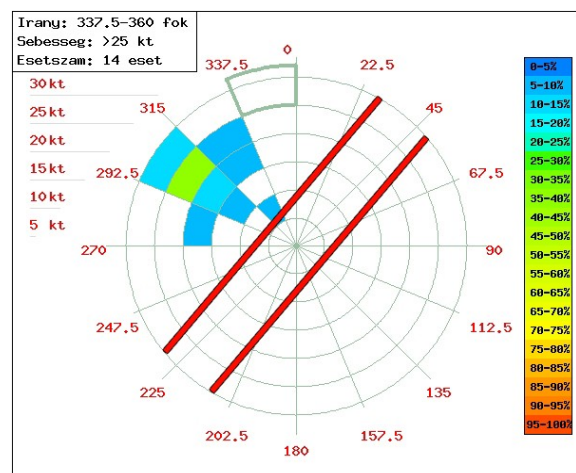
25. ábra Feltételezett magassági és talajszél viszonyok.

ebbe a tartományba esnek. A következő lépésben a szondázások időpontjai alapján visszakerestük a repülőtér szélmérői által rögzített széladatokat, hogy azok melyik szektorba estek. Ezt a 25-ös számú ábrán szemléltetjük. A választott magassági szektor késsel van jelölve és zöld körökkel a hozzá tartozó talajszél értékek. Azt a becslést alkalmaztuk, hogy a rádiószonda körülbelül 6 perc időtartam alatt éri el a 850 hPa-os magassági szintet, így a 12:06 UTC-s szélméréseket vettük figyelembe a repülőtéren. A repülőtér adottságai és a légiforgalom szempontjából arra az elhatározásra jutottunk, hogy a 31R szélmérő eredményeit használjuk fel a vizsgálat során, mert ez a repülőtéren az elsődleges pályaküszöb és erre érkezők a repülőgépek nagy hányada. Igyekeztünk ideálisan megválasztani az intervallumok nagyságát ahhoz, hogy kellő esetszámunk legyen a rádiószondás adatokból illetve a sebesség szempontjából összemérhető legyen a pályairány meghatározásánál fontos 5 csomós hátszélkomponens. Így összességében 64 eset állt elő, amelyeket a 2-es számú mellékletben gyűjtöttünk össze.

Található olyan szektor is, ahol csak 1-1 szondázás volt fellelhető, amelyek így nem nyújtanak kellő segítséget a pontosabb előrejelzéshez. A vizsgálatok nagy részében azonban több szondázás is rendelkezésre áll szektoronként, így kellő esetszámmal rendelkezünk a magassági és talajszél kapcsolatának megállapításában.

Példaként hoznék fel egy tipikus esetet, amikor a 850 hPa-os szinten a szél

ÉÉNY-É-i irányból fújt jellemzően 25 csomó feletti sebességgel. A rádiószondás felszállások közül az elmúlt 5 évben 14 ilyen esetet találtunk, amely eleget tett a feltételnek. Látható a 26. ábrán a szürkével határolt körgyűrű cikk tartomány és különböző színezéssel, az egyes szektorokba eső szélmérések gyakorisága. Jelen esetben 35-40% gyakorisággal fújt ilyen helyzetben 292,5°-315° közötti 20-25 csomós szél 10 méteres magasságban. Ezek jellemzően hidegfront átvonulását követően fordultak elő. Megfigyelhető az előzőleg tárgyalt Ekman-spirál is, ahogyan fentről lefelé haladva a szél a magassággal balra fordul. A két piros vonal a pályairány meghatározásához nyújt segítséget, így szemléletesebbé válik az értelmezés, ahogyan a



26. ábra Erős magassági szél kapcsolata a talajon mért széllel.

21. ábrán láthattuk. Kisebb sebességeknél fordul elő olyan, hogy a talajmenti szelek nagy szórást mutatnak és nem látható az Ekman-réteg hatása.

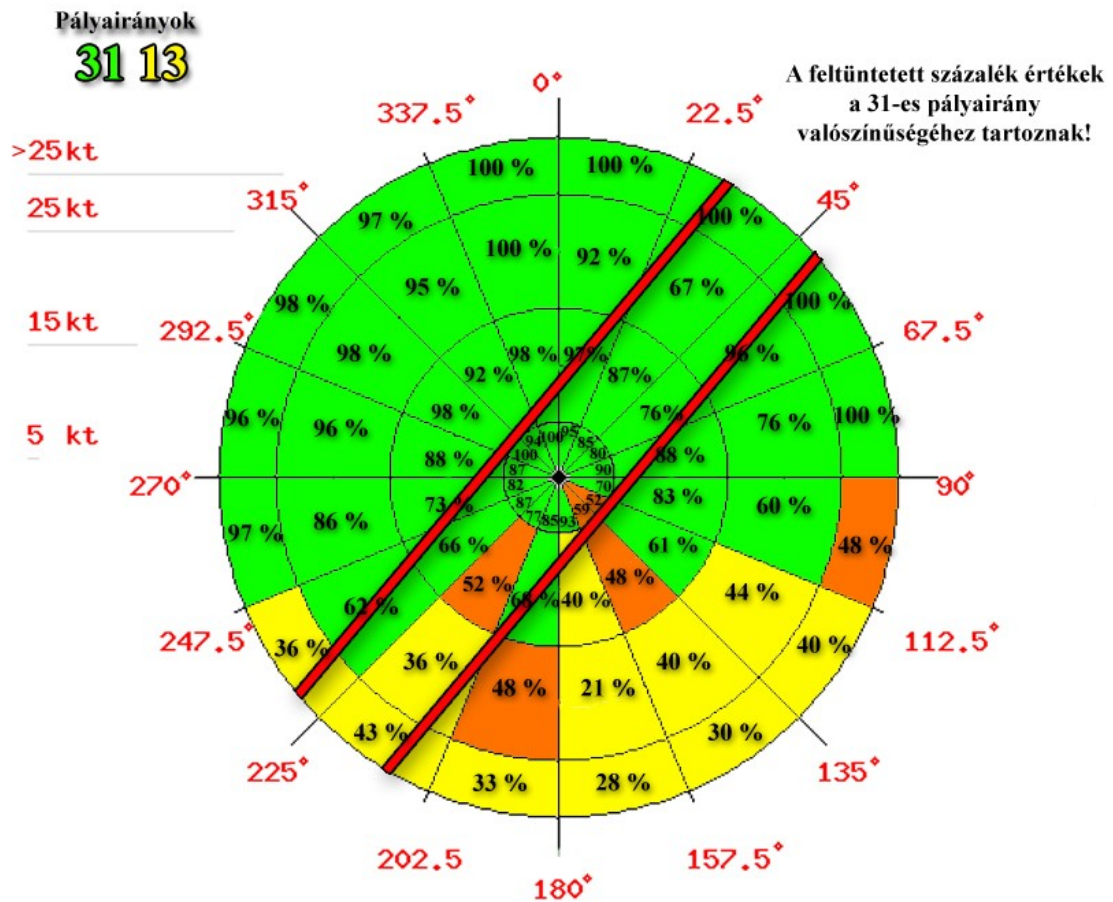
A tapasztalatok alapján elmondható, hogy csupán az esetek elenyésző hányadában állt rendelkezésre kevés szondázási vagy reptéri széladat, s így az ezekből származó adatok nem használhatók érdemben a magassági és talajszél összehasonlításához.

	0 kt - 5 kt		5 kt - 15 kt		15 kt - 25 kt		> 25 kt	
	31	13	31	13	31	13	31	13
0° - 22.5°	95%	5%	97%	3%	92%	8%	100%	0%
22.5° - 45°	85%	15%	87%	13%	67%	33%	100%	0%
45° - 66.5°	80%	20%	76%	24%	96%	4%	100%	0%
66.5° - 90°	90%	10%	88%	12%	76%	24%	100%	0%
90° - 112.5°	70%	30%	83%	17%	60%	40%	48%	52%
112.5° - 135°	52%	48%	61%	39%	44%	56%	40%	60%
135° - 157.5°	59%	41%	48%	52%	40%	60%	30%	70%
157.5° - 180°	93%	7%	40%	60%	21%	79%	28%	72%
180° - 202.5°	85%	15%	68%	32%	48%	52%	33%	67%
202.5° - 225°	77%	23%	52%	48%	36%	64%	43%	57%
225° - 247.5°	87%	13%	66%	34%	62%	38%	36%	64%
247.5° - 270°	82%	18%	73%	27%	86%	14%	97%	3%
270° - 292.5°	87%	13%	88%	12%	96%	4%	96%	4%
292.5° - 315°	100%	0%	98%	2%	98%	2%	98%	2%
315° - 337.5°	94%	6%	92%	8%	95%	5%	97%	3%
337.5° - 360°	100%	0%	98%	2%	100%	0%	100%	0%
	84%	16%	76%	24%	70%	30%	72%	28%

7. táblázat Pályairányok valószínűsége a 850 hPa-os magassági széllal kapcsolatban.

A fent említett módon készült szélrózsák alapján összeállítottam a magassági szél és talajszélből meghatározott repülőtéri pályairányhoz tartozó valószínűségek táblázatát (7. táblázat). A táblázatban zöld színnel a 31-es pályairány előfordulását tüntettem fel, sárgával a 13-as pályairány használatát. Narancssárga színnel azok az esetek vannak jelölve, amikor nem egyértelmű a pályairány meghatározása, mert közel azonos százalékban fordult elő 13-as és 31-es pályairányhoz tartozó szélkomponens. Ezekben az esetekben 60%-os előfordulásnál húztuk meg a határt a 31-es pályairány szempontjából.

A 7. táblázat szélrózsára való adaptálását is elvégeztem, amely a 27. ábrán látható, ugyanazon színezéssel, mint az előbbieken. A feltüntetett százalék értékek a 31-es pályairány előfordulására vonatkoznak.



27. ábra Pályairányok valószínűsége a 850 hPa-os magassági széllel kapcsolatban. A feltüntetett százalék értékek a 31-es pályairány valószínűségéhez tartoznak.

Továbbiakban, a munkánkban a magassági és a talajszél összehasonlító vizsgálata ott kap szerepet, hogy bizunk a WRF-EMS modell magassági szélelőrejelzésében, vagyis hogy a planetáris határréteg tetején – amikor a súrlódási erő elveszíti szerepét az áramlási viszonyok meghatározásában – a numerikus modell megbízhatóan képes előrejelezni.

4.6. *A WRF-EMS szélelőrejelzésének verifikálása*

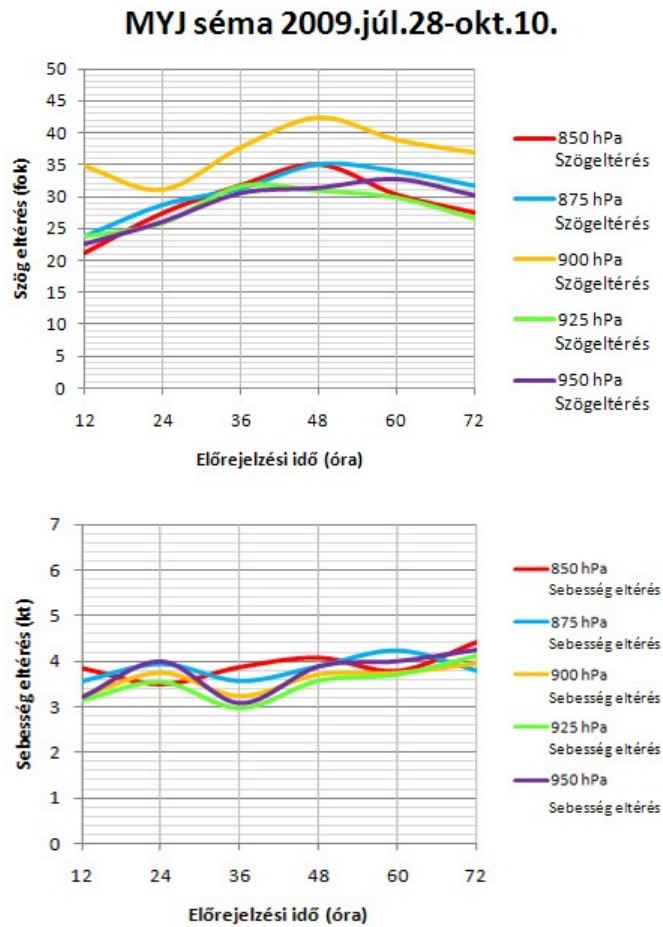
A modell szélelőrejelzések 72 óra időtartamra készültek óránkénti adatkimenettel. A WRF modellről ismertetett részben láthattuk, hogy három fázisra bontható a kutatás. 2009. július 28-tól október 10-ig az első szakasz a Mellor-Yamada-Janjic planetáris határréteg-sémával történt a 3.0-ás modellverzióval. Az előrejelzés során a repülőtér geometriai középpontjában lévő helyre interpoláltuk a széladatokat és a magassági szélméréseknél is ugyanezt a koordinátát (É-i.sz. 47,4368°, K-i.h. 19,2555°) vettük figyelembe 850 hPa, 875 hPa, 900 hPa, 925 hPa és 950 hPa-os szinten. A verifikálásnál a négy szélmérő eredményeihez viszonyítottuk az előrejelzett széladatot és ezek alapján azt vizsgáltuk, hogy melyik mérési pontnál mutat nagyobb megbízhatóságot. PHP és Excel segítségével az adott előrejelzési időpontban képeztük a mért és előrejelzett szélirányok közötti különbség abszolútértéket valamint szélesebbégi abszolútértéket. Ebből következően a modell megbízhatóságát a kis szélirány- és szélesebbég eltérés jelenti. Elvárásaink szerint a 13L szélmérőjének széladataival mutatja a modell eredmény a legnagyobb korrelációt, ugyanis ez a repülőtér legmagasabb pontja és nincs a környezetében semmilyen orografikus akadály, amely gátolná a szabad áramlást. A rádiószondás felszállások verifikálásánál a 850 hPa-os magassági szint széladatainál várjuk a legjobb egyezést, mert a planetáris határréteg tetején ezt a szintet befolyásolja legkevésbé a felszín hatása.

4.6.1. *Magassági szélelőrejelzések verifikálása*

A verifikálás során külön vizsgáltuk a szélirány és szélesebbég eltérések abszolútértékét. A modell futtatás első fázisában készült szélirány eltérés látható a 27. ábrán. 12 órától vettük figyelembe a magassági szelek előrejelzését, mert a 00-s időpontban az analízis adat kerül bele, ami természetes nem reprezentálja a modellfutást. Jól látható, hogy a modell első 12 órája után a 900 hPa-os magassági szint szélirány előrejelzése tér el leginkább, átlagosan 35°-al. 24 óránál éri el a minimális értéket 31°-os különbséggel, majd 48 óránál az előrejelzés a legrosszabb. A többi szinten az első 12 óra után válik a szélirány előrejelzés megbízhatatlanabbá a kezdeti 20-25°-os eltéréshez képest. A legnagyobb széliránykülönbség itt is 48 óránál figyelhető meg. A számunkra fontos 850 hPa-os szint jellemzően a többi görbével együtt fut, nagyobb eltérés nem figyelhető meg, de látszik, hogy az előrejelzési idő előrehaladtával

egyre nagyobbá válik a különbség az előrejelzett és mért szélirány között. A TAF előrejelzéseknél elvárt $\pm 20^\circ$ -os eltérés már a modell

A rádiószondás szélesség mérések és előrejelzések összehasonlítása az első szakaszban a 28. ábrán tekinthető meg. A szélesség különbségeknél látható egy 24 órás periodicitás az első 36 órában. A 850 hPa alatti alacsonyabb szinteken a szélességek különbségei jellemzően együtt futnak. Látható, hogy a 950 hPa-os szint sebesség előrejelzése rosszabb, mint a 925 és 900 hPa-os szinté. A 850 hPa-on mért szélességi görbe pedig teljesen más menetet mutat, mint az alacsonyabb szinteken mért. Ennek a minimuma 24 óránál van, majd folyamatosan



28. ábra Magassági szélelőrejelzés verifikálása (MYJ-2009)). Az átlagos szélirány- és szélesség eltérés a modell időfüggvényében.

romlik, de az egész futási idő alatt 5 csomó alatt marad, ahogyan a többi érték is, amely a pályairány meghatározásához szükséges sebességkülöb alatt marad. Ebből megállapítható, hogy az optimális előrejelzési időszak 12 óra után kezdődik és körülbelül 36 óráig tart, amikor eléri az indulási eltérés értéket.

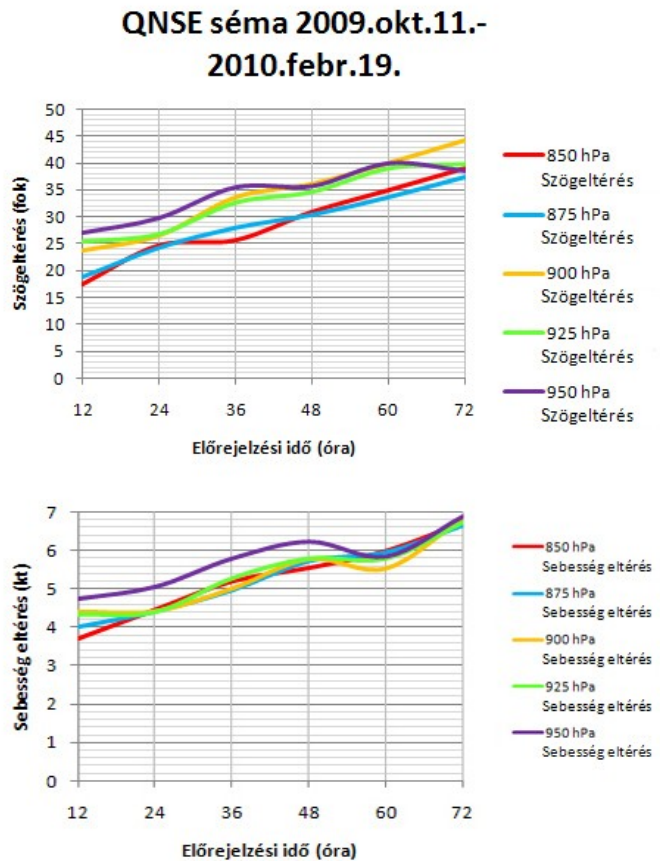
Összevetve a szélirány és szélesség eltéréseket megállapítható, hogy a 12 és 36 óra közötti időszak tűnik a legmegbízhatóbbnak a 850 hPa-os szél előrejelzésekor és az 4.5.-ös fejezetben bemutatott tapasztalati kapcsolaton alapuló diagram használható a pályairány kijelöléséhez.

A második szakasz 2009. október második dekájától kezdődően 2010. február 19-ig tartott, amely során a WRF-ARW 3.1-es verziója futott új beállításokkal, amelyben a QNSE határréteg séma üzemelt. A szélirányok vizsgálatánál az látható, hogy minden magassági szél esetén a teljes előrejelzés folyamata során romlik az

előrejelzés beválása. A 950 hPa-os nyomási szinten mért szél iránya az előrejelzettől már a kezdettől jelentősen eltér. 12 óránál a 850 hPa-os szint eltérése 18° , majd 24 és 36 óra közötti időszakban egyenletesen 25° -os az irányeltérés, ami megbízhatónak bizonyul. Hasonló eredményeket mutat a 875 hPa-os szint szélirány adatai is. Ebből arra lehet következtetni, hogy a téli időszakban a sűrűdés kevésbé játszott szerepet a magasabb szinteken fújó szelek irányának meghatározásában.

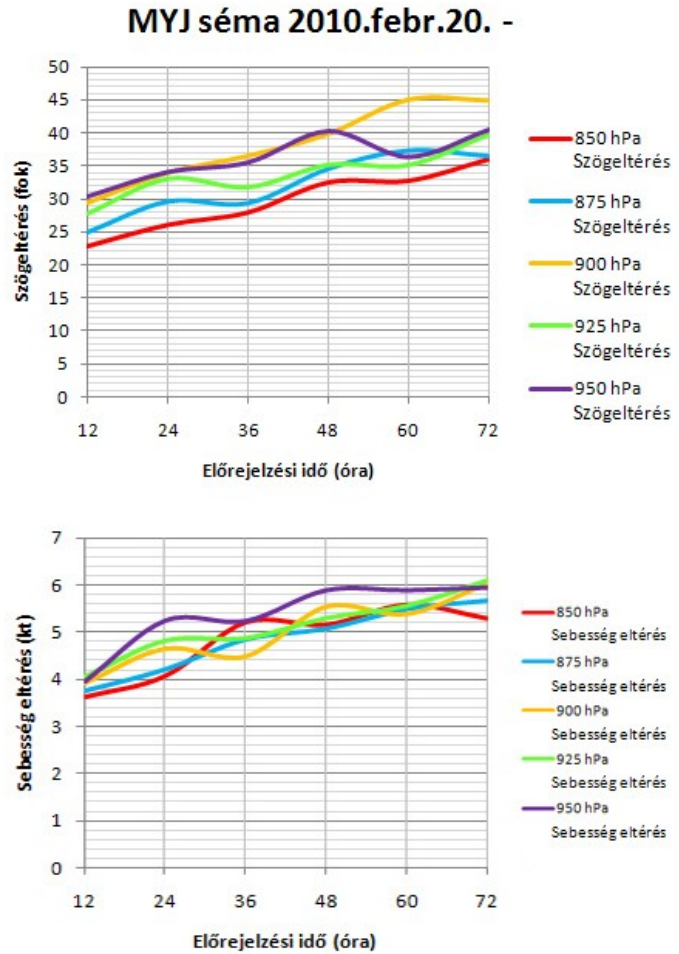
A szélesebségek vizsgálata ezen időszak alatt hasonló menetet mutat, mint a szélirány eltérés. Szinte ugyanaz mondható el, mint az előbbi esetben. Az előrejelzési időszak alatt folyamatosan növekedett minden szinten a mért és előrejelzett szél közötti különbség abszolútértéke. A legnagyobb eltérések a 950 hPa-os szinten mutatkoznak a sebességi mezőben is. Legmegbízhatóbbnak a 850 hPa-os bizonyul, amely 36 óránál már túllépi az 5 csomós küszöböt 3 tizeddel, de még elfogadhatónak

számít az előrejelzés szempontjából. **29. ábra Magassági szélelőrejelzés verifikálása (QNSE 2009-2010).** Az átlagos szélirány- és szélesebség eltérés a modell időfüggvényében.



A harmadik szakasz, amely az új WRF-EMS ARW verziójával az ajánlás szerint szintén a Mellor-Yamada-Janjic sémával futott operatívan, amelynél 2010. április 5-vel zártuk az adatok feldolgozását. A QNSE sémához hasonlóan ennél is az előrejelzés során romlik a paraméterek megbízhatósága. Itt azonban a különböző szintek eltérései nem futnak együtt, ahogyan az előző ábrákon láthattuk. A legjobb eredményeket a 850 hPa-os szinten előrejelzett szélirány adatok mutatják. Az előrejelzés elején az eltérés 23° volt átlagosan és 36 óráig is csak 5 fokkal lett nagyobb a differencia. A többi szint eltérései ennél jóval nagyobb értékeket mutatnak.

Az EMS előrejelzés eltérései a 29. ábrán láthatóak. A kezdeti szakasznál a legkisebb eltérés 850 hPa-nál látható, amely 3,7 értékkel az ± 5 csomós intervallum alatt marad, és 36 óránál is csak 0,2 kt-val lépi túl az 5 csomót. A további időtartam során egészen 72 óráig nem növekszik jelentősen a különbség. Az alsóbb szinteken látható, hogy 12 óránál nagyjából azonos a sebességkülönbség, de az előrejelzés folyamata során fokozatosan széttartanak a görbék.



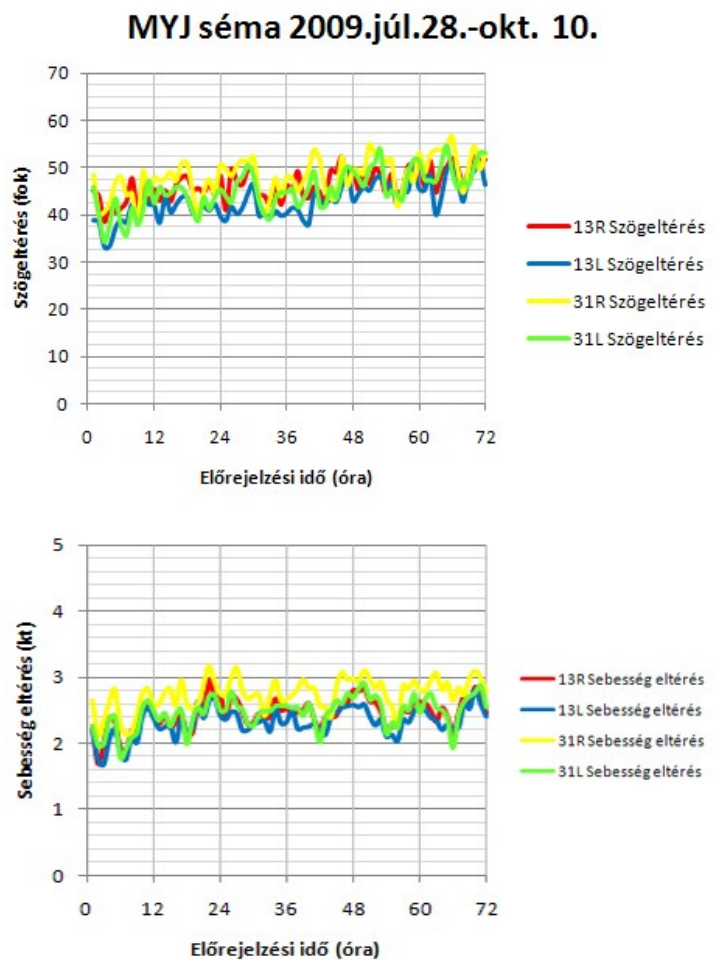
30. ábra Magassági szélelőrejelzés verifikálása (MYJ 2010). Az átlagos szélirány- és szélesebesség eltérés a modell időfüggvényében.

4.6.2. 10 méteres szélelőrejelzések verifikálása

Az előző fejezetben látottak szerint a 10 méteres szélelőrejelzés is három fő szakaszra bontható. A talajszinti előrejelzésnél figyelembe vettük a repülőtér földteréresi pontjait, és e szélmérőkhöz viszonyítva végeztük el a korábban ismertetett földrajzi koordinátára interpolált szélértékek elemzését. A talajon mért szél és az előrejelzett adatok között várhatóan nagyobb különbségeket fogunk tapasztalni annak köszönhetően, hogy felszíni és mikrofizikai hatások is befolyásolják az áramlási viszonyokat.

Az első szakasz szélirány előrejelzésének eredményei láthatóak a 30. ábrán. A pályaküszöböknel megfigyelhető, hogy a kék színnel jelölt 13L szélirány eltérései a többi görbe alatt fut, így ennek előrejelzése bizonyult a legjobbnak a 3.0-ás modellverziónál. A rádiószondás szélelőrejelzéshez képest látható, hogy a 10 méteres szélnél nagyobb a szélirányok bizonytalansága, ami a felszínnek tudható be. A modell a futtatás során az idő előrehaladtával növekvő eltérést mutat a mért szélirányhoz képest. A 72

órás időtartam végére a hiba átlagosan 50° körüli. A 31R szélmérő adataihoz képest látható, hogy a modellezett szél nagy eltéréseket mutat, amit a domborzati viszonyok és a mérőpont tengerszint feletti magassága okoz. A 13R és 31L eltérései közel azonos menetet mutatnak az alsó és felső határoló görbe között.



31. ábra 10 méteres szélelőrejelzés verifikálása (MYJ 2009). Az átlagos szélirány- és szélesebesség eltérés a modell időfüggvényében.

Szélesebesség előrejelzés az első fázisban hasonló eredményt mutat a szélirány eredményekhez. A legnagyobb eltérés a 31R szélmérő esetében van, a legkisebb a 13L-nél. Az előrejelzés megbízhatóságának szempontjából a pályairány kijelölésénél fontos 5 csomós sebességhatárok alatt marad a különbség érték, ami jónak mondható.

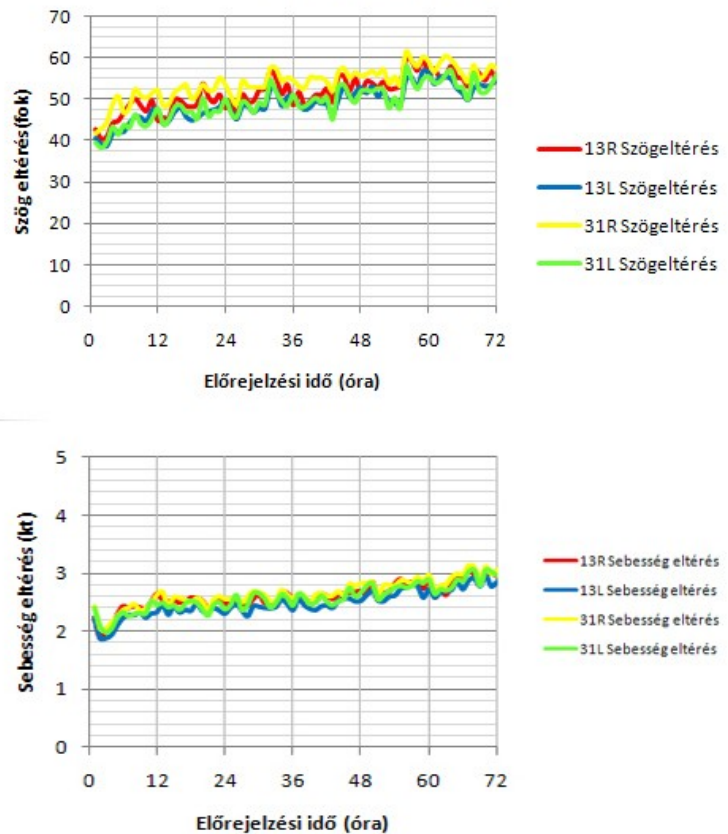
A következő időszakban a téli hónapok alatt a QNSE sémával futtattuk az előrejelzéseket. A szélirány prognosztizálásánál a repülőtér különböző mérőpontjaihoz viszonyított eredmények kisebb szórást mutatnak, mint az előző esetben. Az értékek azonban már a futás kezdetekor nagyobbak, mint a MYJ PBL séma esetén. A kezdetekkor már nagyjából 40° körüli a differencia, amely a folyamat végére megközelíti a 60 fokot. Ez körülbelül 6-7 fokkal rosszabb, mint az előző Mellor-Yamada-Janjic séma esetén.

A sebesség vizsgálatánál az figyelhető meg, mint az előző esetben is.

A differencia nagyjából 2,5 csomó, a futás végére 3 csomó körüli. Térbelileg nincs nagy különbség a szélmérések eredményei között.

A harmadik szakaszban már az új fejlesztésű modell állt rendelkezésünkre, amelynél 2010. április 5-vel zártuk az adatok feldolgozását. A legtöbbet ennek az eredményeitől várjuk annak függvényében, hogy operatív alkalmazásra került és felhasználása is egyszerűbbé teszi az előző verziókhöz képest. Az eddigiek alapján a szélirány előrejelzésénél az látható, hogy a futtatás indításakor már 40 fokos a differencia, de a szélmérők eredményei között az elején nincs nagy különbség. Az időtartam során jelentős különbség nincs a négy küszöbnél, de látható, hogy a 31R

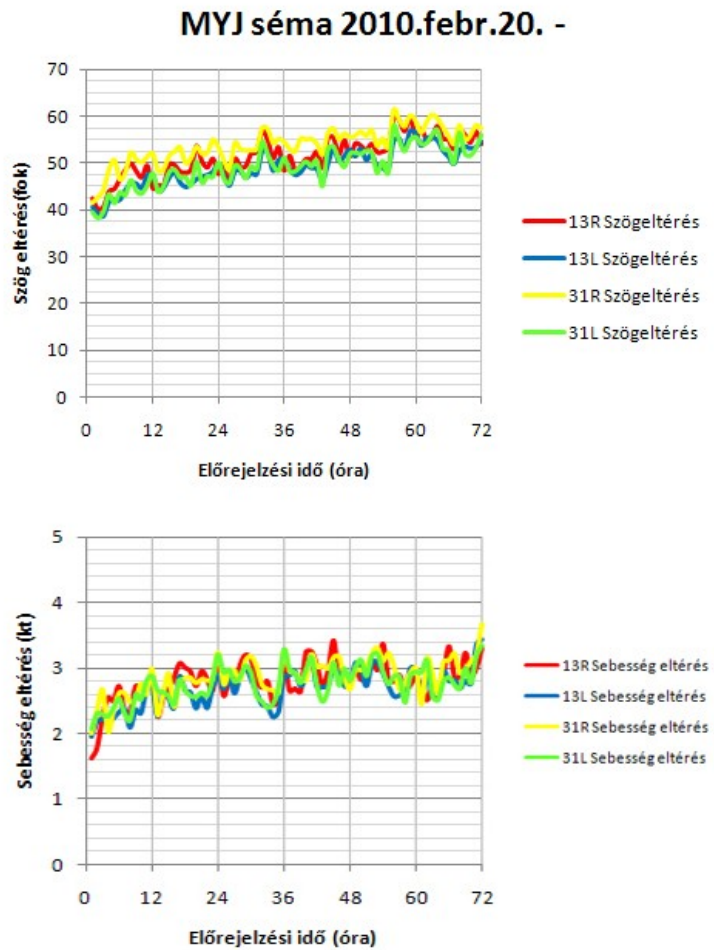
**QNSE séma 2009.okt.11.-
2010.febr. 19.**



32. ábra 10 méteres szél előrejelzés verifikálása (QNSE 2009-2010). Az átlagos szélirány- és szélesebesség eltérés a modell időfüggvényében.

értékei a legrosszabbak. Ehhez képest a 31L a legjobb, átlagosan 5 fokkal az előbbihez képest. A 13L itt nem mutat kiugróan jó eredményt, mint ugyanezzel a határréteg sémával csak még a 3.0-ás WRF verzióval. Az előrejelzés végére 55 fok körüli az eltérés, ami ebben az időszakban rosszabb lett, mint egy fél évvel előtte.

A szélesebbeségek vizsgálatánál látható, hogy az induláskor 2 csomó körüli a különbség, majd szinte az egész előrejelzés során végig 3 csomó alatt marad. A folyamat során kisebb nagyobb, nagyjából fél csomó körüli ingadozások figyelhetők meg, de ez nem ront az előrejelzés megbízhatóságán.



33. ábra 10 méteres szélelőrejelzés verifikálása (MYJ 2010). Az átlagos szélirány- és szélesebbesség eltérés a modell időfüggvényében.

4.7. *Az előrejelzési eredmények összegzése*

A rendelkezésre álló szűkös idő és gépigény miatt nem volt lehetőség egy teljes objektív vizsgálatra, amely során párhuzamosan futtathattunk volna különböző határreteg sémákat felszíni fizikai parametrizációkkal legalább egy éven keresztül. A hosszabb előrejelzési időszak alatt láthatóak lettek volna az évszakos változások és egy-egy adott időintervallumon a különböző beállítások előnyei és hátrányai.

Elmondható az előrejelzéseink függvényében, hogy a magassági szélvizsgálatoknál az irányok előrejelzése kisebb szórást mutatott, körülbelül 20-30 fokos intervallumon belül maradt a találat, de a szélesebbségek már rosszabb eredményt adtak. Hátrány viszont, hogy jóval kevesebb adat állt rendelkezésre a 12 óránkénti rádiószondázások miatt. Az irány pontosabb előrejelzése a geosztrófiának tulajdonítható ám ez a szélesebbség megállapításáról már nem mondható el.

A 10 méteres szélelőrejelzéseknél nagyobb szerep jut a planetáris határreteg pontos modellezésére. A legjobb szélesebbség prognosztizálás a QNSE séma esetén volt, amelynél 3 csomó alatt volt a különbség az előrejelzés időtartama alatt. Ez azonban csak a stabil légrétegzettségű, inverziós helyzeteknél alkalmazható nagy hatásfokkal, ami valószínűleg a nyári konvektív időszakok folyamán pontatlan eredményt nyújtana. A MYJ sémánál sem lett rosszabb az eredmény, de kisebb-nagyobb fluktuációk voltak benne végig. A szélirány előrejelzése viszont megbízhatatlanabb, mint a fentebb említett rádiószondás verifikálásnál. Az eltérés átlagosan 40 foktól indult mindhárom séma esetében az időszak során és a 72 óra alatt fokozatosan nőtt a különbség 55-60 fokig pályaküszöbtől függően.

5. Esettanulmányok

A diplomamunka készítésekor rendelkezésre álló időszak alatt három különböző modellverzió és konfiguráció volt felváltva érvényben. Az időszakok hossza kettő és négy hónap között változott. Ennek fényében elmondható, hogy a vizsgálatunk nem teljesen objektív, de biztos támpontot nyújt a továbbiakban egy megfelelő előrejelzés készítéséhez. A nyárvégi, téli és tavasz eleji időszakok mellett szeretnénk volna látni, hogy a mostani WRF-EMS ARW modellverzió megbízhatóbb más időjárási helyzetek előrejelzése esetén is. Ennek tudatában választottunk négy fajta, Ferihegyre jellemző időjárást az elmúlt két évből. Első időpontként 2008. július 23-át választottuk, amely egy csapadékos időszak legcsapadékosabb napja volt. Következő alkalom 2009. június 28-a volt, amely egy záporos, zivataros nyári nap volt. Harmadik esetben 2009. október 13-a került kiválasztásra, mert egy hidegfront átvonulást követő erős szeles időjárással köszöntött ez a nap a Kárpát-medencére. Végül pedig 2010. február 4-e következett, amely ködös napot hozott Ferihegyre és térségére.

Időpont	Főbb időjárási jelenség	WRF-EMS domain	PBL séma	Mikrofizika
2008. július 23.	Közép-európai ciklon országos esőzéssel	D01(12km), D02(4km), D03(1,33km), D04(444,44m)	MYJ, YSU	WSM5
2009. június 28.	Nyári nap záporokkal, zivatarokkal	D01(12km), D02(4km), D03(1,33km), D04(444,44m)	MYJ, YSU	WSM3
2009. október 13.	Hidegfront utáni erős északnyugati szél	D01(12km), D02(4km), D03(1,33km), D04(444,44m)	MYJ, YSU	WSM3
2010. február 4.	Anticiklon területén ködös időjárás a nap folyamán	D01(12km), D02(4km), D03(1,33km), D04(444,44m)	MYJ, YSU	WSM5

8. táblázat Esettanulmányok bemutatása

A modellfuttatások során két fajta planetáris határréteg sémát használtunk felváltva. Egyszer a már jól ismert Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) PBL sémát, és emellett a WRF modell másik népszerű parametrizációját, a YSU sémát, amelyet a Yonsei egyetemen fejlesztettek. Lényege, hogy a határréteg vastagságát a hőmérsékleti profilból határozzák meg valamint a kritikus Richardson számból, amelyet $Ri=0.25$ -nek állapították meg. A turbulens kinetikus energia átkeveredése nem lokálisan történik, amelynél alapfeltételezés, hogy a nagy örvények szállítása gyorsabb, mint a kis örvények keverése. (Weidinger és Bordás, 2007). Száraz konvekciós határréteg, ahol a turbulens diffúzió a Richardson számtól függ (Ri) (3. egyenlet) a légkörben WRF 3.0-ás verziótól kezdődően (Skamarock et al., 2007).

$$R_i = \frac{g}{\rho} \frac{\frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$$

3. egyenlet Richardson-szám. A g a gravitációs gyorsulás, ρ a sűrűség, z a magasság, u a szélesség.

A két séma között a legfőbb különbségként azt szokták szubjektíven megjegyezni, hogy a MYJ séma gyakran túl hideg és túl nedves sekélyebb határreteg esetén, ezzel szemben a YSU séma túl meleg és túlságosan száraz mély PBL esetében (Gallus *et al.*, 2005).

Az előrejelzéseknél WSM3 és WSM5 mikrofizikát alkalmaztunk. A WSM a WRF Single Moment mozaikszava, amely után a szám a mikrofizikai parametrizáció osztályát jelenti, vagyis hogy hány fázist különböztet meg (Hong *et al.*, 2006). A kettő mikrofizika közötti a különbség, abban nyilvánul meg, hogy a WSM3 esetében három hidrometeor kategóriát különböztet meg: vízgőz, felhővíz/jég, eső/hó. Egyszerű jég-sémának is szokták hívni, mert a felhővíz és jég egy kategóriába van sorolva. A WSM5 séma annyiban különbözik az előzőtől, hogy itt a vízgőz, eső, hó, felhővíz és felhőjég 5 csoportba van sorolva külön-külön. Emellett a folyamatok során a túlhűlt víz is megjelenik, ami növeli modellezés bonyolultságát és a számításigényét (Skamarock *et al.*, 2007). A 2008. július 23-i és a 2010. február 4-i időpontok esetén a WSM5 mikrofizikát hívtuk meg a környezeti modellező rendszerrel, 2009. június 28-án és 2009. október 13-án pedig az egyszerűbb WSM3 mikrofizikai parametrizációt alkalmaztuk.

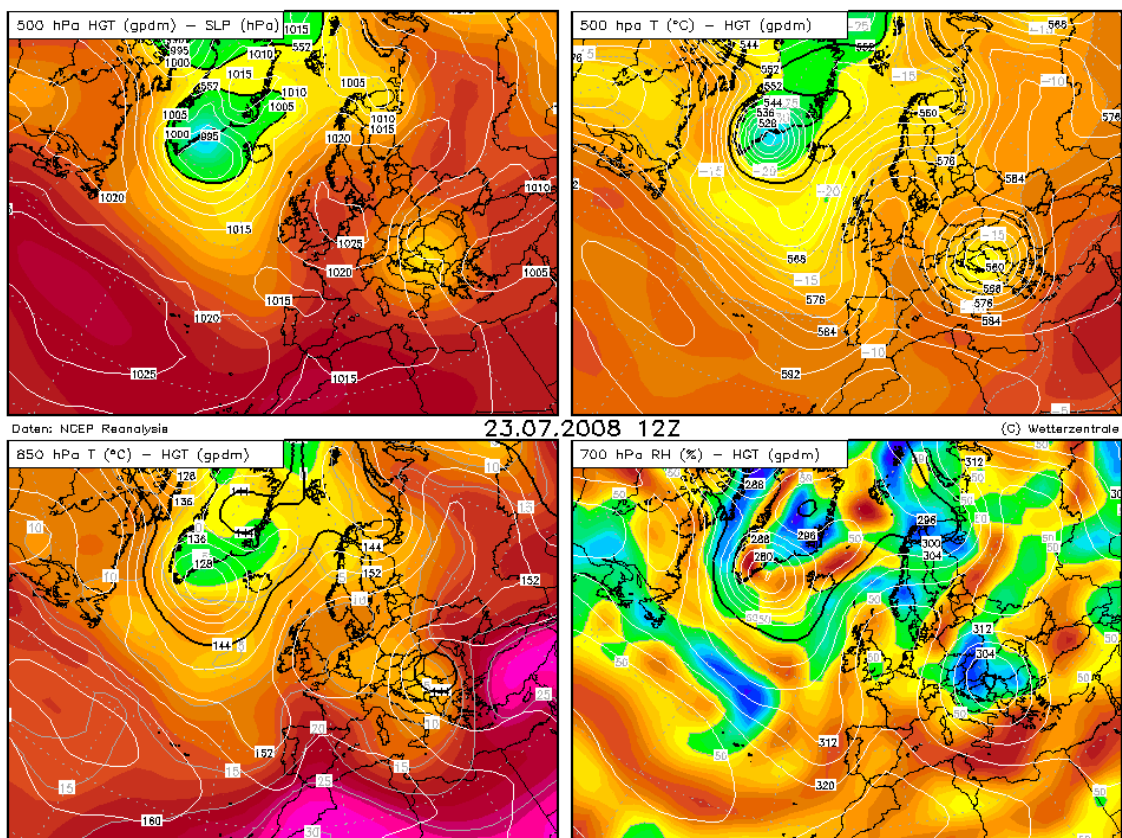
Az esettanulmányokkal célunk az volt, hogy a modell által előrejelzett szélirány és szélességből számított pályairányú szélkomponens segítségével meghatározzuk a használatos pályairányt, és összehasonlítsuk a mérőműszerek által használandó valamint a TWR SV által üzemeltetett pályairányokkal. Negyedórás adatkimenettel dolgoztam, amelynél 96 időlépcső során vizsgáltam az eredményeket, melyek feldolgozása kétféleképpen történt. Első lépésben a nyers adatokat vizsgáltam, amelyek természetesen rosszabb eredményeket adnak a várható pályairányra. Második lépésben az előrejelzési adatok figyelembevételével csökkentettem a negyedóránként előforduló felesleges váltásokat, amelyek a hatékonyság rovására mennek. Ezek az irányváltások akkor fordultak elő, amikor a szélesség hátszél összetevője 5 kt környékén mozgott. Az esettanulmányok eredményeit a 4. számú mellékletbe tettem. A táblázatokban feltüntetett javított eredmények a 4.2. fejezetben említett pályairány meghatározás alapján történt. Ezeknél figyelembe vettük azt is, hogy a szélmérők mérési pontossága

sem ad egzakt eredményt azoknál a helyzeteknél, amikor a pályairányú hátszélkomponens az 5 csomós határérték mentén mozog, illetve a modell hibája is számottevő.

5.1. Csapadékos időjárás a Kárpát-medencében 2008 nyarán

2008 júliusa az év egyik legcsapadékosabb hónapja volt. Az átlagosnál mintegy 30%-al több eső esett. Ezen belül a 2008. július 23-át választottuk, amikor Magyarországhoz képest egy délkeletre elhelyezkedő ciklon csapadéksávja érte el hazánkat és a nap folyamán országos esőt hozott.

A 33. ábrán látható NCEP magassági reanalízis térképeken jól kivehető a hideg teknő, illetve az alsóbb szinteken záródó izohipszák is mutatják a fejlett ciklon jelenlétét. A 700 hPa-os szint relatív nedvességi térképén látható az országot borító magasabb nedvességtartalmú légtömeg jelenléte.



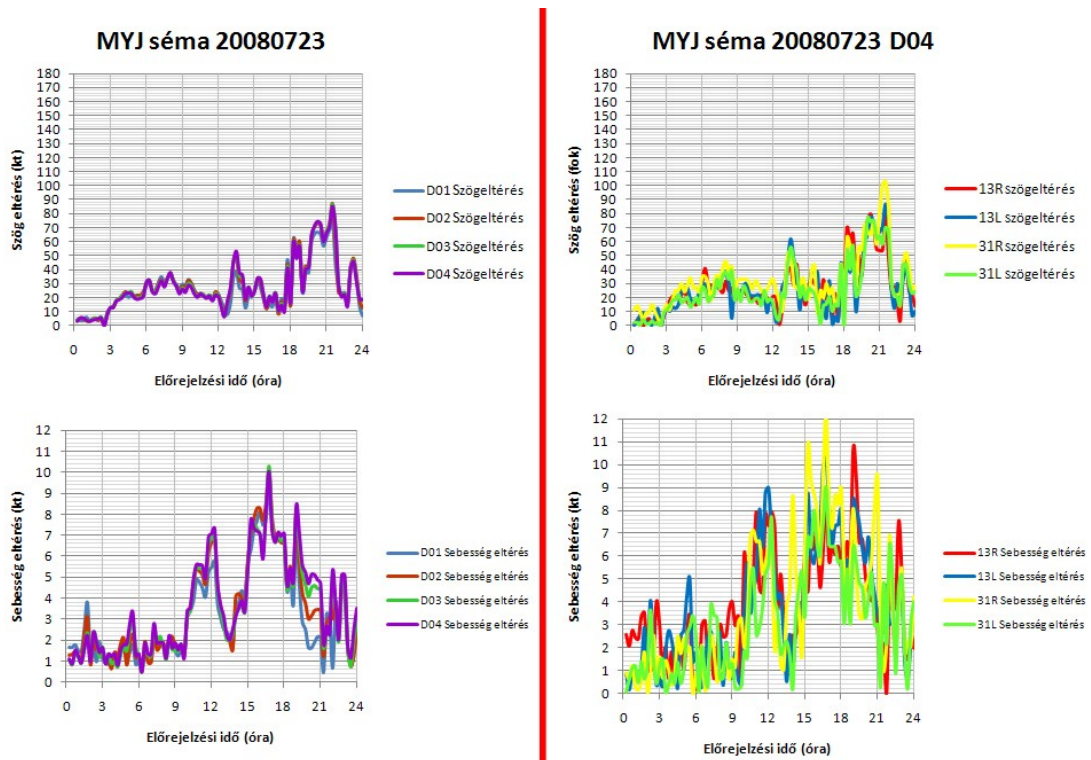
34. ábra 2008.07.23. NCEP Reanalízis (forrás: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

A nap folyamán az áramlás jellemzően északnyugati volt, majd a délutáni óráktól keletiesre fordult, ami pályairányváltást indokolt és 13-as irányt használtak a

repülőtéren 2,5 órán keresztül. Kora estétől kezdve azonban a szél ismét északnyugatira fordult és a 31-es pályairány használatát tette kötelezővé.

5.1.1. A MYJ séma 2008. július 23-án

Az eset méréseinek és előrejelzésének elemzése a 35. ábra bal oldalán látható. A futás során a D01-es 12 kilométeres rácsfelbontású egészen a D04-es 444,44 méteres tartományig összevetettük az eltéréseket. A szélirány előrejelzése során megfigyelhető, hogy a négy domain görbéi közel azonos menetet mutatnak és az előrejelzés során. Az első három órában az eltérés 5° körüli, majd 3 UTC-től látható egy egyenletes növekedés, de egészen 12 óráig 40 fok alatt marad az iránybeli differencia. Ezzel egy időben a sebességkülönbségek 3 csomó körül mozognak, majd 10 UTC-től fokozatosan növekszik 7 csomó körüli értékre. Az adatokat tekintve a modell szélesség értékei a mérthez képest alulmaradtak. A délutáni órákban a szélirány jelentősen változott 60-70 fokról 320-330 fokra, amit a WRF-EMS jól tudott előrejelezni. A szélességek szempontjából azonban nem sikerült a pontos előrejelzés, de a pályairány meghatározásának szempontjából ez nem volt számottevő.



35. ábra MYJ séma 2008.07.23.

Külön tekintjük a legnagyobb felbontású domaint, ahol a repülőtéren lévő szélmérők koordinátaira interpolált széladatokat vizsgáljuk. Ebben az esetben a kis ráctávolságú modellezés hatásaként nagyobb térbeli változékonyságra számítunk, amely alkalmazkodik a repülőtéri áramlási viszonyokhoz. A 35. ábra jobb oldalán látható ennek az eredménye. A szélirányoknál az eltérések görbéi közel azonos menetet mutatnak. A 31R szélmérőjénél a többihez képest nagyobb eltérést mutat. Átlagosan a 31L szélmérőjénél bizonyult a legmegbízhatóbbnak az aznapi szélirány előrejelzés.

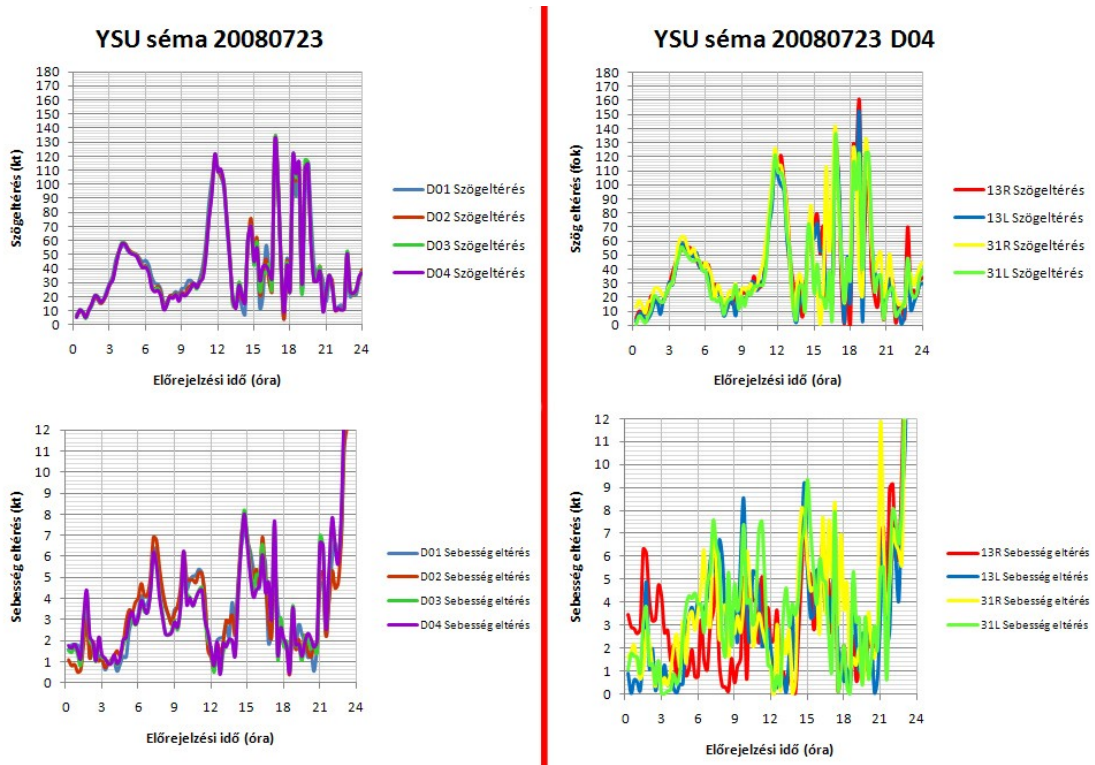
A szélesebbeségi értékek szintén a 31L-nél voltak a legpontosabbak. A 31R előrejelzése 16 UTC környékén eléri a 12 csomós különbséget is, amely nem mondható teljesen megbízhatónak, de a többi szélesebbeségi eltérés sem marad el sokkal ettől az értéktől. Valójában ez a bizonytalanság betudható az intenzív szélirány fordulásnak is, amelyet a modell a sebességkomponenseknél jellemzően alábecsült.

5.1.2. A YSU séma 2008. július 23-án

A YSU-sémával való futtatás rosszabb eredményeket adott, mint a Mellor-Yamada-Janjic séma. Elsőként a szélirány előrejelzéseket tekintve látható a 36. ábra baloldalán, hogy nagyobbak már a modell indításakor a különbségek. A domainek között nem figyelhető meg jelentősebb eltérés az előrejelzési idő során, de abszolútértékben nagyobbak az eltérések, mint a MYJ esetében.

A szélesebbeségeknél az MYJ-vel összehasonlítva látszik, hogy ami az utóbbinál kisebb eltérés volt, az itt a YSU sémánál sokkal nagyobb hibát eredményezett. Az előrejelzési időtartam végére az eltérések már jelentősen növekedtek, sőt a 12 kt feletti értéket is felvesznek.

A 444 méteres felbontású tartománynál a szélirányok pontatlanabbak voltak. A délutáni óráktól kezdődően a szélirányváltozáskor növekedik jelentősen a hiba, majd 18 UTC-nél ugrásszerű megnő. A szélesebbeségek elemzésénél is hasonló a helyzet. A 13R teljesen eltérő szélesebbesség menetet mutat a többi előrejelzéshez képest. Ebben az esetben is a 31L szélesebbesség különbsége mondható a legjobbnak, de a MYJ-hez képest alulmarad.



36. ábra YSU séma 2008.07.23.

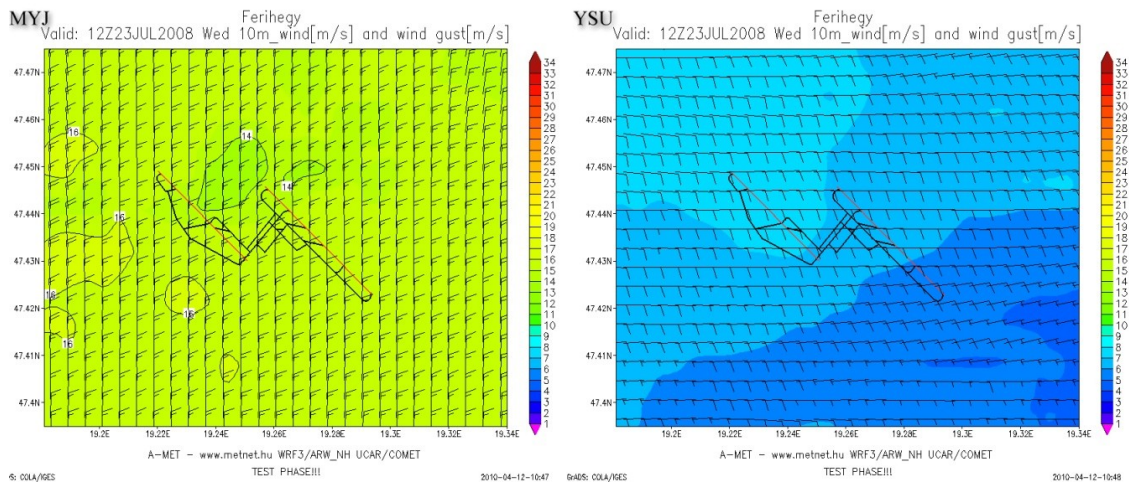
5.1.3. 2008. július 23.-i modellfuttatások összegzése

A két különböző parametrizációjú modell előrejelzés összehasonlítása során látható, hogy a csapadékos, változó szélirányú és mérsékelt szélsébségű időjárási helyzet esetén az MYJ séma jobban teljesített, mint a YSU séma. A legnagyobb eltérések a két eset között a déli órákban jelentkeztek. Az alábbi ábrán látható egy időpont, amelynél látszódik, hogy a két előrejelzés között körülbelül 90°-os szélirány eltérés van és a YSU séma a sebességeket is jóval alábecsülte.

Összességében az MYJ séma bizonyul megbízhatóbbnak az előrejelzés során. A futtatás után közel azonos eredményt sikerült elérni a megfelelő pályairány váltások tekintetében.

2008. július 23.	ATC	MYJ	YSU
Nyers kimenet	90.6%	88.5%	84.4%
Javított eredmény	-	90.6%	87.5%

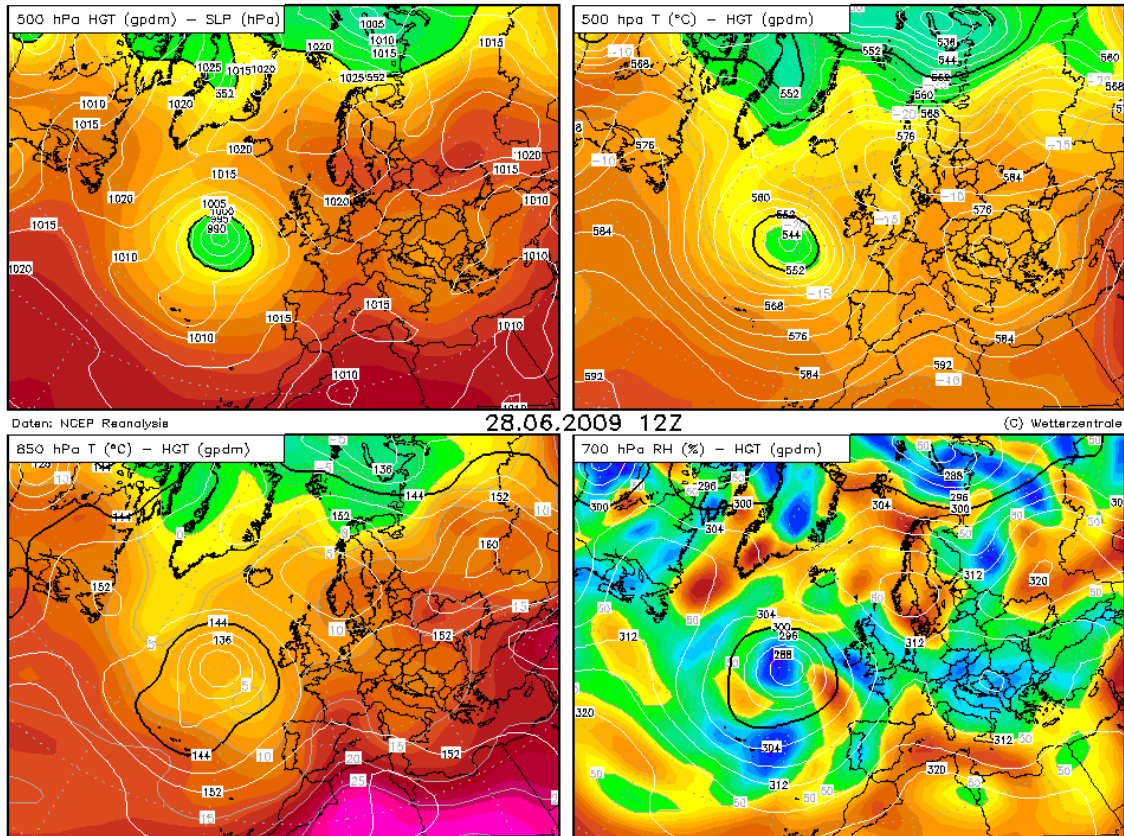
9. táblázat 2008. július 23.-i pályairányirány meghatározások megbízhatósága.



37. ábra 2008.07.23. 12:00 UTC szélelőrejelzés.

5.2. Nyári záporok 2009 júniusában

2009. június 28-án egy sekély ciklon középpontja volt Magyarország felett. A hajnali órákban páráságot észleltek a Ferihegy Nemzetközi repülőtéren, majd 6 UTC után gyenge eső határozta meg az időjárást, amelyet szélcsend kísért. 8 UTC-től kezdve a csapadék záporossá vált és megnövekedett a felhőzet, majd 8:15 UTC-kor SPECI táviratot adtak ki zivatarral és 4 kilométeres látástávolsággal. A szél ez idő alatt keletiesre fordult és megélénkült, ami miatt 13-as pályairány használata vált indokolttá. 9 UTC után a szél mérséklődött, majd ismét megerősödött, de akkor már nyugatias-északnyugatias irányból fúj. Így 9:30 UTC-kor ismét váltani kellett irányt a preferált 31-esre. Az esti órákig, egészen 18:30 UTC-ig a repülőtéren és környezetében is időszakosan előfordult még zápor, zivatar. Csak késő este, 19:00 UTC után mérséklődött a szél teljesen, változó irányú 1-2 csomós értékre.



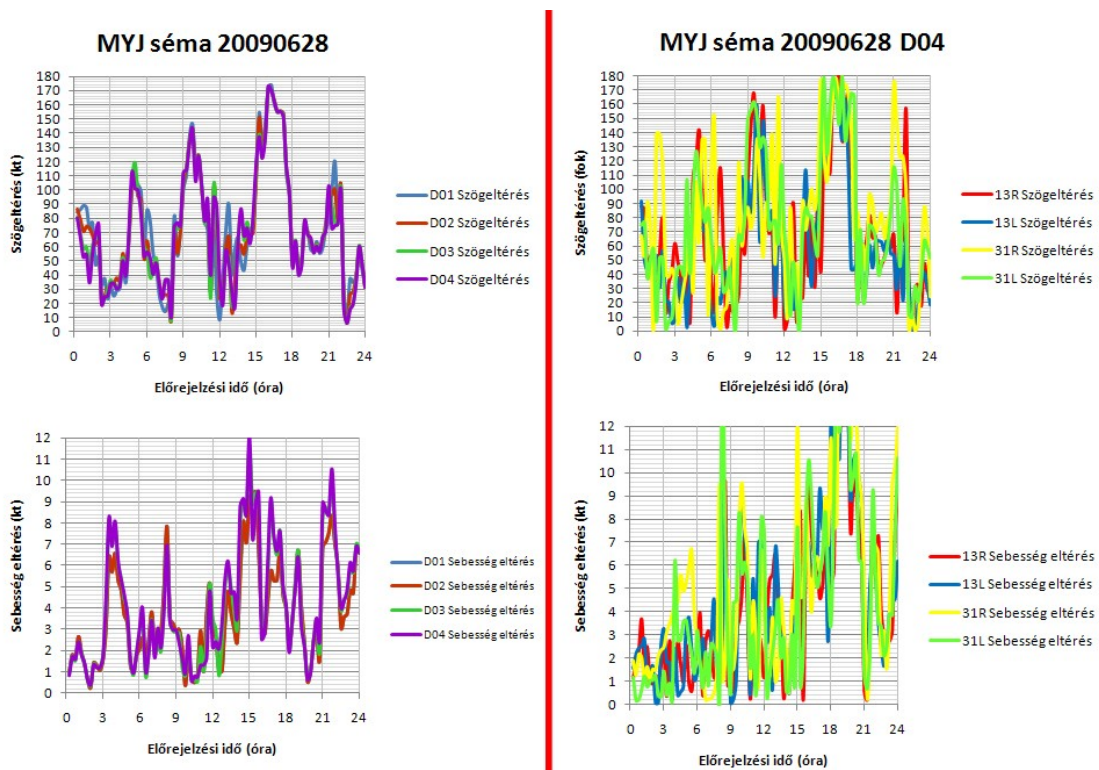
38. ábra 2009.06.28. NCEP Reanalízis (forrás: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

5.2.1. A MYJ séma 2009. június 28-án

A MYJ sémával futtatott esettanulmányánál megfigyelhető, hogy a szélirány előrejelzése jelentős ingadozást mutat. Nagyrészt akkor volt pontos a prognózis, amikor a szélesség kellően nagy volt. A legnagyobb eltérések szélcsendes és változó irányú szél esetén látható csak. A szélességi értékek összehasonlításából az tűnik fel, amit már a széliránynál is láthattunk, hogy a csekély mért szélességeknél fordul elő jelentős hiba, ami akár a 8-12 csomót is elérheti. Sok esetben a kettes számú domain eredményei a többi alatt futottak, de csak pár tized csomóval.

Külön tekintve a 444 méteres domain eredményeit kitűnik az, amit már láthattunk az előbb is, hogy a szélirányok pontos meghatározása jelentős szórást mutat kis szélességek esetén. Összevetve még így is az mondható, hogy a 13L és 31L szélirány előrejelzései a megbízhatóbbak. A szélességi előrejelzéseket tekintve pedig látszik egy erősödő tendencia, amelynél az időszak vége felé haladva növekszenek az eltérések abszolútértékei. Szélességi értékek tekintetében a 13R és 13L tűnik ki

leginkább, amelyeknek elfogadható az előrejelzése, bár a 13R esete nem meglepő, mivel itt gyakoriak a szélcsendes időszakok.

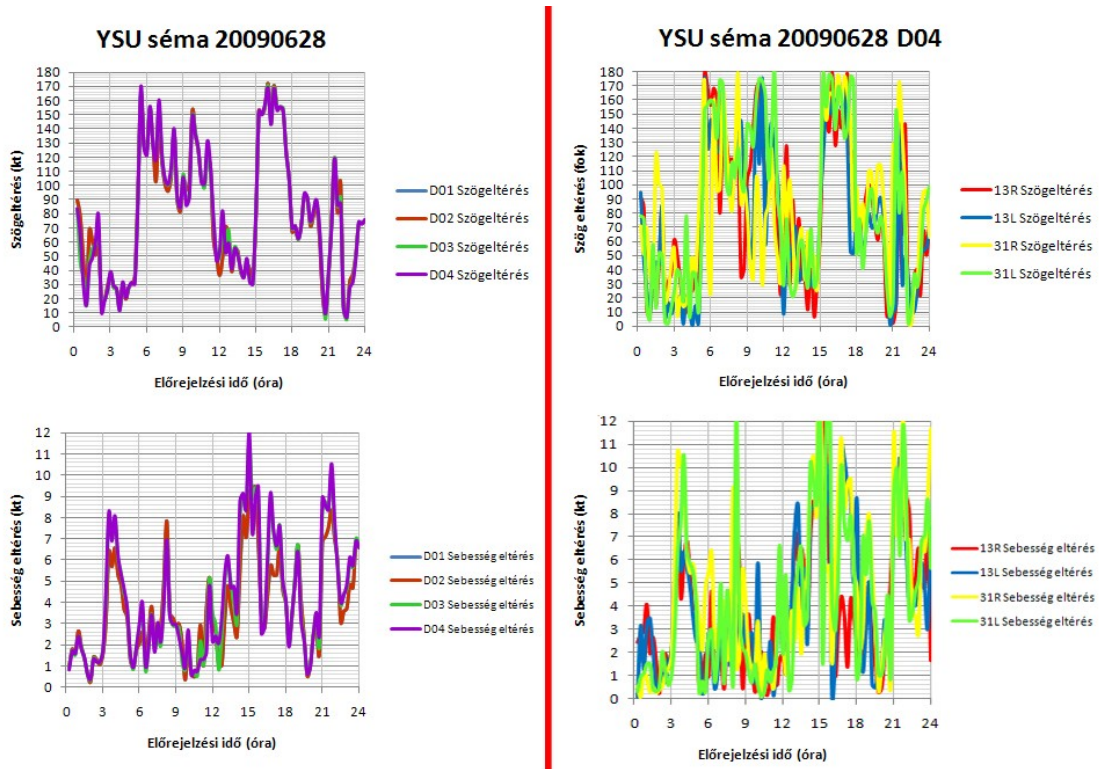


39. ábra MYJ séma 2009.06.28.

5.2.2. A YSU séma 2009. június 28-án

A YSU séma esetén ugyanerre a napra futtatott esettanulmányánál a szélirányok előrejelzésének megbízhatósága durvább menetet mutat, mint az előző séma. Jellemző, hogy több esetben 170° körüli a hiba és csak a szélirány élénkülés esetén látható jelentős javulás. A szélességi mező sok esetben 5 kt alatti értékeket ad, ami megbízhatónak mondható, de a szélcsendes vagy változó irányú szél esetén hasonló rossz eredményt nyújt, mint az előbb látott MYJ séma.

A 4. domain adatait részletesen végignézve megfigyelhető, hogy mind a négy küszöb esetén nagyjából együttes menetet mutatnak a görbék. 6 UTC-től látható a jelentős romlás, majd 15 UTC-ig jelentősen javul az eredmény, de utána ismét nagy eltérések jelentkeznek. A szélességeket tekintve az első 12 órában egy-egy méréstől eltekintve pontosak az előrejelzések, sokszor 5 csomó alatt marad a hiba. A folyamat vége felé sajnos a pontatlanabbak az előrejelzések, de ezzel egy időben a szélirány is változóvá vált.



40. ábra YSU séma 2009.06.28.

5.2.3. 2009. június 28.-i modellfuttatások összegzése

Az előrejelzési időszak folyamán mindkét séma jelentős hibákat mutatott, mind a szélirány, mind pedig a szélesebesség pontos előrejelzésében. Ez nagyrészt a szélcsendes és a változó irányú szeles időszakoknak tudható be. A két sémánál látható, hogy a YSU esetében a görbék menete durvább, mint a MYJ sémánál. Ebből arra lehet következtetni, hogy a MYJ esetén a hiba valamelyest finomabban követte a szél menetét ezzel szemben a YSU séma szélirány és szélesebesség előrejelzése sokszor rosszabb volt.

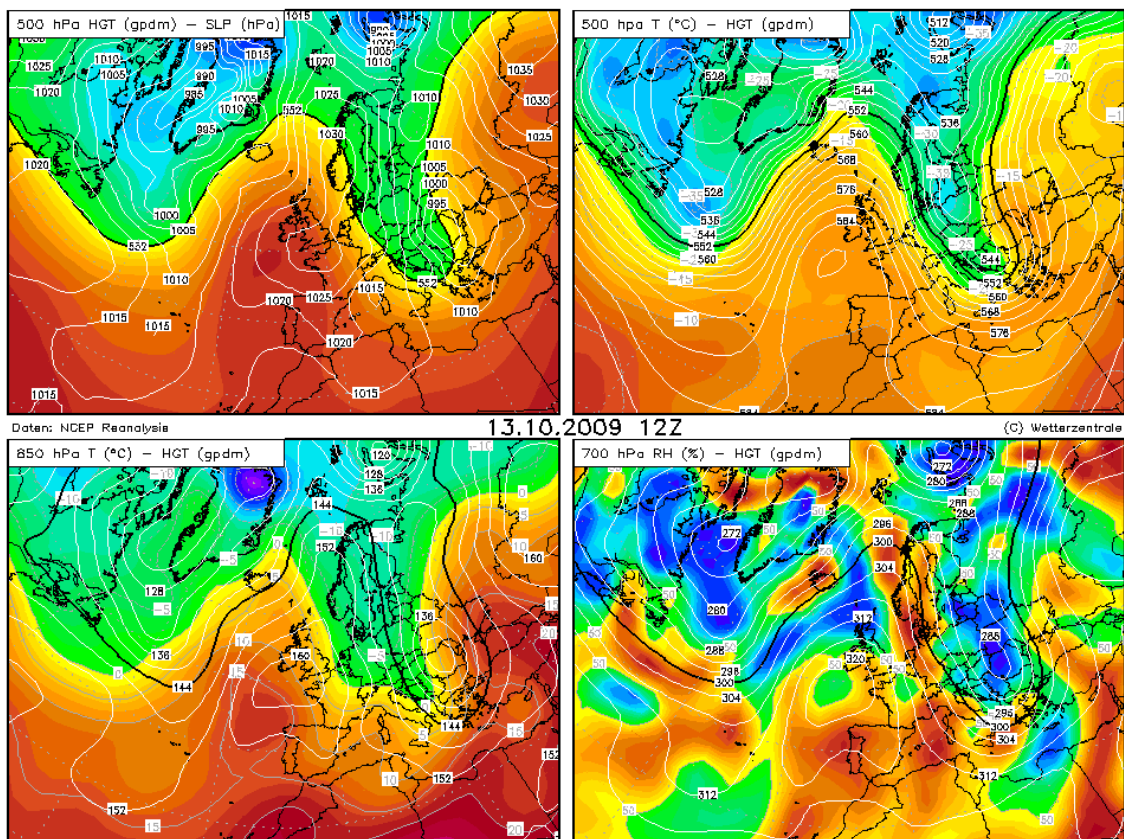
Az MYJ séma szélesebesség prognózisa az időszak elején megbízhatóbb volt, az időszak végén pedig mindkettő közel azonos eredményt mutatott. A pályairány szempontjából a YSU nyers előrejelzése is megbízhatóbb volt, mint a MYJ javított prognózisa.

2009. június 28.	ATC	MYJ	YSU
Nyers kimenet	94.8%	74.0%	82.3%
Javított eredmény	-	81.3%	86.5%

10. táblázat 2009. június 28.-i pályairányirány meghatározások megbízhatósága.

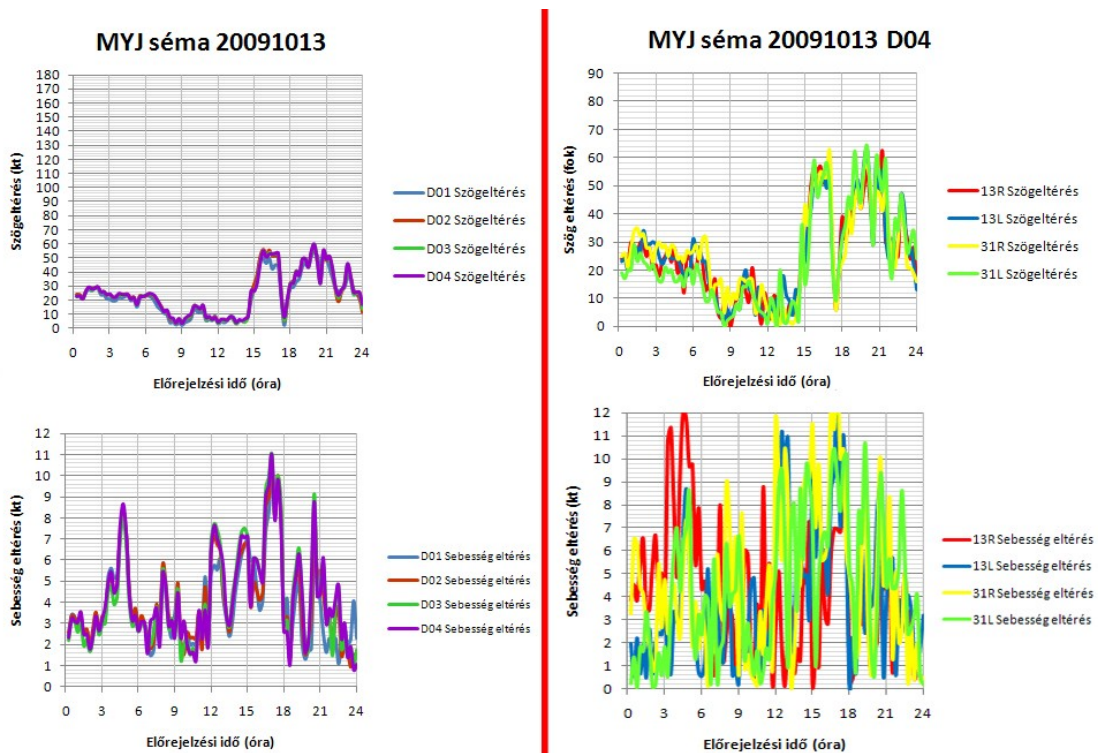
5.3. *Hidegfront utáni erős északnyugati szél 2009 őszén*

2009. október 13-án hidegfront utáni erős északnyugati szél áramlása határozta meg a Kárpát-medence és egyben Ferihegy időjárását is. Az adott napon sarki hideg légtömeg érkezett a térségbe, így a napi középhőmérséklet is pár fokkal kevesebb volt az előző naphoz képest, ami látható abból, hogy az 500 hPa-os térképen egy magassági hidegnyelv nyúlik be az ország fölé.



41. ábra 2009.10.13. NCEP Reanalízis (forrás: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

A nap folyamán 31-es pályairányt használtak a repülőtéren, amely egyértelmű volt a szélirány és szélesség tükrében. A szélirány ingadozása 35°-os intervallum között változott és a szélesség is jellemzően 15 csomó feletti volt.



42. ábra MYJ séma 2009.10.13.

5.3.1. A MYJ séma 2009. október 13-án

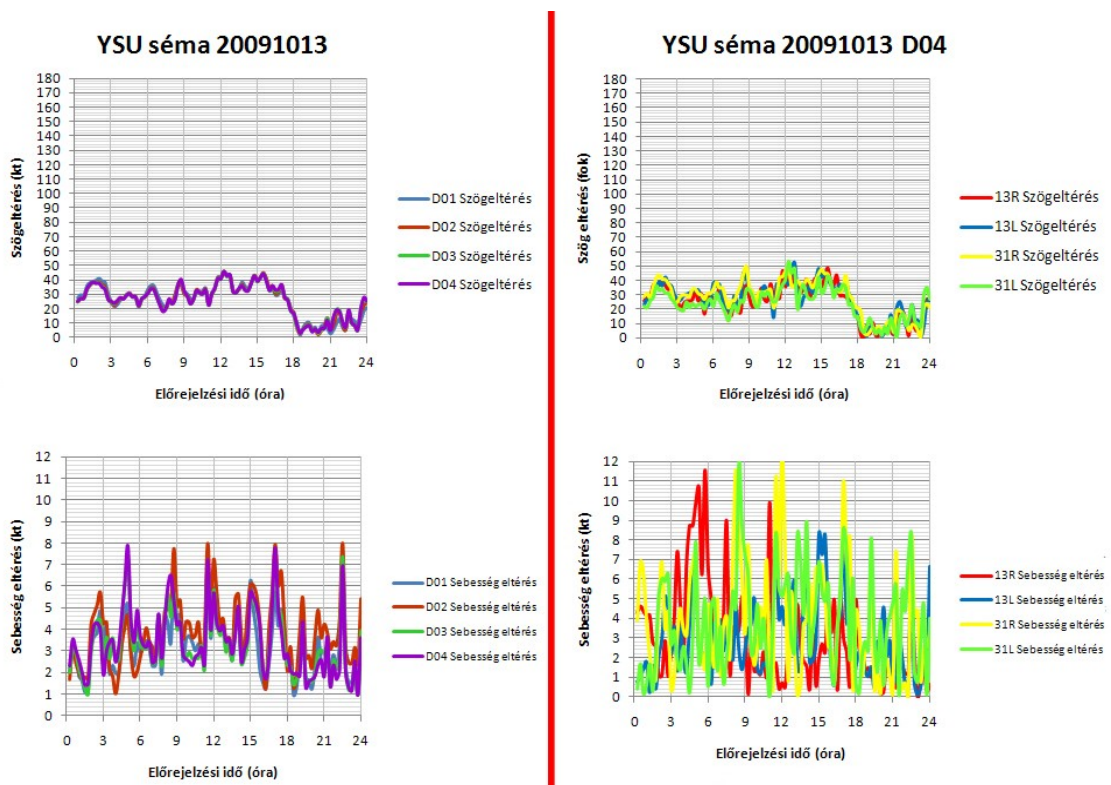
A modellfutások közül elsőként az MYJ sémát tekintjük át. Látható, hogy a futtatás során a szélirány előrejelzések mind a négy domain esetén együttes menetet mutatnak, nem figyelhető meg eltérés közöttük. 15 UTC-től kezdve jelentősen romlik a szélirány prognózisa, majd 18 UTC előtt javulás látható, amikor nyugatiasabbra fordult a szél. Később azonban az eredmény ismét rosszabbá vált. A szélességeket figyelve látszik, hogy csak időnként van kisebb-nagyobb fluktuáció az áramlásban. Az előrejelzés vége felé azonban már jellemzően nagyobbak az eltérések.

A 444 méteres ráctávolságú tartományon látható, hogy az első 15 órában a 31L szélirány előrejelzése bizonyult a legmegbízhatóbbnak. 15 UTC után látható a jelentős romlás, majd a pillanatnyi pontos előrejelzés. A szélességeket tekintve jelentős

eltérések alakultak ki a TDZ-k között. Fontos megemlíteni, hogy a 13R-nál lévő sebességkülönbségek a folyamat elején már jelentősek voltak. Utána következik a 31R, amely szintén hibával terhelt, de nem annyira. Végezetül itt is a 31L bizonyul pontosabbnak, de nem elhanyagolandó a 13L eltérése sem.

5.3.2. A YSU séma 2009. október 13-án

A Yonsei egyetem sémája a szélirány előrejelzésénél átlagosan 30°-ot tévedett, ami jónak mondható, és érdemes megfigyelni, hogy 15 óra után az előző példában látott futásnál az eltérés itt csökken. A szélesebbeségi értékeket figyelembe véve azonban látható a szélesebbességben egy átlagos napi menet, amely körül a különböző domainek eredményei fluktuálnak. Legmegbízhatóbbnak a D03, azaz az 1,33 km-es tartomány bizonyult, ugyanis ennél a legkisebbek az eltérések az előrejelzés során.



43. ábra YSU séma 2009.10.13.

A legnagyobb felbontású domain szélirányvizsgálatában kitűnik, hogy jellemzően ugyanazt a menetet mutatja, mint a felette lévő D01-D02-D03 domainek eredményei is. Szembetűnő, hogy jóval pontosabb értékeket adott szélirány

szempontjából, mint a MYJ határréteg sémával futtatott előrejelzés. A szélesség menete a különböző szélmérőknél már nem mutatott olyan egységes eltérést, nagy a térbeli különbség. Látható, hogy a 43. ábra jobb alsó diagramján a 13L szélmérőjéhez tartozó szélességi értékek előrejelzése tűnik a legpontosabbnak.

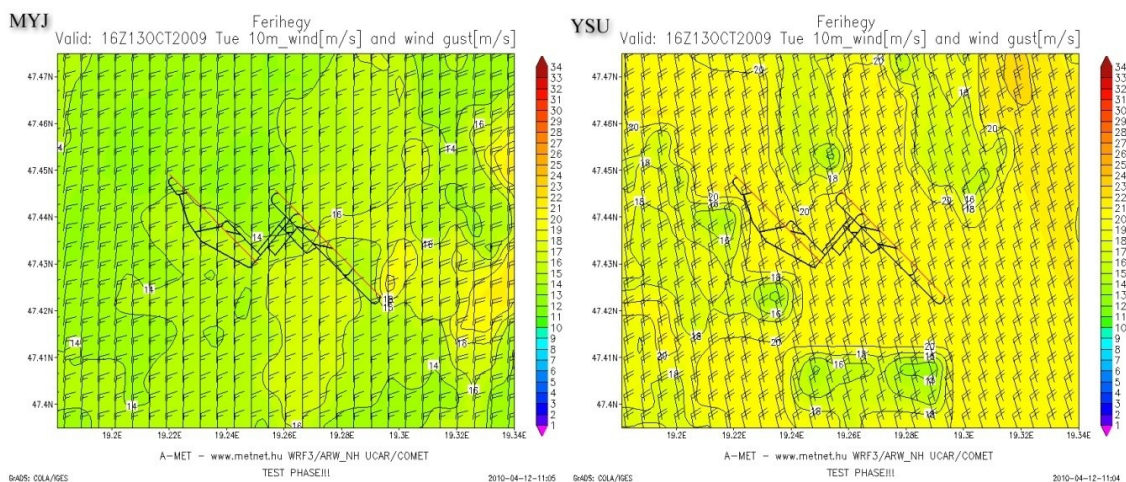
5.3.3. 2009. október 13-i modellfuttatások összegzése

A két különböző parametrizációval futtatott esetről látható, hogy a YSU séma megbízhatóbbnak bizonyult, mint a MYJ. Az előbbi séma esetén a szélesség napi menete is szépen kirajzolódott a domaineknél átlagolt szélesség eltéréseknél. Ezzel szemben a Mellor-Yamada-Janjic sémánál nem figyelhető meg semmilyen trend a modell előrejelzés során. A 43. ábrán látható, hogy a 16 UTC-s időpontnál a jobb oldalon látható YSU séma előrejelzése szélirányban is jobban közelítette a valósan fújó északnyugati szelet, az MYJ északi szelével szemben, valamint szélességi értékeknél is megbízhatóbb volt.

2009. október 13.	ATC	MYJ	YSU
Nyers kimenet	100%	100%	100%
Javított eredmény	-	-	-

11. táblázat 2009. október 13.-i pályairányirány meghatározások megbízhatósága.

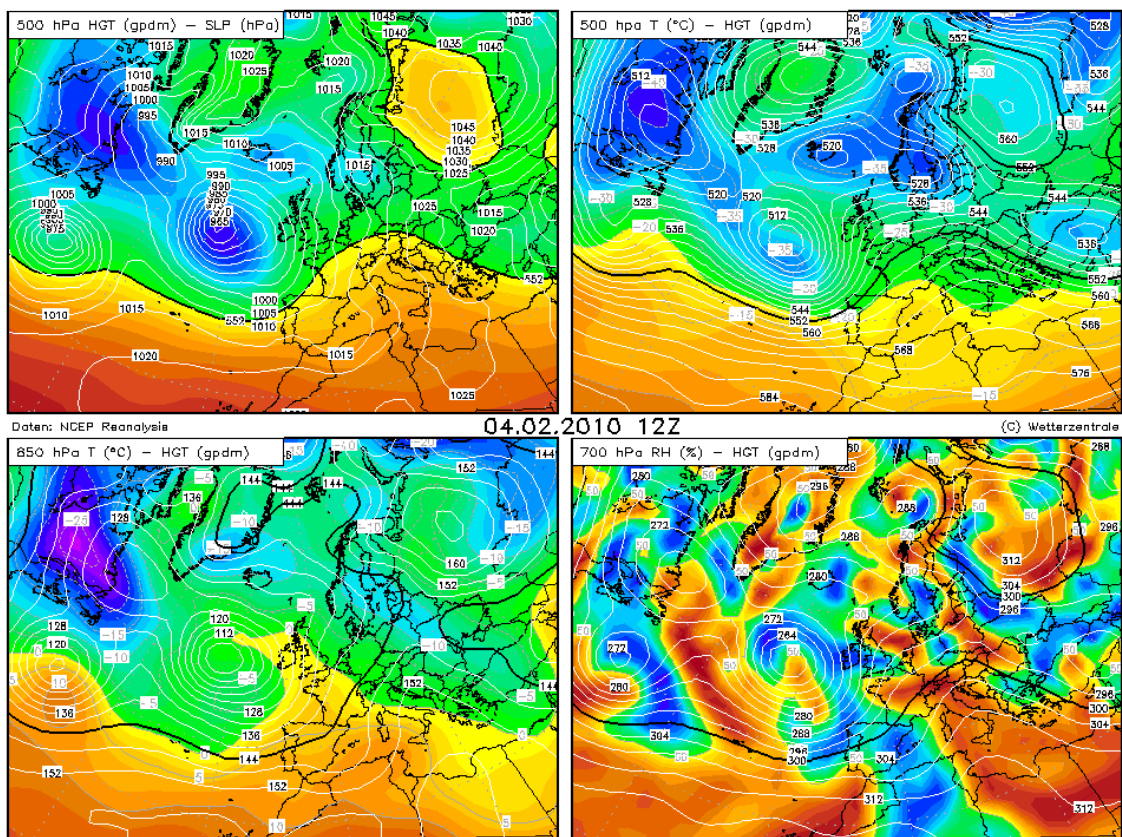
Mindkét parametrizációval a pályairányú szélkomponens nagyobb volt, mint 5 kt, így a nyers modelleredmény is megbízható volt az előrejelzésben és a nap folyamán a 31-es irány volt használatos.



44. ábra 2009.10.13. 16:00 UTC szélelőrejelzés

5.4. *Ködös időjárás Ferihegyen 2010 február elején*

2010. február 4-én Magyarország egy anticiklon északi peremén helyezkedett el. A METAR táviratok tanúsága szerint már az elmúlt napokban is gyakori volt párásság és köd. Az aktuális napon 10:30 UTC-ig változó irányú 3 csomós szél fújt jellemzően 1-1,5 km-es látástávolság mellett. A későbbiekben megélénkült a szél, átlagosan 7-9 csomós sebességgel fújt 100-130 fokos irányokból, viszont a látástávolság nem javult 6 kilométer feletti értékre. A változó irányú és a későbbiekben erősödő délkeleti szél pályairányváltásokhoz vezetett a nap folyamán.

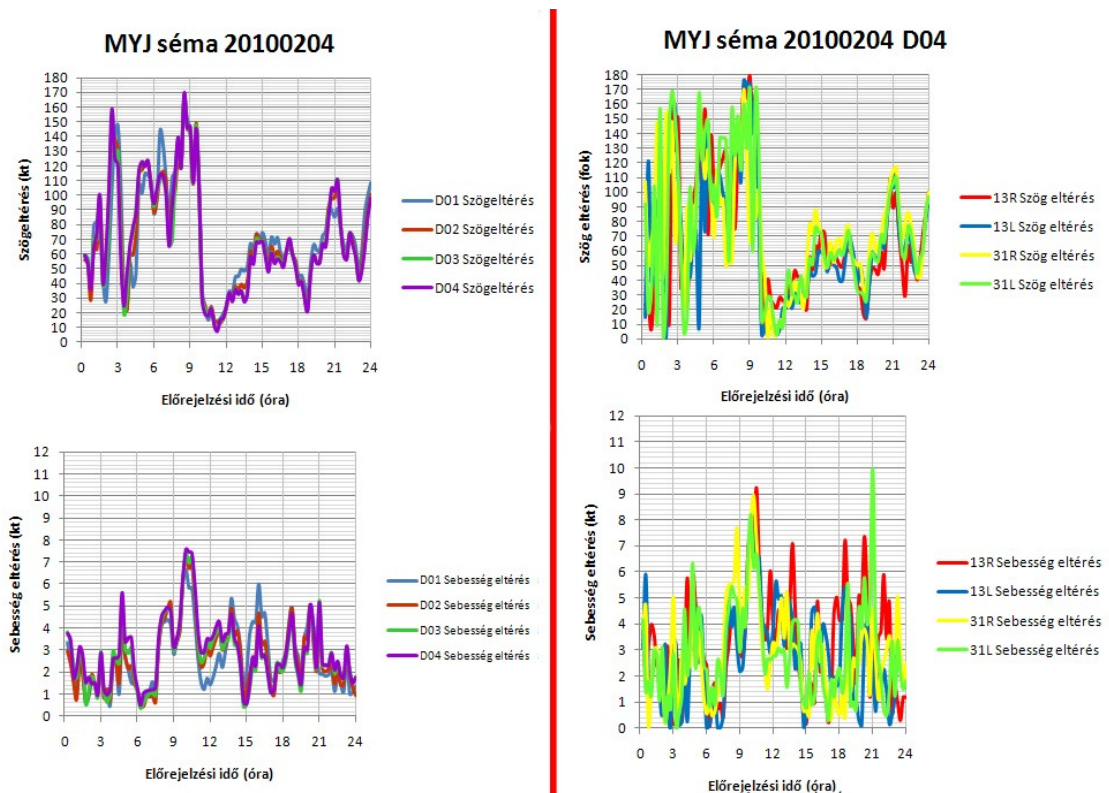


45. ábra 2010.02.04. NCEP Reanalízis (forrás: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

A 44. ábrán látható az adott időjárási helyzet 12 UTC-s reanalízis térképe. A magassági térképen valamelyest zonális áramlás figyelhető meg és egy alacsony geopotenciál értékkel rendelkező gerinc, amely a következő napokban a Kárpát-medence irányába mozgott. A 700 hPa-os nyomási térképen az adott szinten lévő relatív nedvességi értékeket ábrázolták, amelyen jól kivehető a magasban érkező szárazabb légtömeg.

5.4.1. A MYJ séma 2010. február 4-én

A 45. számú ábrán látható a modellfuttatás eredménye. A mérési eredmények és a reptéren kiadott METAR táviratok tanúsága szerint 11 UTC-ig jellemzően változó irányú szelek fújtak, csekély 2-3 csomós átlagos szélességgel. Az ábra bal oldalán lévő diagrammokon látszik, hogy a szélirányok tekintetében a négy különböző felbontású domain gyakorlatilag azonos menetet mutat. 9:30 UTC után figyelhető meg jelentős javulás, amikor az áramlás kellően megélénkült. A szélesség szempontjából az első néhány órában nem volt nagy a hiba, de a későbbiekben a szélcsend körüli értékeket a modell jelentősen, 7-7,5 csomóval felülbecsülte. A 11 UTC körüli javulás a 12 kilométeres D01 domain esetén volt a legjobb, de csak alig fél csomóval maradt el hozzá képest a többi tartomány előrejelzése, így ez nem vehető szignifikáns eredménynek. A 10 óra körüli sebesség előrejelzési hibát leszámítva látható, hogy az időszak során átlagosan 5 csomó alatti volt az eltérés.



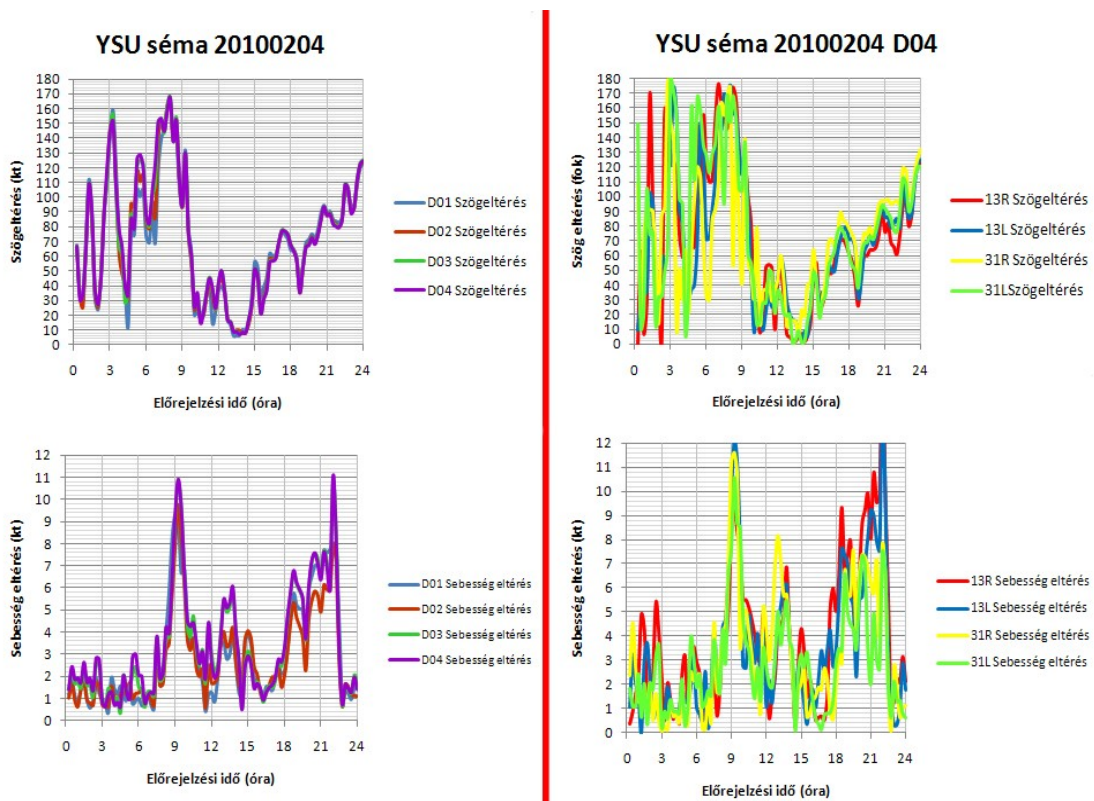
46. ábra MYJ séma 2010.02.04.

A 4 km-es domain eredményeinek vizsgálata a 46. ábra jobb oldalán látható. Szemmel látható a szélirány előrejelzésének beválása a 10 UTC utáni időszakban. A 31L eredményei az előrejelzés során megbízhatóbbnak bizonyultak a többivel szemben. 11 órától a légiforgalmi irányítás a 13-as futópályairányra állt át, amely a modell

szélirány előrejelzéséből is következett és a nap folyamán végig ez maradt érvényben. A szélességi adatok közül legmegbízhatóbbnak a 13L bizonyult, amelynél a hiba 5 kt értéken belül maradt.

5.4.2. A YSU séma 2010. február 4-én

A Yonsei egyetem sémájánál megfigyelhető, hogy az előrejelzési időszak folyamán a szélirányok prognózisa jelentősen javul 10 UTC után. A domainek között eltérés nem igazán tapasztalható, leszámítva az időszak kezdetén a változó szélirányoknál. A szélességi előrejelzésnél még a változó irányú szélességek előrejelzése is pontosnak mondható, átlagosan 1,5-2 csomós értékekkel. A szélirány fordulásánál megfigyelhető, hogy a modell időben előbbre várta a szélesség megélénkülését és emiatt látható a 9 UTC után nem sokkal a jelentős felülbecslés. Amint a szél megerősödött ez a hiba fokozatosan csökkent 4 csomó körülire.



47. ábra YSU séma 2010.02.04.

A 4. domainnél nagyjából ugyanaz a menet figyelhető meg, mint az átlagolt eseteknél. A szélirány előrejelzése itt is 10 óra után válik pontosabbá, a 13L és a 31L

szélmérőihez viszonyított értékeknél. A szélesebbeségeket figyelembe véve pedig a fentebb említett probléma itt is megjelenik, mint a négy szélmérő esetében, vagyis a modell időben jelentősen korábban várta a szél megerősödését. A 13L szélmérőjéhez viszonyítva a folyamat végén az eltérések 10 csomó feletti, a 31L ilyen szempontból ismét megbízhatóbbnak bizonyul a teljes időszak alatt.

5.4.3. 2010. február 4-i modellfuttatások összegzése

A két különböző parametrizáció esetén látható a jelentős eltérés. Az MYJ séma esetén a szélesebbesség növekedésének korábbi előrejelzése kisebb mértékű volt, mint a YSU-nál, valamint a 18 UTC után is pontosabb maradt. Körülbelül ugyanez mondható el a 4 km-es felbontású domain esetén is, ahol a szélirányok előrejelzése a MYJ határréteg sémánál volt a valósághoz közelebb. A sebesség eltérések pedig 10 csomós küszöb alatt maradnak az előbb említett sémánál, amíg a YSU időnként 10-12 csomó fölötti hibát is vétett.

2010. február 4.	ATC	MYJ	YSU
<i>Nyers kimenet</i>	86.5%	68.8%	58.3%
<i>Javított eredmény</i>	-	80.2%	78.5%

12. táblázat 2010. február 4.-i pályairányirány meghatározások megbízhatósága.

A pályairány meghatározása a változó szélirány miatt nehezebb volt, de a MYJ séma esetén is jelentős mértékben javítható volt az előrejelzés.

5.5. *Az esettanulmányok összesítő elemzése*

Az esettanulmányok eredményének tükrében elmondható, hogy a mikrofizikai és a planetáris határreteg parametrizációjának megválasztásától nagyban függ az előrejelzés eredménye. A bonyolultabb mikrofizika (WSM5) felesleges számításokkal megváltoztathatja a talajközeli szélmező struktúráját, amely pontatlan eredményeket okoz. Így ennek használata csak csapadékosabb időjárási helyzetekben javasolt. A WSM3 egyszerűbb mikrofizika látványos eredményt mutatott szeles időjárási helyzet esetén YSU határreteg sémával kombinálva. Szélcsend közeli helyzetekben azonban a MYJ séma szerepelt jobban ugyanezen mikrofizikai sémával. A csapadékos időjárási helyzetben szintén az utóbb említett határreteg séma büszkélkedhet jobb eredményekkel, de már a komplikáltabb WSM5 fizikával.

A tapasztalatok alapján elmondható, hogy a további operatív modellfuttatás szempontjából célszerű továbbra is a Mellor-Yamada-Janjic planetáris határreteg sémát használni az egyszerűbb mikrofizikai folyamatok leírásával, amelynek hatása pontosabb előrejelzést biztosíthat későbbiekben is. Valamint a felesleges pályairányváltások prognózisa is felülbírálnak az adatok tükrében.

6. Összegzés

Diplomamunkám célja az volt, hogy a léginavigációs szolgálatok számára készülő célprognózisok készítéséhez, javításához új megközelítést, módszertant adjak, amely során eddig nem használt adatok és eszközök alkalmazásával bemutassam, milyen lehetőségek kínálkoznak a szélelőrejelzések készítése során ahhoz, hogy a légirányítás számára a lehető legpontosabb, és a számukra leghatékonyabban felhasználható információk álljanak rendelkezésre. Ez a feladat egyrészt komoly kihívás a légkör tudománya számára, másrészt jelentős környezeti, gazdasági vonzata is van a légközlekedésre gyakorolt hatásai révén.

Munkám során először bemutattam a repülőtér mérési eredményeit, amelynél a meteorológiai gyakorlatban ritkán előforduló adatsűrűség állt rendelkezésre, mind térben, mind időben. Az adatok feldolgozása nem kis feladatot jelentett, amely a digitális adattárolás nélkül szinte megoldhatatlan lett volna. A mérési eredmények segítségével a szélviszonyokat átfogóan megismerhettük és rálátást nyertünk a szélmérés térbeli változékonyságára a repülőtéren. A rendelkezésre álló 5 év alapján nem állíthatjuk, hogy teljes mértékben ismert a szondázott és 10 méteren mért szél közötti kapcsolat, de így is 1448 darab 12 UTC-kor végzett szonda felszállási adatával dolgozhattunk.

A statisztikai vizsgálatoknál megpróbáltunk kapcsolatot felállítani a szondázások által mért magassági szelek és a repülőtéri szélmérés eredményei között, amelyekhez a szondázási adatok feldolgozása is megoldandó probléma volt. Ezekből a vizsgálatokból származó eredmények nem sokkal kecsegtettek, így más módszerekhez kellett folyamodnunk. Végül a magassági szél és a repülőtéri szél alapján a pályairányok közötti tapasztalati kapcsolat létrehozását találtuk a legmegfelelőbbnek, amellyel érdemes a továbbiakban is foglalkozni és ennek felhasználásával optimalizálható a pályairány meghatározása.

A modellfuttatások és esettanulmányok eredményeinek tükrében kijelenthetem, hogy a WRF-EMS modellező rendszer nagyon jó eredményekkel kecsegtet, így az operatív használata fontos szerepet kaphat a jövőbeni célprognózisok készítésében. A vizsgálatok során arra jutottunk, hogy célszerű a részletes térbeli felbontást alkalmazni a modellfuttatások során, de ennek számításgénye jelentős gépkapacitást von maga után. Ehhez kulcsfontosságú a megfelelő határreteg és mikrofizikai parametrizáció

kiválasztása és adaptálása a pontosabb előrejelzések készítéséhez, amelyhez a kutatásom is sok szempontot, eredményt kínál.

Az eredmények alapján kijelenthetjük, hogy a célkitűzésünket elértük ugyan, de a probléma teljes megoldása természetesen még nem zárult le, hiszen a vizsgálatok során további ötletek illetve problémák merültek fel. Az utóbbiak között említeném meg a numerikus modell számításigényét, valamint a kezdeti- és peremfeltételekből származó eredendő hibákat, amelyre érzékeny a modell és ez nagyban befolyásolja a várható eredményeket. Kedvező viszont az a körülmény, hogy a pályairány előretervezése rövidtávú folyamat, így a számítógépen a modellfuttatásokat nem kell hosszabb időtartamra tervezni, amely csökkenti a modellezésből eredő hibákat.

A továbbiakban szeretnénk más esettanulmányokat is végezni többféle parametrizáció együttesekkel, amelyekre a diplomamunka készítése során nem jutott idő, valamint az ALMOS mérőhálózat adatsorának digitalizálása is az általunk kifejlesztett módszerrel folytatódik, amellyel jövőbeli célunk kellő esetszámmal rendelkező vizsgálatok végzése.

Végezetül egy olyan előrejelzési technika kifejlesztésére is mód nyílik, amely sikeresen ötvözi magába a numerikus modellezésből származó, valamint a statisztikai, empirikus adatokat, és egy sajátos perfekt prognosztikai eszközként áll majd elő.

Szél-és látásviszony előrejelzés

Budapest Ferihegy Nemzetközi repülőtér területére

2009. augusztus 19. szerda 6.00 UTC órától

1. Látásviszonyok és felhőalap az elkövetkező 24 órában

Vízszintes látás	Időszak UTC	Felhőalap/ függőleges látás	Időszak UTC
5000 m alatt	-----	1500 ft alatt	-----
600 m alatt	-----	200 ft alatt	-----
400 m alatt	-----	-----	-----

2. Szélirány és szélesség a következő 3 napban

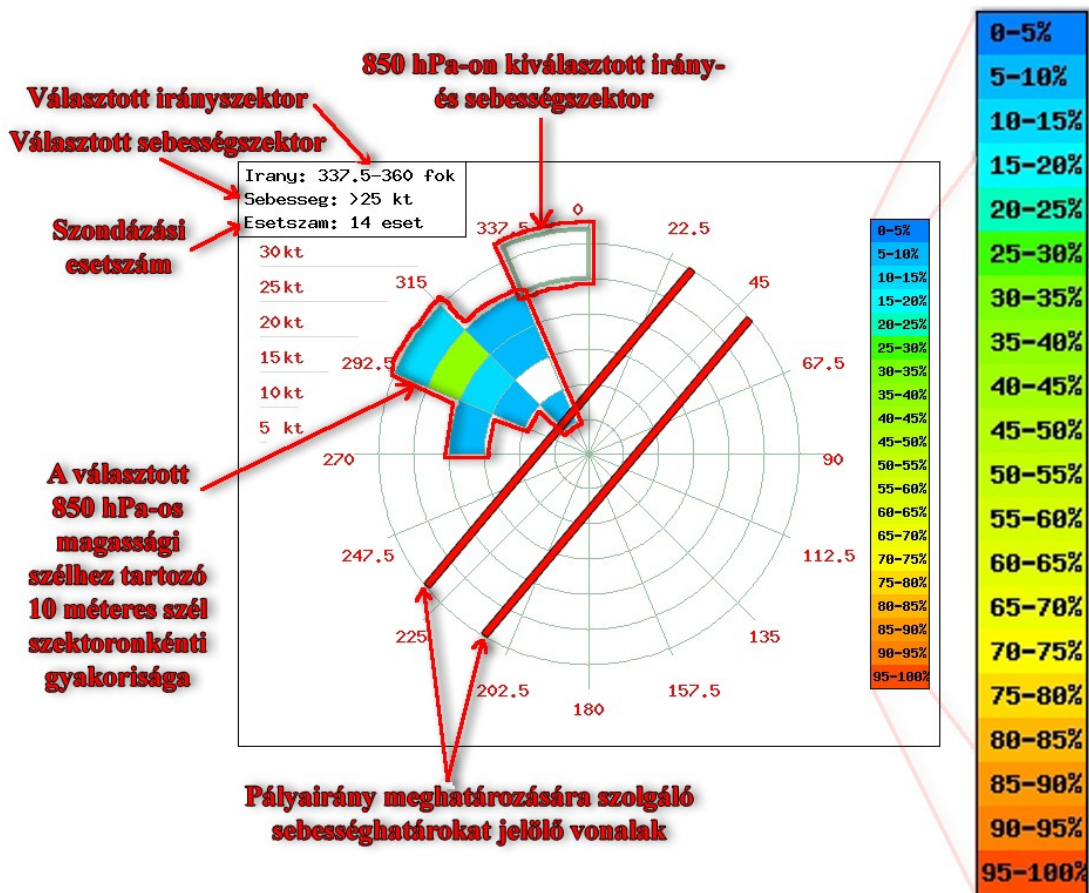
nap	UTC	irány [fok]	erősség [kt]	lökések [kt]
19. szerda	06-12	080-100	4-6	
	12-18	360-040	6-10	
	18-24	020-060	4-6	
20. csütörtök	00-06	040-090	4-6	
	06-18	040-060	6-12	
	18-24	090-120	6-10	
21. péntek	00-08	VRB	0-3	
	08-18	240-270	2-4	
	18-24	280-310	6-10	

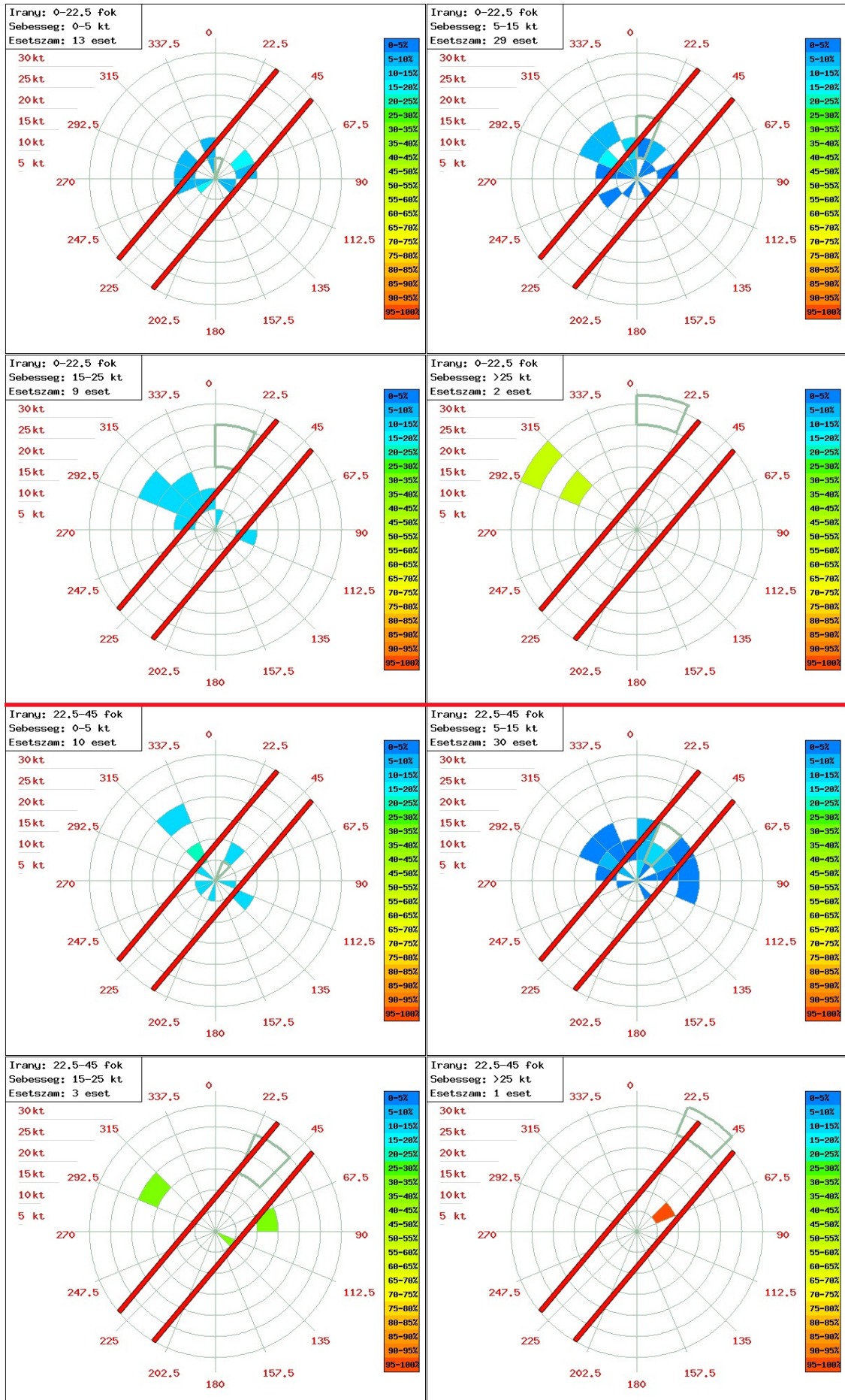
Kiadva: 2009. augusztus 19. 04:00 UTC

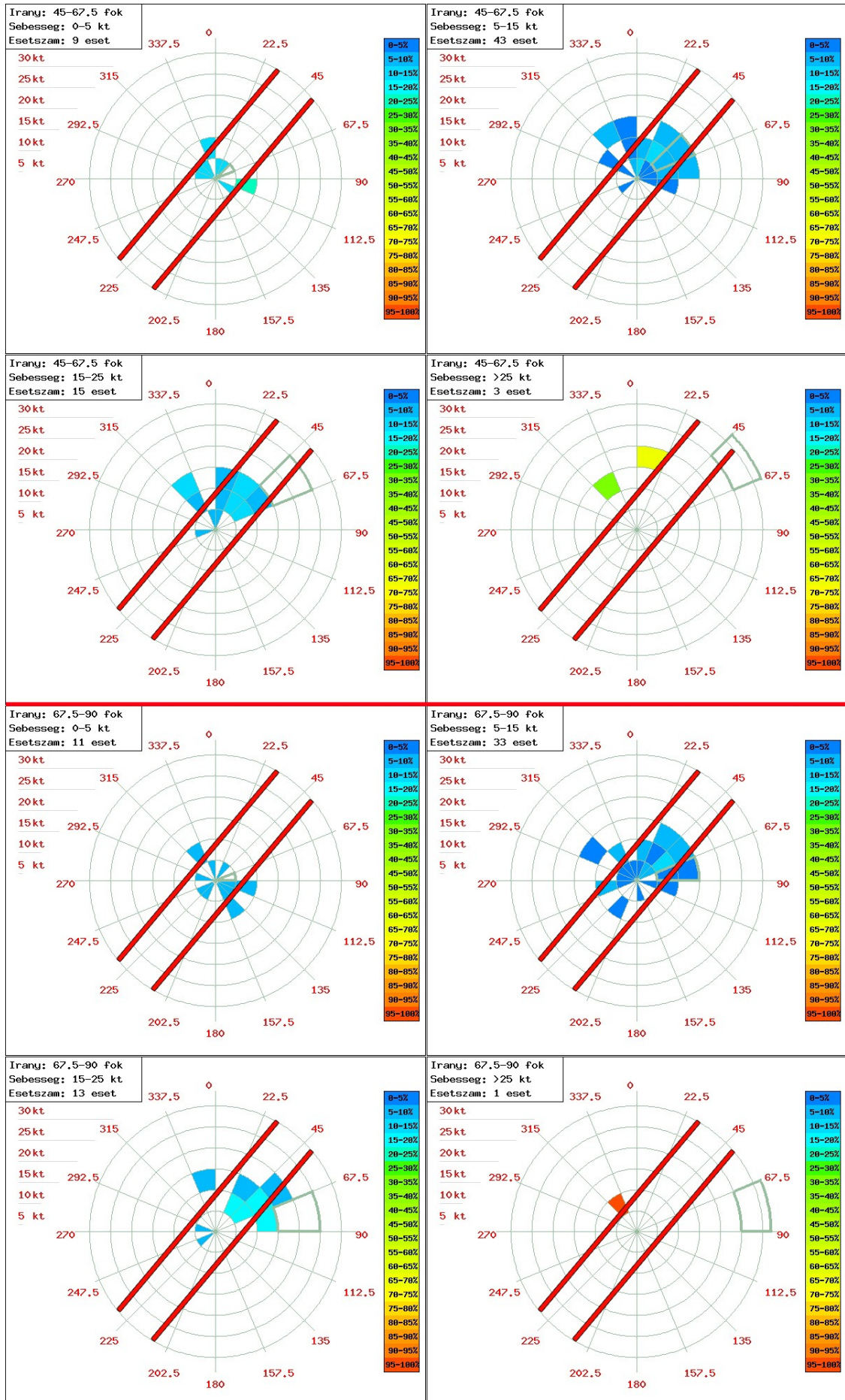
adta: XY

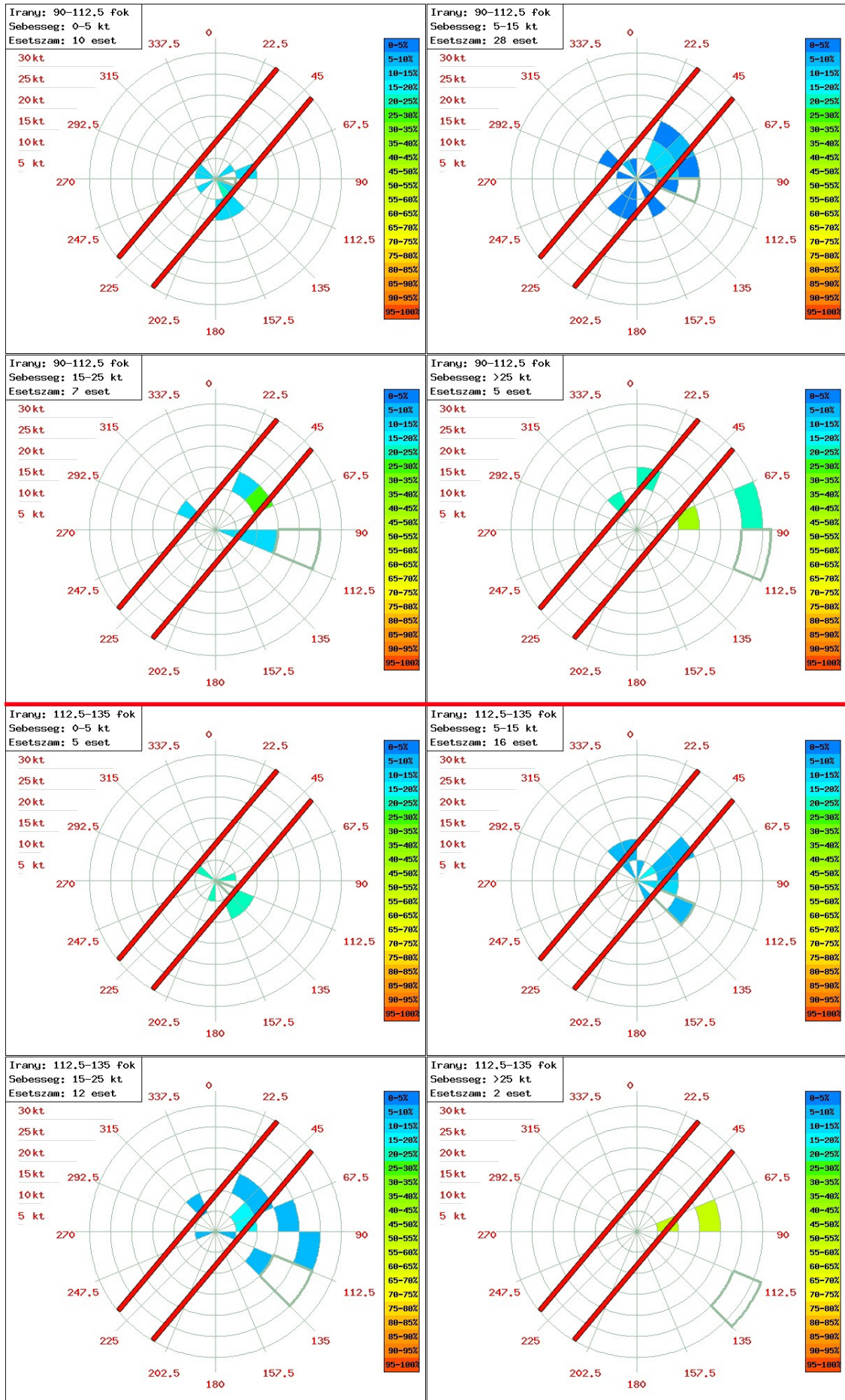
A 2. számú mellékletben található ábrák értelmezése

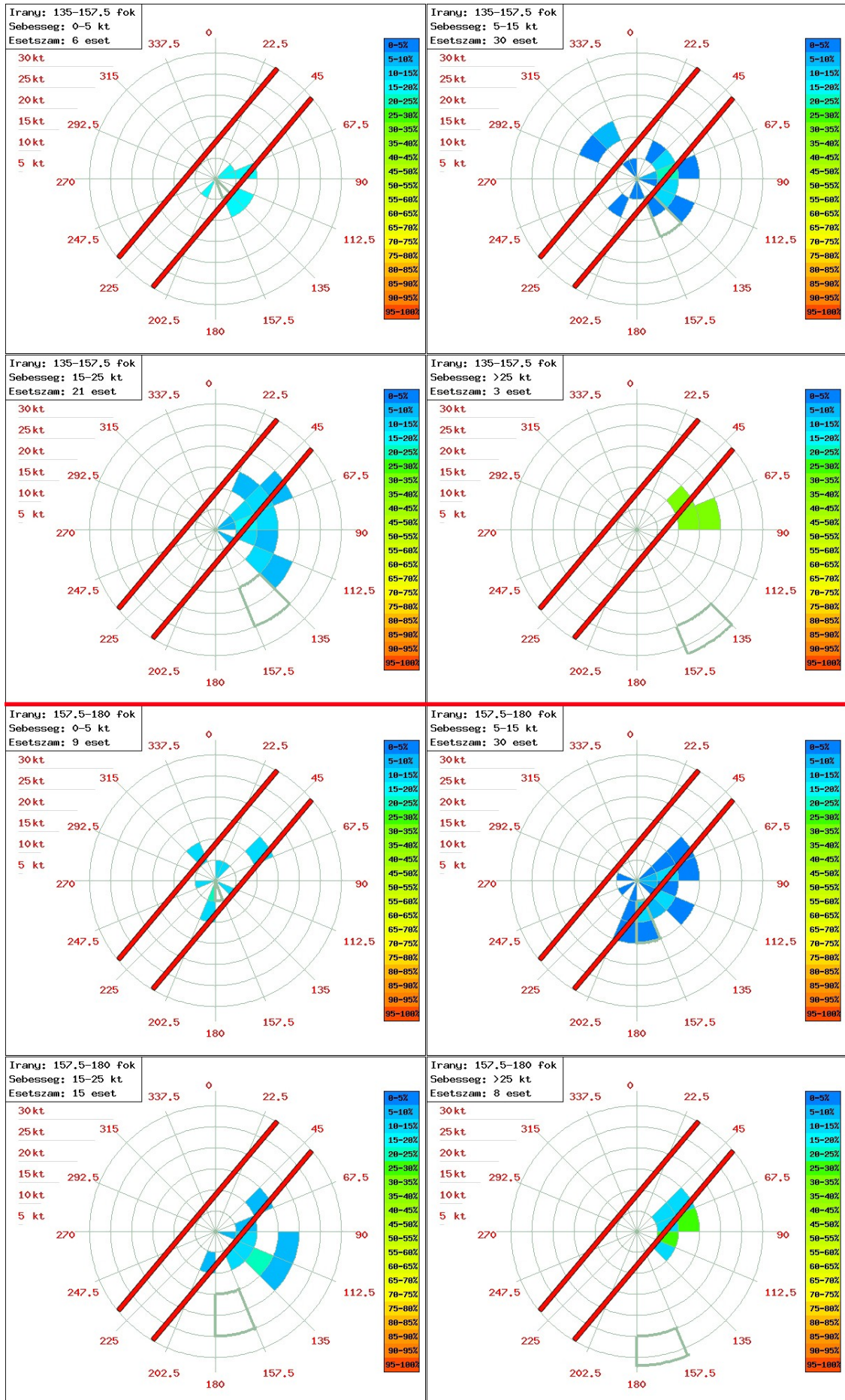
Szürke színnel jelölt körcekk jelöli ki a 850 hPa-os nyomási szinten mért szélirányt és szélesebbesség tartományt, amelyhez különböző gyakorisággal tartoznak a repülőtéren mért szelek. A jobb oldalon látható gyakorisági színskála segít értelmezni az előfordulásokat a szondázások esetszámának tükrében.

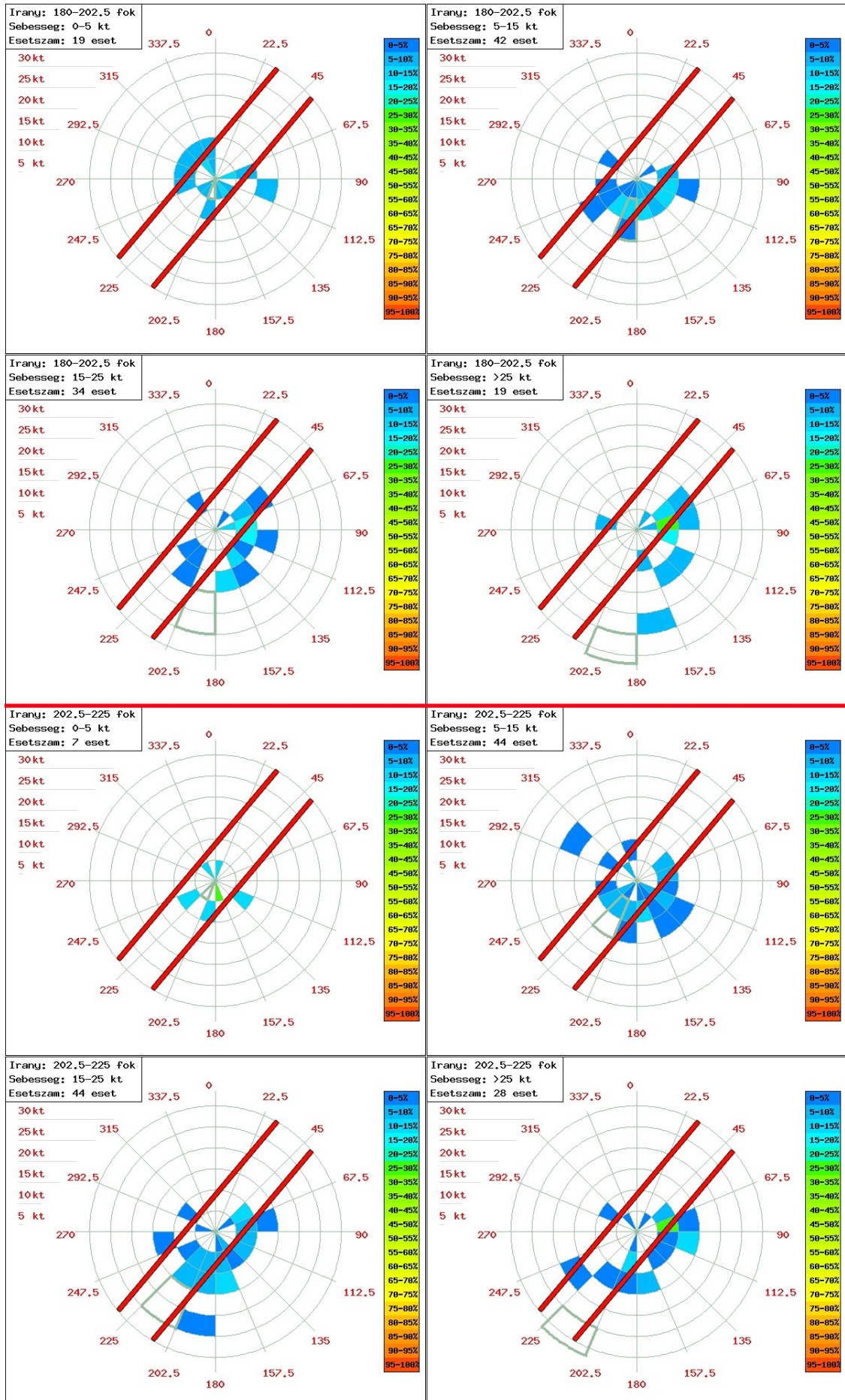


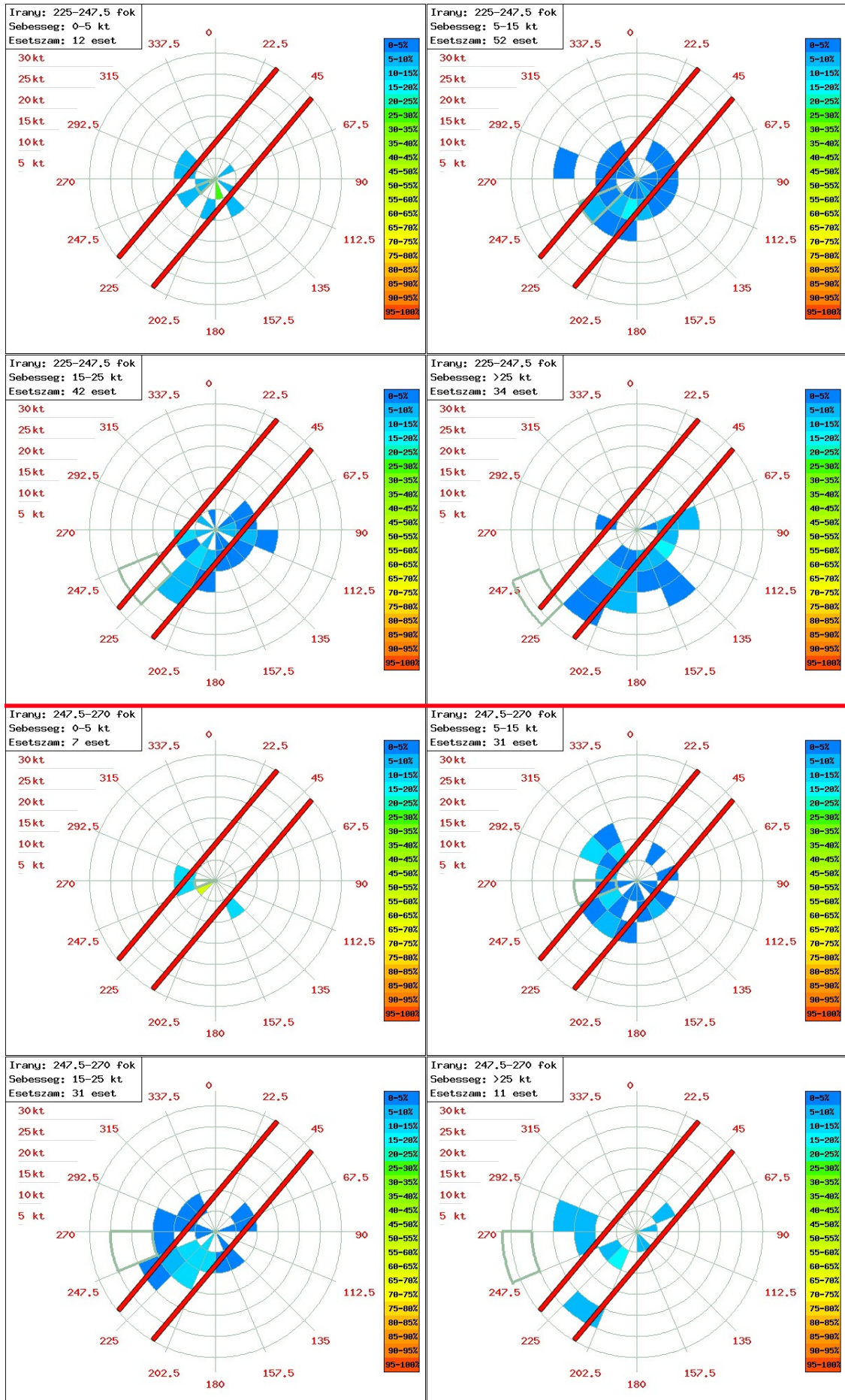


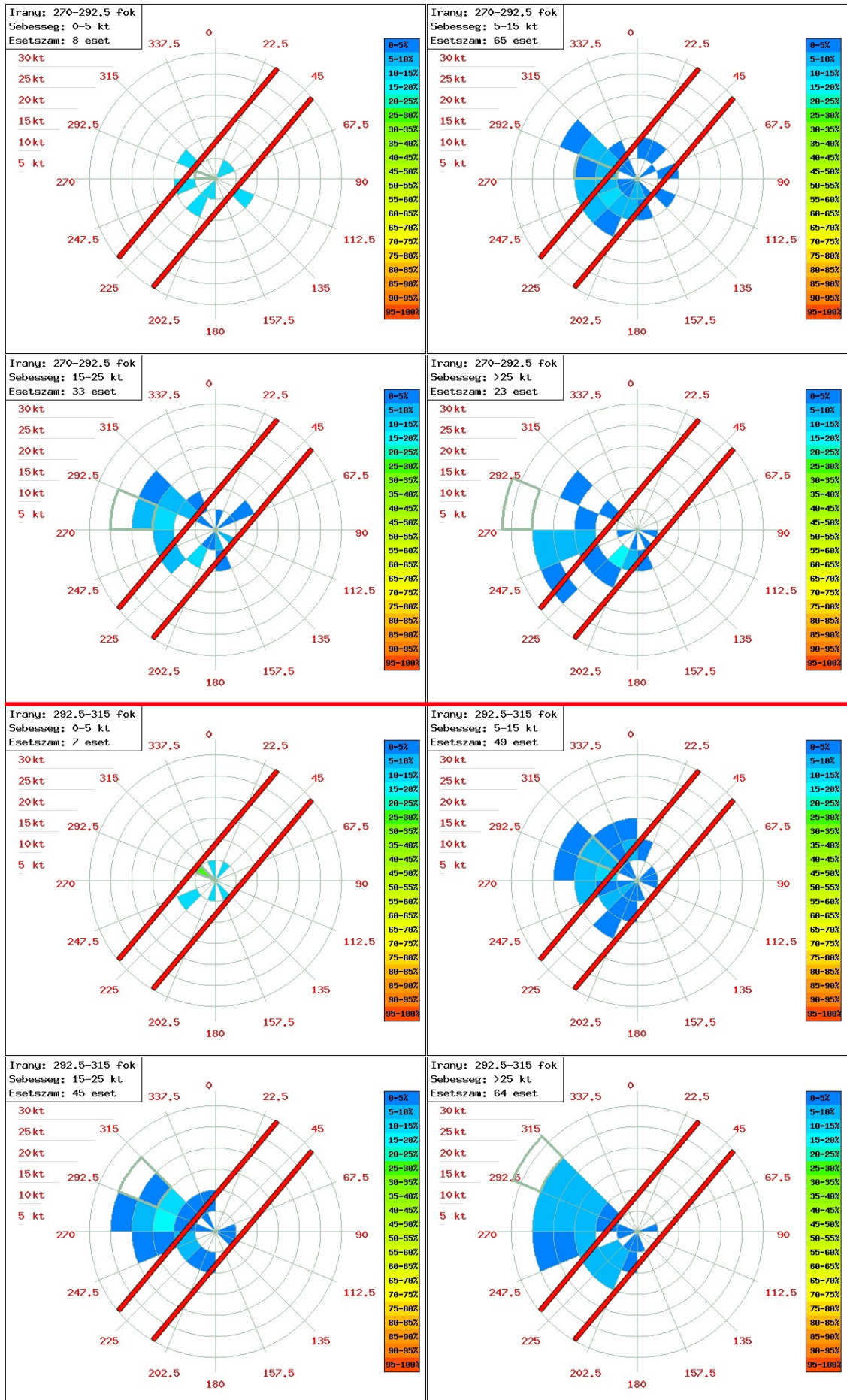


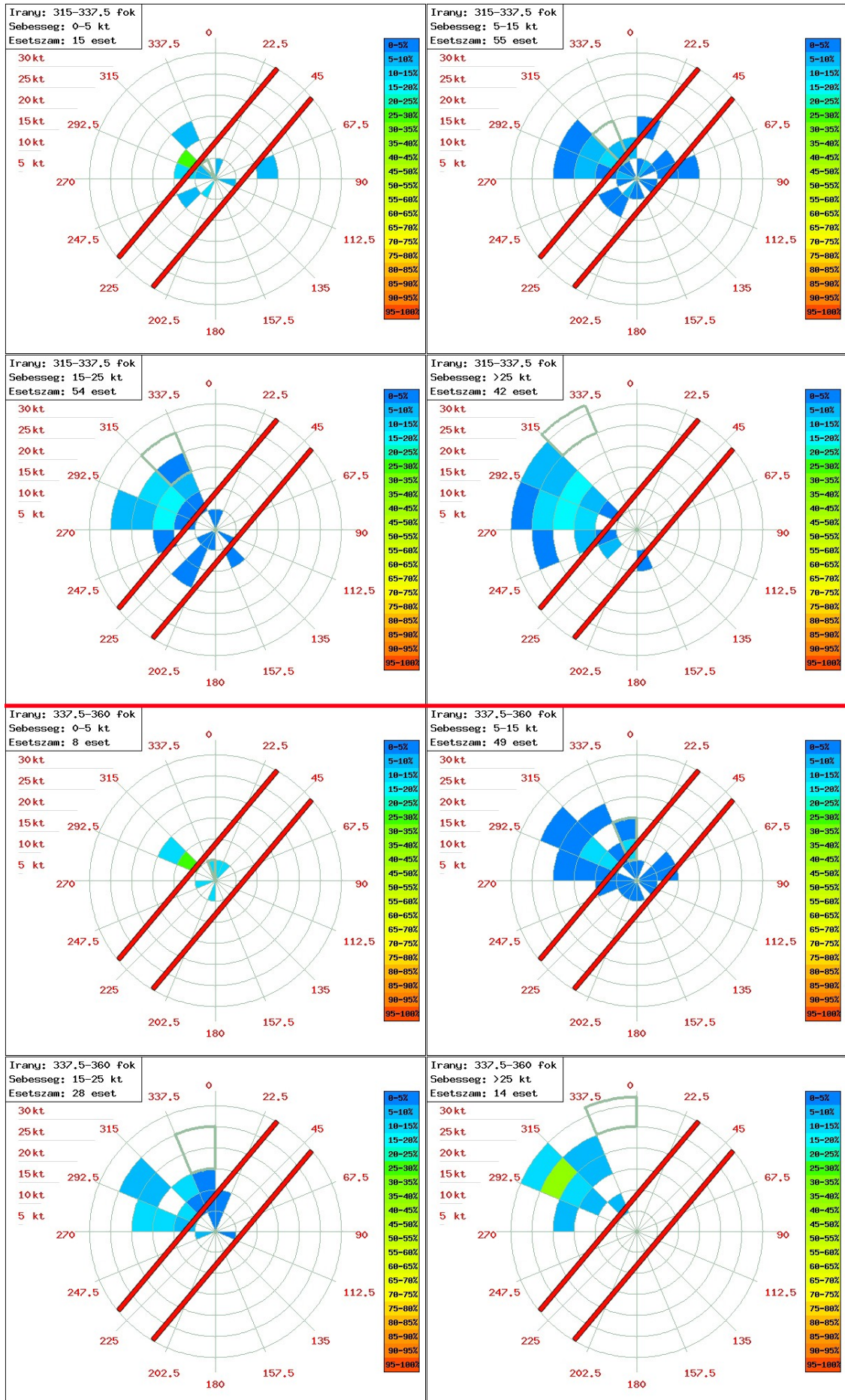


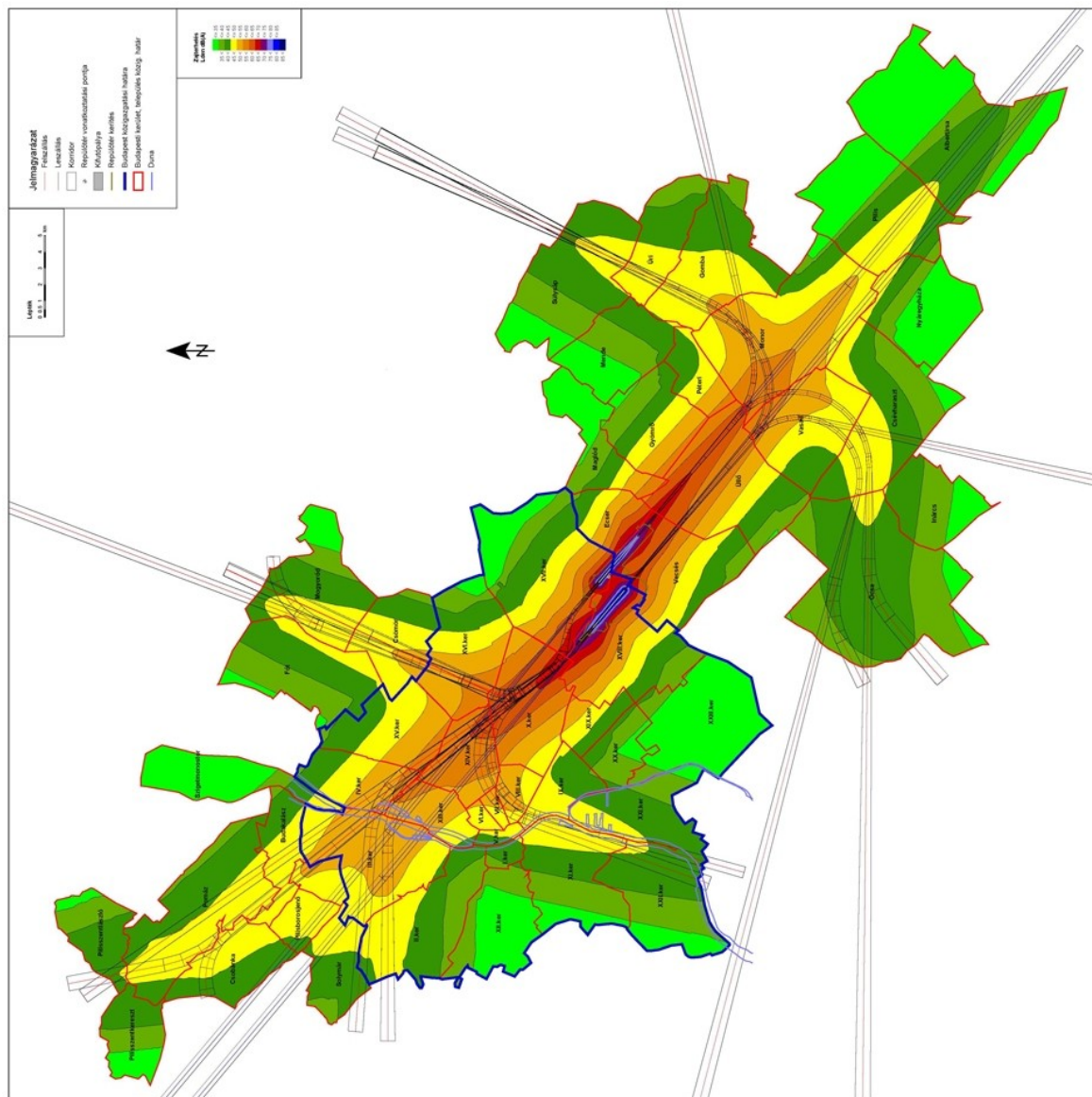












Műt: 2008. 7. 23. 00 UTC 31R D04	31R szélirány	31R szél- sebesség	MYJ		YSU		Mért szél alapján a pályáirány	MYJ		YSU		ATC				
			31R előrejelz ett szélirány	31R előrejelz ett szélsebe ség	31R előrejelz ett szélirány	31R előrejelz ett szélsebe ség		Előrejelze tt szél alapján a pályáirán y	Egyezés	Előrejelze tt szél alapján a pályáirán y	Egyezés	Valós pályáirán y	Egyezés			
+0 hr 15 min	315	7	326	7.89	328	8.64	7.0 kt	31	7.6 kt	31	1	8.2 kt	31	1	31	1
+0 hr 30 min	314	7	328	7.63	332	8.86	7.0 kt	31	7.3 kt	31	1	8.2 kt	31	1	31	1
+0 hr 45 min	317	7.6	327	8.82	331	9.78	7.5 kt	31	8.4 kt	31	1	9.1 kt	31	1	31	1
+1 hr 00 min	326	8.7	330	8.99	335	10.06	8.4 kt	31	8.4 kt	31	1	9.1 kt	31	1	31	1
+1 hr 15 min	324	9.2	333	9.34	341	9.89	8.9 kt	31	8.6 kt	31	1	8.5 kt	31	1	31	1
+1 hr 30 min	326	10	335	10.55	344	11.14	9.6 kt	31	9.6 kt	31	1	9.2 kt	31	1	31	1
+1 hr 45 min	320	9.4	335	11.21	346	12.17	9.3 kt	31	10.2 kt	31	1	9.8 kt	31	1	31	1
+2 hr 00 min	318	10	328	9.94	345	12.31	9.9 kt	31	9.5 kt	31	1	10.1 kt	31	1	31	1
+2 hr 15 min	318	10.9	323	10.03	343	12.18	10.8 kt	31	9.8 kt	31	1	10.2 kt	31	1	31	1
+2 hr 30 min	321	12.6	322	10.06	342	12.24	12.4 kt	31	9.8 kt	31	1	10.4 kt	31	1	31	1
+2 hr 45 min	318	11.2	328	10.39	341	12.66	11.1 kt	31	9.9 kt	31	1	10.9 kt	31	1	31	1
+3 hr 00 min	316	12	331	10.4	345	12.45	11.9 kt	31	9.7 kt	31	1	10.2 kt	31	1	31	1
+3 hr 15 min	320	11.5	331	10.83	350	12.24	11.3 kt	31	10.1 kt	31	1	9.4 kt	31	1	31	1
+3 hr 30 min	315	12.1	334	10.67	358	11.68	12.1 kt	31	9.7 kt	31	1	7.8 kt	31	1	31	1
+3 hr 45 min	312	10.2	337	11.26	10	11.25	10.2 kt	31	10.0 kt	31	1	5.6 kt	31	1	31	1
+4 hr 00 min	314	13.4	339	13.04	017	11.34	13.4 kt	31	11.4 kt	31	1	4.4 kt	31	1	31	1
+4 hr 15 min	311	13.7	341	12.82	014	11.09	13.7 kt	31	11.0 kt	31	1	4.9 kt	31	1	31	1
+4 hr 30 min	315	11.7	339	14.2	011	10.5	11.7 kt	31	12.4 kt	31	1	5.1 kt	31	1	31	1
+4 hr 45 min	314	12.9	343	14.64	005	9.69	12.9 kt	31	12.3 kt	31	1	5.6 kt	31	1	31	1
+5 hr 00 min	310	11.4	344	13.8	005	10.03	11.4 kt	31	11.4 kt	31	1	5.8 kt	31	1	31	1
+5 hr 15 min	313	13.9	340	12.05	002	10.53	13.9 kt	31	10.4 kt	31	1	6.5 kt	31	1	31	1
+5 hr 30 min	314	13.8	341	11.79	360	10.17	13.8 kt	31	10.1 kt	31	1	6.5 kt	31	1	31	1
+5 hr 45 min	317	13.4	341	13.4	357	10.59	13.3 kt	31	11.5 kt	31	1	7.2 kt	31	1	31	1
+6 hr 00 min	310	14.1	345	13.29	355	10.43	14.1 kt	31	10.9 kt	31	1	7.4 kt	31	1	31	1
+6 hr 15 min	310	14.7	345	13.7	351	9.98	14.7 kt	31	11.2 kt	31	1	7.5 kt	31	1	31	1
+6 hr 30 min	314	15.7	344	13.61	349	9.42	15.7 kt	31	11.3 kt	31	1	7.3 kt	31	1	31	1
+6 hr 45 min	329	12.7	347	12.56	349	9.37	12.0 kt	31	10.0 kt	31	1	7.3 kt	31	1	31	1
+7 hr 00 min	319	11.9	349	12.74	348	8.92	11.8 kt	31	9.9 kt	31	1	7.0 kt	31	1	31	1
+7 hr 15 min	314	16.2	350	13.67	338	8.92	16.2 kt	31	10.5 kt	31	1	7.9 kt	31	1	31	1
+7 hr 30 min	319	15.9	351	14.09	335	10.33	15.7 kt	31	10.6 kt	31	1	9.4 kt	31	1	31	1
+7 hr 45 min	317	13.6	358	14.11	336	11.18	13.5 kt	31	9.4 kt	31	1	10.0 kt	31	1	31	1
+8 hr 00 min	315	15.6	001	14.62	340	11.84	15.5 kt	31	9.2 kt	31	1	10.3 kt	31	1	31	1
+8 hr 15 min	321	15.5	359	14.49	344	11.62	15.2 kt	31	9.5 kt	31	1	9.6 kt	31	1	31	1
+8 hr 30 min	314	12.9	356	14.79	344	11.23	12.9 kt	31	10.3 kt	31	1	9.3 kt	31	1	31	1
+8 hr 45 min	327	14.5	353	15.11	344	11.42	13.9 kt	31	11.1 kt	31	1	9.5 kt	31	1	31	1
+9 hr 00 min	321	13.2	353	14.69	347	10.55	13.0 kt	31	10.7 kt	31	1	8.4 kt	31	1	31	1
+9 hr 15 min	321	13.2	354	14.35	348	9.77	13.0 kt	31	10.3 kt	31	1	7.7 kt	31	1	31	1
+9 hr 30 min	323	11.5	356	14.58	347	8.79	11.2 kt	31	10.1 kt	31	1	7.0 kt	31	1	31	1
+9 hr 45 min	321	11.4	354	14.69	351	7.37	11.2 kt	31	10.6 kt	31	1	5.6 kt	31	1	31	1
+10 hr 00 min	323	12.3	353	14.31	348	6.07	12.0 kt	31	10.5 kt	31	1	4.8 kt	31	1	31	1
+10 hr 15 min	326	12	352	15.27	354	7.03	11.5 kt	31	11.3 kt	31	1	5.1 kt	31	1	31	1
+10 hr 30 min	324	10.2	356	17.07	001	8.03	9.9 kt	31	11.9 kt	31	1	5.1 kt	31	1	31	1
+10 hr 45 min	324	9.6	353	16.74	008	6.78	9.3 kt	31	12.2 kt	31	1	3.6 kt	31	1	31	1
+11 hr 00 min	326	10.4	351	17.04	026	6.86	10.0 kt	31	12.9 kt	31	1	1.7 kt	31	1	31	1
+11 hr 15 min	331	10.4	354	17.05	052	7.48	9.7 kt	31	12.3 kt	31	1	-1.6 kt	31	1	31	1
+11 hr 30 min	333	10.4	359	15.64	077	8.06	9.6 kt	31	10.3 kt	31	1	-4.9 kt	31	1	31	1
+11 hr 45 min	330	10.4	001	16.16	096	8.58	9.8 kt	31	10.2 kt	31	1	-7.1 kt	31	0	31	1
+12 hr 00 min	329	9.1	002	15.42	083	8.11	8.6 kt	31	9.5 kt	31	1	-5.5 kt	31	0	31	1
+12 hr 15 min	340	8.1	005	14.64	094	8.13	7.0 kt	31	8.4 kt	31	1	-6.6 kt	31	0	31	1
+12 hr 30 min	349	11.3	007	13.21	090	8.23	8.8 kt	31	7.2 kt	31	1	-6.3 kt	31	0	31	1
+12 hr 45 min	17	10.2	007	13.42	100	10.04	4.0 kt	31	7.3 kt	31	1	-8.7 kt	31	0	31	1
+13 hr 00 min	42	10.6	013	11.89	083	8.21	-0.4 kt	31	5.4 kt	31	1	-5.6 kt	31	0	31	1
+13 hr 15 min	73	10.7	022	11.73	061	8.93	-5.8 kt	13	3.6 kt	31	0	-3.2 kt	31	0	31	0
+13 hr 30 min	68	7.9	015	11.74	091	10.71	-3.7 kt	31	5.0 kt	31	1	-8.3 kt	31	0	31	1
+13 hr 45 min	72	10.7	043	15.22	109	10.63	-5.7 kt	13	-0.8 kt	31	0	-9.9 kt	31	1	31	0
+14 hr 00 min	72	9.1	045	17.76	102	8.49	-4.8 kt	31	-1.5 kt	31	1	-7.5 kt	31	0	31	1
+14 hr 15 min	72	11.5	047	16.88	085	5.91	-6.1 kt	13	-2.1 kt	31	0	-4.2 kt	31	0	31	0
+14 hr 30 min	80	10.9	046	14.61	024	2.79	-7.0 kt	13	-1.5 kt	31	0	0.8 kt	31	0	31	0
+14 hr 45 min	82	11.8	054	13.42	357	3.89	-7.9 kt	13	-3.2 kt	31	0	2.7 kt	31	0	31	0
+15 hr 00 min	68	9.1	049	15.48	042	3.26	-4.3 kt	31	-2.4 kt	31	1	-0.1 kt	31	1	31	1
+15 hr 15 min	83	7.7	044	18.61	059	3.17	-5.3 kt	13	-1.3 kt	31	0	-1.0 kt	31	0	31	0
+15 hr 30 min	87	8	044	17.34	086	3.33	-5.9 kt	13	-1.2 kt	31	0	-2.4 kt	31	0	31	0
+15 hr 45 min	60	6.6	051	15.36	085	2.12	-2.3 kt	31	-2.9 kt	31	1	-1.5 kt	31	1	31	1
+16 hr 00 min	35	6.1	060	14.09	148	3.38	0.5 kt	31	-4.8 kt	31	1	-3.2 kt	31	1	31	1
+16 hr 15 min	48	8.1	068	13.78	101	0.38	-1.1 kt	31	-6.5 kt	13	0	-0.3 kt	31	1	31	1
+16 hr 30 min	37	6.7	067	16	130	3.18	0.4 kt	31	-7.3 kt	13	0	-3.2 kt	31	1	31	1
+16 hr 45 min	44	3.4	066	15.53	262	10.99	-0.2 kt	31	-6.8 kt	13	0	7.4 kt	31	1	31	1
+17 hr 00 min	37	4.8	064	13.13	307	9.9	0.3 kt	31	-5.3 kt	13	0	9.9 kt	31	1	31	1
+17 hr 15 min	40	4.2	055	11.42	354	12.55	0.0 kt	31	-3.0 kt	31	1	9.0 kt	31	1	31	1
+17 hr 30 min	30	2.6	049	11.27	046	5.67	0.5 kt	31	-1.8 kt	31	1	-0.6 kt	31	1	31	1
+17 hr 45 min	1	2.1	045	10.38	043	9.07	1.3 kt	31	-0.9 kt	31	1	-0.5 kt	31	1	31	1
+18 hr 00 min	21	0.7	039	9.67	071	4.4	0.2 kt	31	0.2 kt	31	1	-2.3 kt	31	1	31	1
+18 hr 15 min	333	3.8	036	9.15	099	8.66	3.5 kt	31	0.6 kt	31	1	-7.4 kt	31	0	31	1
+18 hr 30 min	342	4.8	039	8.54	091	3.62	4.1 kt	31	0.1 kt	31	1	-2.8 kt	31	1	31	1
+18 hr 45 min	349	2.3	037	7.97	023	0.69	1.8 kt	31	0.4 kt	31	1	0.2 kt	31	1	31	1
+19 hr 00 min	9	0.1	035	8.19	347	1.39	0.1 kt	31	0.7 kt	31	1	1.1 kt	31	1	31	1
+19 hr 15 min	337	3.1	033	8.31	207	1.09	2.8 kt	31	1.0 kt	31	1	-0.2 kt	31	1	31	1
+19 hr 30 min	341	5.9	035	9.33	235	6.43	5.1 kt	31	0.8 kt	31	1	1.7 kt	31	1	31	1
+19 hr 45 min	320	5.9	032	9.16	264	4.35	5.8 kt	31	1.3 kt	31	1	3.0 kt	31	1	31	1
+20 hr 00 min	323	5.9	030	10.51	284	9.5	5.7 kt	31	1.8 kt	31	1	8.5 kt	31	1	31	1
+20 hr 15 min	325	6.7	030	11.73	279	8.94	6.5 kt	31	2.0 kt	31	1	7.7 kt	31	1	31	1
+20 hr 30 min	321	6	034	11.84	269	7.61	5.9 kt	31	1.2 kt	31	1	5.7 kt	31	1	31	1
+20 hr 45 min	340	3.1	038	11.22	319	5.92	2.7 kt	31	0.4 kt	31	1	5.8 kt	31	1	31	1
+21 hr 00 min	322	1	042	10.44	353	12.83	1.0 kt	31	-0.4 kt	31	1	9.4 kt	31	1</		

Init: 2009. 6. 28. 00 UTC 31R D04	31R szélirány	31R szélsebesség	MYJ		YSU		Mért szél alapján a pályáirány	MYJ		YSU		ATC				
			előrejelzett szélirány	előrejelzett szélsebesség	előrejelzett szélirány	előrejelzett szélsebesség		Egyezés	Előrejelzett szél alapján a pályáirány	Egyezés	Valós pályáirány	Egyezés				
+ 0 hr 15 min	337°	1 kt	270°	2.9 kt	266°	1.5 kt	0.9 kt	31	2.2 kt	31	1	1.1 kt	31	1	31	1
+ 0 hr 30 min	341°	1 kt	288°	2.3 kt	290°	1.1 kt	0.9 kt	31	2.1 kt	31	1	1.0 kt	31	1	31	1
+ 0 hr 45 min	35°	0 kt	304°	2.2 kt	325°	1.1 kt	1.1 kt	31	2.2 kt	31	1	1.1 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 00 min	22°	0 kt	306°	2.1 kt	343°	0.9 kt	0.0 kt	31	2.0 kt	31	1	0.8 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 15 min	307°	0 kt	306°	1.0 kt	278°	0.3 kt	0.0 kt	31	1.0 kt	31	1	0.2 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 30 min	78°	0 kt	299°	1.7 kt	317°	0.5 kt	0.0 kt	31	1.6 kt	31	1	0.5 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 45 min	190°	0 kt	329°	1.1 kt	291°	0.3 kt	0.0 kt	31	1.0 kt	31	1	0.2 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 00 min	209°	0 kt	325°	1.6 kt	306°	0.4 kt	0.0 kt	31	1.5 kt	31	1	0.4 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 15 min	356°	0 kt	316°	1.5 kt	339°	0.5 kt	0.0 kt	31	1.5 kt	31	1	0.5 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 30 min	349°	0 kt	311°	2.1 kt	326°	1.0 kt	0.0 kt	31	2.1 kt	31	1	1.0 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 45 min	11°	0 kt	327°	2.4 kt	326°	1.3 kt	0.0 kt	31	2.3 kt	31	1	1.3 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 00 min	25°	0 kt	349°	2.5 kt	330°	1.8 kt	0.0 kt	31	1.9 kt	31	1	1.7 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 15 min	353°	0 kt	358°	3.1 kt	345°	5.6 kt	0.0 kt	31	2.1 kt	31	1	4.6 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 30 min	336°	0 kt	354°	3.5 kt	357°	10.7 kt	0.0 kt	31	2.5 kt	31	1	7.3 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 45 min	340°	0 kt	12°	3.9 kt	354°	10.1 kt	0.0 kt	31	1.8 kt	31	1	7.3 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 00 min	344°	0.1 kt	30°	4.5 kt	1°	9.7 kt	0.1 kt	31	0.8 kt	31	1	6.1 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 15 min	322°	0.1 kt	33°	4.5 kt	355°	6.2 kt	0.1 kt	31	0.5 kt	31	1	4.4 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 30 min	49°	0 kt	76°	5.6 kt	0°	5.4 kt	0.0 kt	31	-3.3 kt	31	1	3.5 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 45 min	332°	0 kt	77°	4.9 kt	8°	5.8 kt	0.0 kt	31	-3.0 kt	31	1	3.1 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 00 min	298°	0 kt	0°	5.3 kt	14°	4.5 kt	0.0 kt	31	3.4 kt	31	1	2.0 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 15 min	288°	0 kt	63°	6.0 kt	53°	3.5 kt	0.0 kt	31	-2.3 kt	31	1	-0.8 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 30 min	286°	0 kt	61°	6.7 kt	113°	2.1 kt	0.0 kt	31	-2.4 kt	31	1	-2.0 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 45 min	71°	0 kt	82°	3.9 kt	129°	4.8 kt	0.0 kt	31	-2.6 kt	31	1	-4.8 kt	31	1	31	1
+ 6 hr 00 min	161°	0 kt	48°	2.7 kt	136°	5.5 kt	0.0 kt	31	-0.4 kt	31	1	-5.4 kt	31	0	31	1
+ 6 hr 15 min	289°	0 kt	78°	1.8 kt	130°	6.3 kt	0.0 kt	31	-1.1 kt	31	1	-6.3 kt	31	0	31	1
+ 6 hr 30 min	39°	3.3 kt	31°	4.5 kt	135°	5.6 kt	0.1 kt	31	0.7 kt	31	1	-5.6 kt	31	0	31	1
+ 6 hr 45 min	64°	5.9 kt	63°	6.1 kt	161°	2.9 kt	-2.4 kt	31	-2.4 kt	31	1	-2.5 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 00 min	72°	6.3 kt	86°	6.6 kt	238°	2.9 kt	-3.3 kt	31	-4.7 kt	31	1	0.9 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 15 min	73°	7.6 kt	90°	7.9 kt	296°	3.4 kt	-4.1 kt	31	-6.0 kt	31	0	3.3 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 30 min	60°	6.8 kt	113°	6.3 kt	321°	5.2 kt	-2.3 kt	31	-6.0 kt	31	0	5.1 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 45 min	40°	6.6 kt	103°	5.3 kt	318°	3.9 kt	0.0 kt	31	-4.7 kt	31	1	3.9 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 00 min	87°	13.6 kt	94°	4.1 kt	327°	4.5 kt	-9.9 kt	31	-3.3 kt	31	0	4.3 kt	31	0	31	0
+ 8 hr 15 min	163°	4.4 kt	45°	3.3 kt	342°	5.7 kt	-3.7 kt	31	-0.3 kt	31	1	4.8 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 30 min	76°	5.8 kt	15°	3.8 kt	349°	7.5 kt	-3.4 kt	31	1.6 kt	31	1	5.8 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 45 min	90°	11 kt	11°	5.6 kt	351°	5.5 kt	-8.4 kt	31	2.7 kt	31	0	4.1 kt	31	0	31	0
+ 9 hr 00 min	99°	7.7 kt	12°	6.2 kt	17°	3.5 kt	-6.6 kt	31	2.9 kt	31	0	1.4 kt	31	0	31	0
+ 9 hr 15 min	99°	6.2 kt	27°	7.8 kt	56°	4.3 kt	-5.3 kt	31	1.7 kt	31	0	-1.2 kt	31	0	31	0
+ 9 hr 30 min	107°	6.2 kt	22°	9.2 kt	73°	4.9 kt	-5.7 kt	31	2.8 kt	31	0	-2.7 kt	31	0	31	0
+ 9 hr 45 min	155°	5.2 kt	20°	12.9 kt	50°	4.1 kt	-4.7 kt	31	4.4 kt	31	1	-0.7 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 00 min	120°	1.5 kt	13°	11.1 kt	35°	4.9 kt	-1.5 kt	31	5.0 kt	31	1	0.4 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 15 min	70°	4.1 kt	18°	11.7 kt	41°	4.0 kt	-2.1 kt	31	4.4 kt	31	1	-0.1 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 30 min	96°	2.7 kt	6°	9.3 kt	19°	4.6 kt	-2.2 kt	31	5.2 kt	31	1	1.7 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 45 min	288°	4 kt	20°	5.2 kt	14°	4.9 kt	3.7 kt	31	1.8 kt	31	1	2.2 kt	31	1	31	1
+ 11 hr 00 min	231°	6.6 kt	9°	2.2 kt	357°	5.5 kt	1.3 kt	31	1.1 kt	31	1	3.7 kt	31	1	31	1
+ 11 hr 15 min	268°	4.2 kt	221°	1.2 kt	340°	4.6 kt	3.1 kt	31	0.0 kt	31	1	4.0 kt	31	1	31	1
+ 11 hr 30 min	61°	2.1 kt	226°	2.9 kt	13°	4.3 kt	-0.8 kt	31	0.3 kt	31	1	2.0 kt	31	1	31	1
+ 11 hr 45 min	312°	9.5 kt	240°	2.9 kt	344°	4.2 kt	9.5 kt	31	1.0 kt	31	1	3.4 kt	31	1	31	1
+ 12 hr 00 min	334°	7.7 kt	284°	3.3 kt	87°	4.9 kt	7.0 kt	31	3.0 kt	31	1	-3.6 kt	31	1	31	1
+ 12 hr 15 min	321°	7.7 kt	330°	6.5 kt	33°	6.7 kt	7.6 kt	31	6.1 kt	31	1	0.8 kt	31	1	31	1
+ 12 hr 30 min	275°	8.8 kt	2°	10.1 kt	19°	11.1 kt	7.2 kt	31	6.2 kt	31	1	4.0 kt	31	1	31	1
+ 12 hr 45 min	297°	6.4 kt	332°	10.2 kt	4°	10.2 kt	6.2 kt	31	9.4 kt	31	1	6.0 kt	31	1	31	1
+ 13 hr 00 min	329°	6.7 kt	282°	7.7 kt	355°	9.2 kt	6.3 kt	31	6.8 kt	31	1	6.5 kt	31	1	31	1
+ 13 hr 15 min	312°	4.7 kt	327°	3.3 kt	11°	9.5 kt	4.7 kt	31	3.1 kt	31	1	4.6 kt	31	1	31	1
+ 13 hr 30 min	309°	6.5 kt	39°	11.1 kt	18°	8.4 kt	6.5 kt	31	0.2 kt	31	1	3.2 kt	31	1	31	1
+ 13 hr 45 min	334°	5.4 kt	45°	8.7 kt	7°	10.1 kt	4.9 kt	31	-0.8 kt	31	1	5.5 kt	31	1	31	1
+ 14 hr 00 min	322°	5.1 kt	49°	7.3 kt	29°	10.5 kt	5.0 kt	31	-1.1 kt	31	1	2.0 kt	31	1	31	1
+ 14 hr 15 min	335°	6 kt	75°	5.4 kt	18°	15.7 kt	5.4 kt	31	-3.1 kt	31	1	5.9 kt	31	1	31	1
+ 14 hr 30 min	320°	4 kt	45°	8.5 kt	10°	14.5 kt	3.9 kt	31	-0.7 kt	31	1	7.3 kt	31	1	31	1
+ 14 hr 45 min	347°	5.1 kt	89°	9.1 kt	13°	13.1 kt	4.1 kt	31	-6.9 kt	31	0	5.9 kt	31	1	31	1
+ 15 hr 00 min	295°	3.8 kt	112°	15.8 kt	22°	19.5 kt	3.7 kt	31	-15.0 kt	31	0	6.0 kt	31	1	31	1
+ 15 hr 15 min	212°	9.5 kt	86°	14.2 kt	29°	15.4 kt	-1.3 kt	31	-10.2 kt	31	0	2.9 kt	31	1	31	1
+ 15 hr 30 min	191°	8.8 kt	86°	13.5 kt	45°	14.3 kt	-4.3 kt	31	-9.7 kt	31	0	-1.2 kt	31	1	31	1
+ 15 hr 45 min	220°	7.7 kt	82°	16.5 kt	55°	13.5 kt	0.0 kt	31	-11.1 kt	31	0	-3.5 kt	31	1	31	1
+ 16 hr 00 min	269°	8.4 kt	74°	14.4 kt	73°	9.9 kt	6.3 kt	31	-8.0 kt	31	0	-5.4 kt	31	0	31	1
+ 16 hr 15 min	255°	7.3 kt	73°	11.3 kt	92°	12.8 kt	4.2 kt	31	-6.2 kt	31	0	-10.1 kt	31	0	31	1
+ 16 hr 30 min	264°	5.6 kt	66°	11.8 kt	82°	14.7 kt	3.9 kt	31	-5.2 kt	31	0	-9.8 kt	31	0	31	1
+ 16 hr 45 min	233°	3.4 kt	63°	9.8 kt	76°	14.7 kt	0.8 kt	31	-3.8 kt	31	1	-8.6 kt	31	0	31	1
+ 17 hr 00 min	259°	3.5 kt	73°	9.3 kt	76°	11.8 kt	2.2 kt	31	-5.1 kt	31	0	-6.9 kt	31	0	31	1
+ 17 hr 15 min	245°	2.5 kt	78°	9.0 kt	80°	11.8 kt	1.1 kt	31	-5.5 kt	31	0	-7.6 kt	31	0	31	1
+ 17 hr 30 min	297°	0.6 kt	81°	9.6 kt	81°	10.1 kt	0.6 kt	31	-6.3 kt	31	0	-6.6 kt	31	0	31	1
+ 17 hr 45 min	15°	3.6 kt	81°	10.5 kt	84°	9.1 kt	1.5 kt	31	-6.9 kt	31	0	-6.3 kt	31	0	31	1
+ 18 hr 00 min	348°	4.5 kt	72°	16.0 kt	87°	9.4 kt	3.5 kt	31	-8.5 kt	31	0	-6.8 kt	31	0	31	1
+ 18 hr 15 min	11°	4 kt	72°	11.6 kt	81°	6.1 kt	1.9 kt	31	-6.2 kt	31	0	-4.0 kt	31	1	31	1
+ 18 hr 30 min	344°	4.7 kt	44°	12.5 kt	71°	7.7 kt	3.9 kt	31	-0.9 kt	31	1	-4.0 kt	31	1	31	1
+ 18 hr 45 min	3°	0.1 kt	47°	16.5 kt	68°	7.1 kt	0.1 kt	31	-2.0 kt	31	1	-3.3 kt	31	1	31	1
+ 19 hr 00 min	320°	0.6 kt	56°	23.3 kt	70°	8.6 kt	0.6 kt	31	-6.4 kt	31	0	-4.3 kt	31	1	31	1
+ 19 hr 15 min	324°	0.2 kt	54°	28.2 kt	73°	5.5 kt	0.2 kt	31	-6.8 kt	31	0	-3.0 kt	31	1	31	1
+ 19 hr 30 min	358°	3.5 kt	68°	21.9 kt	78°	6.7 kt	2.3 kt	31	-10.3 kt	31	0	-4.1 kt	31	1	31	1
+ 19 hr 45 min	327°	4.5 kt	43°	16.1 kt	81°	4.9 kt	4.3 kt	31	-0.8 kt	31	1	-3.2 kt	31	1	31	1
+ 20 hr 00 min	326°	5.4 kt	49°	18.3 kt	80°	4.1 kt	5.2 kt	31	-2.9 kt	31	1	-2.6 kt	31	1	31	1
+ 20 hr 15 min	349°	5.6 kt	54°	18.2 kt	76°	2.9 kt	4.4 kt	31	-4.4 kt	31	1	-1.7 kt	31	1	31	1
+ 20 hr 30 min	348°	4.4 kt	66°	14.3 kt	46°	1.1 kt	3.5 kt	31	-6.3 kt	31	0	-0.1 kt	31	1	31	1
+ 20 hr 45 min	334°	2.4 kt	61°	11.2 kt	351°	3.0 kt	2.2 kt	31	-4.0 kt	31	1	2.3 kt	31	1	31	1
+ 21 hr 00 min	248°	0.1 kt	74°	5.0 kt	15°	11.5 kt	0.0 kt	31	-2.8 kt	31	1	4.9 kt	31	1		

Init: 2009 10. 13. 00 UTC 31R D04	31R szélirány	31R szél- sebesség	MYJ		YSU		Mért szél alappán a pályairány	Előrejelzett szél alappán a pályairány	MYJ		YSU		ATC			
			előrejelzett szélirány	előrejelzett szélsebesség	előrejelzett szélirány	előrejelzett szélsebesség			Egyezés	Előrejelzett szél alappán a pályairány	Egyezés	Valós pályairány	Egyezés			
+0 hr 15 min	317*	12.5 kt	342*	15.8 kt	346*	16.4 kt	12.41 kt	91	13.37 kt	91	1	4.97 kt	91	1	31	1
+0 hr 30 min	316*	9.9 kt	342*	16.4 kt	347*	16.8 kt	9.85 kt	91	13.93 kt	91	1	3.88 kt	91	1	31	1
+0 hr 45 min	320*	11.3 kt	341*	17.6 kt	348*	17.6 kt	11.13 kt	91	15.11 kt	91	1	4.23 kt	91	1	31	1
+1 hr 00 min	313*	13.3 kt	341*	17.7 kt	349*	17.3 kt	13.28 kt	91	15.18 kt	91	1	5.13 kt	91	1	31	1
+1 hr 15 min	308*	14.3 kt	342*	18.5 kt	350*	16.5 kt	14.29 kt	91	15.65 kt	91	1	5.70 kt	91	1	31	1
+1 hr 30 min	308*	15.0 kt	343*	17.7 kt	352*	16.1 kt	14.99 kt	91	14.88 kt	91	1	6.07 kt	91	1	31	1
+1 hr 45 min	312*	16.2 kt	344*	18.1 kt	353*	15.4 kt	16.19 kt	91	14.96 kt	91	1	6.75 kt	91	1	31	1
+2 hr 00 min	312*	18.1 kt	345*	17.0 kt	353*	13.4 kt	18.09 kt	91	13.94 kt	91	1	8.10 kt	91	1	31	1
+2 hr 15 min	316*	17.8 kt	344*	17.0 kt	354*	10.9 kt	17.70 kt	91	14.10 kt	91	1	8.61 kt	91	1	31	1
+2 hr 30 min	315*	12.7 kt	343*	18.2 kt	349*	9.2 kt	12.65 kt	91	15.22 kt	91	1	6.47 kt	91	1	31	1
+2 hr 45 min	318*	16.4 kt	341*	19.1 kt	343*	12.1 kt	16.24 kt	91	16.35 kt	91	1	7.60 kt	91	1	31	1
+3 hr 00 min	313*	15.6 kt	341*	20.4 kt	338*	15.2 kt	15.58 kt	91	17.46 kt	91	1	6.53 kt	91	1	31	1
+3 hr 15 min	311*	19.1 kt	341*	21.5 kt	340*	18.1 kt	19.10 kt	91	18.45 kt	91	1	7.13 kt	91	1	31	1
+3 hr 30 min	313*	17.7 kt	341*	21.4 kt	343*	20.9 kt	17.68 kt	91	18.36 kt	91	1	5.80 kt	91	1	31	1
+3 hr 45 min	312*	17.7 kt	341*	22.3 kt	342*	22.2 kt	17.69 kt	91	19.10 kt	91	1	5.40 kt	91	1	31	1
+4 hr 00 min	314*	19.6 kt	339*	22.7 kt	343*	23.0 kt	19.55 kt	91	19.82 kt	91	1	5.72 kt	91	1	31	1
+4 hr 15 min	309*	20.5 kt	338*	22.8 kt	343*	23.6 kt	20.50 kt	91	20.10 kt	91	1	5.77 kt	91	1	31	1
+4 hr 30 min	309*	19.2 kt	337*	24.6 kt	343*	25.1 kt	19.20 kt	91	21.95 kt	91	1	4.95 kt	91	1	31	1
+4 hr 45 min	313*	18.8 kt	337*	26.2 kt	344*	25.6 kt	18.77 kt	91	23.31 kt	91	1	4.67 kt	91	1	31	1
+5 hr 00 min	314*	19.2 kt	339*	24.5 kt	344*	26.6 kt	19.15 kt	91	21.45 kt	91	1	4.45 kt	91	1	31	1
+5 hr 15 min	317*	22.9 kt	340*	24.7 kt	344*	25.7 kt	22.73 kt	91	21.42 kt	91	1	5.63 kt	91	1	31	1
+5 hr 30 min	314*	21.0 kt	341*	24.8 kt	345*	23.3 kt	20.95 kt	91	21.27 kt	91	1	6.02 kt	91	1	31	1
+5 hr 45 min	314*	22.3 kt	340*	24.1 kt	345*	23.8 kt	22.25 kt	91	20.83 kt	91	1	6.22 kt	91	1	31	1
+6 hr 00 min	312*	19.5 kt	339*	22.9 kt	346*	24.2 kt	19.49 kt	91	19.99 kt	91	1	5.31 kt	91	1	31	1
+6 hr 15 min	309*	25.8 kt	338*	23.4 kt	348*	22.9 kt	25.80 kt	91	20.63 kt	91	1	7.61 kt	91	1	31	1
+6 hr 30 min	313*	24.1 kt	337*	24.0 kt	348*	22.5 kt	24.07 kt	91	21.38 kt	91	1	7.23 kt	91	1	31	1
+6 hr 45 min	309*	27.2 kt	340*	25.4 kt	344*	22.2 kt	27.20 kt	91	21.96 kt	91	1	8.32 kt	91	1	31	1
+7 hr 00 min	311*	23.4 kt	343*	25.0 kt	339*	22.3 kt	23.40 kt	91	20.98 kt	91	1	7.11 kt	91	1	31	1
+7 hr 15 min	314*	25.4 kt	336*	19.6 kt	335*	21.6 kt	25.34 kt	91	17.57 kt	91	1	7.92 kt	91	1	31	1
+7 hr 30 min	314*	24.2 kt	325*	20.7 kt	340*	20.1 kt	24.14 kt	91	20.01 kt	91	1	8.23 kt	91	1	31	1
+7 hr 45 min	311*	25.7 kt	326*	22.7 kt	337*	23.8 kt	25.70 kt	91	21.79 kt	91	1	7.19 kt	91	1	31	1
+8 hr 00 min	310*	31.6 kt	325*	22.7 kt	342*	24.8 kt	31.60 kt	91	21.93 kt	91	1	8.29 kt	91	1	31	1
+8 hr 15 min	309*	28.8 kt	326*	21.5 kt	345*	17.2 kt	28.80 kt	91	20.69 kt	91	1	11.14 kt	91	1	31	1
+8 hr 30 min	315*	25.6 kt	320*	21.8 kt	0*	17.1 kt	25.50 kt	91	21.50 kt	91	1	9.92 kt	91	1	31	1
+8 hr 45 min	308*	27.4 kt	322*	20.8 kt	358*	21.2 kt	27.38 kt	91	20.37 kt	91	1	8.81 kt	91	1	31	1
+9 hr 00 min	314*	21.6 kt	322*	21.0 kt	348*	24.6 kt	21.55 kt	91	20.55 kt	91	1	5.64 kt	91	1	31	1
+9 hr 15 min	312*	29.7 kt	324*	22.0 kt	345*	21.9 kt	29.68 kt	91	21.38 kt	91	1	9.21 kt	91	1	31	1
+9 hr 30 min	314*	25.0 kt	324*	24.1 kt	337*	22.2 kt	24.94 kt	91	23.39 kt	91	1	7.63 kt	91	1	31	1
+9 hr 45 min	309*	25.3 kt	326*	26.8 kt	341*	23.7 kt	25.30 kt	91	25.75 kt	91	1	7.10 kt	91	1	31	1
+10 hr 00 min	308*	26.8 kt	325*	27.4 kt	340*	24.1 kt	26.78 kt	91	26.51 kt	91	1	7.33 kt	91	1	31	1
+10 hr 15 min	310*	28.0 kt	326*	27.6 kt	342*	23.4 kt	28.00 kt	91	26.55 kt	91	1	7.99 kt	91	1	31	1
+10 hr 30 min	308*	26.9 kt	325*	26.7 kt	341*	23.9 kt	26.88 kt	91	25.83 kt	91	1	7.44 kt	91	1	31	1
+10 hr 45 min	310*	30.1 kt	327*	26.7 kt	344*	23.1 kt	30.10 kt	91	25.56 kt	91	1	8.75 kt	91	1	31	1
+11 hr 00 min	322*	25.9 kt	327*	27.4 kt	343*	24.9 kt	25.33 kt	91	26.19 kt	91	1	6.62 kt	91	1	31	1
+11 hr 15 min	317*	24.0 kt	324*	27.9 kt	346*	24.4 kt	23.82 kt	91	27.06 kt	91	1	6.42 kt	91	1	31	1
+11 hr 30 min	309*	33.5 kt	324*	28.2 kt	351*	22.3 kt	33.49 kt	91	27.36 kt	91	1	10.17 kt	91	1	31	1
+11 hr 45 min	313*	27.1 kt	323*	26.2 kt	356*	21.0 kt	27.06 kt	91	25.55 kt	91	1	8.80 kt	91	1	31	1
+12 hr 00 min	313*	32.9 kt	319*	21.3 kt	360*	20.5 kt	32.85 kt	91	21.04 kt	91	1	10.99 kt	91	1	31	1
+12 hr 15 min	317*	28.0 kt	322*	18.7 kt	6*	20.7 kt	27.79 kt	91	18.29 kt	91	1	9.18 kt	91	1	31	1
+12 hr 30 min	326*	24.1 kt	324*	18.5 kt	2*	23.3 kt	23.17 kt	91	17.95 kt	91	1	6.66 kt	91	1	31	1
+12 hr 45 min	323*	29.5 kt	319*	19.1 kt	360*	24.1 kt	28.74 kt	91	18.82 kt	91	1	7.86 kt	91	1	31	1
+13 hr 00 min	316*	27.4 kt	315*	19.0 kt	356*	24.8 kt	27.25 kt	91	18.88 kt	91	1	7.14 kt	91	1	31	1
+13 hr 15 min	317*	21.6 kt	310*	21.8 kt	354*	21.7 kt	21.44 kt	91	21.75 kt	91	1	6.74 kt	91	1	31	1
+13 hr 30 min	312*	21.2 kt	314*	19.9 kt	349*	20.6 kt	21.19 kt	91	19.83 kt	91	1	7.04 kt	91	1	31	1
+13 hr 45 min	312*	22.3 kt	310*	18.1 kt	353*	18.6 kt	22.29 kt	91	18.06 kt	91	1	8.14 kt	91	1	31	1
+14 hr 00 min	311*	23.4 kt	312*	18.8 kt	350*	19.5 kt	23.40 kt	91	18.80 kt	91	1	8.19 kt	91	1	31	1
+14 hr 15 min	316*	26.7 kt	313*	18.0 kt	351*	20.9 kt	26.55 kt	91	17.94 kt	91	1	8.69 kt	91	1	31	1
+14 hr 30 min	312*	27.1 kt	323*	17.7 kt	352*	23.8 kt	27.08 kt	91	17.28 kt	91	1	7.56 kt	91	1	31	1
+14 hr 45 min	308*	27.8 kt	330*	18.6 kt	353*	21.2 kt	27.78 kt	91	17.49 kt	91	1	8.94 kt	91	1	31	1
+15 hr 00 min	304*	25.9 kt	347*	14.4 kt	352*	20.0 kt	25.76 kt	91	11.49 kt	91	1	8.81 kt	91	1	31	1
+15 hr 15 min	308*	24.9 kt	344*	17.9 kt	353*	18.2 kt	24.88 kt	91	14.81 kt	91	1	9.25 kt	91	1	31	1
+15 hr 30 min	304*	22.7 kt	352*	12.9 kt	349*	17.6 kt	22.58 kt	91	9.60 kt	91	1	8.60 kt	91	1	31	1
+15 hr 45 min	307*	19.5 kt	358*	13.9 kt	346*	16.9 kt	19.47 kt	91	9.30 kt	91	1	7.64 kt	91	1	31	1
+16 hr 00 min	311*	21.7 kt	1*	16.0 kt	342*	19.3 kt	21.70 kt	91	10.06 kt	91	1	7.68 kt	91	1	31	1
+16 hr 15 min	310*	21.4 kt	5*	14.7 kt	344*	20.6 kt	21.40 kt	91	8.43 kt	91	1	7.12 kt	91	1	31	1
+16 hr 30 min	313*	23.1 kt	6*	10.8 kt	345*	19.4 kt	23.07 kt	91	6.01 kt	91	1	8.10 kt	91	1	31	1
+16 hr 45 min	308*	23.0 kt	1*	11.7 kt	342*	17.8 kt	22.99 kt	91	7.36 kt	91	1	8.67 kt	91	1	31	1
+17 hr 00 min	301*	26.1 kt	3*	11.5 kt	345*	15.1 kt	25.78 kt	91	6.93 kt	91	1	10.86 kt	91	1	31	1
+17 hr 15 min	307*	23.3 kt	335*	13.3 kt	338*	16.5 kt	23.27 kt	91	12.04 kt	91	1	9.27 kt	91	1	31	1
+17 hr 30 min	302*	23.1 kt	308*	12.7 kt	330*	15.0 kt	22.88 kt	91	12.66 kt	91	1	9.67 kt	91	1	31	1
+17 hr 45 min	307*	21.2 kt	288*	15.2 kt	329*	21.6 kt	21.17 kt	91	14.08 kt	91	1	6.69 kt	91	1	31	1
+18 hr 00 min	305*	23.9 kt	282*	19.0 kt	326*	19.5 kt	23.81 kt	91	16.78 kt	91	1	8.32 kt	91	1	31	1
+18 hr 15 min	301*	26.0 kt	275*	22.6 kt	320*	22.5 kt	25.68 kt	91	18.52 kt	91	1	7.73 kt	91	1	31	1
+18 hr 30 min	309*	22.4 kt	268*	21.1 kt	305*	21.3 kt	22.40 kt	91	15.65 kt	91	1	7.18 kt	91	1	31	1
+18 hr 45 min	305*	19.4 kt	272*	17.6 kt	303*	21.8 kt	19.33 kt	91	13.86 kt	91	1	6.03 kt	91	1	31	1
+19 hr 00 min	304*	22.3 kt	260*	16.3 kt	300*	19.7 kt	22.18 kt	91	10.48 kt	91	1	7.69 kt	91	1	31	1
+19 hr 15 min	307*	24.5 kt	258*	15.5 kt	300*	17.6 kt	24.47 kt	91	9.52 kt	91	1	9.34 kt	91	1	31	1
+19 hr 30 min	305*	18.2 kt	263*	15.5 kt	300*	17.8 kt	18.13 kt	91	10.54 kt	91	1	6.84 kt	91	1	31	1
+19 hr 45 min	306*	19.3 kt	250*	19.9 kt	298*	18.1 kt	19.25 kt	91	9.94 kt	91	1	7.18 kt	91	1	31	1
+20 hr 00 min	301*	18.3 kt	244*	20.1 kt	305*	18.5 kt	18.07 kt	91	8.19 kt	91	1	6.63 kt	91	1	31	1
+20 hr 15 min	309*	20.3 kt	258*	14.6 kt	301*	18.3 kt										

Inít: 2010. 2. 4. 00 UTC 31R D04	MYJ				YSU		Mért szél Előrejelzett szél alapján a pályáirány	MYJ		YSU		ATC				
	31R szélirány	31R szél- sebesség	31R előrejelzett szélirány	31R előrejelzett szélsebesség	31R előrejelzett szélirány	31R előrejelzett szélsebesség		Előrejelzett szél alapján a pályáirány	Egyezés	Előrejelzett szél alapján a pályáirány	Egyezés	Valós pályáirány	Egyezés			
+ 0 hr 15 min	229°	3 kt	336°	6.8 kt	338°	5.1 kt	0.5 kt	31	6.1 kt	31	1	0.3 kt	31	1	31	1
+ 0 hr 30 min	35°	2 kt	344°	6.7 kt	343°	5.7 kt	0.2 kt	31	5.5 kt	31	1	0.1 kt	31	1	31	1
+ 0 hr 45 min	55°	3 kt	348°	3.1 kt	337°	5.0 kt	-1 kt	31	2.4 kt	31	1	-0.4 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 00 min	71°	4.2 kt	349°	2.4 kt	338°	5.1 kt	-2 kt	31	1.8 kt	31	1	-1.2 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 15 min	63°	5 kt	275°	2.0 kt	339°	5.1 kt	-2 kt	31	1.6 kt	31	1	-1.1 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 30 min	65°	1.3 kt	352°	4.4 kt	331°	4.3 kt	-1 kt	31	3.2 kt	31	1	-0.3 kt	31	1	31	1
+ 1 hr 45 min	43°	3.1 kt	359°	4.7 kt	332°	4.4 kt	0 kt	31	3.1 kt	31	1	-0.1 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 00 min	345°	3 kt	138°	1.1 kt	342°	5.0 kt	2.5 kt	31	-1.1 kt	31	1	1.4 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 15 min	249°	4.2 kt	136°	4.0 kt	338°	4.5 kt	2 kt	31	-4.0 kt	31	1	1.2 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 30 min	245°	3.1 kt	98°	2.0 kt	342°	5.1 kt	1.3 kt	31	-1.7 kt	31	1	0.7 kt	31	1	31	1
+ 2 hr 45 min	166°	4.1 kt	100°	1.6 kt	356°	4.1 kt	-3 kt	31	-1.4 kt	31	1	-1.9 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 00 min	199°	6.2 kt	92°	1.2 kt	340°	4.9 kt	-2 kt	31	-0.9 kt	31	1	-1.3 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 15 min	196°	3 kt	137°	1.5 kt	338°	4.5 kt	-1 kt	31	-1.5 kt	31	1	-0.7 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 30 min	34°	3.3 kt	54°	3.8 kt	51°	1.9 kt	0.3 kt	31	-0.9 kt	31	1	0.2 kt	31	1	31	1
+ 3 hr 45 min	42°	3 kt	132°	5.9 kt	352°	1.9 kt	0 kt	31	-5.9 kt	31	0	-0.1 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 00 min	42°	3 kt	95°	4.7 kt	68°	2.3 kt	0 kt	31	-3.8 kt	31	1	-0.1 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 15 min	24°	1.8 kt	113°	4.2 kt	82°	2.2 kt	0.5 kt	31	-4.0 kt	31	1	0.3 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 30 min	32°	3 kt	125°	5.4 kt	53°	3.4 kt	0.4 kt	31	-5.3 kt	31	0	0.2 kt	31	1	31	1
+ 4 hr 45 min	337°	0.1 kt	137°	5.4 kt	65°	2.6 kt	0.1 kt	31	-5.3 kt	31	0	0.1 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 00 min	348°	2.2 kt	121°	4.5 kt	65°	2.1 kt	1.7 kt	31	-4.5 kt	31	1	1.1 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 15 min	359°	2.9 kt	108°	6.6 kt	126°	3.0 kt	1.9 kt	31	-6.1 kt	31	0	1.1 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 30 min	351°	2.6 kt	120°	5.2 kt	97°	5.8 kt	2 kt	31	-5.1 kt	31	0	1.1 kt	31	1	31	1
+ 5 hr 45 min	21°	3.2 kt	119°	4.4 kt	102°	4.8 kt	1 kt	31	-4.3 kt	31	1	0.6 kt	31	1	31	1
+ 6 hr 00 min	73°	1.9 kt	142°	2.4 kt	95°	4.5 kt	-1 kt	31	-2.4 kt	31	1	-0.6 kt	31	1	31	1
+ 6 hr 15 min	27°	2 kt	142°	3.0 kt	83°	4.0 kt	0.4 kt	31	-2.9 kt	31	1	0.3 kt	31	1	31	1
+ 6 hr 30 min	16°	2 kt	108°	2.5 kt	98°	2.3 kt	0.8 kt	31	-2.3 kt	31	1	0.5 kt	31	1	31	1
+ 6 hr 45 min	4°	1.9 kt	99°	2.5 kt	102°	2.3 kt	1.1 kt	31	-2.2 kt	31	1	0.7 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 00 min	42°	1.9 kt	92°	3.2 kt	147°	3.4 kt	0 kt	31	-2.5 kt	31	1	0.0 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 15 min	22°	1.5 kt	79°	3.2 kt	175°	2.5 kt	0.5 kt	31	-2.0 kt	31	1	0.3 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 30 min	27°	2 kt	79°	4.9 kt	182°	6.6 kt	0.4 kt	31	-3.1 kt	31	1	0.2 kt	31	1	31	1
+ 7 hr 45 min	325°	0.5 kt	84°	5.6 kt	152°	2.2 kt	0.5 kt	31	-3.9 kt	31	1	0.3 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 00 min	319°	0.5 kt	104°	6.0 kt	138°	3.6 kt	0.5 kt	31	-5.4 kt	31	0	0.3 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 15 min	357°	0.8 kt	116°	6.3 kt	171°	5.2 kt	0.5 kt	31	-6.1 kt	31	0	0.3 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 30 min	299°	1.2 kt	129°	7.0 kt	188°	4.9 kt	1.2 kt	31	-7.0 kt	31	0	0.7 kt	31	1	31	1
+ 8 hr 45 min	274°	0.1 kt	156°	7.8 kt	199°	7.3 kt	0.1 kt	31	-7.0 kt	31	0	0.0 kt	31	1	31	1
+ 9 hr 00 min	195°	0 kt	129°	4.5 kt	210°	11.3 kt	0 kt	31	-4.5 kt	31	1	0.0 kt	31	1	31	1
+ 9 hr 15 min	17°	0 kt	103°	4.4 kt	220°	11.6 kt	0 kt	31	-3.9 kt	31	1	0.0 kt	31	1	31	1
+ 9 hr 30 min	188°	0.9 kt	105°	6.3 kt	220°	11.1 kt	0 kt	31	-5.7 kt	31	0	-0.2 kt	31	1	31	1
+ 9 hr 45 min	215°	2 kt	114°	7.0 kt	158°	5.3 kt	0 kt	31	-6.7 kt	31	0	-0.1 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 00 min	181°	0 kt	123°	7.9 kt	164°	5.3 kt	0 kt	31	-7.8 kt	31	0	0.0 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 15 min	169°	1 kt	127°	10.0 kt	97°	6.1 kt	-1 kt	31	-9.9 kt	31	0	-0.4 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 30 min	123°	2.6 kt	124°	9.8 kt	123°	6.5 kt	-3 kt	31	-9.8 kt	31	0	-1.4 kt	31	1	31	1
+ 10 hr 45 min	100°	4.3 kt	123°	9.5 kt	140°	6.8 kt	-4 kt	31	-9.4 kt	31	0	-2.0 kt	31	1	31	1
+ 11 hr 00 min	115°	6.1 kt	113°	9.2 kt	141°	7.5 kt	-6 kt	31	-8.8 kt	31	1	-3.2 kt	31	0	13	1
+ 11 hr 15 min	103°	6.5 kt	106°	8.8 kt	154°	9.2 kt	-6 kt	31	-8.0 kt	31	1	-3.0 kt	31	0	13	1
+ 11 hr 30 min	118°	7 kt	105°	8.5 kt	147°	8.0 kt	-7 kt	31	-7.7 kt	31	1	-3.6 kt	31	0	13	1
+ 11 hr 45 min	113°	6.1 kt	124°	8.6 kt	77°	10.9 kt	-6 kt	31	-8.6 kt	31	1	-2.8 kt	31	0	13	1
+ 12 hr 00 min	116°	5.4 kt	142°	8.7 kt	72°	9.4 kt	-5 kt	31	-8.5 kt	31	1	-2.7 kt	31	0	13	1
+ 12 hr 15 min	123°	5.4 kt	145°	8.2 kt	65°	9.1 kt	-5 kt	31	-8.0 kt	31	1	-2.8 kt	31	0	13	1
+ 12 hr 30 min	107°	4.9 kt	135°	8.7 kt	70°	9.1 kt	-5 kt	31	-8.6 kt	31	0	-2.3 kt	31	1	13	0
+ 12 hr 45 min	95°	4.2 kt	134°	9.2 kt	76°	10.8 kt	-3 kt	31	-9.2 kt	31	0	-1.7 kt	31	1	13	0
+ 13 hr 00 min	102°	6.6 kt	134°	10.1 kt	81°	13.3 kt	-6 kt	31	-10.0 kt	31	1	-2.6 kt	31	0	13	1
+ 13 hr 15 min	102°	5.1 kt	132°	10.4 kt	87°	13.3 kt	-5 kt	31	-10.3 kt	31	0	-2.0 kt	31	1	13	0
+ 13 hr 30 min	112°	7.1 kt	133°	10.1 kt	94°	12.3 kt	-7 kt	31	-10.1 kt	31	1	-3.1 kt	31	0	13	1
+ 13 hr 45 min	91°	5.9 kt	141°	9.1 kt	98°	11.3 kt	-5 kt	31	-9.0 kt	31	0	-2.2 kt	31	1	13	0
+ 14 hr 00 min	82°	6.1 kt	160°	9.2 kt	101°	9.8 kt	-4 kt	31	-8.0 kt	31	0	-2.1 kt	31	1	13	0
+ 14 hr 15 min	88°	6.1 kt	160°	9.1 kt	106°	8.6 kt	-5 kt	31	-7.9 kt	31	0	-2.4 kt	31	1	13	0
+ 14 hr 30 min	71°	5.7 kt	159°	8.2 kt	113°	7.4 kt	-3 kt	31	-7.2 kt	31	0	-1.6 kt	31	1	13	0
+ 14 hr 45 min	84°	8.1 kt	161°	7.5 kt	127°	5.6 kt	-6 kt	31	-6.4 kt	31	1	-3.2 kt	31	0	13	1
+ 15 hr 00 min	86°	6.4 kt	157°	7.1 kt	148°	5.1 kt	-5 kt	31	-6.3 kt	31	0	-2.6 kt	31	1	13	0
+ 15 hr 15 min	112°	6.8 kt	161°	7.3 kt	149°	5.0 kt	-6 kt	31	-6.2 kt	31	1	-3.7 kt	31	0	13	1
+ 15 hr 30 min	123°	6 kt	172°	9.7 kt	136°	5.4 kt	-6 kt	31	-7.2 kt	31	1	-3.4 kt	31	0	13	1
+ 15 hr 45 min	104°	6.9 kt	170°	9.2 kt	144°	6.2 kt	-6 kt	31	-7.0 kt	31	1	-3.5 kt	31	0	13	1
+ 16 hr 00 min	106°	5 kt	158°	9.4 kt	147°	6.8 kt	-5 kt	31	-8.3 kt	31	0	-2.5 kt	31	1	13	0
+ 16 hr 15 min	88°	6.2 kt	154°	8.8 kt	155°	7.1 kt	-5 kt	31	-8.0 kt	31	0	-2.5 kt	31	1	13	0
+ 16 hr 30 min	90°	6.3 kt	158°	9.5 kt	159°	8.2 kt	-5 kt	31	-8.4 kt	31	0	-2.5 kt	31	1	13	0
+ 16 hr 45 min	96°	7.9 kt	155°	9.6 kt	162°	9.3 kt	-7 kt	31	-8.7 kt	31	1	-3.3 kt	31	0	13	1
+ 17 hr 00 min	91°	7 kt	163°	7.9 kt	168°	10.1 kt	-5 kt	31	-6.6 kt	31	1	-2.7 kt	31	0	13	1
+ 17 hr 15 min	85°	6.2 kt	162°	5.9 kt	174°	8.9 kt	-4 kt	31	-5.0 kt	31	1	-2.3 kt	31	1	13	0
+ 17 hr 30 min	85°	7.3 kt	142°	5.5 kt	170°	8.5 kt	-5 kt	31	-5.4 kt	31	1	-2.7 kt	31	0	13	1
+ 17 hr 45 min	79°	8.8 kt	132°	8.0 kt	161°	9.0 kt	-6 kt	31	-8.0 kt	31	1	-2.9 kt	31	0	13	1
+ 18 hr 00 min	77°	9.2 kt	127°	9.7 kt	155°	10.8 kt	-6 kt	31	-9.7 kt	31	1	-2.7 kt	31	0	13	1
+ 18 hr 15 min	78°	8.9 kt	129°	10.2 kt	153°	12.4 kt	-5 kt	31	-10.2 kt	31	1	-2.5 kt	31	0	13	1
+ 18 hr 30 min	94°	9 kt	129°	9.4 kt	155°	12.9 kt	-7 kt	31	-9.4 kt	31	1	-3.3 kt	31	0	13	1
+ 18 hr 45 min	113°	7 kt	143°	10.2 kt	159°	13.4 kt	-7 kt	31	-9.9 kt	31	1	-3.0 kt	31	0	13	1
+ 19 hr 00 min	94°	9.6 kt	154°	11.0 kt	161°	14.8 kt	-8 kt	31	-10.0 kt	31	1	-3.3 kt	31	0	13	1
+ 19 hr 15 min	84°	8.3 kt	156°	11.0 kt	162°	15.4 kt	-6 kt	31	-9.9 kt	31	1	-2.4 kt	31	0	13	1
+ 19 hr 30 min	90°	8.3 kt	150°	10.6 kt	161°	16.1 kt	-6 kt	31	-10.0 kt	31	1	-2.6 kt	31	0	13	1
+ 19 hr 45 min	89°	10.3 kt	153°	12.8 kt	167°	14.8 kt	-8 kt	31	-11.8 kt	31	1	-3.3 kt	31	0	13	1
+ 20 hr 00 min	92°	8.8 kt	164°	12.4 kt	169°	14.7 kt	-7 kt	31	-10.2 kt	31	1	-3.0 kt	31	0	13	1
+ 20 hr 15 min	85°	8.4 kt	169°	12.2 kt	173°	16.3 kt	-6 kt	31	-9.5 kt	31	1	-2.4 kt	31	0	13	1
+ 20 hr 30 min	79°	9.7 kt	170°	13.0 kt	176°	16.2 kt	-6 kt	31	-10.0 kt	31	1	-2.5 kt	31	0	13	1
+ 20 hr 45 min	86°	9.6 kt	194°	8.3 kt	183°	16.2 kt	-7 kt	31	-3.7 kt	31	0	-2.8 kt	31	0	13	1
+ 21 hr 00 min	93°	10.2 kt	207°	5.6 kt	185°	15.4 kt	-8 kt	31	-1.3 kt	31	0	-3.4				

7. Felhasznált irodalom

Bodolai I., 1983: A planetáris határréteg főbb sajátosságai. Az Országos Meteorológiai Szolgálat Kisebb Kiadványai 52. szám, Budapest.

Bozó J., 1990: Az áramlási mező vizsgálata a két futópályás Ferihegyi Repülőtéren. Diplomamunka, ELTE meteorológiai Tanszék, Budapest.

Czelnai R., Götz G. és Iványi Zs., 1994: Bevezetés a meteorológiába II., ELTE TTK Egyetemi Jegyzet, Budapest

Dévényi D. és Gulyás O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, 443 oldal.

Götz G. és Rákóczi F., 1981: A dinamikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.

Dr. Hille A., 1947: A ferihegyi repülőtér éghajlati jellemzői. Időjárás 49.kötet, január-decemberi füzet, Budapest.

Hong, S. and Jade Lim, J., 2006: The WRF Single-Moment 6-Class microphysics scheme (WSM6), Journal of the Korean Meteorological Society, 42, 2, p. 129-151.

Horváth L., 1978: Repülési meteorológia. Tankönyvkiadó, Budapest.

International Civil Aviation Organization (ICAO), 2001: Manual on Coordination between Air Traffic Services. Aeronautical Information Services and Aeronautical Meteorological Services, chapter 1–3.

Jankov, I., Gallus, W.A., Segal, M., Shaw, B., Koch, S.E. 2005: The Impact of Different WRF Model Physical Parameterizations and Their Interactions on Warm Season MCS Rainfall. *Weather and Forecasting* **20**, 1048–1060.

Pagowski, M., 2004: Some comments on PBL parametrizations in WRF, NOAA Research–Forecast System Laboratory

Matyasovszky, I. and Weidinger, T., 1998: Characterizing air pollution potential over Budapest using macrocirculation types. *Időjárás* **102**, 219–237.

Mellor G.L., Yamada T., 1974: A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *Journal of the Atmospheric Sciences* **31**, 1791-1806.

Mellor G.L., Yamada T., 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. **20**, No. 4., 851-875.

Nelson L. Seaman, Brian J. Gaudet, John C. Wyngaard, Larry Mahrt Scott Richardson and D.R. Stauffer, 2008: Numerical prediction of mesogamma scale wind meandering in the nocturnal stable boundary layer. Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania

Péliné Németh Cs., Kocsis F. és Czender Cs., 2009: Automata mérőállomások széladatainak vizsgálata hazai katonai repülőtereken. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2009.

Potor A., 2009: Magyarországi repülőterek TAF előrejelzéseink összehasonlító verifikációja. Diplomamunka, ELTE meteorológiai Tanszék, Budapest.

Rákóczi F., 1988: A planetáris határréteg. Az "Appendix" című fejezetet írta Weidinger T., Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 186 oldal.

Sándor V. és Wantuch F., 2005: Repülésmeteorológia. Tankönyv pilóták és leendő pilóták számára. Folium Nyomda. Második javított kiadás., Budapest.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang and J. G. Powers, 2007: A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR technical note, NCAR/TN-468+STR.

Wantuch F. és Potor A., 2009: A magyarországi repülőterek TAF előrejelzéseinek összehasonlító verifikációja. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2009.

Wang W., Bruyère C., Duda M., Dudhia J., Gill D., Lin H., Michalakes J., Rizvi S., and Zhang X., 2009: Advanced Research WRF (ARW) Version 3 Modeling System User's Guide, National Center for Atmospheric Research.

Weidinger T. és Bordás Á., 2007: A felszínközeli légréteg és a planetáris határréteg kutatásának főbb kérdései. 32. Meteorológiai Tudományos Napok 2006. Felhőfizika és mikrometeorológia. (Szerkesztette: Weidinger T. és Geresdi I.) *Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest, 105–124.

Weidinger T. és Tasnádi P. (Szerkesztők), 2007: Klasszikus dinamikus meteorológiai példatár I. ELTE Eötvös Kiadó, 365 oldal.

Yamada T., Mellor G.L., 1975: A simulation of the Wangara atmospheric boundary layer data. *Journal of the Atmospheric Sciences* **32**, 2309-2329.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni mindazoknak, akik valamilyen formában hozzájárultak diplomamunkám elkészüléséhez. Először szeretném megköszönni témavezetőm, Kardos Péter lelkiismeretes munkáját, segítségét a kezdetektől egészen a teljes dolgozat elkészültéig valamint, hogy megtanított a PHP programozás rejtelmeire. Ezenkívül köszönettel tartozom tanszéki konzulensemnek, Dr. Weidinger Tamásnak, hogy szakított rám időt mindig és segítségével, valamint hasznos ötletekkel látott el. Szalóky Péternek, akinek engedélyével végezhettem a repülőtéren kutatásomat. Leviczky Gergelynek, hogy mindig rendelkezésemre állt a WRF modellel kapcsolatban és elvégezte a futtatásokat. Köszönöm a Repülésmeteorológiai Részleg dolgozóinak, hogy segítették szakmai fejlődésemet. Továbbá köszönettel tartozom családomnak és szeretteimnek, hogy támogattak és mellettem álltak a dolgozatom elkészítésében.