

AZ ALACSONYSZINTŰ “ORKÁNCSATORNA”, MINT REPÜLÉSRE VESZÉLYES IDŐJÁRÁSI TÉNYEZŐ. EGY REPÜLŐGÉPKATASZTRÓFA LEHETSÉGES MAGYARÁZATA.

Bottyán Zsolt adjunktus
ZMNE VSzTK Természettudományi Tanszék
Sárközi Szilárd
Ferihegy Repülőtér, Repülésmeteorológiai Szolgálat

Az 1997 április 6-i Cessna F-150L típ. kisgépnél a Szegedhez közeli Deszk mellett kb. 10^hLT-kor bekövetkezett halálos kimenetelű és gépmegsemmisüléssel járt katasztrófája a médiákban is nagy figyelmet keltett. A súlyos baleset bekövetkezéséért a hivatalos vélemények szerint több repülési szabály áthágása miatt egyértelműen a pilóta tehető felelőssé; mi az időjárási helyzet részletesebb rekonstrukciója alapján ezen felül gyanítjuk, hogy konkrétan magát az átesést egy ún. alacsonyszintű jet érkezésével járó, hirtelen viharos fokozatú hátszellőkés okozta. Véleményünk szerint a repülésemények ilyen jellegű feldolgozása hasznos tanulságokkal szolgálhat a hajazók és repüléstan számára.

EGY FONTOS LÉGKÖRI TULAJDONSÁG

Légkörünk – s ez áll bármely, hidrodinamikai jellemzőkkel bíró közegre – legcsodálatosabb tulajdonsága, hogy egyszerűbb kényszer- és peremfeltételek esetén is összetettebb (ezért sokszor aztán kaotikusnak mutatkozó, “turbulens”), de szabályos struktúrákat alakít ki; s ezek továbbá a *fraktálönhasonlóságot* mutatják: azaz egy nagyságrendi lépcsővel lejjebb a *struktúra finomszerkezetében* is hasonló alaktani jegyeket ismerünk fel, mint magában a struktúrában – le egészen kvázi-tetszőleges szintig. Az időjárási örvényekben, áramlási csatornában ez több nagyságrendi lépcsőn keresztül is megfigyelhető (Fujita[3]). Ezért a *légköri változások, határok* – kiváltképp ha azok markánsak – sokszor nemcsak nagyléptékből, hanem *kisléptékben szemlélve is hirtelenszerűek ill. élesek.*

A repülésmeteorológiában különösen a 40–4km- (szakszóhasználatnál az ún. MEZO(-β)) és 4km–400m-es (az ún. MIZO(-α)) méretskáláknak nagy a jelentősége, ui. ebbe esnek az ember- ill. műtárgyleptékre közvetlen hatást gyakorló (azaz a ténylegesen “megélhető”), s így károkozó veszélyforrásként szóba jöhető jelenségek. Ez a nagyságrend azonban már többnyire *átelik*, ill. csak kivételes ritkasággal jelenik meg a *hazai operatív mérőrendszer* alkotta *hálózat*on, ezért kvázi-szinguláris mennyiségi jellemzőikről egy-egy ilyen esettanulmányon keresztül szerezhetünk csak tudomást.

A *szélmező tekintetében* (nem foglalkozva most a nem kevésbé fontosabb zivatartevékenység okozta szélvihar-formákkal) jelen gondolatmenetben az ún. “*jetesedési*” *hajlamról beszélhetünk*. Kontinentális léptékben ez a nagygépes repülésben ismeretes: a közepes földrajzi szélességeken meghatározó nyugati szelek energiájának nagy része a tropopauza és a frontfelület hegyesszögű összefutása mentén meanderező felsőléggkörü orkáncsatornában (JET-ben) koncentrálódik. A szélmaximum tengelye markánsan elkülönül, s különösen a csatorna déli széle éles: itt a legerősebb a szélnyírás, s éles az esetleges kísérő cirrus-felhőzet határa. Sajnos hazánkban – meg az operatív meteorológiai gyakorlatban is (!) – kevésbé ismert, hogy az alsóléggkörü intenzív légbetörések is ilyen struktúrákat formáznak, csak itt az áramlási csatorna két nagyságrenddel keskenyebb, s a szélesebbég általában kb. a harmada-fele. Ezeket a mezo-léptékű alacsonyszintű (LOW LEVEL) JET-eket magyarul – tulajdonságait tekintve – helyesebben

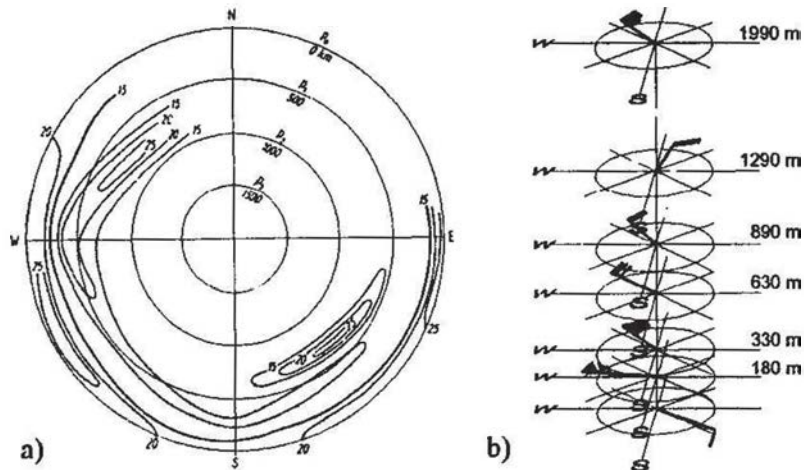
1. A VIHAROS EREJŰ SZÉLCSATORNA

névvel illelhetjük.

Leggyakrabban anticiklonok peremén, ill. ezen belül is azok előrenyomulási helyén, ún. ORRaiban fordulnak elő. E nagy területre kiterjedő, annak belső nagyobbik részében nyugodt légtömegeknek ui. – a felületen szétterülő folyadékhoz hasonlóan – a szélén nagyok a gradiensek (pl. sűrűiek az izobárok), s a benne kifelé és lefelé áramló levegő a középpontjától számított kb. 1000km-es távolságban folytonos felszínközeli szélszalagként (az É-i féltéken az óramutató járásával megegyező irányban) körbefűjja az anticiklon területét. (ld 1.a ábrát) Ennek mezoléptékű áramlási tengelyei az alacsonyszintű jet-ek. Definíció szerint a *2000m alatti légrétegben észlelt 5m/s-nál erősebb kvázi-stacionér szélmaximumok, mely függőleges profiljában 600m-es szintnövekményen belül a szélesebbég ismét legalább a felére csökken*. Magja leggyakrabban 300-

AZ ALACSONYSZINTŰ "ORKÁNCSATORNA", MINT REPÜLÉSRE VESZÉLYES ...

600m közé esik, a szélmaximum erős vagy viharos fokozatú (12-17, 18-24m/s), de elérheti akár a 30m/s-ot is, s a szélnyírás értékei azonosak ill. olykor meg is haladhatják (pl. 5m/s /100m) a tropopauza orkáncsatornáéit (!). (Bodolai-Jakus[2]) Egy ilyen jellegzetes példa látható rá az 1.b ábrán: kevesebb, mint 200m-rel a felszín felett a mérsékelt talajmenti szél csaknem ellenkező irányba fordult és orkán erejűre fokozódott, majd a 250m vastag szélmaximum feletti 300m-en belül kevesebb mint felére csökkent vissza.



1.ábra:

- a) Szélerősség eloszlása anticiklonokban a középpontjához rögzített, s méretéhez arányított polárkoordináta-rendszerben készített izotacha-analízis alapján szegedi adatokból (Bodolai-Jakus [2] nyomán)
- b) Tipikus függőleges szélvektor-profil viharos erősségű szélcsatornában (1997 IV.04. 00 UTC-s szegedi rádiószonda mérésből)

Veszélye nem is elsősorban a benne uralkodó szél erősségéből, hanem egyrészt éles elkülönüléséből adódik: *magjába kerülve veszélyes nyírással hirtelen*, s – mivel viszonylagos kis méretéből adódóan ez a környező állomások méréseiben általában nem jelenik meg – egyben *váratlanul* még erős fokozatú szélben is *duplájára erősödhet a szél*.

Ilyen viharos erejű szélcsatornák Magyarországon legnagyobb valószínűséggel márciusban és októberben, azaz az átmeneti évszakok nagy időjárási átrendeződéseiben fordulnak elő. (Bodolai-Jakus[1]) Az éjszakai stabilitás – mellyel a talajmenti szél legyengülése és gyakran 90°-ot meghaladó balra fordulása jár – tovább élesíti azoknak alsó határfelületét (az 1.b ábra is

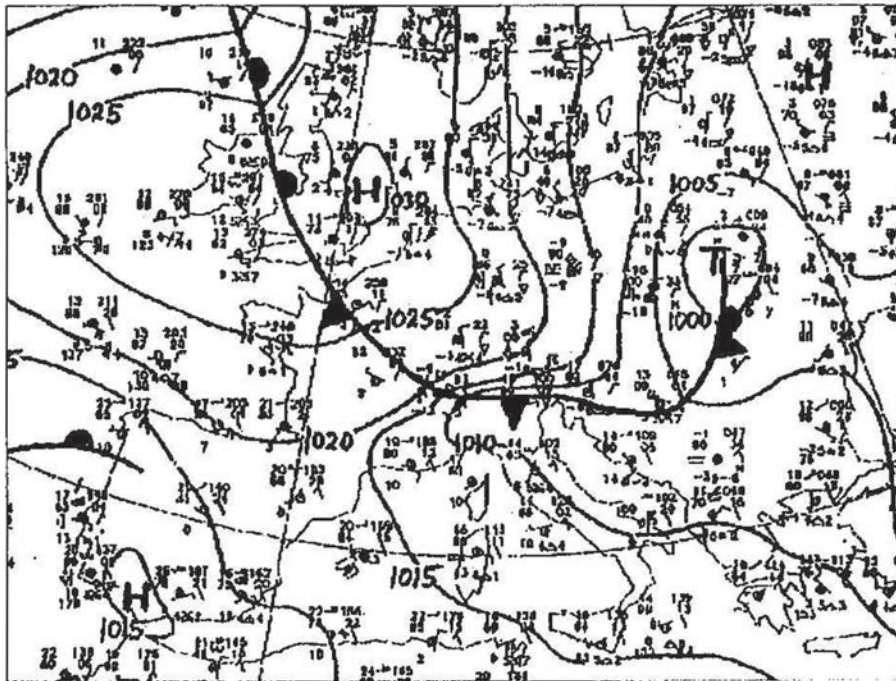
éjféli mérést mutat). A Kárpát-medence nevezetes szelei közül (pl. Kossava, Nemere) sok tkp. alacsonyszinti jet.

2. AZ IDŐPONT SZINOPTIKUS REKONSTRUKCIÓJA

2.1. Az időjárási helyzet és a Kárpát-medence hatása

1997 április 6-án délelőtt egy rendkívül *markáns, gyors hidegfront* vonult át Közép-Európán, s *hátoldalán rögtön* – azzal tkp. teljesen együtt – *anticiklonális orrosodás* következett. (2.ábra) A front 00UTC-kor még a Németalföld D-i szélén járt, de 06UTC-re már belépett a Kisalföldre, s nyomában az alsó 1km-es légrétegben viharos fokozatú átlagszéllel hideg, szárazabb levegő tört be a Kárpát-medencébe.

Nagyon fontos – eddig hazánkban még le nem írt – mezo-meteorológiai hatás, hogy a medencét körbefogó hegyvonulat ilyenkor feltartja, érkezése felől



2.ábra: 1997 IV. 06. 12 UTC-re készített európai felszíni izobár- és frontanalízis (a Deutscher Wetterdienst operatív produktuma nyomán)

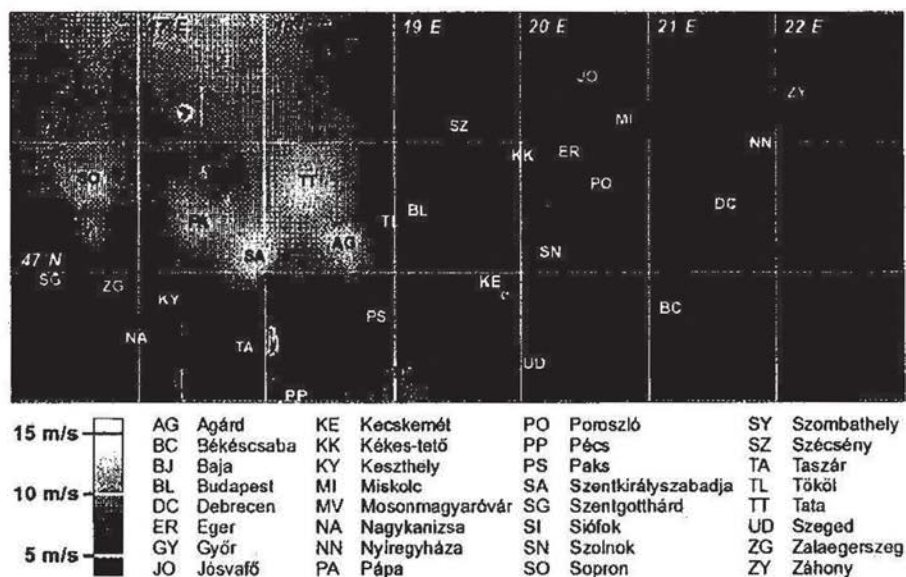
gerincével párhuzamosan elfekteti a fronthatást ill. orrosodást (az izobárok mintegy felfeküdnek a hegyvonulatra): jelen esetben az ÉNy-i-Kárpátok és a K-i-Alpok ívének ez – itt átmeneti – hatását még utólagosan is jól őrzi a szinoptikus analízis képe. Ám ez az effektus nem feltétlen veszi el a légáramlat mechanikai energiáját, sőt: a légtömeg *a hegyvonulatnak mintegy nekifeszülve* helyzeti energiaként akkumulálja mozgási energiáját, *s* – ha az utánpótlás nem szűnik meg – előbb-utóbb *egy hágóján átbukva* a felhalmozódásánál ráadásul rövidebb idő alatt realizálja azt, még *intenzívebbé* fokozva ezzel *a légbetörést*. A hágó forma ráadásul egy keskeny csatornát "vág ki" a légtömeg nélküle valószínűleg homogénebb betódulásából, ezzel *mezo-léptékben is elősegíti az áramlás jet-esedését*, *s* végül a hágó lejt-oldalán levő völgy még fel is gyorsítja azt. Tehát a felfekvés átmeneti stagnálása után a szélárnyékban levő medencébe hirtelen egy alacsonyszintű jet süvit be.

Az 1.a ábra DK-i szektorának maximuma pontosan az ÉNy-Ny felől nyomuló anticiklonális orroknak a Dévénynéi történő ilyen betöréséről szól. (Hasonló, de még erősebb a Kelet-Európai-síkság Ny felé terjeszkedő anticiklonjainak kárpátaljai vagy vereckei betörése – ez előbbi volt, hogy Szabolcsban súlyos épületkárokkal járt (!).)

2.1. A magyarországi szélmező elemzése

céljából a hazai felszíni szinoptikus mérőállomások óránkénti tízperces szélátlagjaiból elkészítettük annak izotacha-analíziseit (3., 4.ábrák). Jól látható, hogy az ÉNy felől benyúló viharos fokozattal szeles terület 10LT-kor már a Bakonyt is átlépte (3.ábra). Az alacsonyszintű légbetörést igazolandó láthatjuk, hogy Kékes-tetőn végig mérsékelt maradt a szél, jóllehet ilyen szituációban nincs a Kárpátok szélárnyékában. A 2.1.-ben vázolt mechanizmust megfigyelhetjük a Dunántúli-középhegység viszonylatában is: ilyen szélirányban a Séd völgye (Bakony) és a Móri-árok a két fő átkelőhely (Szentkirályszabadján ill. Agárdon erősebb is a szél, mint a "szélnek kitett" Pápán ill. Tatán), valamint *a medence ilyen belső felszínformái szintén generálnak ill. továbbvezetik a már kialakult szélcsatornákat*. (Ugyanakkor pl. Paks látványosan a Tolnai-hegyhát szélárnyékában van.)

A vélelmezett jet-tengely rekonstrukciója végett a 11LT-s szélerősség mező deriváltját is elkészítettük (4.ábra fent). Tekintettel a jet-formák 0.pont alatt állított jellegzetességeire (nevezetesen, hogy szélük a legélesebb), ennek alapján rajzoltuk be – az ICAO SIGWX meteorológiai térképmodelljével analóg módon – a tengelyét, melynek mentén a széllesek viharos, csaknem



3.ábra: 10 LT-re vonatkozó felszíni tízperces átlagszél erősség magyarországi izotacha-analízise a szinoptikus mérőállomások adatai alapján

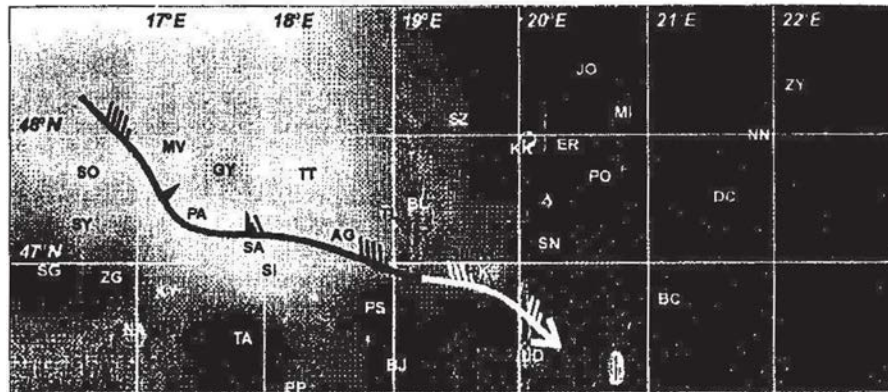
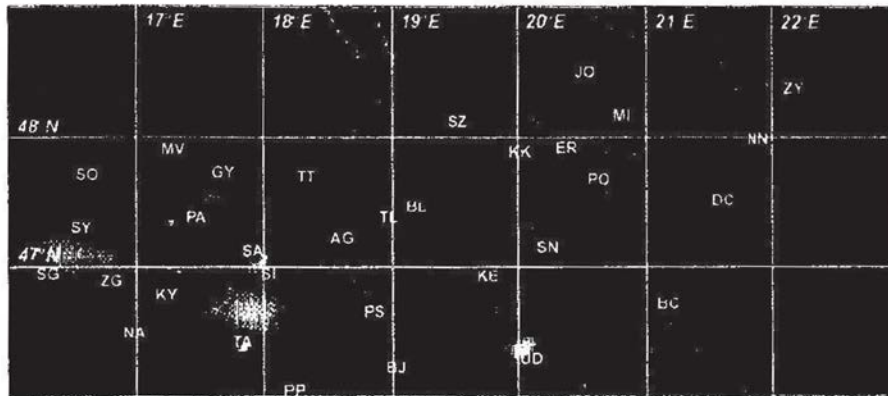
orkán fokozatúak (4.ábra lent). Tehát a kérdéses időpontban a jet már elkezdett kifújni a Torontál felé. A szél erősségeknek a tengelymenti relatív csökkenése ez irányban az Alföldre való kitéréssel járó divergencia természetes velejárója – a széllekek azért még ott is viharos fokozatúak.

Sajnos a baleset környékére és időpontjára reprezentatív, a szélcsatornát – az 1.b ábrához hasonlóan – mutató függélyes profil nem áll rendelkezésre, ui. ennek felállításához szükséges (meteorológiai rádiószonda) mérést országosan csak Budapesten 00 és 12UTC-kor, Szegeden pedig csak 00UTC-kor végeznek mindössze (!) -- tehát ez a jet teljesen átesett ezek tér- és időbeli hálóján. (Ugyanakkor felhívjuk a figyelmet, hogy az 1.b ábrán mutatott szélprofil 2 nappal előtte hasonló szituációban mérte a szegedi rádiószonda.)

(Fontosnak érezzük itt megemlíteni, hogy a 3.-4. ábrákon jelölt állomások több mint harmadán hagyományosan naponta négyszer végeztek pilot-ballonos alacsonyszintű függélyes szélprofil mérést, de ezt az Országos Meteorológiai Szolgálat a 90-es években teljesen megszüntette (!). Az alacsonyszintű jet-eket hazánkban utoljára a 70-es években (!) kutatták (Bodolai–Jakus [1]-[2]) – azóta adatok hiányában ez csak ilyen repülőesemény-vizsgálatokra korlátozódhat.)

AZ ALACSONYSZINTŰ "ORKÁNCSATORNA", MINT REPÜLÉSRE VESZÉLYES ...

A jet-maggal előrefutó szélmaximum így szingulárisává vált értékét csak találgatni lehet...



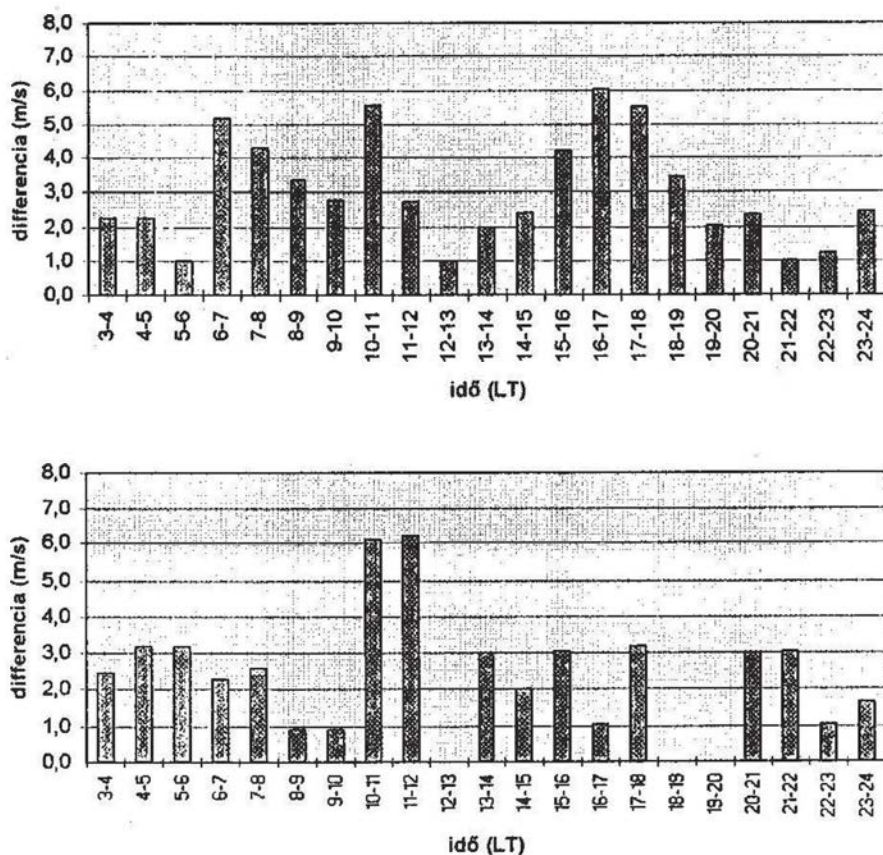
4.ábra: (lent) 11 LT-re készített izotacha-analízis, bejelölve a feltételezett áramlási tengelyt, rajta szélzászlóval az annak mentén mért szélhőkéseket); (fent) ugyanennek gradiens mezeje

3. A KATSZTRÓFÁT MEGELŐZŐ PILLANATOK A SZÉLVISZONYOK TÜKRÉBEN

A szélviszonyok elemzése után nézzük meg, hogy mi is történt a jelzett napon. Délelőtt 10 LT előtt néhány perccel szállt fel a Cessna 150-es a szegedi repülőtérről két fő utassal a fedélzetén, majd Szeged felé elrepültek. Hozzávetőlegesen 15-20 perc repülés után – melynek pontos lefolyásáról

(tekintettel, hogy a teljes hivatalos vizsgálati anyag nyilvánosan nem hozzáférhető) nincs megbízható információnk – Deszk határában szinte függőleges helyzetben a földnek ütköztek. Az ütközés során mindketten életüket veszítették, a gép pedig összetört.

A repülőgép lezuhanás utáni helyzetéből arra kell következtetnünk, hogy a katasztrófát valószínűleg kis magasságban történt aerodinamikai átesés okozta, ami után a légi jármű függőlegesen a földre csapódott. *Az átesést, a felhajtóerőt létrehozó szárnyfelületről való áramlásleválás okozza, ami kialakulhat a kritikus állásszög elérése esetén, de akkor is ha, a levegő áramlási sebessége – más okból – a géphez viszonyítva hirtelen lecsökken.* Tekintve, hogy a felhajtóerő



5.ábra: a szélvektorok óránkénti differenciáinak abszolút értékei Sopronra (fent) és Szegedre (lent)

nagysága - egyéb paraméterek mellett - a levegő repülőgéphez viszonyított sebességétől négyzetesen függ, nyilvánvaló, hogy *jelentős szélsébség-változás ÖNMAGÁBAN előidézhetsé* az átesést.

Az izotacha-analízisen felül az állomások konkrét széladatai is mutatják a szélvektor kiugró megváltozásának és a lezuhanás egyidejűségét (ld 5.ábra): a soproni adaton jól látszik a jet 06LT utáni megjelenése, mely Szeged térségébe pont 10LT után még markánsabban érkezett meg – tekintve a soproni állomás szelének az Alpokalja hatása miatt egyébként is nagyobb a fluktuációja. Számszerint Szegeden a 09³⁵-09⁴⁵LT között mért 5m/s-os átlagszelet 10¹⁵-10³⁰LT között egy 13m/s-os szélökés követte. Mindezek gyakorlatilag a jet megérkezésével azonosíthatók.

Tehát a szélviszonyok balesetben játszott szerepét egyértelműen bizonyítani nincs módunkban, ugyanis a katasztrófát több, a pilóta által elkövetett szabálytalanság már magában hordozta, de részletesen ismerve az adott időpontban fennálló időjárás helyzetét kijelenthetjük, hogy magát az átesést az alacsonyszintű jet megjelenésével járó hirtelen hátszélökés váltotta ki, mely az alacsony magasságon relative kis sebességgel haladó gépnél kivédhetetlennek bizonyult. A katasztrófa szűkebb környezetének terepviszonyai, nevezetesen a széliránnyal tkp. párhuzamos közeli Maros-gát és az e mentén telepített jegenyesor mizo-léptékben is áramlási csatornát formázására hajlamosak, ami még erősíthette a jet-hatást.

4. ZÁRSZÓ

Jelen esettanulmányoknak a hajózóknak címzett tanulsága, hogy az erős szélben való repülés magán a szél értékén, lökésességén és az ezekkel járó turbulencián felül az ilyen viharos erejű csatornák megjelenésével további veszélyeket is "rejt" (szó szerint!) magában.

Ezek konkrét, s számszerű előrejelzése – lévén az aktuális adatokban is ritkán érhetők tetten – a mai állomáshálózat mellett gyakorlatilag lehetetlen. Ugyanakkor az "időjelzők" számára tanulságul szolgálhat, hogy bizonyos nagyobb léptékű időjárás helyzetekhez kapcsolva kialakulásuk, s ezzel szinguláris szélmaximumok kialakulása mégis valószínűsíthető.

- [1] BODOLAI István – JAKUS Emma: Alacsonyszintű jet-ek a Kárpát-medencében; *Időjárás*, Országos Meteorológiai Szolgálat, 1971, 75.évf., 158-170.o.
- [2] BODOLAI István – JAKUS Emma: Alacsonyszintű jet-ek anticiklonokban; *Időjárás*, Országos Meteorológiai Szolgálat, 1975, 79.évf., 5-15.o.

- [3] FUJITA T. T.: Mesoscale Classifications (Chap. 2); *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, ed. Ray P. S., American Meteorological Society, Boston, 1986, 18-35.o.

**THE LOW LEVEL JET AS A HAZARDOUS
PHENOMENA TO AVIATION.
A POSSIBLE EXPLANATION OF AN ACCIDENT.**

An accident of a Cessna F-150L on 06/04/97 resulted death of the two passengers and destruction of the airplane had paid a big attention to the media. By the official statements the pilot was involved in this severity of the accident with hurting more flight rules. On the base of a more detailed analysis of the weather situation we think that the stall of the airplane itself was caused by a strong tailwind gust of an arriving low level jet. On our opinion these kind of reconstructions can serve with useful conclusions both for pilots and meteorologists.