

# **A „MOZGÓ SEKÉLY KÖD” JELENSÉG ELSŐ ISMERTETÉSE, MINT A REPÜLÉST VESZÉLYEZTETŐ ELEM – EGY HELIKOPTER KATASZTRÓFA ELEMZÉSE**

**Bottyán Zsolt egyetemi adjunktus  
ZMNE BJKMFK Természettudományi Tanszék  
Hámori István – Sárközi Szilárd  
Ferihegy Repülőtér, Repülésmeteorológiai Szolgálat**

*A légijárművek hajtóműveinek váratlanul történő, erős eljegesedése a teljesítmény elvesztéséhez vezet. Az erős jegesedés kialakulásának különösen nagy a valószínűsége, ha a személyzet váratlanul kerül jegesedést kiváltó meteorológiai körülmények közé. Tanulmányunkban — egy helikopterkatasztrófa kapcsán — bemutatjuk, hogy az alacsony szintű, mozgó ködök pontosan ilyen helyzetet képesek teremteni és ezáltal különös figyelmet érdemelnek repülésbiztonsági szempontból. A korábbi meteorológiai megfigyelések és adatok elemzésével első hazai leírását adjuk ezen veszélyes, ugyanakkor nem ritka természeti jelenségnek.*

## **KÖDFOLTOK A KÖDÖK JELENSÉGTANÁBAN,**

mely napjainkban is *leragad* a „klasszikus” ismeretek két kategóriája mellett (nem sorolva itt a csapadékhoz kötődőeket), úgymint:

- KISUGÁRZÁSI: azaz hőbevétel nélküli derült éjszakán a talajfelszín, mint kisugárzási felület hűti le elég magas nedvességtartalma esetén harmatpontja alá a levegőt;
- ÁRAMLÁSI: a légtömeg mozgása közben ér a harmatpontjánál hidegebb felszín fölé, vagy/és a telítődési küszöbnél kisebb nedvességtartalmú levegőt vált fel (pl. a hőt jobban is tartó, s párolgásától nedvesebb víz felletti légréteg szállítódik a hűltebb szárazföld fölé; vagy a növénytakaró párologtatása „lehel be” stb.).

A valóságban *azonban többségében más tapasztalható, mérhető*, tehát e kézenfekvő magyarázatok nem, vagy csak kis részben fedhetik a valóságot. Pl.:

- a talaj az éjszaka előrehaladtával hűl ugyan, de *mindvégig melegebb* marad a felette levő rétegeknél, tehát (ő) nem hűt(het)i azokat;
- sokszor kitűnő látásviszonyokat váltva fel *hirtelen* „csap le”, holott a kisu-gárzási típusnál a helyi telítődési folyamattól *fokozatosságot várnánk el*,
- a *légmozgás* ilyenkor (ekkor már kizárólagosan az oszlatását kellene szolgálja) *hirtelen felfokozódik* akár 5 m/s-ra,
- az *érkező levegő hidegebb*, ami az áramlási mechanizmussal sincs összhangban, hiszen éppen származási helyén lett volna telítettebb,
- s van, hogy szélcsendben, a telítéshez mindvégig közel levő légtömeg csak kissé párasodik, melynél a máskor már kisebb nedvességtartalmú is „beködöl”.

Ez utóbbiak ellenére is az előrejelzésében egyedül *a telítettségi viszonyok alakulásából* — és csak abból — *valószínűsítik; nem azonosítva* továbbra sem *kialakulása okát*, sem a kondenzáció spontán-szimmetriasértésének *helyét (!)*.

Ferihegy, mint nemzetközi repülőtér üzemi megvilágítás-, valamint terepviszonyai (ti. majdnem sík terület magasan felülről egyenletesen, egész éjszakai megvilágítással) viszont lehetővé tették, hogy Hámori megfigyelje: az őszi ködök *máshonnan, már „készen”,* éles határral, néhányszor tízperc leforgása alatt *érkeznek* meg – pontosan ugyanúgy, mint 1994 NOVEMBER 22-én alkonyattájt.

## EGY MD—500-AS HELIKOPTER BALESETE

A fentebb jelzett napon 18h LT után gyakorlórepülését befejezve 2 pilótával a fedélzetén egy *MD—500-as helikopter* Siófok-Kilitiről a térségében uralkodó kitűnő látásviszonyokra alapozva éjszakai látvarepüléssel Ferihegyre indult vissza.

MOLNAR kisgépes jelentőpontig problémamentesen a tervezett útvonalon és magasságon haladtak. Felvéve a kapcsolatot Ferihegy Toronnyal kérésükre tájékoztatták őket az ottani időjárásról, mely *1029 mb QNH, 350 ill. 400 m RVR, 30 m függőleges látás* (jóval alacsonyabbak a helikoptertípusra előírt éjszakai üzemeltetési időjárási minimumoknál: *1500 m RVR, 100 m függőleges látás*.) A légijármű a torony-körzetben 1500 FT magasságon folytatta a megközelítést (a rádiólevelezésben *18:56'35''*-kor ezt erősítik meg). A délnyugati várakozási légtértől ENy-ra, mintegy 11 km-re a céltől, *18:57'10''*-kor várakozásra kaptak utasítást, mert egy CESSNA típusú repülőgép ekkor már a végső egyenesen volt előttük *13R* pályára. Két szabályos várakozási kör után *19:00'25''*-kor érkezett az engedély a végső megközelítésre, melyet rögtön meg is kezdtek. Ekkor még *vizuális kapcsolatuk* is volt a másik érkezővel.

A pályatengely elérését 19:02'40"-kor jelentették, s mikor a Torony ezt nyugtázta, már másik hang beszélt a rádióban, amiből következtethető, hogy az oktató átvette a helikopter vezetését. Valószínűsíthető, a vészhelyzet a repülés során már ekkor elkezdett kialakulni. (Mindeközben a CESSNA már átstartolóban volt: 19:02'00"-kor elvétette a pályát, feltehetőleg a sűrű ködbe való besüllyedés miatt.) A 19:03'20"-es utolsó rádióforgalmukban még nem látták a pályát. Ők feltehetően 19:04'05"-kor próbálkoztak utóljára rádiózni a Toronnyal, de ebből már csak zaj érkezett a toronyirányítóhoz. Ezután többször próbálkoztak hívni az MD—500-ast, sikertelenül.

A végső egyenesen levő ismeretlen pozíciójuk miatt, a le- és felszállásokat leállították. Az érkezőket és az átstartolt CESSNÁT a repülőtér területének leellenőrzéséig várakoztatták. A lezuhanásukat egyértelműen megerősítő lakossági bejelentésekre kiküldött — egyébként ritkán összevont erőket felvonultató — kutató-mentő akció a helyszíni sűrű ködben éjszaka, az Újköztemető melletti erdőben, még a roncsra is alig akadt rá. A katasztrófa során *mindkét helikopter-vezető* életét veszítette.

## AZ IDŐJÁRÁSI HELYZET

A megelőző napon az 55°N mentén egész Európán egy *Ny-K-i irányban* „elfeküdt”, behullámzott front húzódott keresztül, mely típusnak fő jellegzetessége — lévén átkelni gyenge az Északi-Kárpátokon —, hogy csapadéokra nézve *hazánkban* már jobbra *inaktív*, de huzamosabb érintésével nedvességet képes beszívárogtatni a medence alsó légrétegeibe. (2. ábra)

A kérdéses napon délelőtt Ny felől már a medence belsejébe Dévényen át benyúló GERINCESEDÉS (anticiklonális hatás) indult meg gyenge, de tartós ÉNy-i légmozgással párosulva. A meteorológiai állomásokon észlelt látástávolságok interpolációval analizált mezői (3.ábra) jól mutatják, hogy *délután a Nagy-Alföld középső részén* (UD, KE) *alakultak ki ködök, amik alkonyatra elérték Budapest DK-i térségét.* Az történt közben ugyanis, hogy az anticiklonális hatást Ény-ről (még a front hullámzásának utóhatásaként) újabb nyomássülyedés váltotta fel, s emez gyengülve, de kissé középpontosodva, a *Tiszántúl fölé* húzódott; ettől a ködös (a valóságban valószínűleg inkább „foltos” szerkezetű) területeken olyan *K-ies légmozgások* ébredtek, amik a ködöt *ÉÉK felé* kissé bemozdították. A Dunántúlon ezzel szemben mindvégig megmaradtak a napközben, frissebb levegővel érkezett, ilyen helyzetben *kitűnőnek mondható látásviszonyok.*

A ferihegyi torony-észlelő az *alkonyatban* még éppen látta a 31R felől közeledő foltot (15h-kor már 2 km-es szektorlátást adott DK felé), majd a kevéssel ezután kezdődő alig félórás periódusban a köd teljesen elfoglalta a repülőteret. A megérkezés folyamatát közelebbi léptékben meglepően jól, szinte filmszerűen illusztrálja a — mindössze 6 db (!), pályavég és -közepeken mért — műszeres pályamenti fénylátás értékekből (RVR) analizált mezők (4. ábra). Világosan látszik továbbá, hogy a KÖDÖT tényleg a SZÉL MOZGATTA. (A következő regisztrált időpontban már egységesen 400–500 m-re estek le, s maradtak még másnap is az RVR értékek.) A köd tetejének magasságát 1500 FT QNH-ra jelentette egy induló.



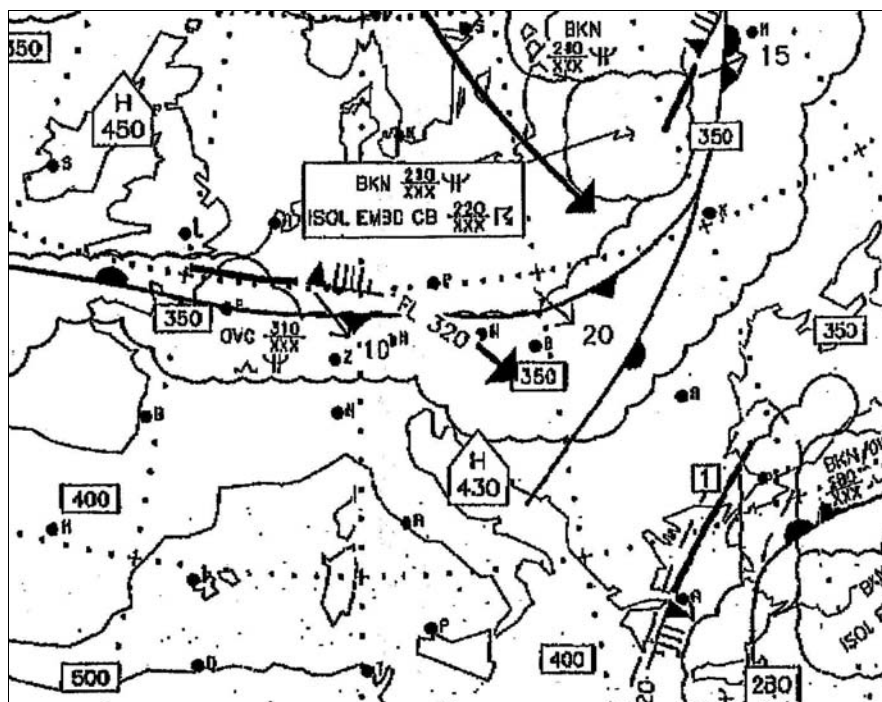
1. ábra

Az MD—500 repülési útvonala Ferihegy Repülőtér torony-körzetében a közelkörzeti radar regisztrátumát a látvarepülési térképre szerkesztve

Érdekes, hogy Ferihegy jó órával előbb ködölt be, mint a kb. 5 km-re DNY-ra, de már a városban fekvő Pestszentlőrinc. A köd először mintegy amöbaként terjeszkedve az *alacsonyabb*, külterületi *hűvösebb* részekre nyúlt be. Tökölön

A "MOZGÓ SEKÉLY KÖD" ELSŐ ISMERTETÉSE, MINT A REPÜLÉST  
VESZÉLYEZTETŐ ELEM — EGY HELIKOPTER KATASZTRÓFA ELEMZÉSE

(azonos irányba kb. mégegyszer annyi, mint MOLNAR Ferihegytől — vö. 1. ábrával) viszont még egy órával később is *csak párásságot* észleltek (utána a repüzem leállításával befejezték az észlelést). Ezért alapos okunk van feltételezni, hogy a köd mozgását DÉL-PEST a hőszigetével és mesterségesen tagolt felszínével megállította, s ÉLES HATÁRA valahol pont az MD—500-as megközelítő mozgásánál húzódott. (Mint tudjuk: az Újköztemető még sűrű ködben volt.)



2. ábra

Az európai szinoptikus helyzet a megelőző napon  
(1994 november 21-én 12 UTC-kor)

## A VÉSZHELYZET KIALAKULÁSÁNAK ELEMZÉSE

A vizsgálatok szerint a katasztrófát — azon felül, hogy már a megközelítésben megsértették a típusra bonyolult időjárási helyzetre kötelezően előírt szabályo-

zásokat — elsősorban a légijármű jegesedése ill. az ebből fakadó *teljesítményvesztés* idézte elő. A helikopter repülés közbeni műszaki meghibásodását a vizsgálat egyértelműen kizárta!

Meteorológiai rekonstrukciónk szerint, miután 19:00'25"-kor a helikopter megkapta az engedélyt a végső megközelítésre, 1500 FT-es repülési magasságról — azaz az AIREP jelentéssel összevetve, pont a *köd teteje alá süllyedve* és K-nek fordulva — elérhették, mind a köd felső, mind horizontális határát, majd onnantól bármikor, a légijármű sebességét tekintve a másodperc tört része alatt mintegy belezuhanhattak. A rádiólevelezésből arra a következtetésre is juthatunk, hogy a végső megközelítés kezdetétől számított 1–2 percen belül már *észlelhették a jegesedés okozta teljesítménycsökkenést* (ezért vehette át pl. kicsit később a vezetést az oktató), de a hajtómű-jegesedését gátló berendezések nem voltak bekapcsolva a repülés során. A további, mintegy EGY PERCES útjuk során, mivel a jégtelenítő berendezések *nem voltak* üzembe helyezve, nem tudták a hajtóműveket maximális üzemanyag táplálás mellett sem működtetni. A vízszintes sebességüket csökkentve, a számítások szerint *meredek pályán*, 23 fokos szögben közeledtek a föld felé. A lombkoronaszintet *60 km/h előrehaladó és 6 m/s függőleges* sebességgel érték el, majd az erdőbe zuhantak.

Gyakorlott, fegyelmezett pilótákról lévén szó, érdemes elidőzni a szabálysértő magatartás eszerint megkérdőjelezhető szándékosságánál. E szempontból *függetlenül* a köd tényleges helyétől, ha végig alattuk is volt, a sekély köd tapasztalatból (főként éjszakai fénylátással) felülről átlátható (ti. kicsi a fényút, így gyengülése is), viszont beleérve a ferde ill. vízszintes látás hirtelen leromlik. A néhány perccel korábban még ferdén és függőlegesen átlátszónak tűnő köd *sűrűnek és alattomosnak* bizonyult, ugyanis:

— *a korábban jó időjárás melletti éjszakai VFR repülést hirtelen és váratlanul fel kellett váltani IFR szerinti repülésre,*

— *szintén váratlanul és igen intenzíven elkezdődött a hajtómű jegesedése is.*

Az első tényező — tetézve a bajt — mindenképpen okozott egy hosszabb-rövidebb idejű *tájékozódási problémát*, ami elvonta a személyzet figyelmét a kezdődő jegesedéstől.

## A JEGESEDES

Mindenek előtt meg kell jegyezzük, hogy a jégtelenítő berendezések csak akkor működnek hatékonyan, ha a jegesedési zónába történő *belépés előtt* már be vannak kapcsolva. Ennek oka a repülés közben fellépő jegesedés elleni véde-

lem alapelvében rejlik: ti. hogy már ELŐRE MEGAKADÁLYOZZUK a jég lerakódását, s ezzel az *akkumulálódását* a hajtóműben vagy a sárkányon [1].

A helikopter MOLNAR-nál való bejelentkezésekor az adott magasságban a *hőmérséklet* 1–3°C fok között volt, a *relatív nedvesség* pedig 98%. Ilyen körülmények között a levegő minden kg-ja 4,2 g vízgőzt tartalmaz. A hőmérséklet *fagypontra feletti* értéke és a helikopter adott magasságon való hosszabb idejű tartózkodása *kizárja a sárkány és a forgószárnylapátok felületi jegesedését*. Ugyanakkor a hajtóműbe áramló levegő — mely jelen esetben másodpercenként 1,31 kg volt — a hirtelen fellépő nyomáscsökkenés okozta tágulás eredményeképp jelentősen lehül, és hidegen tartotta a környezetében elhelyezkedő *csöves részecskekiválasztó* belső falát. Számítások szerint a belső fal hőmérséklete 10–11 °C volt a repülés utolsó néhány percében. Ilyen körülmények között a részecskekiválasztó falára a levegőben lévő vízgőzből, mintegy 4 g jég *akkumulálódott a túltelítettség* miatt. Ez a jégkiválás már a *repülés korábbi időszakában* megkezdődhetett, tekintve, hogy a *jégmentesítés nem volt üzembe helyezve!* Meg kell azonban említeni, hogy a fentebb említett jégfelhalmozódási ütem *nem okozott volna problémát* a repülés végéig hátralévő idő alatt, ugyanis nem tudta volna eltömíteni a levegő útját a hajtómű torokhoz. Nagyfokú jegesedést ilyen rövid idő alatt csak önmagában a levegőben lévő vízgőz jég formájában való kiválása nem okozhatott.

És itt jelenik meg a köd alattomos szerepe! Az időközben Ferihegyre bemozgott ködben rengeteg, apró kb. 10–15 μm átmérőjű *folyékony halmazállapotban* lévő vízcsepp lebegett! Ez jelentősen megnövelte a beömlőnyíláson bejutó víz mennyiségét és így a másodpercenként kifagyó jég *tömegét* is. Tehát miután elérték a mozgó köd felső határát, robbanásszerűen *felgyorsult a jég kiválása* a hajtómű falán. Ennek eredményeképpen a hajtómű előbb kismértékben, majd szinte *teljes egészében elvesztette a teljesítményét* [2]. Ennek a folyamatnak a feltételezhető kezdeti időpontja 19:02'00'' és 19:02'30'' között lehetett.

Miután a totális vészhelyzet a repülés végső — közvetlen leszállás előtti szakaszában — alakult ki, a személyzetnek *nem volt több ideje, mint kb. fél perc* arra, hogy megpróbálja azt elhárítani, ugyanis ekkor már a magasságuk nem volt több, mint 150–200 méter! Ebben a helyzetben már nem tudták elkerülni a katasztrófát.

## A MOZGÓ SEKÉLY KÖDÖK TERMÉSZETE

A nem csapadékhoz kapcsolódó ködök kialakulása mindig *anticiklonhoz*, vagy legalábbis *gerincesedéshez* köthető, melyek fő jellemzője az *inverz függélyes*

*hőmérsékleti rétegződés*: az alsó max. kb. 1,5 km-es légoszlopban a magassággal emelkedik a hőmérséklet (az általában átkevert, a légkör külső határa felé hűlővel ellentétben), mintegy kifejezve a nyugalomba jutott hideg levegő alsó leülepedését. Ez utóbbinak különösen kedvez a Kárpát-medence belsejének földrajzi zártsága; a kialakuló — egyébként nevezetesen stabil — szituációt az előrejelzés szemléletesen hideg légpárnának nevezi.

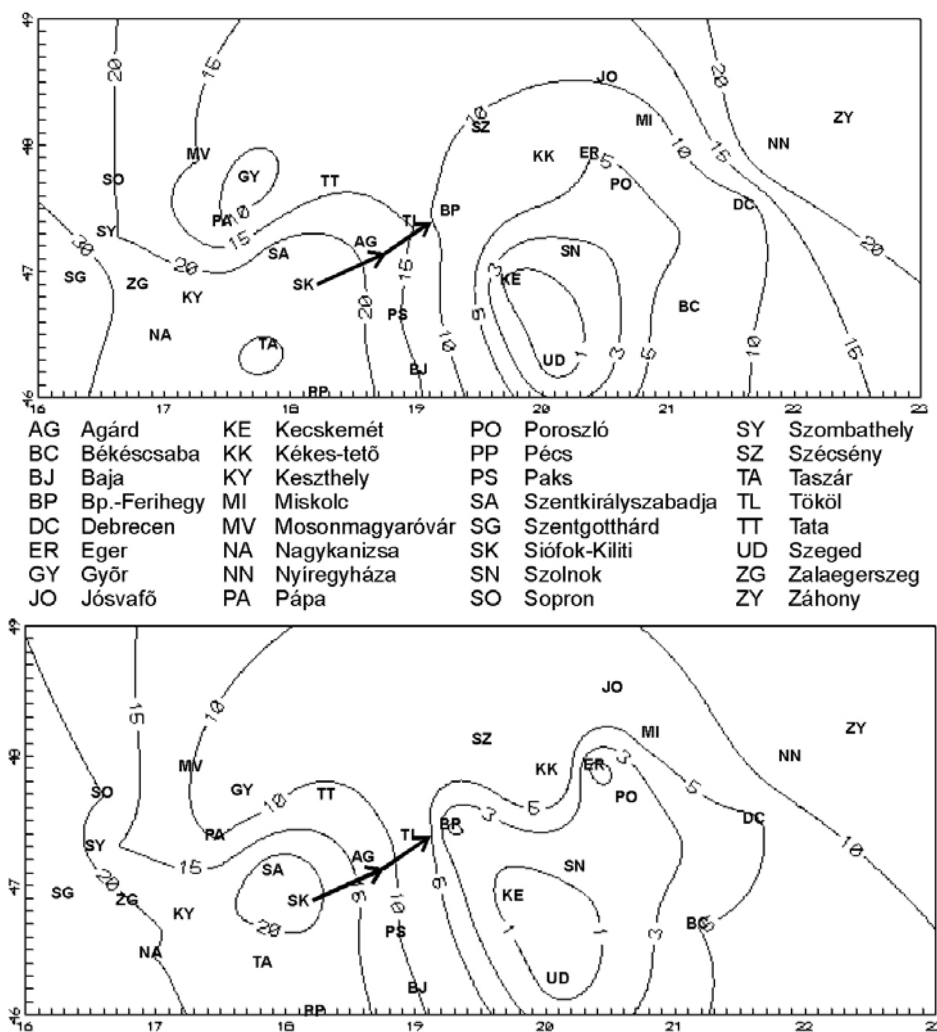
A talajfelszín azonban a téli félév első felében még a nyári besugárzási periódusban nyert, egészen a mélyebb rétegei felé letárolt hőtartalékból fedezve, kisugárzása közben is melegebb marad, mint a felette levő levegő. Így e határfeltételt szabva a hőmérsékleti menet a talajközelségben ismét fordul. Ezzel a profilban leghidegebb és relatíve legnedvesebb „könyök” *kissé* (kb. 10–100 m lehet) *a talajfelszín fölé esik*, s ebben alakul ki megfelelő telítettség esetén aztán akár a kihülés folyamán *egy* tulajdonképpen *a földre simuló* stratus. Magja a felszín fölött lévén lehetővé teszi gyors mozgását e hideg légpárnán belül anélkül, hogy e speciális rétegződés a talajmenti sűrűlődéstől átkeveredve feloszlatná a ködöt. Szintén kárpát-medencei jellegzetesség, hogy — hacsak nem a csapadék párolgásából táplálkozó, területéhez kötött nedvesség a döntő — a légnedvesség a függélyes ülepedésen túl területileg is annak legmélyebb pontján, az Alföldön hajlamos összegyűlni. Ezért ez a fő származási helyük. *Áthelyeződésében* pedig már *csak áldozata a légpárnán belüli* horizontális mozgásoknak.

Jóllehet magához a kondenzálódáshoz vezető folyamatok ezzel még továbbra sem jobban tisztázottak, de kezdeti mérésekre és hidro-, és termodinamikai megfontolásokra alapozva a következők játszhatnak főbb szerepet benne:

- az anticiklon további épülésével járó lassú, de egységes és folyamatos leáramlás lejjebbnyomja, ezzel erősíti az inverziós orrot (ún. *leszüremkedés*), amit — lévén a gravitációs ülepedés munkát nem végez — energetikailag (ún. *függélyes adiabatikus átrendeződéssel*) az említett alsó könyök kényszerű hűlése kell kompenzáljon; tkp. ezzel mindössze *élesítve* az ülepedés előrehaladottságát kifejező, közöttük levő *inverz rétegződést*;
- a *leszüremkedés*, mint a nagyobb skálákon is függőlegesen lefelé hatoló *longitudinális nyomási-hőmérsékleti hullámként* értelmezett mozgása a levegőnek, a talajfelszíni határfeltétel kényszerére, a kisebb skálán alul, mintegy horizontális állóhullámokat hozva létre, teremti meg a spontánszimmetriasértés helyét [3].

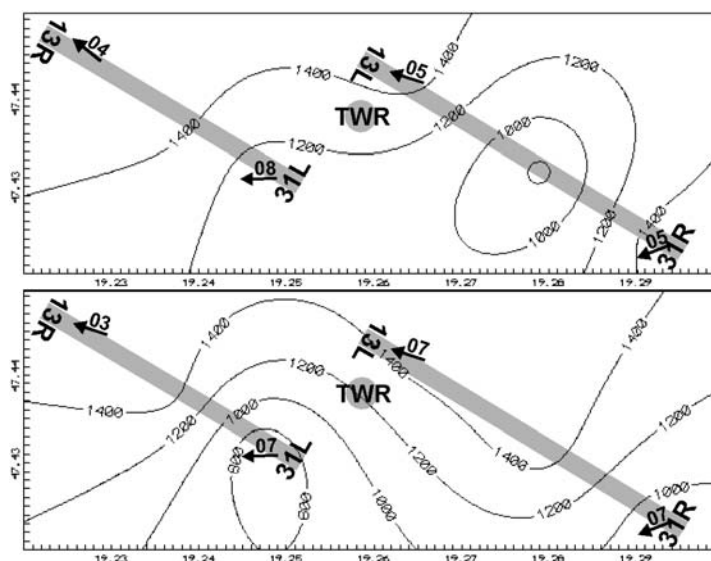


*A "MOZGÓ SEKÉLY KÖD" ELSŐ ISMERTETÉSE, MINT A REPÜLÉST  
VESZÉLYEZTETŐ ELEM — EGY HELIKOPTER KATASZTRÓFA ELEMZÉSE*



3.ábra:

A 13:45 ill. 15:45 UTC-kor észlelt meteorológiai látástávolságok [km] analízisei  
(A nyilak az MD—500 repülési útvonalát jelölik LHSK-től MOLNAR-ig.)



4. ábra

Ferihegy Repülőtéren 15:08 ill. 15:30 UTC-kor mért RVR értékek [m] analízise a talajszelek [KT] feltüntetésével

## REFERENCES

- [1] BRAGG M. B. : Effect of Geometry on Airfoil Icing Characteristics. J. AIRCRAFT, VOL 21. No 7. July 1984. pp (505 – 511).
- [2] COOPER W. A., SAND W. R., POLITOVICH M. K., VEAL D. L.: Effects of Icing on Performance of a Research Airplane. J. AIRCRAFT, VOL 21. No. 9. Sept. 1984. pp (708 – 715).
- [3] BOTTYÁN Zs., HÁMORI I., SÁRKÖZI Sz.: First Description of the „Moving Shallow Fog” Phenomena as a Feature of the Great Plain of Hungary and its Forming and Moving Mechanism, ACTA CLIMATOLOGICA SZEGEDIENSIS, 34. 2000., (to be published).

*When the engines of airplane have turned to ice the power is going to be lost. It is very likely a strong icing when the crew unexpectedly get to bad meteorological conditions. In our study we demonstrate that „Moving Shallow Fog” causes similar situations which are very important from the point of view of flight safety. With analysis of previous meteorological observations and data sets we describe this hazardous — but not rare — phenomena.*