

## Dr. Bottyán Zsolt

egyetemi docens, okl. meteorológus  
ZMNE BJKMK RLI Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék  
lbottyán.zsolt@uni-nke.hu

### GONDOLATOK A REPÜLŐGÉP-SZIMULÁTOROK METEOROLÓGIAI ALRENDSZERÉNEK SZEREPÉRŐL

#### Bevezetés

A mai modern repülő-hajózó oktatásnak elengedhetetlen része a felkészülés korai fázisában elkezdődő szimulátoros képzési folyamat. Ennek során a hallgatók olyan - a valósághoz hasonló - mesterséges környezetben dolgoznak a földön, melynek az a szerepe, hogy a későbbi tényleges repülési körülményeket minél jobban megközelítse, visszaadja (Rolle and Staples, 1988). A mai korszerű repülőgép-szimulátorok egyik fontos feladata a légköri környezet és annak hatásainak konzisztens csatolása és visszacsatolása a repülőgép modelljéhez. A légkörben zajló időjárási folyamatok repülésre gyakorolt hatásának figyelembe vételéhez szükséges időjárási adatok bevitelét a szimulációs rendszerbe a repülőgép-szimulátor meteorológiai alrendszere teszi lehetővé. Kulcsfontosságú tehát ennek az alrendszernek a parametrizációs struktúrája, a látványt előállító vizualizációs alrendszerrel való kapcsolata és a repülőgép modelljébe épített aerodinamikai és műszaki alrendszerrel való csatolása.

Munkánkban a repülőgép-szimulátorok meteorológiai alrendszerével kapcsolatos elvárásokat és a megvalósítások lehetőségeit tekintjük át, különös tekintettel a Microsoft Flight Simulator X szoftver meteorológiai alrendszerére, hiszen a MH ÖHP Repülésfelkészítő Osztály mindkét szimulátora ennek módosított változatát használja.

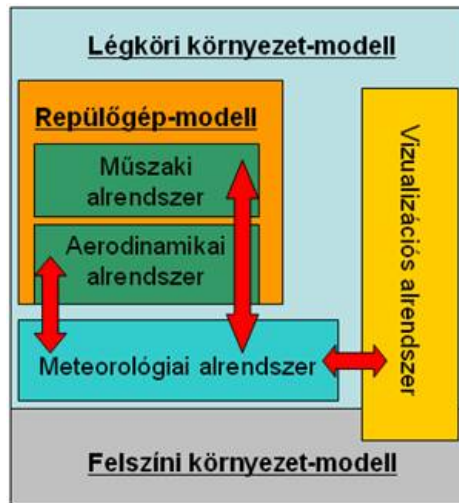
A repülőgép-szimulátorok egyszerű elvi felépítése

A korszerű repülőgép-szimulátorok egyszerűsített elvi felépítését az 1. ábrán mutatjuk be. A szimulátorok logikailag alapvetően három nagy modellből épülnek fel:

- légköri környezet-modellből,
- repülőgép-modellből,
- felszíni környezet-modellből.

A **légköri környezet-modellben** jelennek meg az időjárási helyzet tulajdonságai és jelenségei, a további repülőeszközök (célok) illetve azok vizuális, valamint audio jellemzői. A **repülőgép-modell** a szimulációs rendszer központi része. Ebben több alrendszer van beágyazva, melyek a repülőgép geometriai jellemzőit, aerodinamikai tulajdonságait és viselkedését, a vezérlés módját, a hajtóművek karakterisztikáit, a kommunikációs és műszeres rendszer működését és katonai repülés esetében a fegyverrendszert stb. határozzák meg. A **felszíni környezet-modell** tartalmazza a domborzat háromdimenziós modelljét és az erre épülő mesterséges tereptárgyakat, mint pl. városokat, épületeket, növényzetet, repülőtereket és azok kiszolgáló objektumait valamint katonai alkalmazás esetén a földi célokat stb. (Rolle and Staples, 1988).

Az 1. ábrán világosan látható, hogy a **meteorológiai alrendszer** bár a légköri környezet-modellbe van beágyazva, mégis fontos hatást gyakorol a másik két nagy modellre is a repülőgép-modellbe integrált aerodinamikai és műszaki, valamint a vizualizációs alrendszeren keresztül. Jelen tanulmányban a nagy modelleken belül csak azokat az alrendszereket jelöltük, melyek a meteorológiai alrendszerrel szoros kapcsolatban állnak.



1. ábra A repülőgép-szimulátorok egyszerűsített elvi modellje (Rolle and Staples, 1988 után módosítva)

#### A repülőgép-szimulátor meteorológiai alrendszere és feladatai

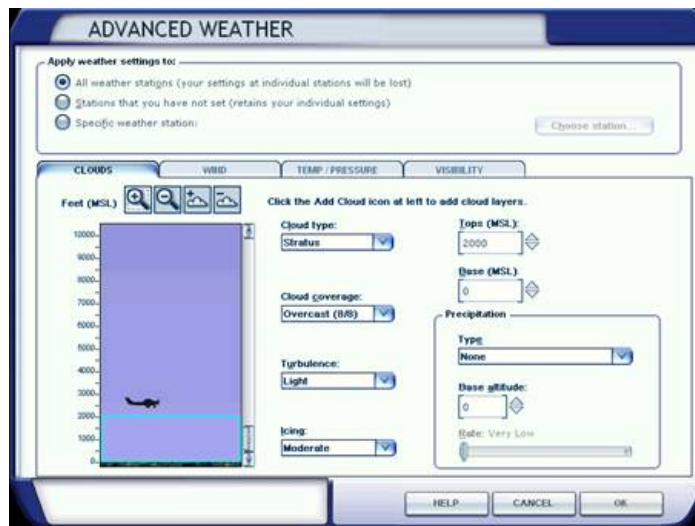
A repülési szimuláció során a virtuális térben ki kell alakítani és meg kell jeleníteni egy konkrét meteorológiai helyzetnek megfelelő környezetet, mely hatással van a repülőgép repülési (aerodinamikai) tulajdonságaira, és műszaki berendezéseinek működésére egyaránt. Ezt a munkát a szimulátor **meteorológiai alrendszere** végzi, melynek konkrétan a következő feladatokat kell elvégeznie:

- az adott időjárási helyzet fizikai állapotjelzőinek beviteléhez szükséges felület megjelenítése és kezelése,
- az atmoszféra állapotából eredő hatások csatolása a repülőgép-modell aerodinamikai és műszaki alrendszeréhez,
- a bevitt meteorológiai adatok alapján generált virtuális légköri környezet és a hozzá kapcsolódó jelenségek jellemző tulajdonságainak illesztése a vizualizációs alrendszerhez.

A légkör fizikai állapotát ún. **meteorológiai paraméterekkel** adjuk meg. Ezek azonban lehetnek a már jól ismert fizikai állapotjelzők, mint pl. hőmérséklet, szélirány, légnyomás, harmatpont, látástávolság, felhőalap stb., valamint meteorológiai jelenségek, pl. csapadék, jegesedés, turbulencia, zivatar stb. Az alrendszernek tehát rendelkeznie kell egy input felülettel, melynek segítségével az említett paraméterek értékei, tulajdonságai bevitelre kerülnek a szimulátor-rendszerbe.

A korszerű repülőgép-szimulátorok esetében a meteorológiai paraméterek bevitelét is egy interaktív számítógépes adatkezelő-felület segítségével oldják meg, mely grafikus elemeket is tartalmaz (2. ábra). Tekintve, hogy a repülési környezetet három dimenzióban kell előállítani, az időjárási információkkal szemben is alapkövetelmény, hogy **térbeli reprezentációjuk** megoldott legyen a szimulációs rendszeren belül. Ezért a meteorológiai alrendszerbe való adatbevitel során az ún. profilok (meteorológiai állapotjelzők magasság szerinti változását megadó összefüggések) megadását is biztosítani kell. Így lehetővé válik, hogy az atmoszféra tetszőleges magasságú és vastagságú rétegeit paraméterezhessük meteorológiai szempontból, a mért vagy számított (modell outputok alapján előállított) adatok alapján.

Az adatbevitel korábban csak manuálisan történt, manapság azonban akár internetről adott időlépcsőben (pl. MS Flight Simulator X esetén 15 percenként) automatikusan frissített, közel real-time meteorológiai adatok is hozzáférhetők különböző (pl. Jeppesen) szerverekről. Természetesen - ahogy arról később szólunk - az adatbeviteli panelet lehetővé kell tenni a manuális adatbeviteltől módosítás, pontosítás és archív meteorológiai szituációk feldolgozása céljából egyaránt.



2. ábra Egy korszerű repülőgép-szimulátor (MS Flight Simulator X) meteorológiai alrendszerének adatkezelő felületének részlete. © 2006 Microsoft Corporation.

Az input időjárási adatok csatolását a repülőgép-modellhez azért kell megvalósítani, mert a repülőgép repülés közbeni viselkedése a levegő szinte minden tulajdonsága hatással van. A teljesség igénye nélkül kívánjuk megjegyezni, hogy pl. a levegő sűrűsége - amely az ideális gázok állapotegyenletében meghatározott módon, a légnyomás és a hőmérséklet függvénye és a dinamikus nyomást határozza meg az áramlási sebességgel együtt - alapvetően befolyásolja a felhajtóerő nagyságát. A szélvektor ismerete is elengedhetetlen, hiszen a repülőgép repülési irányától függően módosítja a levegő áramlási sebességének értékét, ami szintén a dinamikus nyomás értékére, és ezen keresztül közvetlenül a felhajtóerőre lesz hatással stb. Ezek a meteorológiai paraméterek tehát közvetlenül a repülőgép aerodinamikáját leíró differenciál-egyenlet rendszer típusú- és peremfeltételeinek halmazába tartozó elemek, így a repülőgép-modell **aerodinamikai alrendszeréhez** vannak csatolva a meteorológiai alrendszer segítségével.

A **műszaki alrendszerhez** való időjárási adatillesztést az a tény követeli meg, hogy az áramló levegő fizikai (meteorológiai) állapota közvetlenül hatással van több - alapvető funkciót ellátó - **fedélzeti mérő és érzékelő műszerre**. Az egyik legfontosabb ezek közül az ún. fedélzeti nyomásmérő (Pitot-cső), melynek a feladata a repülőgép sebességének és magasságának megállapításához szükséges légnyomáskülönbség meghatározása. A repülőgépen ez a berendezés sokszor felületi jegesedés miatt hibásodik meg és rendkívül veszélyes helyzetet képes előidézni (Bottyán, 2008). A jegesedés emellett számos más érzékelőnek és antennának a működését képes teljesen vagy részlegesen akadályozni. A jegesedést kiváltó meteorológiai helyzet ugyan összetett, de meglehetősen gyakran előfordul. A leírak alapján világos, hogy a meteorológiai adatokat a repülőgép-modell műszaki alrendszeréhez is szükséges csatolni.

Nyilvánvaló, hogy a meteorológiai input adatok egy része - ahogy korábban jeleztük - nem numerikus jellegű, hanem valamilyen jelenség előfordulását és egyben tulajdonságát is jelzik, pl. adott típusú felhőzet, csapadék és egyéb meteorológiai jelenség előfordulása. Habár ezeknek is vannak olyan tulajdonságaik, amik számszerűek (pl. felhőzet magassága és mennyisége, a csapadék intenzitása), alapvetően a formájukat, megjelenésüket adott attribútumokkal ellátott **grafikai objektumként** kell kezelnie a vizualizációs alrendszernek. Eppen ezért a megjelenítésért felelős alrendszer része a meteorológiai jelenségekhez kapcsolódó objektumhalmaz, melynek az elemei (pl. gomolyfelhő, rétegfelhő, havazás, stb.) a konkrét időjárási input adatokból kapják a tulajdonságaikat, beleértve a létezésüket is (3. ábra)!



3. ábra Szépidő gomolyfelhők (cumulus humilis) megjelenítése a MS Flight Simulator X vizualizációs alrendszerében (bal oldali kép), © 2006 Microsoft Corporation) és ugyanezen felhőzet a valóságban (jobb oldali kép, forrás: [http://www.alaska-in-pictures.com/data/media/13/puff\\_1035.jpg](http://www.alaska-in-pictures.com/data/media/13/puff_1035.jpg))

A 3. ábrán jól megfigyelhető, hogy egy adott meteorológiai helyzetben kialakuló speciális felhőzet szimulációja mennyire jól megvalósul a korszerű repülőgép-szimulátorok esetében, hiszen a megjelenített felhők méretei, geometriája és textúrája rendkívül hasonló a valóságban megjelenő felhők ugyanezen tulajdonságaihoz. Természetesen ez a hasonlóság a meteorológiai alrendszer és a vizualizációs alrendszer korrekt kapcsolatának eredménye, de fontos tudnunk, hogy a látvány valóságosságát alapvetően a megjelenítésben alkalmazott **grafikai eljárásokon** és a **projekció minőségén** múlik.

Meg kell említenünk, hogy előfordulnak még olyan implementációk, melyekben a meteorológiai alrendszer feladata a **helykoordináták**, a **dátum és időpontok** kezelése és ezek alapján a **csillagászati paraméterek** (napkelte, napnyugta, navigációs és csillagászati szűrőketek időpontjainak meghatározása stb.) számítása is. A korszerű repülőgép-szimulátorokban azonban ezeket a feladatokat már más alrendszerek végzik.

### Valós, mért adatokon alapuló meteorológiai helyzetek adaptációja

Ahogy korábban említettük, a meteorológiai alrendszer fejlett input felülettel rendelkezik, melynek segítségével lehetőségünk van a ténylegesen **mért (archív) időjárási adatok** bevitelével, a valóságban előfordult meteorológiai szituációkat mesterségesen előállítani a szimulátorban. Ennek a ténynek óriási jelentősége van, hiszen a szimulátorban oktató személyzet részére szinte majdnem minden - repülésre veszélyes - időjárási szituáció szimulálható magas fokú valóságossággal! Másrészt, repülőesemények, kivizsgálásában is nagy segítséget nyújthat a valós környezet előállítása és ebben a repülőgép útvonalának rekonstrukciója. Ez utóbbira példaként említhetjük a MALEV 1975-ben Ferihegyen katasztrófát szenvedett repülőgépének időjárási környezeti rekonstrukcióját (Bottyán, 2008).

Természetesen egy ilyen - a valóságban előfordult - meteorológiai helyzet előállítása a repülőgép-szimulátorban egy rendkívül alapos, szerteágazó **időjárási adatgyűjtést és elő-feldolgozást** igényel, melyet **repülésmeteorológiai szakember** bevonásával kell elvégezni. A rekonstrukcióhoz szükséges meteorológiai adatokat az adott útvonalra vonatkozóan három dimenzióban kell inputként megadni a meteorológiai alrendszernek (Lane-Cummings és VanWest, 2007). Az említett adatok begyűjtése, és elő-feldolgozása során **ténylegesen mért** (földfelszíni, rádiószondás, radaros, repülőgépes, műholdas stb.) és **modellszámításokból származó** értékeket kell illeszteni egymással térben és időben. Nyilvánvaló, hogy a repülésmeteorológus feladata az olyan speciális időjárási helyzetek kiválasztása, melyek adaptációját célszerű elvégezni, a konkrét veszélyes jelenség szimulációjához. Lényegében tehát egy speciálisan összeállított, a repülésre valamilyen szempontból szignifikáns hatást kifejtő **meteorológiai szituációkat tartalmazó adatbázis** létrehozását kell megvalósítani.

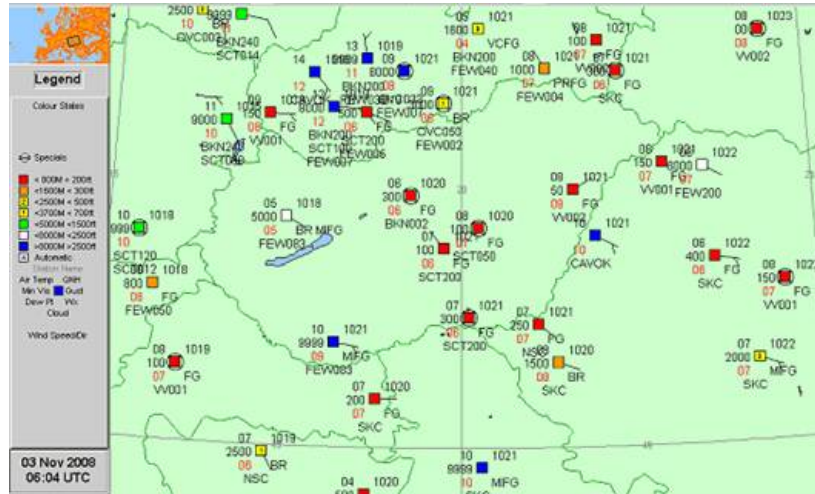
A valós időben fennálló időjárási helyzet **real-time reprezentációjának** lehetőségét az internet hálózat kiépülése, a sávszélesség növekedése és időjárási adatokat begyűjtő és tároló ftp szerverek (csak részben publikusak) megjelenése tette lehetővé. Lehetővé vált, hogy a repülőgép-szimulátorban az internetről letöltött és adott idő elteltével folyamatosan frissülő, valós adatok alapján történjen a meteorológiai helyzet előállítása. A Microsoft Flight Simulator X és a többi, ugyanezen vagy hasonló meteorológiai alrendszerrel használt repülőgép-szimulátor is lehetővé teszi a világhálón keresztül történő, időjárási adatfrissítést (Lane-Cummings és VanWest, 2007).

### Esettanulmány

Ahogy korábban említettük, lehetőségünk van a meteorológiai alrendszer segítségével korábbi (archív) időjárási adatok alapján környezeti rekonstrukcióra. Most bemutatjuk egy **alacsony szintű kód/startus helyzet** vizualizációját, melyet a MS Flight Simulator X meteorológiai alrendszerének segítségével végeztünk el.

2008. november 3-án az ország középső és keleti területén reggel 06 UTC-kor sűrű köd volt észlelhető, ahogyan a 4. ábrán jól látható. **Budapest Ferihegy (LHBP)** körzetében 300 méteres meteorológiai (horizontális) látástávolság (ami egyben ködöt jelent), 7 okta stratus (alacsony szintű réteges) felhőzet 60 méteres alappal, 6 °C hőmérséklet, 6 °C harmatpont, szélszél és 1020 hPa QNH nyomás volt észlelhető. A temp felszállási adatokat elemezve a kialakult stratus felhőzet teteje kb. 2400

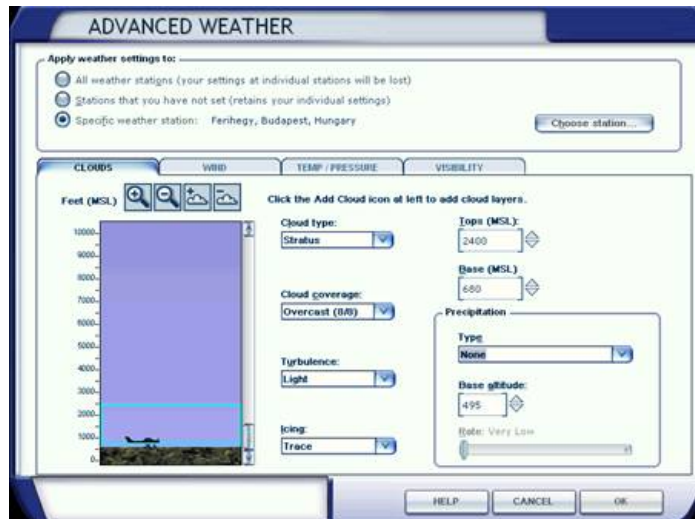
lábön volt. Fölötte számottevő felhőzet nem alakult ki.



4. ábra Időjárási helyzet a Kárpát-medencében METAR táviratok alapján, 2008. november 3-án 06 UTC-kor. (NAMIS megjelenítés)

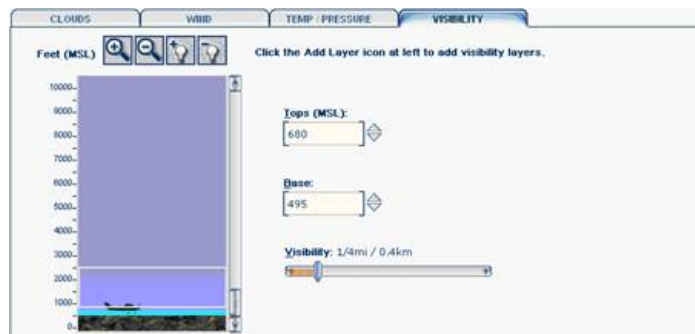
A fentebb jelzett meteorológiai adatok, a dátum és időpont alapján a meteorológiai arendszer adatbeviteli felületén beállítottuk a szükséges paramétereket. Ahogyan az 5. ábrán látható, a kiválasztott meteorológiai állomás Ferihegy, Budapest, Hungary. A **felhőzet** (clouds) beállítását a felhőzet **típusa** (Cloud type), a **tető** (Tops (MSL)) és az **alap** (Base (MSL)) adatainak megadásával lehet konkretizálni. Jelen esetben a típus stratus, az alap 680 láb és a tető 2400 láb magasságon helyezkedik el. A felhőzet **menyiségét** (Cloud coverage) 8 oktában adtuk meg. Emellett gyenge **turbulenciát** (Turbulence: Light) és nyomokban **jegesedést** (Icing: Trace) határoztunk meg a rendszernek, **csapadék** nélkül (Precipitation: None). A repülőter **magasságának** (Base altitude) a ferihegyi AIP-ben meghatározott 495 láb értéket adta automatikusan a rendszer (ezért lett az észlelt felhőzet alapja 680 láb, ill. a teteje 2400 láb magasságon).

A másik nagyon fontos repülésmeteorológiai paraméter a **horizontális látástávolság**, melyet megadtunk az arendszerben erre a dátumra és időpontra vonatkozóan. Ezt két lépésben végeztük el, hiszen a felhőzet alatt a látástávolság a ténylegesen jelzett 300 méter volt, míg a felhőben jóval 100 méter alatti értéket tapasztalhatunk. A repülőter szintjében észlelt látástávolság beállítását a 6. ábrán láthatjuk, melyen jól megfigyelhető az aktuális (világoskékkel jelzett) réteg, melyre érvényes a beállítás (495-680 láb közötti réteg). Az inputként megadott látástávolság (Visibility) az előbb említett rétegre: 1/4mi/0.4 km (a valós 300 méterhez legközelebb eső választható érték!).



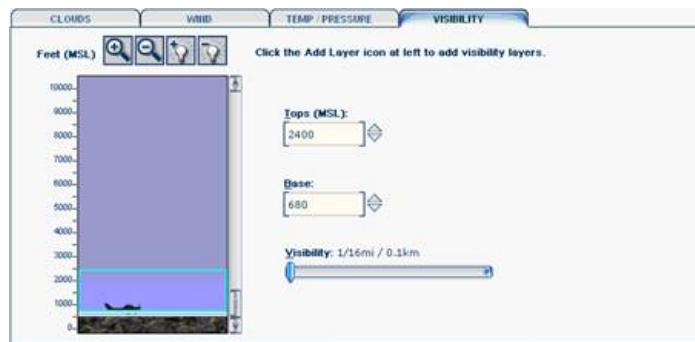
5. ábra A 2008. november 3-án 06 UTC-kor fennálló időjárási helyzet felhőzet-parametrikációja a MS Flight Simulator X repülőgép-szimulátor meteorológiai arendszerében.

Baloldalon lenn a világoskék téglalap a felhőzet rétegét jelzi. © 2006 Microsoft Corporation



6. ábra A 2008. november 3-án 06 UTC-kor fennálló időjárási helyzet látástávolság-parametrikációja a MS Flight Simulator X repülőgép-szimulátor meteorológiai arendszerében. 495-680 láb közötti réteg. © 2006 Microsoft Corporation

A következő réteg a felhőzetet magában foglaló légréteg, mely 680-2400 láb magasságig terjed ki. Ebben a magassági intervallumban a minimálisan beállítható 100 méteres látástávolságot használtunk (7. ábra). A két különböző tulajdonsággal rendelkező réteg között nem adtuk meg átmeneti zónát, így a látástávolság hirtelen változik a rétegfelhőbe történő bepengéskor, ami a valósággal teljesen összhangban van.



7. ábra A 2008. november 3-án 06 UTC-kor fennálló időjárási helyzet látástávolság-parametrizációja a MS Flight Simulator X repülőgép-szimulátor meteorológiai alrendszerében. 680-2400 láb közötti réteg. C 2006 Microsoft Corporation

A MS Flight Simulator X szimulátor vizualizációs alrendszere által előállított kép a ferihegyi 13R futópálya küszöbéről nézve a 8. ábrán látható. Jól észrevehető a 400 méteres ködben jelentősen redukálódott látástávolság, amit csak a futópálya fénytechnikájának működése ellensúlyoz.



8. ábra A MS Flight Simulator X repülőgép-szimulátor vizualizációs alrendszerében előállított kép a 2008. november 3-án 06 UTC-kor fennálló időjárási helyzetre vonatkozóan, Budapest Ferihegy repülőtér 13R futópálya. C 2006 Microsoft Corporation

A meteorológiai adatok segítségével paraméterezett környezet látványát tehát a repülőgép-szimulátorban a valóságos helyzethez igen közelinek érezhetjük. Ez a nagyfokú valóságosság teszi lehetővé, hogy a szimulátoros kiképzés során a hajózó személyzet környezetének kialakítása a lehetőségekhez mérten optimális legyen. Ebben a folyamatban a meteorológiai alrendszer (csatolva a többi alrendszerhez) kulcsszerepet játszik.

#### Összefoglalás

A leírtak alapján elmondhatjuk, hogy a repülőgép-szimulátorok által kialakított mesterséges környezet előállításában a meteorológiai alrendszer alapvető szerepet játszik, mert:

- lehetővé teszi az időjárási input paraméterek real-time vagy manuális bevitelét,
- az időjárási adatbázist csatolja az aerodinamikai és a műszaki alrendszerhez,
- a megjelenítéshez szükséges adatokat rendelkezésre bocsátja a vizualizációs alrendszer részére a meteorológiai grafikus objektumok inicializációjához.

A meteorológiai alrendszer működéséből fakadóan lehetővé válik, korábban megtörtént és repülésmeteorológiai szempontból veszélyes helyzetek rekonstrukciójára, mely fontos szerepet játszhat a repülő-hajózók szimulátoros képzésének minőségi javításában és a repülésemények kivizsgálásában egyaránt. A mai korszerű repülőgép-szimulátorok (így a MS Flight Simulator X is) meteorológiai alrendszere (a többi alrendszerrel együttműködve) megteremti, a rendkívül valóságos repülési környezet előállításának lehetőségét, ami a repülőgép-szimulátorok esetében alapvető elvárás és feladat.

A repülő-hajózó kiképzés egyes szimulációs fázisaihoz hozzárendelt (rekonstruált) veszélyes meteorológiai szituációt magában hordozó környezet kialakításával emelhető a kiképzés színvonala és ezen keresztül a **repülésbiztonság**.

#### Irodalom

1. AIP Hungary, Budapest/Ferihegy Aerodrome Chart, 03. Jul. 2008. HungaroControl, 2008.
2. Bottyán Z. (2008): Kísérlet egy repülőgép-katasztrófa meteorológiai viszonyainak rekonstrukciójára - a Malév HA-MOH repülőgépének balesete. *Repüléstudományi Közlemények*. XX.évf. 3. szám.
3. Rolfe J., M. and Staples K., J.(1988): Flight Simulation. Cambridge University Press.
4. VanWest J. and Lane-Cummings K. (2007): MS Flight Simulator X for Pilots Real World Training. Wiley.

Vissza a tartalomhoz >>>