

**Bottyán Zsolt**

[bottyan.zsolt@zmne.hu](mailto:bottyan.zsolt@zmne.hu)

**Szabadi Vilmos**

[szabadiv@gmail.com](mailto:szabadiv@gmail.com)

## A METEOROLÓGIAI LÁTÁSTÁVOLSÁG ÉRTÉKÉNEK MEGBÍZHATÓSÁGI VIZSGÁLATA A MAYGAR HONVÉDSÉG ÖSSZHADERŐNEMI PARANCSNOKSÁG HELIKOPTER-SZIMULÁTORÁBAN

### *Absztrakt*

*A katonai repülő-hajózó állomány kiképzésében fontos eszköz a MH. ÖHP. helikopter-szimulátora. A szimulátor fejlett meteorológiai alrendszerrel és vizualizációval rendelkezik. Munkánkban a szimulátornak inputként megadott és az általa megjelenített, virtuális repülőtéri környezetben (LHBP) észlelhető meteorológiai látástávolság értékeit hasonlítottuk össze. Az 5000 m-nél kisebb látástávolságokat vizsgálva megállapíthattuk, hogy a szimulátor vizualizációs alrendszerének megadott 3000 m körüli értékek esetén a megjelenített látástávolság csak néhány száz méternél kevesebbel tér el a valóságtól, de 1000 m alatt ez az eltérés kevesebb, mint 200 m. A vizsgált helikopter-szimulátor tehát a fentebb említett pontosságon belül realisztikusnak tekinthető a látástávolság reprezentáció terén.*

*The helicopter simulator of HDF JFC plays an important role in the military pilot training. The above mentioned simulator has the advanced meteorological and visualisation subsystem. In our work we compared the virtual visualised and the given horizontal visibilities in an artificial airport environment (LHBP). We appointed – in case of the visibility lower than 5000 m – around 3000 m visibility values the difference between visualised and given visibility lower than a few hundred meters but the mentioned difference less than 200 m if the given visibility values were below 1000 m. In the bases of our investigation we can reveals the helicopter simulator can well produce the realistic horizontal visibility inside its virtual airport (LHBP) environment.*

**Kulcsszavak:** *hajózó képzés, helikopter-szimulátor, meteorológiai látástávolság ~ pilot training, helicopter simulator, meteorological visibility*

## BEVEZETÉS

Napjainkban a repülő-hajózó személyzet felkészítésében a földi repülésgyakorló eszközök alkalmazása elengedhetetlen. A magyar katonai légi jármű-vezetők hazai kiképzését az NFTC programon belül a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság, Repülő Felkészítési Osztálya (MH. ÖHP. RFO.) koordinálja és végzi, más intézmények oktatóinak bevonásával. A földi képzés egyik igen fontos eszköze a 2008-ban átadott ROBINSON 2244/IR FNPT I. helikopter-szimulátor rendszer. Az említett szimulátorban a növendékek közel 100 órát dolgoznak, mielőtt megkezdhenék a valós repülési feladatok végrehajtását.

A szimulátorban a helikopter és a valóságos repülési környezet modellezése történik, melyben nagy szerepet játszik a meteorológiai feltételek kialakítása, megjelenítése (*Rolfe és Staples, 1988*). Ezt a feladatot a helikopter-szimulátor meteorológiai alrendszere végzi, mely csatolva van a helikopter-modellhez és a vizualizációs alrendszerhez egyaránt (*Bottyán, 2009*). A repülési időjárás állapotának leírásához az egyik legfontosabb paraméter a meteorológiai (horizontális) látástávolság, melyet a valóságban a szakképzett észlelő határoz meg a repülőtéren a meteorológiai észlelések rendjéről szóló szabályzat alapján, vizuálisan (vannak ún. látástávolság mérő automata berendezések is, de az általuk mért adatokat nem tekinthetjük reprezentatívnak a repülőtérré vonatkozóan több ok miatt). A meteorológiai látástávolság meghatározása körkörös elhelyezkedő, ismert távolságú tereptárgyak láthatóságán alapul.

A meteorológiai látástávolság pontos ismerete egy repülőtéren elengedhetetlenül fontos, hiszen VFR (látva repülés szabályai szerint történő) repülések során a repülőtér végső megközelítését, a látvány alapján történő pozíció-meghatározás alapján végzik, de IFR (műszeres repülés szabályai szerint történő) feladat végrehajtás esetén is - az elhatározási magasságban - szükség van a futópálya szemmel történő azonosítására a biztonságos leszálláshoz. Természetesen a helikopter-szimulátorokban is szükség van a meteorológiai látástávolság pontos értékének megfelelő vizualizációra, a valóság-hű környezeti modell kialakítása érdekében (*Bottyán, 2009*).

Munkánkban bemutatjuk a fentebb említett helikopter-szimulátorban végzett látástávolságra vonatkozó vizsgálataink eredményét.

### A METEOROLÓGIAI LÁTÁSTÁVOLSÁG ELMÉLETI MEGKÖZELÍTÉSE

A meteorológiai látástávolság az a legnagyobb vízszintes távolság, melyről egy megfelelően nagy, a horizonton lévő, meghatározott jellemzőkkel rendelkező, abszolút fekete tárgy még látható és azonosítható (*Johnson, 1954*). A látástávolság értéke függ:

- az észlelő és a tárgy közötti levegő optikai tulajdonságaitól,
- az észlelő szemének érzékenységétől,
- a tárgy és a háttár között kialakult kontraszttól.

A Koschmieder-formula szerint a meteorológiai látástávolság értékét a következőképpen határozhatjuk meg (*Bullrich, 1964*):

$$V = \frac{3,912}{(\sigma_R + \sigma_M)}$$

ahol,  $V$  [m] a látástávolság értéke,  $\sigma_R$  [ $m^{-1}$ ] levegő molekulái által és  $\sigma_M$  [ $m^{-1}$ ] az aeroszol részecskék által okozott extinkció értéke. A teljesen tiszta (aeroszol-mentes) légkör extinkciós együtthatóját könnyen számíthatjuk az alábbi összefüggésből (*Johnson, 1954*):

$$\sigma_R = \frac{32\pi^3(m-1)^2}{3N\lambda^4}$$

ahol,  $m$  a tiszta levegő törésmutatója,  $N$  az  $1 \text{ cm}^3$ -ben lévő molekulák száma,  $\lambda$  [m] a fény hullámhossza. Ha a légkör nem tartalmazna aeroszol részecskéket, a formulával kapott elméleti látástávolság abszolút fekete test esetén 335 km lenne (tisztán Rayleigh szórás)! A valóságban ennél jóval kisebb értékeket tapasztalunk, mert az atmoszféra a valóságban jelentős számban tartalmaz aeroszol részecskéket.

Tekintve, hogy az aeroszol részecskéken történő szóródás (Mie szórás) meghatározása lényegesen bonyolultabb, ezért munkánkban erre nem térünk ki. A műszeres látástávolság-mérő berendezések egy fényforrás intenzitásának egy adott távolságon (kb. 0,5 – 0,8 m) történő gyengülésének mértékéből határozzák meg a  $\sigma_R + \sigma_M$  értéket, melyből a Koschmieder-formula alapján, a meteorológiai látástávolság meghatározható az átvilágított légrézre vonatkozóan. A légkörben azonban az aeroszol koncentrációjának és típusának eloszlása rendkívül inhomogén, így a pl. egy repülőter esetén a domináns látástávolság meghatározását – az esetek döntő többségében – nem lehet műszeresen meghatározni! Ezért történik a meteorológiai látástávolság meghatározása a bevezetőben leírt módon.

## **A ROBINSON 2244/IR FNPT I. HELIKOPTER-SZIMULÁTOR ÉS A LÁTÁSTÁVOLSÁG ÉRTÉKEK BEÁLLÍTÁSA**

A helikopter-szimulátorok installálásának általános szabályai szerint, egy megfelelően elsötétített helyiségben került elhelyezésre a helikopter-szimulátor minden fontosabb eleme (*I. ábra*). A rendszer csaknem teljes körű repülési élményt biztosít, egyetlen hiányossága a teljes helikopter-szimulátorokhoz viszonyítva, hogy nem rendelkezik hidraulikus kabinmozgatórendszerrel, amely a pilóták egyensúlyérzékére is hatást gyakorolhat. Szoftveres alapja a Microsoft Flight Simulator 2004 módosított verziója, amely rendelkezik a nagyobb magyarországi repülőterek nagy felbontású háromdimenziós virtuális modelljével. A szimulátorban lehetőség van repülési és navigációs eljárások, valamint rádióközlemények végrehajtásának gyakorlására is.

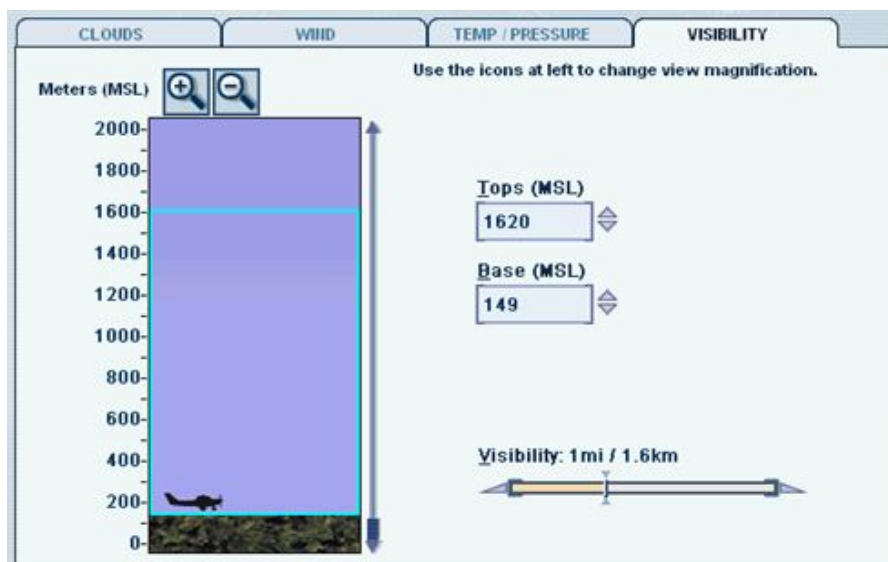


**1. ábra.** A ROBINSON 2244/IR FNPT I. helikopter-szimulátor átnézeti képe.

A rendszer elhelyezésének, és nagy megjelenítő felületének a célja, hogy a pilóták látóterét minél teljesebben kitöltse, ezáltal növelve a szimuláció valósághűségét. Három video-projektor a pilótakabin előtt-mellett lévő három vászonra vetíti az oktatói vezérlőrendszer számítógépein futó program által alkotott képet, így a látóteret vízszintesen  $180^\circ$ -ban függőlegesen  $60^\circ$ -ban tölti ki (1. ábra). Az így kapott, és a repülési helyzet függvényében változó vizualizáció folyamatos, és nagy pontosságú.

Az adott repülésre vonatkozó légköri adatokat, mint a hőmérséklet, szél, felhőzet, turbulencia, jegesedés, látástávolság, légnyomás és csapadék értékeit, a Microsoft Flight Simulator program e célra létrehozott grafikus adatbeviteli felületén lehet inputként megadni. Egy specifikus időjárási központra viszonyítva felvihető egy korlátlan számú, különböző tulajdonságú rétegekből álló vertikális légköri profil (Williams, 2006; van West és Lee-Cummings, 2007). A rétegek határai egészen az 50000 m-es maximális tengerszint feletti magasságig 20 m-es függőleges pontossággal meghatározhatóak, meteorológiai tulajdonságaik tetszés szerint alakíthatóak.

A megadható – jelenleg csak minden irányban megegyező – meteorológiai látástávolsággal jellemezhető réteg alsó (base) és felső (tops) határának tengerszint feletti magassága (MSL) tetszőlegesen beállítható. Az adott rétegre jellemző látástávolság értéke egy csúszkával választható meg a következő lehetőségek közül: 100m, 200m, 400m, 800m, 1200m, 1600m, 3200m, 4800m, 8km, 16km, 32km, 48km, 64km, 80km és korlátlan (unlimited) (2. ábra). A felsorolt (beállítható) látástávolság értékek jól igazodnak a repülésben alkalmazott fontosabb határértékekhez pl. 5000m, 3000m, 1500m, 800m, mely értékek bekövetkezése esetén a repülőtéri meteorológiai szolgálat ún. SPECI táviratot is köteles kiadni, figyelmeztetve a hajózó személyzetet a szignifikáns határérték átlépésére. Természetesen lehetőség van több repülési szintre vonatkozóan is megadni a látástávolság aktuális értékét, ami a felhőzetben kialakuló látástávolság szimulációjára szolgál (pl. numerikus időjárás előrejelzési produktumok adatai alapján).



**2. ábra.** A meteorológiai látástávolság (visibility) értékének repülési szintek szerinti beállításának lehetősége a helikopter-szimulátor adatbeviteli felületén.

## **A HELIKOPTER-SZIMULÁTOR LÁTÁSTÁVOLSÁG-VIZUALIZÁCIÓ MEGBÍZHATÓSÁGI VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZERE**

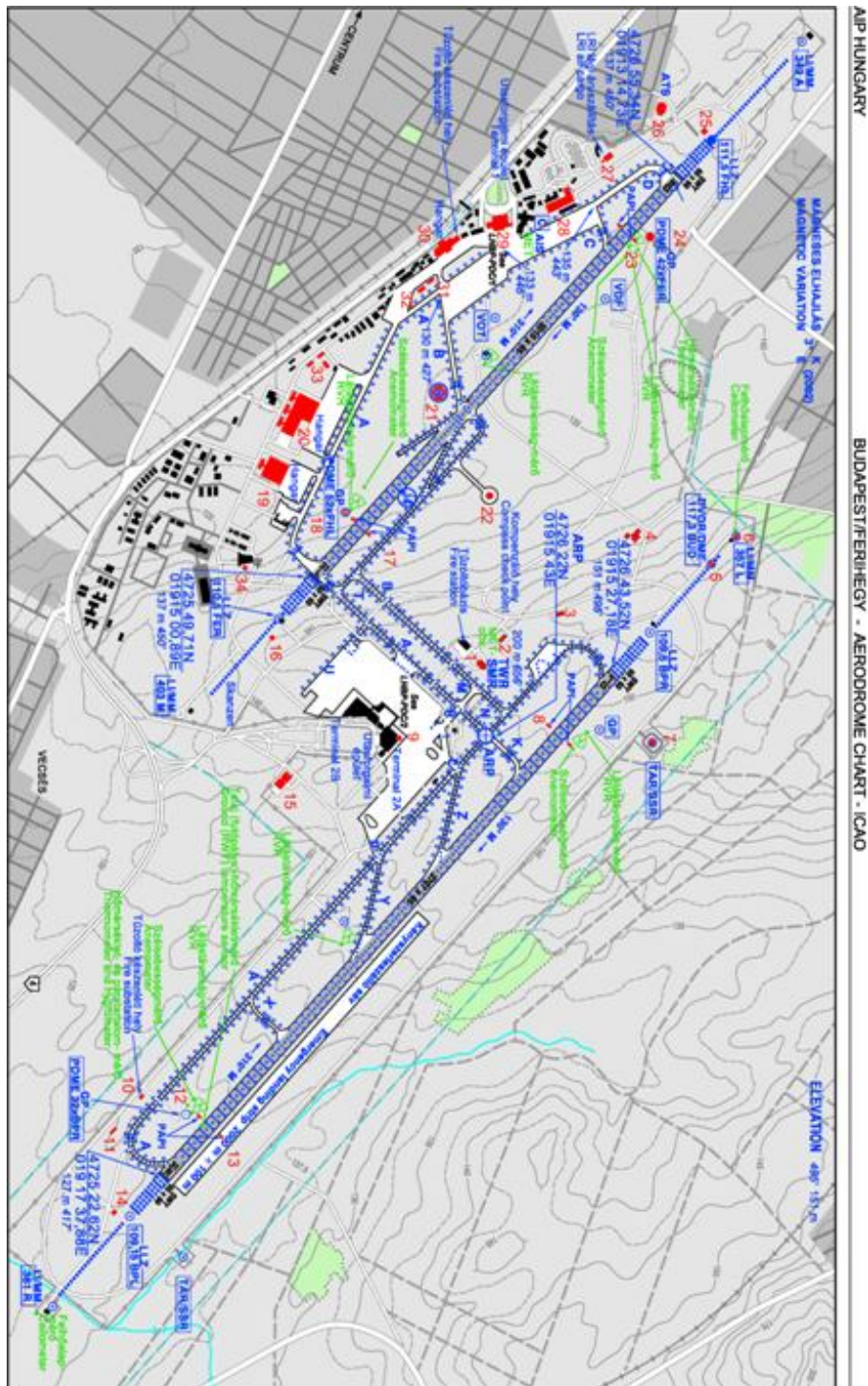
A helikopter-szimulátor légköri környezet-modelljének megjelenítési pontosságát csak az 5000 m alatti látástávolság értékek esetén vizsgáltuk, hiszen ha a megjelenítés pontossága ebben az intervallumban elfogadható és állandó, akkor feltételezhető a pontosság megtartása a nagyobb látástávolságok esetén is. A szimulátor által megjelenített látástávolság felméréséhez olyan, jól látható, a vizualizációs alrendszer által megjelenített háromdimenziós objektumokra van szükségünk, melyeknek pontos helyzete, és a megfigyelőtől való távolsága ismert, vagy mérhető.

A vizsgálat helyszíneként felhasználtuk Budapest Ferihegy (LHBP) nemzetközi repülőtér háromdimenziós modelljét, amely a legrészletesebb vizuális kidolgozottsággal rendelkezik a szimulátorba illesztett magyarországi repülőterek közül. A látástávolság meghatározásának korábban említett módszerének megfelelően, a valóságnak megfelelő helyen elhelyezett, jól felismerhető, háromdimenziós objektumok azonosítására volt szükség a virtuális repülőtér-modellen. Ehhez felhasználtuk az ICAO (International Civil Aviation Organisation) szabvány alapján készített, a Ferihegy (LHBP) repülőteret ábrázoló felszíni térképet, amely a Magyar Légiforgalmi Tájékoztató Kiadványban (AIP HUNGARY – Aeronautical Information Publication) megtalálható. A szimulátorral a virtuális repülőtér-modell felett „felderítő repülést” végeztünk, melynek során a sikeresen azonosított objektumokat a mellékelt térképen piros színnel kiemeltük és sorszámmal láttuk el (3. ábra). A tereptárgyak kiválasztásánál figyelemmel kellett lennünk arra, hogy az 5000 m alatti távolságok esetén – a korábban említett ún. beállítható látástávolságok – jól reprezentáltak legyenek.

Ahhoz, hogy a meteorológiai adatbeviteli felületen beállítható látástávolság értékeket egzakt módon felmérhessük, szükségünk volt az azonosított objektumoktól számított és a korábbi értékeknek megfelelő mérési pozíciókra. A megfigyelési pontoknak a szimulált helikopterrel való leszállásra is alkalmasnak kellett lenniük. Ehhez a repülőtér olyan



nevezetes pontjait jelöltük ki, mint a futópálya-küszöb pontok (13L, 13R, 31L, 31R,) és az ARP (Airport Reference Point).



3. ábra. A Ferihegyi repülőtér digitális modelljében azonosított tereptárgyak jelölése az AIP térképén.

Ezután a Ferihegyi repülőtér ábrázoló AIP térképen felmértük az azonosított objektumok és a megfigyelési pontok valós távolságát a futópálya-küszöbtől illetve az ARP-től egyaránt (1. táblázat).

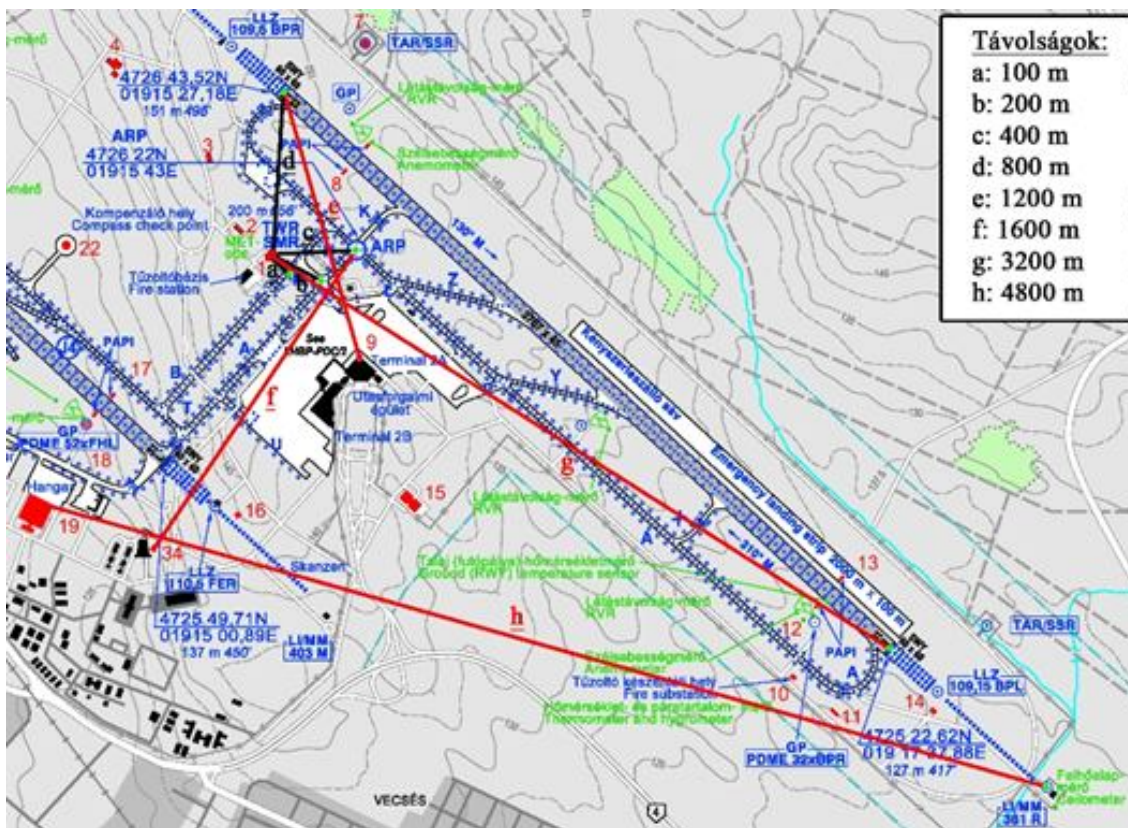
Sorszám	Objektum megnevezése	Megfigyelési pontok, távolságuk (m)				
		13L	13R	31L	31R	ARP
1	Irányító torony (TWR)	800	3000	1050	3200	400
2	Met-obs	662	2800	1100	3600	550
3	Épület	475	2575	1400	3875	800
4	Épület-együttes	800	2050	1800	4500	1375
5	TVOR/DME	875	2200	2250	4650	1625
6	LI/MM 357L	1050	2050	2400	4850	1800
7	TAR/SSR	450	3225	2100	3700	950
8	13L PAPI	475	3175	1550	3350	350
9	2A Terminál (Északi sarok)	1200	3550	1025	2800	500
10	Tűzoltó készenléti hely	3575	6025	3100	475	2825
11	Épület (31R)	3825	6275	3300	375	3050
12	GP, PDME (31R)	3475	6000	3125	375	2750
13	31R PAPI	3450	5975	3125	400	2700
14	Épület (13L LLZ)	4150	6675	3775	350	3400
15	Épület	1950	4025	3525	2300	1125
16	Objektum	1950	3475	425	3125	1325
17	31L PAPI	1600	2675	425	3800	1325
18	RVR mérő/PDME (31L)	1775	2675	425	3875	1500
19	Hangár	2175	2750	575	3975	1975
20	Hangár	2250	2400	800	4250	2025
21	Helikopter-leszállóhely	1825	800	1175	4650	1900
22	Kompenzálóhely	1200	2050	1050	4225	1325
23	13R PAPI	2450	450	2625	5925	2925
24	GP/PDME (13R)	2475	375	2700	5975	2950
25	Épület	3100	300	3350	6625	3600
26	ATS	3175	450	3275	6650	3550
27	Épület	2850	375	2900	6300	3350
28	„L” Épület	2625	700	2475	5900	3025
29	1 Terminál	2575	1050	2250	5675	2875
30	Hangár	2575	1300	2025	5475	2775
31	Készenléti épület	2425	1500	1775	5275	2625
32	Készenléti épület	2400	1575	1700	5200	2575
33	Épületcsoport	2425	2250	1250	4700	2325
34	Kémény	2225	3150	475	3500	1600

**1. táblázat.** A Ferihegy repülőtéren azonosított tereptárgyak valós távolságai a vonatkoztatási pontoktól. Pirossal jelölve az ún. beállítható távolságokat jelző értékek.

A fenti táblázatból látható, hogy az azonosított objektumok megfigyelési pontoktól mért távolságértékei egy a 350 m-től 6675 m-ig terjedő skálán oszlanak el, és a beállítható látástávolság értékek egy része is megtalálható közöttük (1. táblázat). Ezek közül kiválasztottuk (és a táblázatban piros színnel kiemeltük) azokat, amelyekre a megfigyelési



pontról való tiszta rálátás biztosított, ezáltal a látástávolság hitelessége felmérhető. A fennmaradó távolsáértékek, melyekre még nem állt rendelkezésre optimális rálátási helyzet, de felmérésük a teljesség érdekében szükséges volt, a következők: 100m, 200m, 4800m. Ezek méréséhez az irányítótornyot (TWR) és a 19. sorszámú ellátott hangárépületet, mint jól látható objektumokat jelöltük ki. A 100 m-es távolság megfigyelési pontjának a B3 gurulót irányítótoronnyal szemben lévő távolabbi szegélyét, a 200 m-esnek pedig az A és M gurulóutak kereszteződését választottuk. A 4800 m-es távolság ideális megfigyelési pontja a 31-es jobb futópálya küszöbénél (31R) lévő felhőalap mérő állomás. A látástávolságok felmérésére így rendelkezésünkre álltak az optimális pozíciók, ezeket a következő térkép-kivágaton szemléltetjük (4. ábra). A megfigyelési pontokat zöld színnel jelöltük, a felméréendő távolságokat pirossal, és aláhúzott kisbetűvel. A jobb láthatóság és elkülöníthetőség kedvéért az 1000m alatti távolságokat fekete színnel húztuk ki (4. ábra).



4. ábra. A beállítható távolságok reprezentálására kiválasztott pozíciók a Ferihegyi repülőtér AIP térképén.

### AZ ADOTT VIRTUÁLIS KÖRNYEZET FELMÉRÉSE

A látástávolság megjelenítésének felmérését a 4. ábra szerinti sorrendben, tehát a kisebbtől a nagyobb távolság felé haladva, minden esetben legalább kettő (az aktuális és egy szomszédos) beállított értéket megvizsgálva végeztük, hogy a kérdéses látástávolság meghatározható legyen (ezt az elvet használják a repülőtéren dolgozó észlelők is a horizontális látástávolság meghatározásakor). Mindegyik beállítható látástávolság értéket megvizsgáltunk a fentebb leírtaknak megfelelően. Az alábbiakban – terjedelmi okokból adódóan – csak a 200m, 1600m és a 3200m beállítható látástávolság értékhez tartozó vizsgálatot mutatjuk be.



A 200 m-es látástávolság felméréséhez a kijelölt megfigyelési pontra repültük a helikoptert, amely jelen esetben az A és M gurulóutak kereszteződése. Ebben a pozícióban a távolságunk a szemben lévő irányítótoronytól 200 m volt. A látástávolságot 400 m-re állítva rögtön körvonalazódik az irányítótorony. Méretéből és távolságából adódóan teljes egészében megjelenik előttünk a projekciós felületen, továbbá pozíciónk bizonyítékaként a gurulóutakat jelölő sárga vonalak kereszteződése is látható, közvetlenül előttünk (5. ábra). Ugyanezen megfigyelési pozícióból 200 m-re állított látástávolság mellett – az első esethez hasonlóan – csak a torony körvonalai láthatóak, és az ugyan még látható, de már nem válik ki olyan egyértelműen környezetéből. A körülötte lévő fák, és a tűzoltóbázis teljesen elhalványultak. Ebben az esetben a meteorológiai látástávolság ténylegesen 200 m körül van.



**5. ábra.** A 200 m-re lévő irányítótorony látványa a 400 m-es (bal oldali kép) és a 200 m-es (jobb oldali kép) beállított látástávolságnál.



**6. ábra.** Az 1600 m-re lévő kémény megjelenítése 1600 m-es (bal oldali kép) és 1200 m-es (jobb oldali kép) beállított látástávolságnál.

A következő objektum, amely segítségünkre volt, a 31-es bal futópálya küszöbétől 400 m-re déli irányban kimagasló, 34-es sorszámú ellátott piros-fehér színű kémény. A megfigyeléséhez ismét a repülőtér vonatkoztatási pontra (ARP) repültük a helikoptert, innen a kémény távolsága 1600 m, és délnyugati irányra fordulva pontosan előttünk látható. A láthatóság kedvéért a keresett objektumokat piros körrel megjelöltük, és a képek jobb felső sarkában felnagyítottuk. Mindkét képen közvetlenül előttünk láthatóak az A, K, és a N

gurulóutak egymást keresztező középvonal-jelzései. Az 1600 m-re beállított látástávolságnál a kémény és a közeli fák is körvonalazódnak. Jól megfigyelve, még a kémény feltűnő csikozott festése is kivehető. Azonban a látóhatárt 1200 m-es távolságra csökkentve teljesen eltűnik a szemünk előtt, már felnagyítva sem látható (6. ábra). A reprezentált látástávolság tehát 1300 m és 1600 m között van (közelebb az 1600 m-hez)!

Végül a 3200 m-es látástávolság vizsgálatához a helikoptert a 31-es jobb futópálya küszöbéhez állítottuk. A távolban északnyugati irányban kimagaslik az irányítótorony (TWR). 3200 m-es látástávolságot beállítva, az objektum még jól látható. Azonban, ha a látóhatárt a torony távolságánál kevesebbre, a szomszédos 1600 m-es beállítható értékre állítom, az épület már szabad szemmel nem fedezhető fel, sőt, nagyítás mellett sem rajzolódik ki (7. ábra). Ekkor tehát a megjelenített látástávolság 3200 m és 1600 m közötti értéket mutat.



**7. ábra.** A 3200 m-re lévő irányítótorony megjelenítése 3200 m-es (bal oldali kép) és 1600 m-es (jobb oldali kép) beállított látástávolságnál.

## EREDMÉNYEK

Az elvégzett teljes felméréssorozattal sikeresen teszteltük – és egyben be is mutattuk – szimulátor meteorológiai alrendszerének a környezeti modellre gyakorolt hatását a meteorológiai látástávolság tekintetében. A repülőtér méreteiből, a megjelenítés/képrögzítés minőségéből fakadó korlátokat figyelembe véve, az 5000 m-nél kisebb látástávolságokat mértük fel, melyek kialakulása repülésbiztonsági szempontból a leginkább fontosak. A felmérés folyamán láthattuk, hogy a látóhatáron belül elhelyezkedő objektumok tökéletesen azonosíthatók, az azon kívül lévők, pedig nem láthatók. A látóhatáron lévő tárgyak, épületek kissé nehezebben, de felismerhetők, körvonalaik még megjelennek. Ezek alapján joggal állíthatjuk, hogy a látástávolság ily módon szemléltetett megjelenítési pontossága az 5000 m-nél nagyobb távolságok esetében is fennáll, hiszen a látvány előállításához használt – a meteorológiai alrendszerben beállítható – légkörfizikai összefüggéseken alapuló látványgeneráló eljárások ugyanúgy működnek nagyobb látástávolság értékek esetén is.

Fontos azonban megjegyeznünk, hogy a konkrét helikopter-szimulátorban installált meteorológiai alrendszerben csak a korábban említett néhány látástávolság érték állítható be (nagyléptékű diszkretizáció). Éppen ezért, a tesztelés során is csak a legközelebbi értékek alkalmazásával tudtuk a konkrét látástávolságok értékeit vizsgálni, melyek azonban – a nagyobb látástávolságok esetén – jóval messzebb estek a kiválasztott értéktől (pl. 3200 m esetében 1600 m volt a legközelebbi kisebb beállítható érték). Ebből adódik, hogy a 3000 m

körüli látástávolság tartományban csak azt tudjuk megállapítani, hogy a megjelenítés hibája nagyságrendben kisebb, mint néhány 100 m. Az 1000 m-nél kisebb látástávolságok esetén ez a hiba biztosan kisebb, mint 200 m.

Mindezek alapján megállapítható, hogy a helikopter-szimulátor virtuális környezetének megjelenítése a meteorológiai (vízszintes) látástávolság esetében – az adott pontosságra vonatkozó megjegyzések mellett – realiztikus és megbízható.

## **IRODALOM**

Bottyán Zs. (2009): Gondolatok a repülőgép-szimulátorok meteorológiai alrendszerének szerepéről. Repüléstudományi Közlemények.

Bullrich K. (1964): Scattered radiation in the atmosphere and the natural aerosol. *Advances in Geophysics*. Vol 10. 99-260.

Johnson J., C. (1954): *Physical Meteorology*. John Wiley and Sons, New York

Rolfé J., M. and Staples K., J.(1988): *Flight Simulation*. Cambridge University Press.

van West, J. and Lane-Cummings, K. (2007): *Microsoft Flight Simulator X for Pilots: Chapter 13: Weather 2007*.

Forrás: [http://www.avweb.com/news/avtraining/flight\\_simulator\\_x\\_for\\_pilots-chapter\\_13-weather\\_196384-1.html](http://www.avweb.com/news/avtraining/flight_simulator_x_for_pilots-chapter_13-weather_196384-1.html)

Williams B. (2006): *Microsoft Flight Simulator as a Training Aid*, Aviation Supplies & Academics Inc. Newcastle, Washington.