

Munkácsi Zsuzsa – Muntag András – Pávó Gyula –

Weidinger Tamás – Szarvas Gábor

A LÉGIKÖZLEKEDÉSI ZAJ TULAJDONSÁGAI ÉS TERJEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA BUDAPEST-FERIHEGY NEMZETKÖZI REPÜLŐTÉR KÖRNYEZETÉBEN

CÉLKITŰZÉS

A légi közlekedéssel kapcsolatos tevékenység során a környezetet különböző káros hatások érik. Világszerte jelentősen csökken a nagyvárosok repülőtereinek és a lakott területek közötti távolság. Egyre nagyobb tömegeket érint a repülőtéren kívüli tevékenység, illetve a fel- és leszállási műveletek hanghatása.

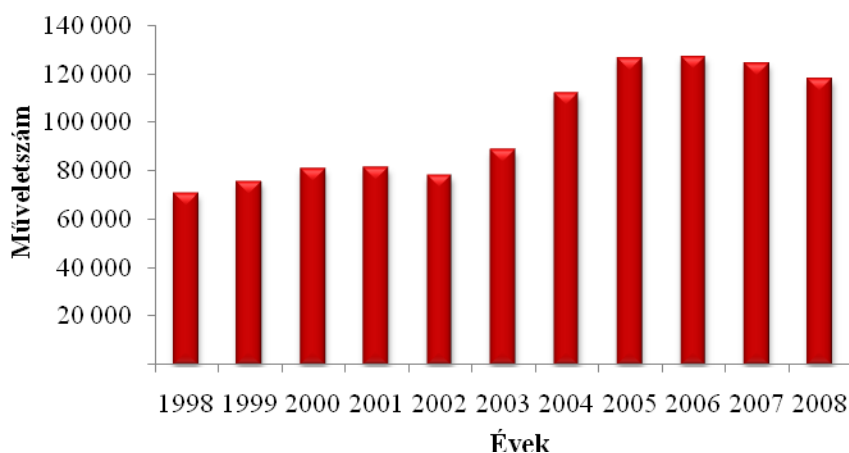
Írásunkban áttekintjük a ferihegyi nemzetközi repülőtér zajjellemzőit, majd a repülési zajt befolyásoló időjárási tényezők lehetséges hatásait elemezzük. Célunk annak megismerése, hogy a különböző időjárási helyzetek okoznak-e kimutatható változást a mért zajszintben, s azok milyen mértékben érvényesülnek. Továbbá, hogy található-e kapcsolat a meteorológiai elemek változásai (mint a szélsébség és irány, relatív nedvesség, hőmérsékleti rétegződés, határréteg vastagság) és a nagyobb zajjal járó repülési események (fel- és leszállások) bekövetkezésében, ami miatt a környékbeli lakosok számára a zajterhelés a szokásosnál is zavaróbb lehet.

A ferihegyi zajmérések feldolgozásában támaszkodunk *Csermely* és *Wantuch* 2009-es munkájára [1], amelyben a szélirány, szélsébség, látástávolság és csapadék zajterjedésre való hatását elemezték két távoli mérőpont adatainak különbségei alapján. Felvetették további meteorológiai elemek, mint a hőmérséklet és a hőmérsékleti rétegződés bevonását is a vizsgálatokba. A nemzetközi szakirodalomból megemlítjük *Clarke et al.* 2004-es cikkét [2]. A szerzők a bostoni repülőtéren folytattak vizsgálatokat az időjárás repülési zajra kifejtett hatásairól. Kidolgozták a NOISM modellt, mellyel az időjárás előrejelzési adatokat figyelembe véve az esetek 95%-ban „meg tudták jósolni” a keletkezett zajt. Az időjárás hatásainak kimutatását a zajcsökkentő repülési eljárások finomítása követte, amellyel sikerült csökkenteni a zajterheléssel érintettek számát. A zajklimatológiai feldolgozások mellett mi is futtattunk egy zajszimuláló modellt (IMMI v6.3.1), hogy alátámasszuk a meteorológiai hatások fontosságát a repülési műveletek zajterhelésében [3], s a későbbiekben zajelőrejelzéseket végezhetünk, s ajánlásokat fogalmazhatunk meg a ferihegyi repülési eljárások tervezéséhez.

BEVEZETÉS

A repülőgépek le-, és felszállása világszerte sűrűn lakott területekhez közel zajlik. A ferihegyi repülőtér is Budapest közigazgatási határának térségében, a város DK-i peremén helyezkedik el.

Magyarországon a regisztrált zajpanaszok jelentős része a légi közlekedéssel kapcsolatos. A repülőterek forgalma világszerte folyamatosan nő. A Budapest-Ferihegy Nemzetközi Repülőtérén a megnyitás évében (1950) 50 ezer utas fordult meg; ezzel szemben 2008-ban az utasok száma meghaladta 8,4 milliót. A gyakorlatban az utasok számával szokás jellemezni a forgalmat, esetünkben a műveletszám¹ a lényegesebb, melynek évenkénti alakulását az 1. ábra szemlélteti. Az elmúlt két évben bekövetkezett gazdasági visszaesés elmúltával a légi forgalom résztvevői további forgalomnövekedésre számítanak.



1. ábra. Műveletszámok 1998–2008 között [4].

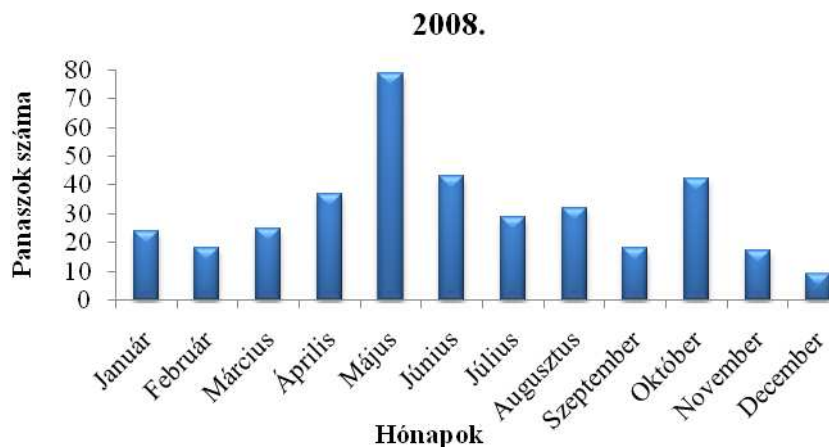
A ferihegyi repülőtéri adatok alapján 2008-ban 373 repülési zajjal kapcsolatos bejelentés érkezett. Ezek havi eloszlását a

2. ábraán szemléltetjük. A májusi kiugró érték háttérében a nyári menetrend növekvő forgalma, illetve új repülés eljárások bevezetése áll, amely az addigiakhoz képest szokatlan útvonalakra irányította a forgalmat. Októberben a téli menetrend bevezetésével járó kevesebb repülés miatt kevesebb panaszt várunk, de ekkor pálya felújítási munkálatokat végeztek, ami miatt a 2-es pálya forgalma megnövekedett. Elsősorban a forgalom intenzitása hat a panaszok számára, de a panaszkezelési tapasztalat azt mutatja, hogy nincs minden esetben ilyen egyértelmű magyarázat.

Légiközlekedéssel kapcsolatos panaszok a Nemzeti Közlekedési Hatósághoz, a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.-hez, és a MALÉV Zrt.-hez is érkeznek. Összehasonlításként: a bécsi repülőtérhez beérkezett panaszok száma évente meghaladja a tízezret [5].

¹ Műveletszám (ATM: air traffic movements): a le-, és felszállási gépmozgások összege.

A ferihegyi repülőtéren a zajvédelmi munka során figyeltek fel arra, hogy a lakossági bejelentések nem mindig köthetőek az átlagostól eltérő repülési terheléshez, vagy géptípushoz. Célunk az ilyen típusú zajesemények vizsgálata volt. Feltételezésünk szerint a zaj-bejelentések idején jellemző időjárási helyzet úgy befolyásolhatja a hangterjedést, hogy azt a lakosok az elfogadhatóbnál hangosabbnak érzékelik. Ennek igazolása, vagy elvetése miatt is, áttekintettük a ferihegyi repülőtér klimatológiai adottságait, majd összevetettük a zajeseményeket az időjárási és a forgalmi adatokkal. A forgalmi események zajhatását az IMMI v6.3.1 zajmodellező szoftverrel szimuláltuk és összehasonlítottuk a mért értékekkel. Vizsgálatainkat 2008. második félévére végeztük. A bemutatásra kerülő zajklimatológiai feldolgozások és a zajesemények okait szemléltető esettanulmányok hozzájárulnak Budapest-Ferihegy Nemzetközi Repülőtér környezeti állapotának leírásához, a repülőtér és a lakosság közötti kapcsolat fejlesztéséhez, a tényszerű tájékoztatáshoz és a zajvédelmi döntések előkészítéséhez.



2. ábra. A Budapest Airport Zrt.-hez beérkezett zajpanaszok (telefon, posta, e-mail) 2008-ban.

A környezeti zaj és hatásai

A környezeti zaj rendelkezik a hangra jellemző tulajdonságok összességével, de emellett olyan akaratlan, vagy káros hang, amelyet emberi tevékenység kelt, és többek számára zavaró. Mindemellett ártalmas az élőlények egészségére is. A Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium 1997. évi becslései szerint az 55 dBA²-nál nagyobb egyenértékű zajszint³ Magyarország népességének körülbelül 58%-át terheli [6]. A zaj káros hatásai többek között halláskárosodásban, stressz okozásában, szív-és érrendszeri betegségekből, és emiatt munkaidő kiesésben, figyelemcsökkenés miatti hibákban nyilvánulnak meg.

² dB: decibel, a hangerősség (intenzitás) mértékegysége. A dBA: decibel *A* frekvencia-súlyozással, amely az emberi hallószerv érzékenységének követésére szolgál.

³ egyenértékű, vagy ekvivalens zajszint (L_{Aeq}): a zajnak meghatározott időre vonatkoztatott négyzetes átlagértékének decibelben kifejezett mértéke (frekvenciasúlyozott).

A repülési zaj

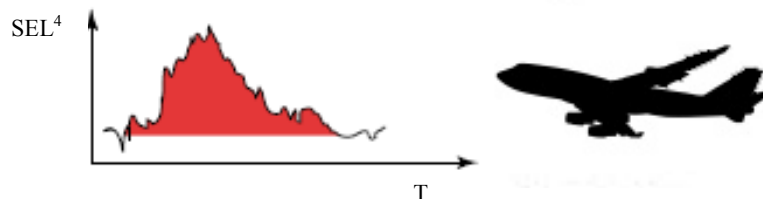
A mai repülőgépek sokkal csendesebb üzeműek, mint a 30–40 évvel ezelőtti elődeik. E kedvező tulajdonságok mellett azonban ma lényegesen több légi jármű üzemel, mint akár 10 évvel ezelőtt és a repülések számával nő a repülőterek környezetére nehezedő zajterhelés is.

Három forrásból származik zaj a repülőgépeken:

- a főhajtóművek és főleg a földön járatott segédhajtómű zaja,
- az aerodinamikai zaj, ami a levegő törzsön, és vezérsíkok mentén való áramlása közben keletkezik. Kis magasságban növeli a zaj erősségét a nagyobb levegő-sűrűség, illetve a nagyobb haladási sebesség.
- a személyzetet érintő zaj, ami az előző kettő csoportba soroltak mellett tartalmazza például a fedélzeti légkondicionáló berendezések zajhatását is.

A repülési zaj impulzusos komponenseket is tartalmazó (3. ábra) állandó szintű mélyfrekvenciás zaj, mely nem tekinthető pontforrásnak, amennyiben az észlelőtől kis távolságra következik be a repülési zajesemény. Nagy távolság esetén a mély frekvenciájú, állandó komponens hallható, ekkor beszélünk pontforrásról.

A repülőgép hajtóműve nyomáshullámokat kelt. Ez az elsődleges zajforrás. A hanghullámok a haladási irány felé eső oldalon sűrűsödnek [7, 8]. Minden repülőgéptípusra sajátos zajszint és frekvenciaspektrum jellemző. Az jelenti a problémát, ha a zaj frekvenciája a hallható tartományba esik.



3. ábra. Az impulzus-szerű repülési zaj sematikus ábrázolása [9].

A nemzetközi polgári repülésről Chicagóban 1944-ben aláírt egyezmény alapján 1971-ben fogadták el a Chicagói Egyezmény függelékeit (Annexek). Ennek alapján várják el a repülőtér üzemeltetők a „zajbizonyítvány” bemutatását a légitársaságoktól minden egyes üzemeltetett járműre. A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) 16-os Annex-e a környezetvédelemre (azon belül a zajvédelemre) vonatkozó nemzetközi szabványokat és ajánlásokat tartalmazza. Ebben a dokumentumban az EPNL zajszintet⁵ tüntetik fel, melynek alapján a légi járműveket kategóriákba sorolják, és kiszámítják a zajdíjat, amit minden egyes művelet után ki kell fizetnie a légitársaságnak.

⁴ SEL: Zajesemény-szint (Sound exposure level)

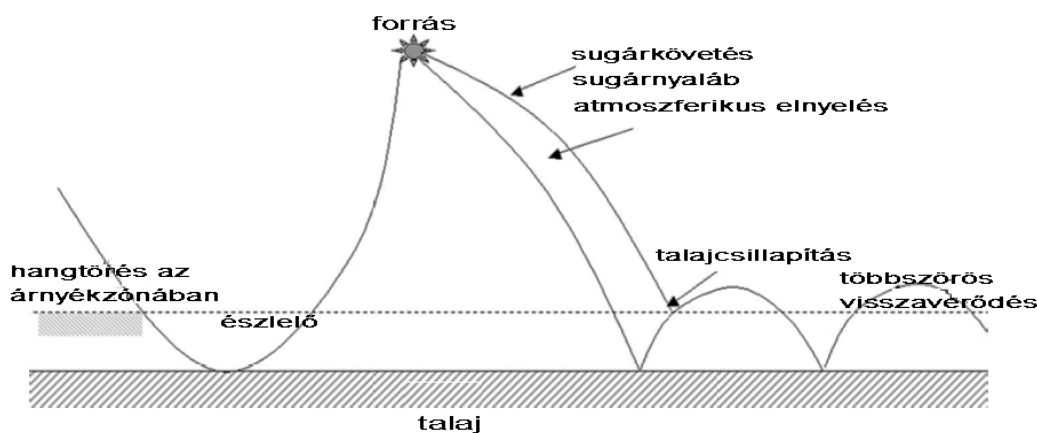
⁵ EPNL zajszint: Effektív érzékelt zajszint (Effective perceived noise level).

Zajvédelem

A zajvédelmi lehetőségeket prioritásuk szerint célszerű kezelni. Elsődleges fontosságú és leghatékonyabb a zaj-emisszió csökkentése különböző technológiai megoldásokkal. Ezt követi a zajterjedés (transzmisszió) csillapítása, ami a légi járművek földi műveletei esetében például zajvédő dombok emelésével lehetséges, repülések esetén pedig többek között az útvonaltervezéskor lehet és kell megfelelő védőtávolságot biztosítani a lakott területektől. Harmadik lehetőség a „zajt elszenvedő” védelme például személyi védőeszközökkel [10]. Ez utóbbi prioritás a ferihegyi repülőtéren a 2008-ban indított passzív akusztikai védelmi programban valósult meg. Modellszámítások alapján meghatározott, a zajnak leginkább kitett területeken a lakóingatlanokat zajvédelemmel látták el – ez is az utóbbi évek környezetvédelmi fejlesztéseinek az eredménye.

A zajterjedés és az időjárás kapcsolata

Szabadon álló, mozdulatlan hangforrás esetén, állandó hőmérsékletű, tiszta, száraz és mozdulatlan levegőben a hanghullámok minden irányba azonos sebességgel terjednek. (A hangforrástól távolodva kétszeres távolságban ~6 dB-lel csökken a hangintenzitás szint.) Bármilyen egyéb eltérés torzulásokat okoz a hanghullámok koncentrikus gömbjeiben, ahogy az a 4. ábrán is látható.



4. ábra. A szabad térben történő zajterjedés sajátosságai [2].

A zaj terjedését befolyásoló tényezők:

- a forrás típusa (felület, vonal-, vagy pontforrás),
- az észlelő forrástól való távolsága,
- akadályok, falak épületek,
- talaj elnyelés,
- visszaverődés,
- atmoszferikus csillapítás,
- szél,
- hőmérséklet, és hőmérsékleti gradiens,
- légnedvesség,
- csapadék [9].

A hang erőssége és terjedése a felsoroltakon kívül függ a levegő vertikális hőmérsékleti rétegződésétől. Megjegyezzük, hogy a magas hangok a távolság növelésével gyorsabban csillapodnak, mint a mélyek. A hőmérséklet növekedésével és a relatív nedvesség csökkenésével a zajcsillapítás növekszik, míg a csapadéktevékenység csupán kis mértékben befolyásolja (inkább növeli) a zajhatást [1, 8, 11].

A FELHASZNÁLT ADATBÁZIS

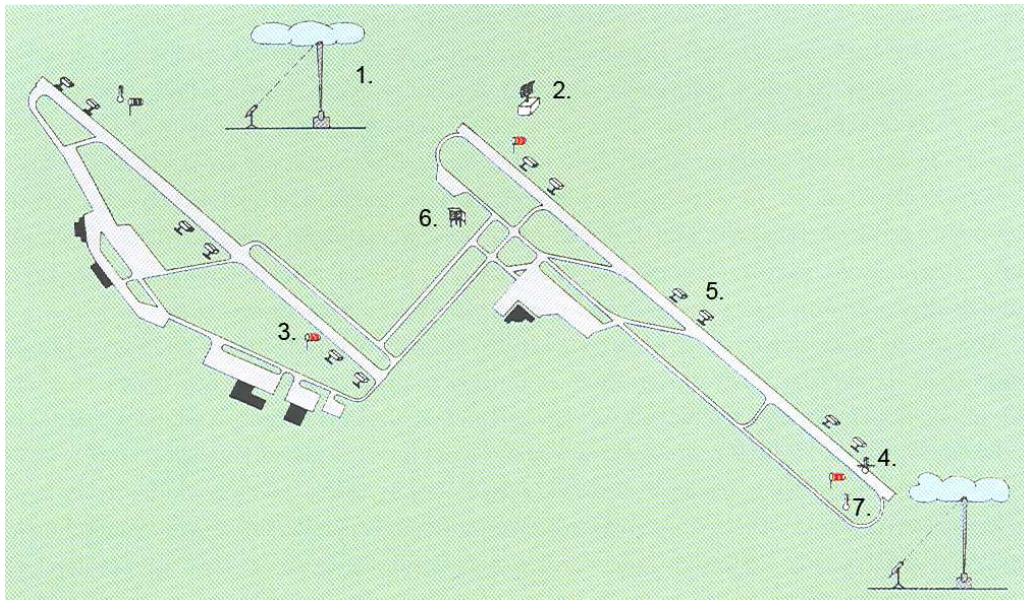
A vizsgálatainkban repülőtéri forgalmi adatokat (járatszám, géptípus, fel- és leszállási idő, pályavég) a zajmérő rendszerből származó információkat és a meteorológiai mérési eredményeket (felszíni és rádiószondás adatok) használtunk fel. Munkánkban a lakosságot érintő zajterhelés hátterére koncentráltunk. Minden esetben a főváros felé eső repüléseket, illetve a futópályák ÉNy-i meghosszabbításában elhelyezkedő, azokhoz a legközelebb eső 2. és 3. számú zajmonitor állomások (5. ábra) értékeit vettük figyelembe. Fontos megjegyezni, hogy a fővárosi területről érkezik a zajpanaszok 92%-a [4].



5. ábra. A zajmonitor állomások elhelyezkedése a ferihegyi repülőtér körül [4].

A meteorológiai adatbázist úgy építettük fel, hogy térben és időben a lehető legmegbízhatóbban reprezentálja a zajeseményeket. Ezért használtuk fel a közeli pestszentlőrinci Marczell György Meteorológiai Főobszervatórium (Országos Meteorológiai Szolgálat, OMSZ) rádiószondás

méréseit (00 és 12 UTC), amikor a déli és éjszakai gépmozgásokat vizsgáltuk. Más esetekben a repülőtér területén elhelyezkedő meteorológiai műszerkert (6. ábra) nagy felbontású méréseit használtuk. Klimatológiai feldolgozásokhoz további, interneten is könnyen hozzáférhető észleléseket alkalmaztunk (pl. vecsési meteorológiai mérések [12]).



6. ábra. A pályák mentén elhelyezett meteorológiai műszerek helyzete:

- 1 – felhőalap mérő; 2 – meteorológiai radar; 3 – szélirány és szélsébség mérés; 4 – betonhőmérő;
5 – látástávolság mérő; 6 – meteorológiai műszerkert; 7 – léghőmérséklet-mérő [13].

A zajmonitor rendszer

A ferihegyi repülőtér működtető Budapest Airport Zrt. fontos feladata – a 18/1997. (X.11.) KHVM-KTM együttes rendelet alapján – a zajszennyezés mérése, a hatóságok és a lakosság tájékoztatása. Ezt szolgálja a hat fix mérőpontból álló repülőtéri mérőrendszer (5. ábra) és a mobil zajmérő egység. Az állomások folyamatosan mérnek. A legnagyobb felbontású adat a másodperces, az állomás ebből önállóan képi az óránkénti statisztikát, vagyis a háttér (*Bacgr* L_{eq}), a zajesemény (*Event* L_{eq}) és az együttes zaj L_{eq} értékét. Felhasználtuk továbbá az (L_{max}^6) értékeket is.

Zajeseménynek a meghatározott, esetünkben a 70 dB küszöbszintet (SETL) meghaladó zajt nevezzük. Ha a zaj ezt legalább 10 másodpercig meghaladja (manuálisan beállítható érték), akkor jegyez fel az állomás zajeseményt. Az állomás által szolgáltatott idő -, és koordináta - adat, továbbá a hangfelvétel segít azonosítani, hogy a zaj repülési eredetű volt-e.

A rendelkezésre álló nagyszámú és sok paramétert (háttér zaj, egyenértékű zajszint, zajesemény szint, maximum és minimum értékek, kétperces, órás és napos átlagok, stb.) tartalmazó adatbázisból néhányat kiragadva szemléltetjük a lehetséges összefüggéseket.

⁶ L_{max} : a vizsgált zaj adott időállandóval mért legnagyobb (A-) hangnyomásszintje a mérési idő alatt.

A rádiószondás mérésekből lezármaztatott mennyiségek

A repülési folyamatokban kiemelt szerepe van a felszín közeli légtérnek. Ezért külön is foglalkozunk a planetáris határréteg (Phr) szerkezetével, stabilitási viszonyaival. Az OMSZ rádiószondás adatbázisából határoztuk meg a Phr vastagságát, az alsó 300 m-es, illetve a határréteg (ha az 300 m alatti) hőmérsékleti gradiensét, szélesebesség és szélirány nyírását. E paraméterek a legfontosabbak a hangterjedés szempontjából.

A planetáris határréteg (Phr) a légkör alsó 0,1–2 km-es rétege, ahol a felszín, mint mechanikus és termikus kényszer hatása megjelenik. Ez a szélfordulási vagy Ekman-réteg (környezetvédelemben a keveredési réteg). Itt a súrlódási erő összemérhető a nyomási gradiens erővel, illetve az eltérítő (Coriolis-) erővel. A határréteg szerkezetét a mechanikai és termikus eredetű turbulens örvények alakítják. Ezek a változások órák vagy annál rövidebb időskálán zajlanak le. A Phr vastagsága időben és térben is változik, de jellegzetes napi menettel rendelkezik. Nappal (konvekció) magasabb, éjjel (stabil rétegződés, mechanikus turbulencia) alacsonyabban helyezkedik el.

A planetáris határréteg magasságának megadására két eljárást alkalmaztunk: (I.) felhasználtuk az ECMWF (Európai Középtávú Előrejelzési Központ) modelleredményeit, illetve (II.) a pestszentlőrinci (12843) rádiószondás mérések (Temp távirat) alapján számítottuk ki. Konvektív Phr esetén (12 UTC rádiószondás adatok) az ún. részecskemódszert [14] alkalmaztuk.

E módszer a virtuális potenciális hőmérsékleti profil vizsgálatán alapul. A magasság szerinti virtuális potenciális hőmérsékleti profilon megkeressük, hogy melyik az első magassági szint, ahol a profil újra felveszi a kiindulási, azaz a felszínen vagy annak közelében mért virtuális potenciális hőmérsékleti értéket. A kapott magasság a Phr teteje.

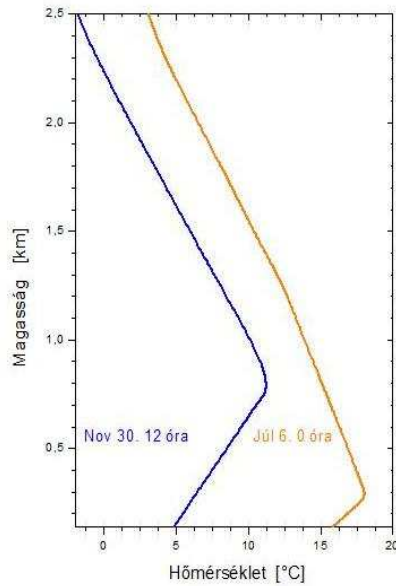
Virtuális hőmérsékletnek azt a hőmérsékletet nevezzük, amely a száraz levegőt jellemezné, ha adott nyomáson sűrűsége megegyezne az r [kg/kg] keverési arányú nedves levegő sűrűségével:

$$T_v = T(1 + 0,608 \cdot r) \quad (1)$$

ahol T_v a virtuális hőmérséklet, és T a léghőmérséklet. A virtuális potenciális hőmérséklet pedig az az érték, amit ez a légréteg felvenne, ha száraz adiabatikus folyamat során azt 1000 hPa-os nyomási szintre (p_0) vinnénk:

$$\theta_v = T_v \left(\frac{p_0}{p} \right)^{0,286} \quad (2)$$

A vízgőzt tartalmazó levegő keverési arányát a vízgőz, és a száraz levegő tömegaránya adja.

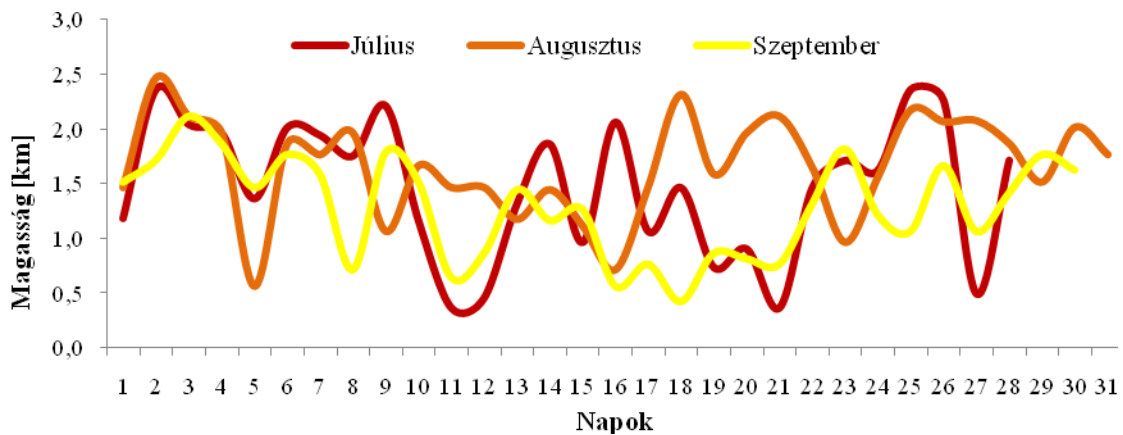


7. ábra. A nappali (konvektív) és az éjszakai (stabilis) határréteg szemléltetése.

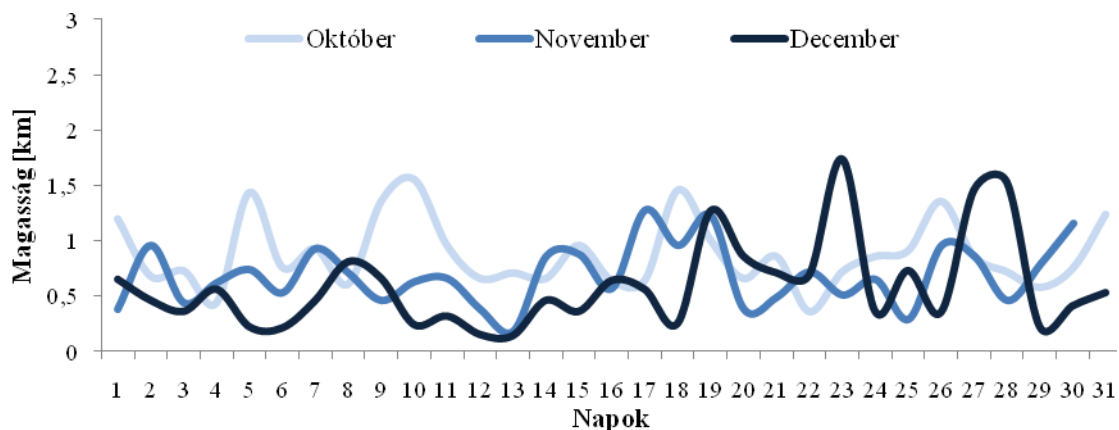
Ha a virtuális potenciális hőmérsékleti profil nem tette lehetővé a déli konvektív határréteg vastagság egyértelmű meghatározását, akkor a markáns pontok (hőmérsékletben, szélességben, páratartalomban bekövetkező ugrásszerű változások) alapján becsültük a magasságot.

Az éjszakai értékek esetében a hőmérsékleti inverzió, illetve a felszín közeli szélmaximum alapján becsültük a határréteg vastagságát. A határréteg minimális vastagságát 100 m-nek tekintettük. A 7. ábra a virtuális potenciális hőmérséklet változását szemlélteti egy téli napon délben és egy nyári éjszakán.

A 8. ábra és a 9. ábra mutatja a vizsgált időszakban (2008. második félév) a határréteg magasság értékeit a 12 UTC-s rádiószondás mérések alapján. (Az éjszakai határréteg vastagságokat itt külön nem elemizzük.) Jól látszanak a nyári magasabb és a téli alacsonyabb Phr értékek. A napok közötti változékonyság az időjárási helyzet (makrocirkulációs típus, frontátvonulások) hatását mutatja.



8. ábra. 2008. július, augusztus, szeptember hónapok Phr magasságai a 12 UTC-s budapesti (12843) rádiószondás mérések alapján.



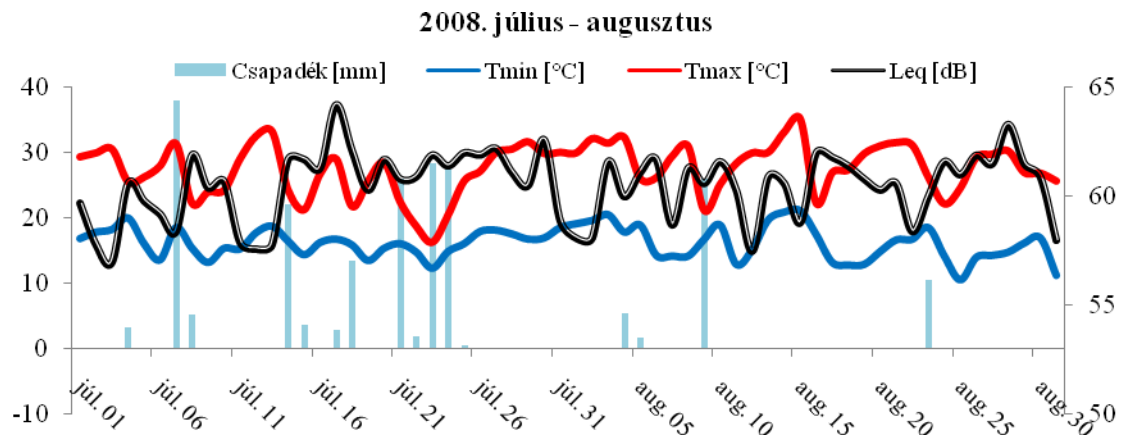
9. ábra. 2008. szeptember, október, december hónapok Phr magasságai a 12 UTC-s budapesti (12843) rádiószondás mérések alapján.

Miért fontos a Phr ismerete a zajterjedés vizsgálatánál? A 2. zajmonitor állomás fölött a leszálló gépek a kötelező 3°-os ereszkedési szög miatt minden érkezésnél ~ 110 m magasan repülnek. A nyáron jellemző magas nappali határréteg, az erős turbulencia, nem jelenthet markáns hatást a zaj terhelésre, inkább mérsékli azt. A téli hónapokra meghatározott Phr magasságok közelebb esnek bizonyos napokon ehhez a repülési szinthez így ezekben a hónapokban felerősítik a már amúgy is jelentős alacsony hőmérsékletű (nagyobb sűrűségű) levegő zajterjedésre gyakorolt hatását. Télen a mechanikus turbulencia dominál. Megjegyezzük, hogy éjszaka a téli hónapokban gyakran találkozunk 100 m körüli Phr magasság értékekkel.

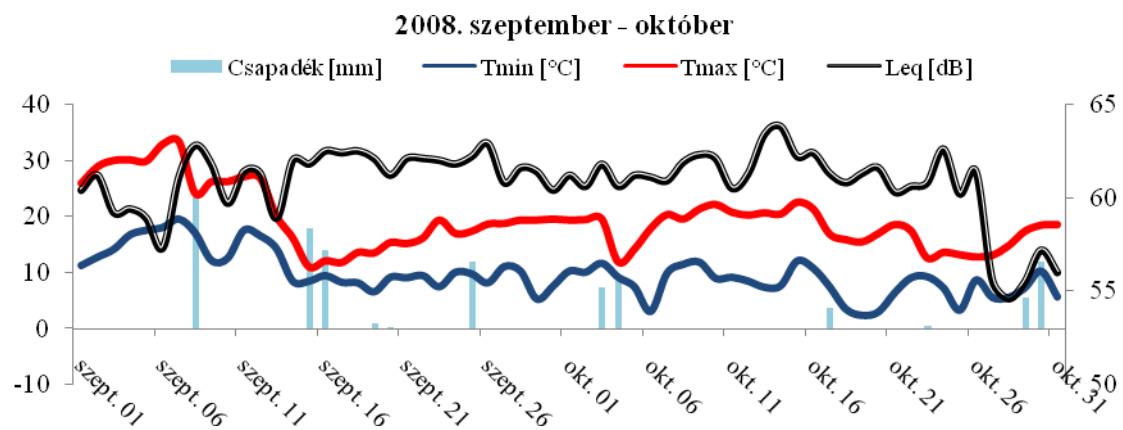
Az induló gépek magassági adataiban, a leszálló gépekkel összehasonlítva, nagyobb szórást tapasztalunk, mert csak egy minimális emelkedési szög van számukra meghatározva, s a repülőgép helyzete sok egyéb tényezőtől is függ: a felemelkedés helye, a gép teljesítménye, terheltsége, a levegő hőmérséklete, a szélprofil alakja, célállomás iránya stb. Általában 400–1100 m közötti magasságban vannak a gépek a Csévész utcai 2-es számú zajmonitor állomás fölött (5. ábra). Délben szinte mindig a határrétegben repülnek, ami „tovább bonyolítja” az egyes járatok zajszintje és a planetáris határréteg szerkezete közötti kapcsolat meghatározását.

ZAJKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATOK

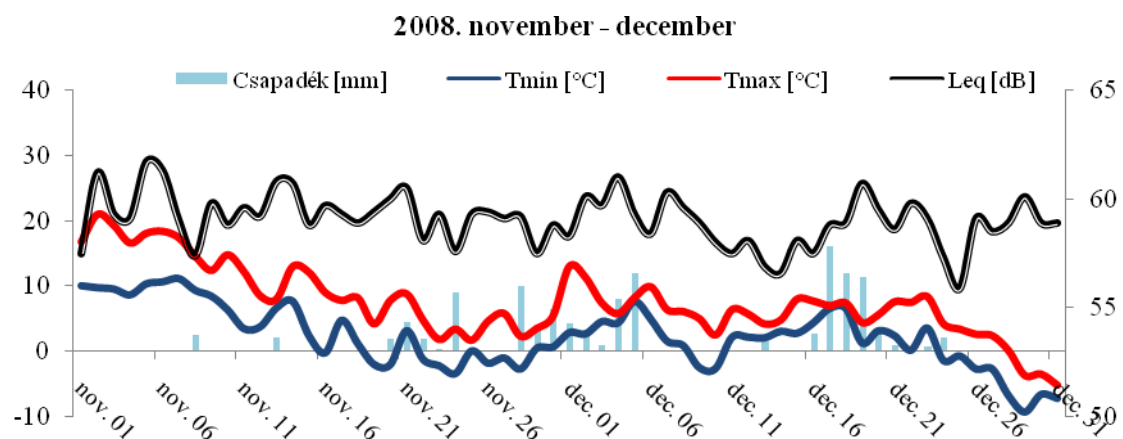
E részben a zajmérések és a meteorológiai állapotjelzők közötti kapcsolatokat elemezzük. Elsőként a 2. számú zajmonitor állomás által mért napi egyenértékű zajszint (L_{eq}) értékeket vizsgáljuk a napi maximum (T_{max}) és minimum (T_{min}) hőmérséklet, illetve a csapadék összefüggésében. A repülőtér környéki klimatológiai adatok Vecsésről származnak [12]. Eredményeinket a 10–12. ábrán közöljük.



10. ábra. 2008. július-augusztus hónap zajklimatológiai ábrázolása.



11. ábra. 2008. szeptember-október hónap zajklimatológiai ábrázolása.

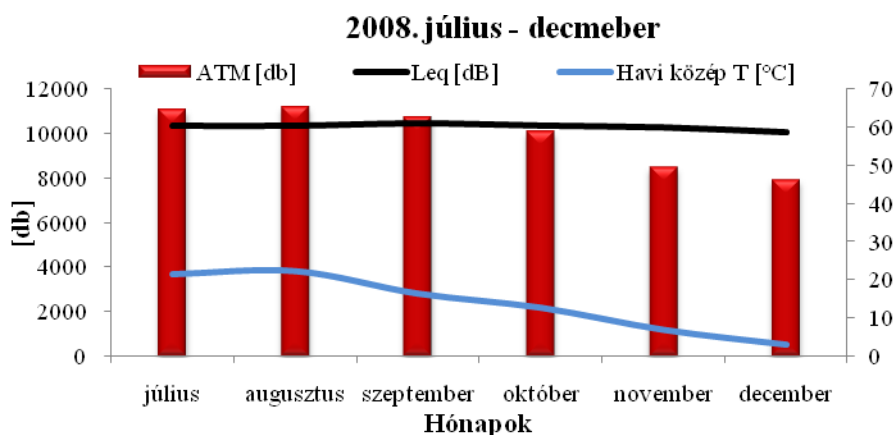


12. ábra. 2008. november-december hónap zajklimatológiai ábrázolása.

Közvetlen összefüggés nem fedezhető fel a hőmérséklet és csapadék adatokkal. Néhány szakaszon azonban követhető – a várakozásoknak megfelelően – a hőmérsékleti csúcsoknál kivehető zajszint csökkenés. A csapadéktevékenység és a zajszint között alig fedezhető fel kapcsolat. Pontosabb

összefüggésekhez – ha egyáltalán számszerűsíthetők – további közelítésekre lenne szükséges, pl. a műveletszámok feltüntetése, repülési irányokra való szűkítés, helyi észlelésű meteorológiai adatok.

Megvizsgáltuk a havi átlagértékeket is. A havi középhőmérséklet, a zajszint (L_{eq}) és a műveletszám (ATM) értékeit a 13. ábra mutatja.

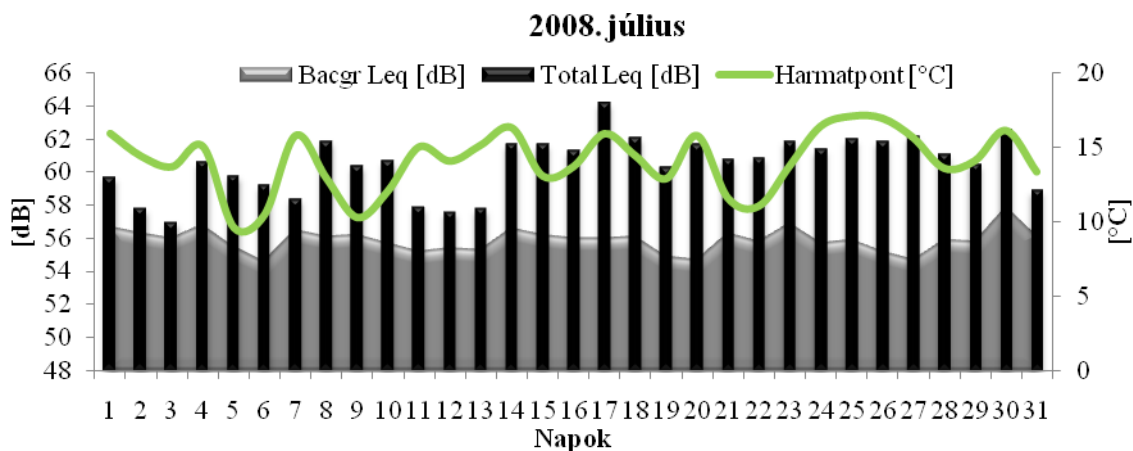


13. ábra. Havi átlagértékek (középhőmérséklet, zajszint, ATM) összehasonlítása 2008. július-december.

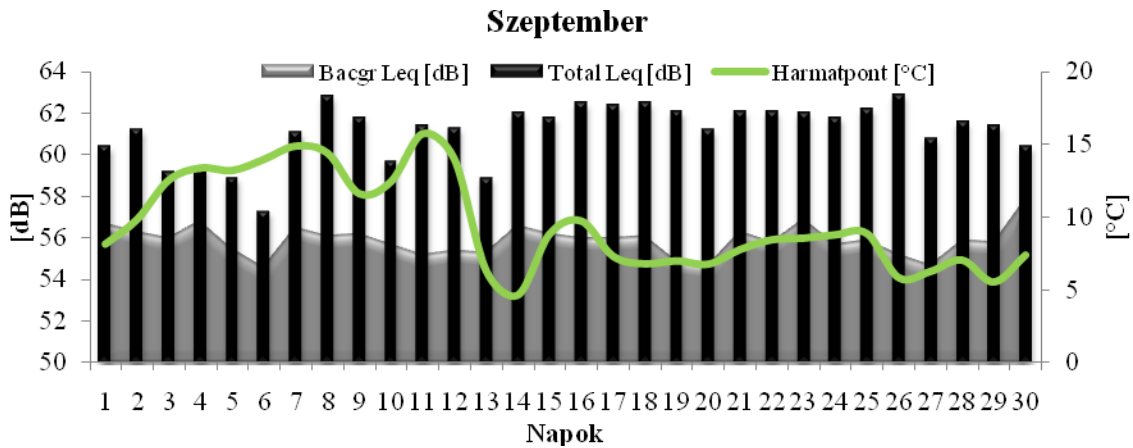
A hidegebb őszi és téli hónapokra magasabb zajszintet várunk a kedvezőbb terjedési feltételek miatt, ezt azonban nem tükrözik a havi átlagos L_{eq} értékek. A forgalmi adatokat vizsgálva megállapítható, hogy a műveletszámokban jelentős különbség van a nyári és a késő őszi illetve téli hónapokban (kb. 30%) – elsősorban emiatt alacsonyabb az átlagos zajszint.

A következő kiragadott meteorológiai állapothatározó a harmatpont. A szakirodalmi adatok alapján itt gyenge kapcsolatot várhatunk. Ezt igazolja a 14. és a 15. ábra. A júliusi és a szeptemberi adatokat mutatjuk be. Itt volt hiánytalan mérési adatsor.

Megjegyezzük, hogy a meteorológiai elemek közül a szélirány bizonyult a legfontosabbnak.

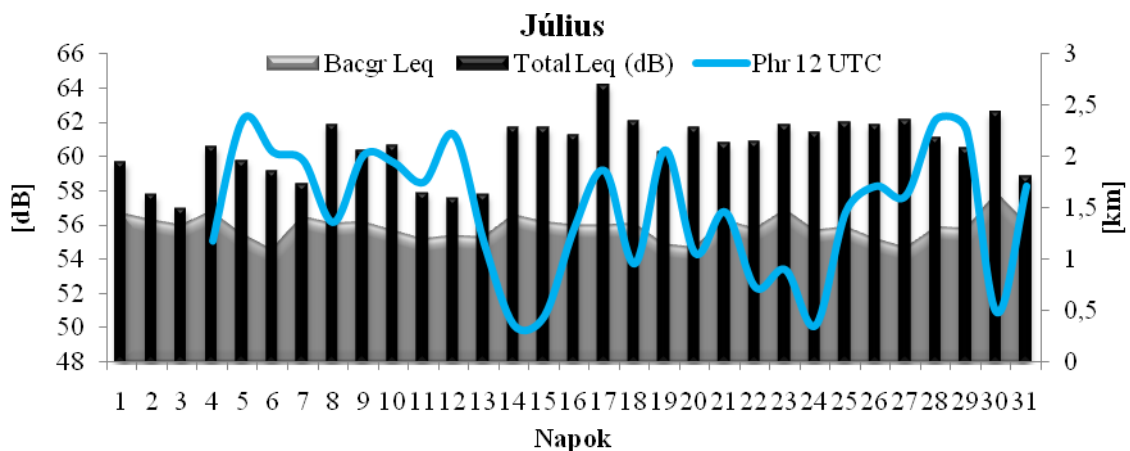


14. ábra. 2008. július hónap harmatpont és zajszint értékei.

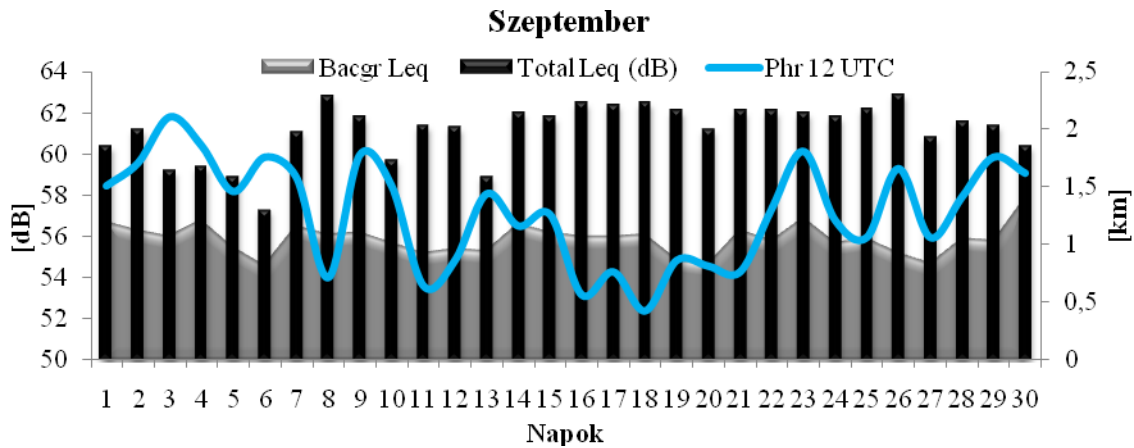


15. ábra. 2008. szeptember hónap harmatpont és zajszint értékei.

A következőkben a 12 UTC-s konvektív határréteg magasság (ami közvetett módon az adott nap Phr fejlődéséről is tájékoztat), illetve a zajesemények napi egyenértéke (Leq) és a háttér egyenérték zajszint (Bacgr Leq) közötti kapcsolatot vizsgáljuk. Itt szintén a júliusi és a szeptemberi adatokat mutatjuk be (16–17. ábra). Nagyobb Phr magassághoz (erősebb besugárzás, konvektív aktivitás illetve intenzívebb turbulens kicserélődés) általában kisebb zajszint tartozik. A 12 UTC-s Phr magasság és a zajszintek közötti korrelációs együttható 0,4 feletti volt. Kimutatható kapcsolat van a két változó között.

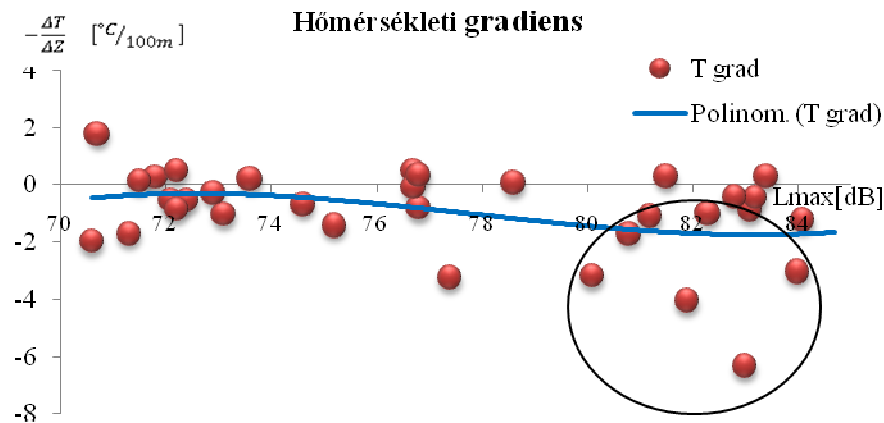


16. ábra. 2008. július hónap 12 UTC-s határréteg magasság és napi átlagos zajszint értékei.



17. ábra. 2008. szeptember hónap 12 UTC-s határreteg magasság és napi átlagos zajszint értékei.

Az elemzés folytatásaként nézzük az éjszakai zajterhelést! Milyen jellegű és erősségű kapcsolatra számíthatunk az éjszakai (22–02 UTC) órákban mért zajesemények, és a 00 UTC-s rádiószondás felszállások alapján számított Phr karakterisztikák között? Vizsgálati eredményeink közül az alsó 300 m-es réteg (illetve, ha alacsonyabb, akkor a Phr) hőmérsékleti gradiense és a zajesemények közötti kapcsolatot vizsgáljuk (18. ábra). Megjegyezzük, hogy erős inverzió (nagy negatív hőmérsékleti gradiens) esetén általában alacsonyabb a határreteg. Erősen stabilis rétegződés esetén (lásd a bekarikázott esetek) a maximális zajszint minden esetben 78 dB feletti. Gyengén stabilis, illetve pozitív hőmérsékleti gradiensek esetén gyakrabban találkozunk alacsonyabb maximális zajszinttel (< 74 dB).

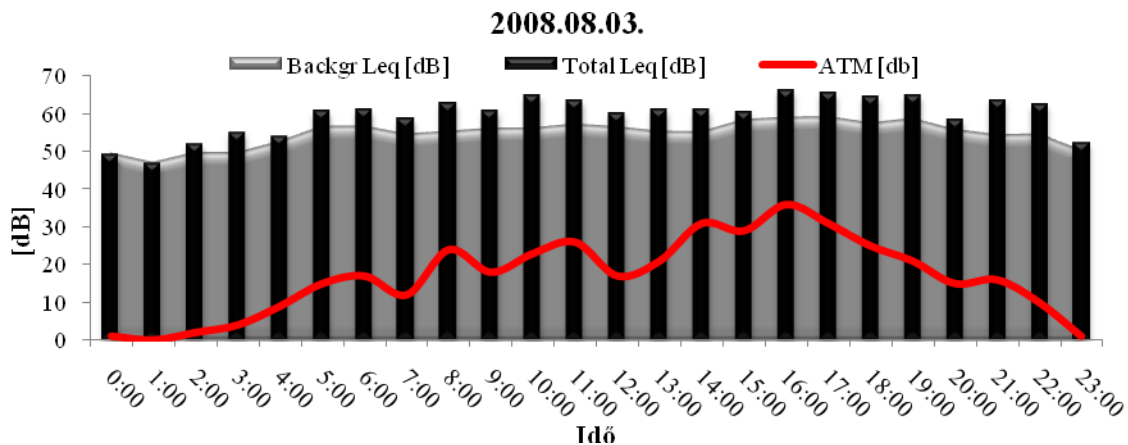


18. ábra. Az éjszakai órákban (22–02 UTC) bekövetkező zajesemények (nagyobb, mint 70 dB) és az alsó 300 m-es légréteg hőmérsékleti gradiense közötti kapcsolat. Erős inverziós helyzetekben (alacsony Phr esetén) nagyobb zajterhelést tapasztalunk.

A klimatológiai vizsgálatokat egy esettanulmánnyal zárjuk. A legforgalmasabb napon (2008. augusztus 3.) elemezzük a forgalom, a zaj (2. számú monitor adatai) és az időjárási paraméterek

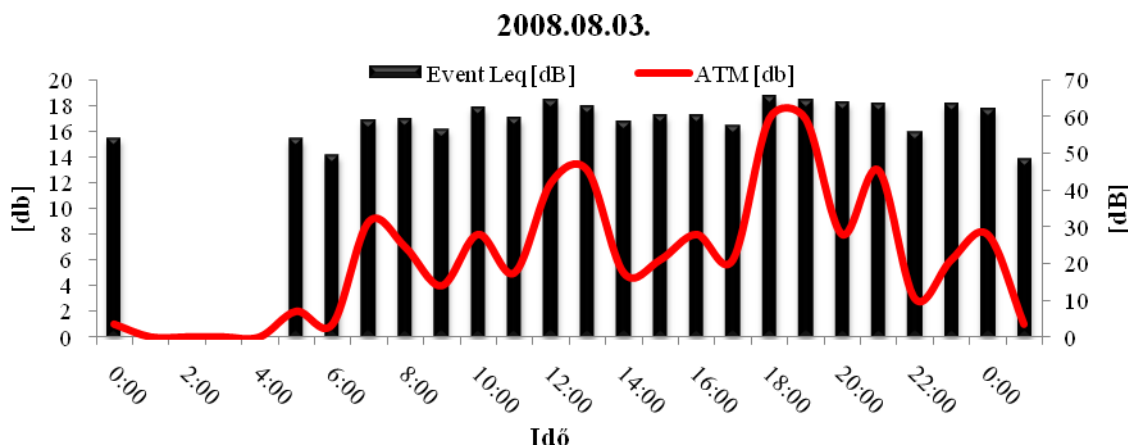
napi menetét (itt a hőmérsékletet és a harmatpontot ábrázoljuk, 19–21. ábra). E napon 404 db gépmozgás (ATM) történt.

A 19. ábrán az óras egyenértékű zajszintek láthatóak a háttér értékekkel kiegészítve a műveletszám tükrében. A zajmérő forgalmas területen való elhelyezkedésének a következménye a magas háttérzaj (*Backgr Leq*), amitől kissé elkülöníthető a repülésből származó zaj, tehát a terület a reptértől függetlenül is megfelel a fokozottan zajos területekre vonatkozó feltételeknek (284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet 4. számú melléklet).



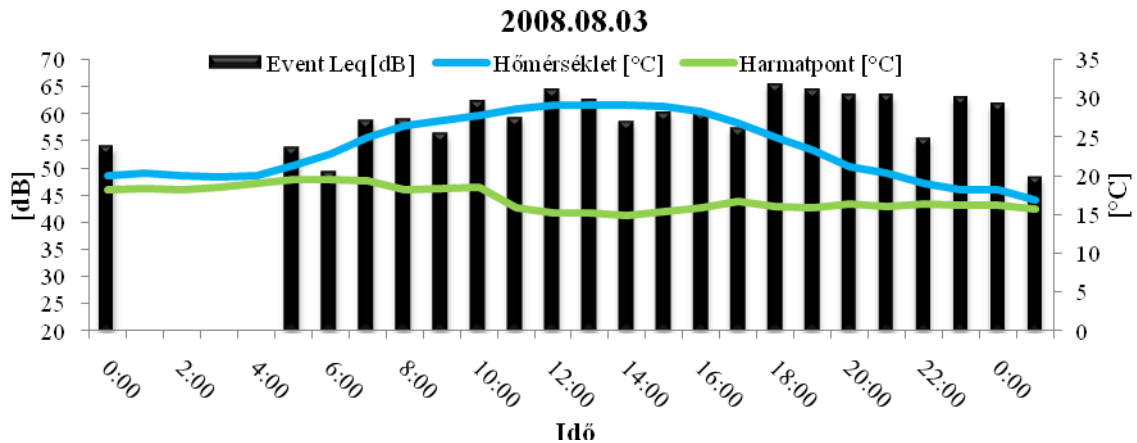
19. ábra. A forgalom intenzitás és a zajszint összefüggése 2008. legforgalmasabb napján.

A zajeseményekhez (*Total Leq*) a tényleges forgalmi események is hozzárendelhetők. E munka eredményét szemlélteti a 20. ábra. Nagyobb műveletszámhoz nagyobb zajértékek tartoznak.



20. ábra. A forgalom intenzitás és a zajesemény szintek összefüggése 2008. a legforgalmasabb napján.

A 21. ábrán a pontosított zajesemény-szinteket ábrázoltuk az augusztus 3-ára jellemző óras hőmérséklet és harmatpont adatokkal együtt. A zajszint változása elsődlegesen a forgalmi adatokat követi, nem pedig a jól fejlett napi hőmérsékleti és harmatpont menetet. Megjegyezzük, hogy az esti órákban a szélirány változása (itt nem szemléltetjük külön ábrán) szintén közrejátszott a zajesemények erősségében.



21. ábra. Órás zajesemény egyenérték, hőmérséklet és harmatpont értékek
2008. legforgalmasabb napján.

A NAPPALI ÉS ÉJSZAKAI ZAJESEMÉNYEK JELLEMZÉSE MAJD MODELLEZÉSE

A meteorológiai és a zajesemények statisztikai vizsgálata után a zajterjedés modellezésével foglalkozunk. A Németországban elterjedten alkalmazott IMMI zajtérképező programot adaptáltuk. Hasonló modellt alkalmaznak a bukaresti repülőtérén is [15]. Célunk hogy a le- és felszálló repülőgépek keltette zaj integrált hatását elemezzük, és összehasonlítsuk a számítási eredményeket a zajmérők adataival. Először készült ilyen jellegű vizsgálat hazánkban. A németországi programfejlesztőkkel konzultálva kiterjesztettük az IMMI v6.3.1 zajterjedési program alkalmazási körét és beillesztettük a hazai zajterjedési szabvány-környezetbe. (E fejlesztő munkát *Muntag András* végezte.)

Ismerkedjünk meg a zajterjedési modell futtatásához szükséges adatbázissal. Ez tartalmazza (I.) a repülési adatokat (járatszám, repülési útvonal, leszállópálya, stb.), (II.) a zajmérések eredményeit (mi a lakott területen levő 2. zajmérő állomás adataival hasonlítottuk össze a modellszámításokat), továbbá (III.) a ferihegyi meteorológiai mérőkert és a pestszentlőrinci (12843) rádiószondás mérések eredményeit (00 UTC és 12 UTC). Az összehasonlíthatóság érdekében 10–14 UTC és 22–02 UTC közötti időszak zajeseményeit elemezzük. Az egységes adatfeldolgozás érdekében az Airbus A320 repülőgépek zajhatását vizsgáltuk.

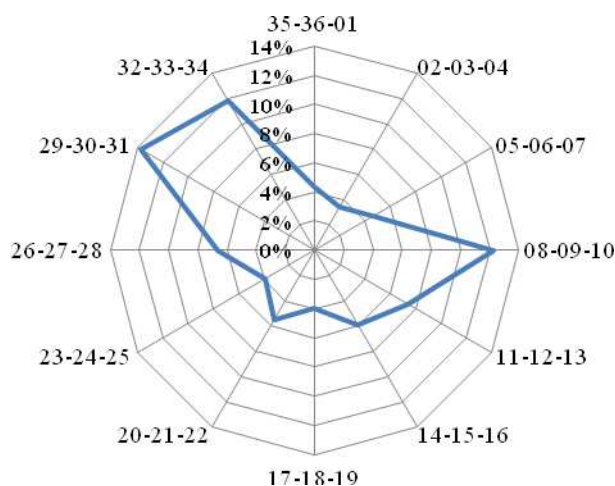
Az elemzést a forgalmi adatok kiválogatásával kezdtük (*1. táblázat*). A 2008. július-decemberi adatokból először kiszűrtük az észak-nyugat felé közlekedő járatokat. A vizsgált időszakban összesen 59 510 gépmozgás történt. A szélirány bemutatásához a rendelkezésre álló legpontosabb adatokat vettük figyelembe. Beazonosítottuk a zajmonitor rendszerben az előre kiválasztott pályairányú, azonos géptípusú forgalmi események zaját, majd a repülőtérén elhelyezett meteorológiai műszerkert (20 m-es mérőtorony) 2 perces felbontású adataiból a járatok indulási idejét alapul véve az azt

megelőző 5, és azt követő 15 perces időintervallumban kiátlagoltuk a szükséges meteorológiai paramétereket. Megjegyezzük, hogy a szélirányt nem lehet direkt módon átlagolni (körkörös valószínűségi változó). Itt az időszak közepén mért szélirányt választottuk.

	Érkezés		Összes érkezés	Indulás		Összes indulás
	0 óra	12 óra		0 óra	12 óra	
Július	4	11	15	4	26	30
Augusztus	4	13	17	3	26	29
Szeptember	3	13	16	1	23	24
Október	6	7	13	1	25	26
November	12	18	30	0	21	21
December	12	15	27	2	24	26
Összesen:	41	77	118	11	145	156

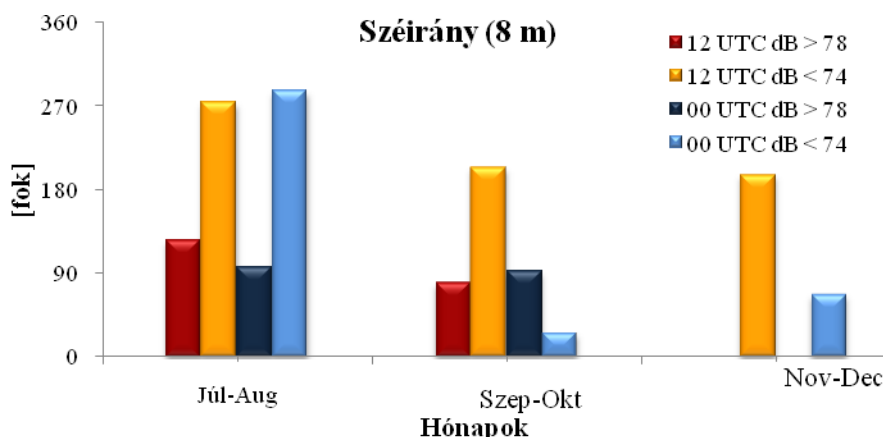
1. táblázat. A modellezéshez kiválogatott műveletszámok 2008 második félévében.

A ferihegyi repülőtéren az északnyugati (ÉNy) és a keleties (K) szélirányok a legjellemzőbbek. Ezt mutatja a 2001–2005 közötti mérések alapján készített szélrózsa (22. ábra). Az átlagos szélsébség 2,5 – 3 m/s.



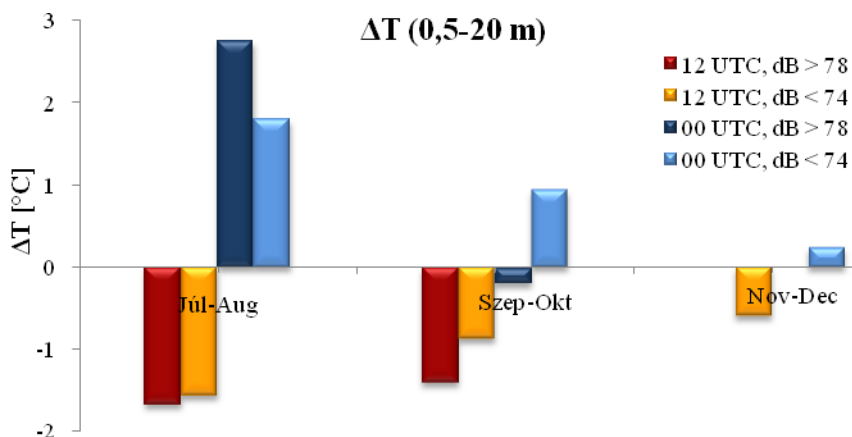
22. ábra Átlagos szélirány eloszlás Ferihegyen 2001–2005 közti adatok alapján [4].

A modellezni kívánt zajesemények megismeréséhez elsőként bemutatjuk, hogy hogyan alakulnak a kiválasztott járatokhoz (Airbus A320) társított zajesemények ekvivalens zajszintjei a szélirány, a hőmérsékleti gradiens és a felszín közeli réteg stabilitásának (Ri – Richardson-szám, a termikus és a mechanikus turbulencia viszonyzáma) függvényében. A 2. számú zajmonitor által mért zajesemény-szintek értékét szétválasztottuk erősebb (>78 dB) és gyengébb (<74 dB) zajeseményekre. Elsőként a szélirány függvényében vizsgáljuk a zajesemények erősségét kéthavi bontásban. Az erős és a gyenge zajesemények medián értékeit ábrázoljuk (23. ábra).



23. ábra. Nappali (10–14 UTC) és az éjszakai (22–02 UTC) erős és gyenge zajesemények szélirány szerinti megoszlása kéthavi bontásban (2008. július-december).

A 78 dB-nél nagyobb zajjal járó repülések regisztrálásakor a szélirány döntően 80–125° szektorból fúj, ami közelítőleg megegyezik a pályák tájolásával, tehát a repülési iránnyal, így a zajmonitor felé fújja a szél a hangot, ami közelben élő lakosok számára kedvezőtlen. A 74 dB-nél kisebb eredmények 290–200 és kisebb részben 70–25°-os szélirányoknál fordultak elő. Ezek mindegyike oldalszelet jelent a repülési irányra nézve: emiatt nem jut el a zajmérőbe a zaj maximális értéke. A nyári intenzívebb forgalomnak köszönhetően a július-augusztusi hónapra bőven jutott adat, viszont a téli hónapokban nem sikerült 78 dB feletti zajesemény adatokat feltüntetni.



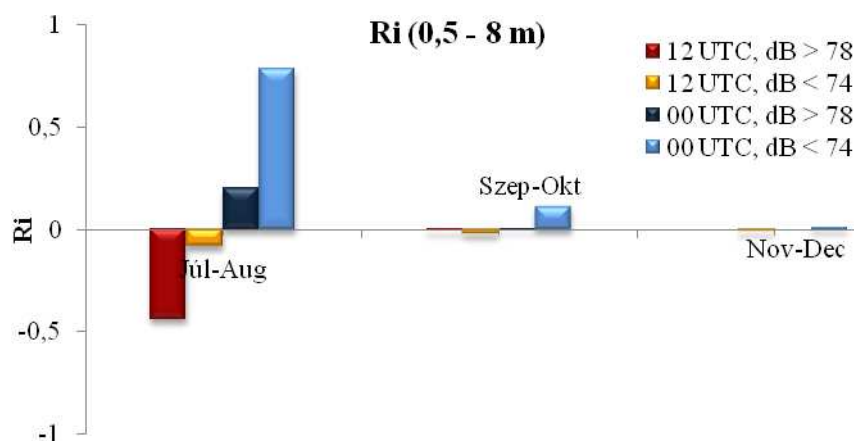
24. ábra. Nappali és az éjszakai erős és gyenge zajesemények megoszlása az alsó légréteg hőmérséklet különbsége ($\Delta T = T(20\text{ m}) - T(0.5\text{ m})$) alapján kéthavi bontásban (2008. július-december).

A meteorológiai műszerkertben elhelyezett 20 m magas mérőoszlop lehetővé tette, hogy kiszámoljuk a hőmérséklet különbséget (24. ábra) a felszínen és 20 m-es magasságban. A nappali negatív értékek azt jelentik, hogy erősen labilis a felszín közeli réteg. A hőmérsékleti gradiens meghaladja a száraz adiabatikus ($\gamma = -\frac{\Delta T}{\Delta z} > 1^\circ\text{C}/100\text{ m}$). Érdekes, hogy nyáron a labilitás növekedésével (nagyobb negatív hőmérsékletkülönbség a 20 m-es és a 0.5 m-es szint között), nő a

zajeseemények erőssége. Egy lehetséges magyarázat lehet a zajforrás közelsége (kívül vagyunk az árnyékszónán [7]). Éjszaka az erős inverziós helyzetek jellemzik a zajeseeményeket, ami kedvez a zajterjedésnek. Erősebb inverziókhöz tartoznak az erősebb (>78 dB) zajeseemények. A felszín közeli réteg stabilitásának a mérőszáma a Richardson-szám. Nappal negatív, éjszaka pozitív.

$$Ri = \beta \frac{\left(\frac{\Delta T_v}{\Delta z}\right)}{\left(\frac{\Delta u}{\Delta z}\right)^2} \quad (3)$$

ahol ΔT_v , Δu , Δz rendre a vizsgált légréteg virtuális hőmérséklet, szélesség és magasságkülönbsége. β a stabilitási paraméter, ami a nehézségi gyorsulás és a virtuális hőmérséklet [K] hányadosa $\beta = \frac{g}{T_v}$. Vizsgálatainkban a 0,5–8 m-es réteg adatait használtuk. Eredményeinket a 25. ábrán mutatjuk. A nagy negatív értékek főleg nyáron a nappali órákat jellemzik. A nagyobb zajeseemények nagyobb negatív értékű Richardson-számokhoz (erősebb labilitás) kapcsolódnak. Érdekes, hogy nyáron éjszaka az erősebb zajeseemények a kisebb (indifferenshez közeli) egyensúlyi helyzetekben fordulnak elő. Télen a zajeseeményekhez tartozó Richardson-számok medián értékei nulla körüliek (indifferenshez közeli rétegződés). Az egyik magyarázó ok a szélnyírás $\left(\frac{\Delta u}{\Delta z}\right)$ lehet.



25. ábra. Nappali és az éjszakai erős és gyenge zajeseemények megoszlása a felszín közeli réteg stabilitási viszonyait jellemző Richardson-szám (Ri) alapján kéthavi bontásban (2008. július-december). A nullához közeli Ri értékek nem látszódnak a diagramon (Szept-Okt, Nov-Dec).

IMMI v6.3.1 zajtérképező program

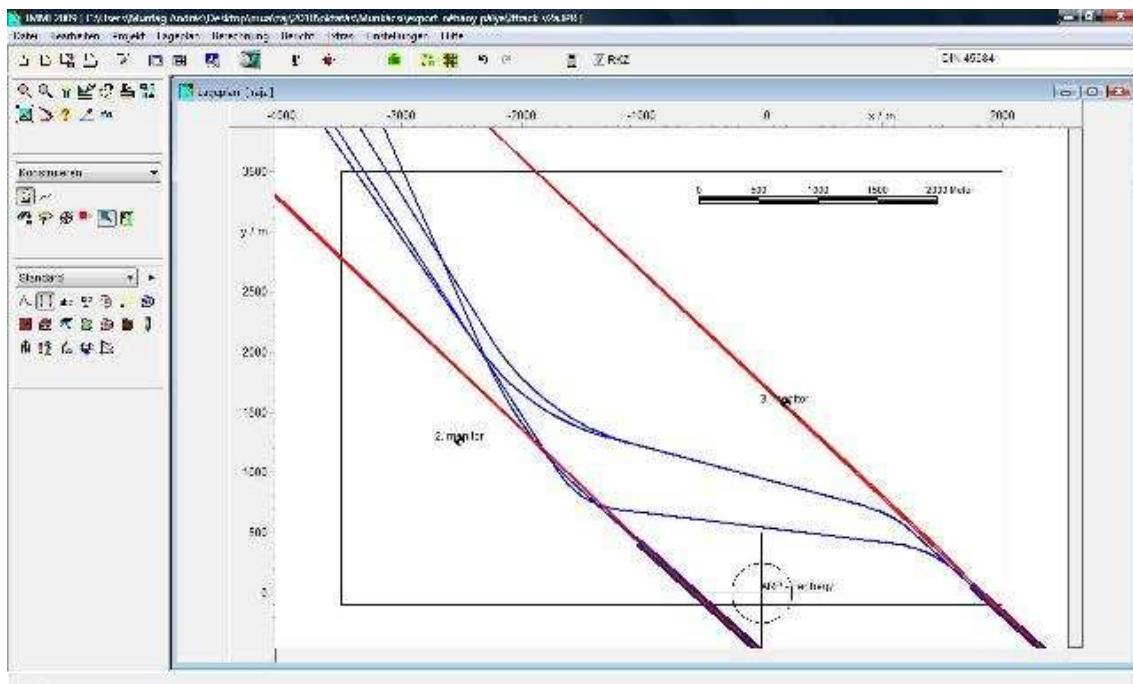
A német Wölfel Messsysteme und Software GmbH által kifejlesztett IMMI fantázianeív zajtérképező szoftverével végeztünk szimulációt. Az IMMI a hatályos előírásoknak megfelelően azt mindenben betartva számol a bevitt alapadatok alapján, és rendelkezik a magyar előírások szerinti számítási modulokkal. A program képes megadni a betáplált járat pályája körüli zaj immisziót és azt

szintvonalakkal ábrázolja. Emellett lekérhetünk adott pontban észlelhető zajszintet is. Ez azért fontos, mert pontosan megadhatjuk a referencia zajmonitor állomások helyzetét, és egzakt összehasonlítást végezhetünk. A program a zajszint megadásánál a hang terjedésének kedvező meteorológiai helyzettel dolgozik, ami 2–3 m/s szélesebbéget jelent, melynek iránya minden esetben a forrástól az észlelő felé mutat [3]. A közeli jövő fejlesztési iránya a meteorológiai paraméterek módosítása (külső megadása) a programban.

Airbus A320 repüléseihez kapcsolódó zajesemények modellezése

A már említett homogén géptípus választása a német AzB számítási eljárást alkalmazása miatt szükséges [3]. Az AzB módszer a típusokat zajszerinti kategóriákba sorolja, mely megjelenik a 18/1997. (X.11) KHVM-KTM együttes rendeletben is. A felhasznált Airbus A320 típusú repülőgép az S 5.2 kategóriába tartozik.

A zajmonitor rendszer által rögzített, a szükséges járatok útvonalát leíró pályagörbék megadása alapján számol a program. A modell tesztelése során 8 db példajaratot (2. táblázat) ábrázoltunk, melyeket úgy választottunk ki, hogy tartalmazzanak éjjeli, nappali és mindkét pályára érkező, illetve induló járatokat is. Az útvonalak ábrázolását a 26. ábra szemlélteti az IMMI program felületén.



26. ábra. Az IMMI v6.3.1 zajtérképező program által modellezett útvonalak. (Kék színűek a felszállások, pirosak a leszállások. Az ábra alján lévő két vastagabb párhuzamos vonal a futópályákat jelöli.)

A modellezett L_{max} értéket a járatípushoz tartozó L_W hangteljesítményből kiindulva az L_S gömbi szétterjedés (spherical spreading), a közeg hangelnyelő tulajdonságainak figyelembe vételével

határozhatjuk meg. Ez az érték – mint arról korábban már esett szó – a hangterjedésnek kedvező meteorológiai állapotot feltételez.

A monitorállomás mért zajszintjének rögzítésekor azonban az időjárási helyzet ettől eltérő is lehetett. Ezért ha a számított és a mért értékek ΔL_{max} különbségét képezzük, akkor ez tartalmazza azokat a változásokat, amelyeket a különböző meteorológiai paraméterek okoznak, ugyanakkor kivontuk a megfigyelésből azokat a tényezőket, amelyek mind a mért, mind a számított értékben egyformán szerepelnek (pl. a távolságtól függő tényezők).

A ΔL_{max} és a keletkezésével egyidejűleg fennálló meteorológiai paraméterek összevetésével választ kaphatunk arra, milyen módon befolyásolják ezek a változók a zajterhelés alakulását.

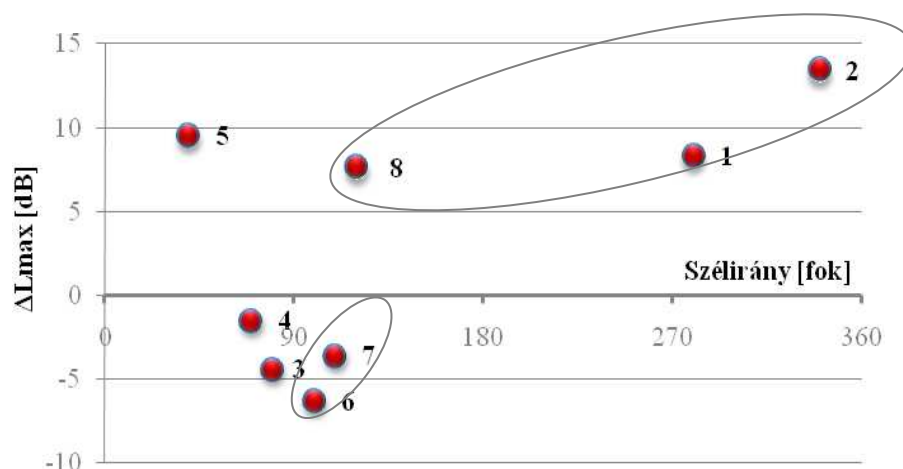
Jelen előadásban nyolc kiválasztott járatra vizsgáltunk összefüggéseket. A feldolgozás folyamatos, így az itt közölteken túl további eredmények várhatók. A 156 esemény teljes kiértékelésétől azt is várjuk, hogy ebből a 8 esetből sejtett összefüggéseket megerősíti.

A vizsgált járatok az alábbiak voltak:

	Dátum	Járatszám	Futópálya	A/D	Mért L_{max}	Modell L_{max}	ΔL_{max}
1	2008.07.09	WZZ8002	31R	DEP	72	80,3	8,30
2	2008.07.27	WZZ8003	31L	DEP	72,1	85,5	13,40
3	2008.08.14	DLH9CT	31L	DEP	78,7	74,3	-4,40
4	2008.09.02	AZA477	31R	DEP	76,3	74,8	-1,50
5	2008.10.22	WZZ278Q	13R	ARR	70,6	80,1	9,50
6	2008.10.29	CLI3522	13L	ARR	85,7	79,4	-6,30
7	2008.11.10	WZZ248N	13L	ARR	83	79,4	-3,60
8	2008.12.01	CLI3522	13R	ARR	72,7	80,3	7,60

2. táblázat. A 8 modellezett járat adatai.

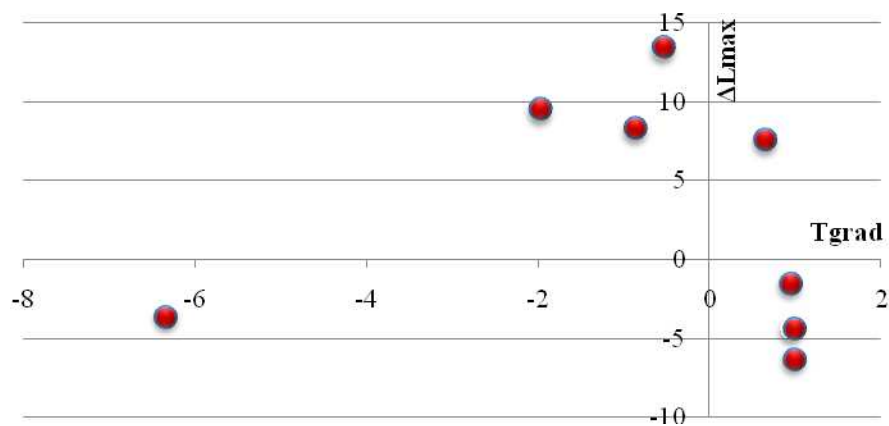
Az ábrázolást követően a ΔL_{max} értéket összehasonlítottuk a repülések idején jellemző meteorológiai paraméterekkel. Elsőként a szélirány hatását mutatjuk be (27. ábra).



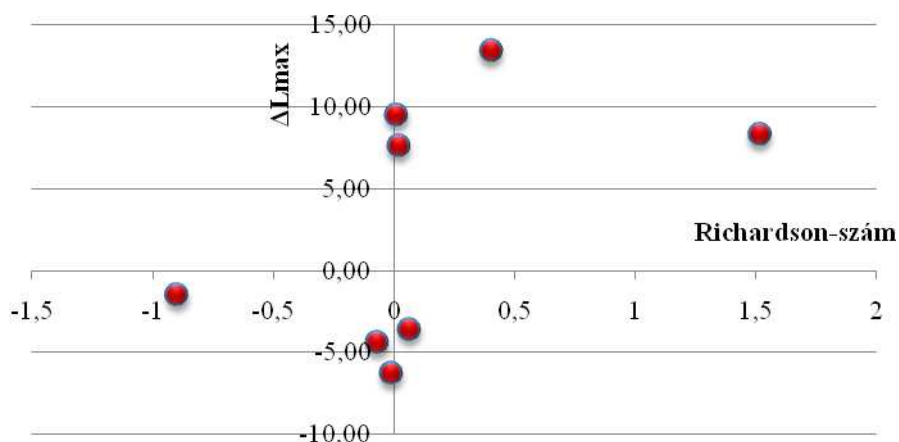
27. ábra. A ΔL_{max} és a szélirány összehasonlítása.

Előzetes eredményeink azt mutatják, hogy a 8 adatból 6-nál képesek vagyunk a modellezett és mért a L_{max} különbséget megmagyarázni. Az 1, 2, 8 pozitív értékei esetén oldalszél volt jellemző. A 3-as járat esetén a negatív ΔL_{max} értékeknél a repüléskor határozott mikrofon felé fújó szélirányt tapasztaltunk. A 6, 7 esetben a gépek pontosan a zajmérő felett repültek, itt a széliránynál lényegesebb befolyásoló hatást várunk a szélesebségtől és a zajforrás közelségétől. A 4. és 5. adat ellenszélben van, de az értékek azt mutatják, mintha a mikrofon felé fújna a szél, ezért helyzetük magyarázatához további ismeretekre is szükségünk lenne. 23. és 27. ábrán bemutatott vizsgálatok szerint a szélirány hatása jelentősen kimutatható. A Ferihegyen jellemző az átlagos szélirányt a 22. ábra szemlélteti. A pályák ÉNy-i meghosszabbításában élők számára kedvező az uralkodó szélirány, mert nagyobb részben fúj felőlük, mint feljükk a szél.

A hőmérséklet különbségének ($\Delta T = T(20 \text{ m}) - T(0.5 \text{ m})$) vizsgálatánál azt tapasztaljuk, hogy erős inverziós helyzetekben (nagy negatív értékek) ΔL_{max} értékei nulla közeliek. Kis hőmérséklet különbségek ($|\Delta T| < 1 \text{ } ^\circ\text{C}$) esetén nagy a ΔL_{max} szórása.



28. ábra. A ΔL_{max} és az alsó légréteg hőmérséklet különbségének ($\Delta T = T(20 \text{ m}) - T(0.5 \text{ m})$) az összehasonlítása



29. ábra. A ΔL_{max} és a 0,5–8 m-es rétegre vonatkozó Richardson-szám (Ri) összehasonlítása.

A Richardson-számokat vizsgálva (29. ábra) indifferenshez közeli esetekben nagy a szórás. Erősen stabilis, illetve labilis rétegződésre csak 1-1 eset jellemző, itt nem vonhatunk le következtetéseket.

A közeli jövő feladata az összes 12 UTC és 00 UTC közeli Airbus A320 repülési tevékenység (156) modellezése. Itt már külön kezeljük majd a déli (10–14 UTC) és az éjszakai (10–02 UTC) eseteket, a kis és nagy zajjal illetve a zajesemény nélküli repüléseket.

ÖSSZEFOGLALÁS

A zajeseményekért, és a zajterhelésért alapvetően a repülések gyakorisága, a műveletszám felelős. Meteorológiai állapotjelzők közül egyedül a széliránnyal sikerült szoros kapcsolatot találni. A határreteg vastagság, a hőmérsékleti rétegződés szintén magyarázó paraméter lehet a zajesemények feldolgozásában. A szakirodalmi adatoknak megfelelően a csapadék és a nedvesség másodlagos fontosságú. Mindenképpen érdemes hosszabb adatsorok alkalmazásával, illetve a többi zajmérő állomás bevonásával további részletes vizsgálatokat elvégezni.

A ferihegyi repülőtér egy pontjára (2. számú monitor állomás) koncentrált zajmodellezési vizsgálatok is számos különböző hatást viselnek, melyeket megfelelő finomítással és párosítással célszerű további vizsgálatokban felhasználni.

Az általunk elkülönített hatások a következők:

- távolság: ismert a zaj távolsággal való változása, így a repülések ugyanabban a pontban való vizsgálata (ez az indulások esetében különösen komplikált) lehetőséget adhat a levegő állapothatározóinak a figyelembe vételére a zajterjedésben (a csillapítás parametrizálása),
- hétköznapi tapasztalatok szerinti vizsgálatok: alacsony hőmérséklet, szélirány, szélsébség, inverziós helyzetek, erős konvekció, illetve turbulencia hatási,
- fel és leszállások elkülönítése,
- járatsűrűség figyelembe vétele,
- géptípusok elkülönítése,
- évszakok, napszakok elkülönítése.

A szélirány hatásának pontosabb vizsgálata érdekében a mobil zajmérő állomás kihelyezése pontosabb megállapításokat tenne lehetővé az oldalirányú szél lakott területre vonatkozó hatásával kapcsolatosan.

A zajterhelést és a zavaró hatást a hangnyomásszint és a frekvencia jelleg együttesen határozza meg, ezzel együtt a mért hangnyomásszintekre jellemző frekvenciasávokban a környezet hangelnyelő hatása is eltérő. A későbbiekben célszerű lenne a frekvenciaértékekkel is foglalkozni a csillapodás megállapításához.

Gyakorlati jelentőséggel bír annak a megállapítása, hogy milyen mértékűek ezek a hatótényezők a ferihegyi repülőtéren. A lakosok és a repülőtér üzemeltetője közötti kommunikációban, a zajvédelmi munka során érdemes tudatában lenni annak, hogy az esetlegesen kirívó zajterhelés az időjárással is

összefügghet. Nem találtunk egyszerű döntési algoritmust a nagyobb zajjal járó időjárési helyzetek elkülönítésére. Következő lépésben a zajos és a nem zajos repülési események együttes vizsgálatát tervezzük. Jelen cikkben a zajesemények feldolgozására vállalkoztunk. Javasoljuk a kiadott közleményekben, tájékoztatásokban az időjárési hatások megemlítését, a későbbiekben ilyen irányú meteorológiai előrejelzések végzését, mely segíti a zavarásra való felkészülést.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a Budapest Airportnak, s *Galyas Richárd*nak, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a vizsgálatokhoz szükséges zaj, panasz és repülési adatokat. Köszönjük *Kardos Péter*nek (HungaroControl), hogy lehetővé tette a repülőtéri meteorológiai mérőkeret adatainak a felhasználását, és *Takács Péter*nek (ELTE meteorológus hallgató) az adatfeldolgozásban való részvételét. *Wantuch Ferenc* (NKH LI) szakmai tanácsaival segítette munkánkat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSERMELY Ildikó és WANTUCH Ferenc, 2009: *Az időjárás hatása a zajterjedésére a ferihegyi nemzetközi repülőtér környezetében*. Repüléstudományi konferencia.
- [2] John-Paul CLARKE, J. Huber N. SIZOV and S. MALONEY, 2004: *Weather Specific Noise Abatement Procedures: A Case Study of Departure Procedures for Runway 4R at Boston Logan Airport*. Air Traffic Control Quarterly 12, No. 2, 165–192.
- [3] IMMI 5.2 Reference Manual First Edition, 2003.
- [4] Budapest Airport Zrt.
- [5] Vienna International Airport (personal communication).
- [6] KOZMÁNÉ PETRILLA GRÉTA, 2005: *A Nagykállói kistérség környezeti állapotának elemzése*. Agrártudományi közlemények 16. Különszám, 364 oldal.
- [7] CZELNAI Rudolf, 1995: *Bevezetés a meteorológiába I*. Budapest, ELTE Eötvös Kiadó.
- [8] Robert D. BEHR and Eugene M. REINDEL, 2008: *Helicopter Noise Analysis for University of California San Francisco Mission Bay Hospital Site*. HMMH Report No. 302300.
- [9] BRÜEL, & KJAER, 2000: *Sound & Vibration Measurement*, 7–8.
- [10] KURUTZ, Imre és SZENTMÁRTONY, Tibor, 2001: *A műszaki akusztika alapjai*. Budapest, Műegyetemi Kiadó.
- [11] CZELNAI, Rudolf, 2006: *Szélparkok és légköri akusztika* (Vélemény, vita). Magyar Tudomány. 4. szám, 492.
- [12] METNET.HU. *Megfigyelések: Vecsés*. [Online] <http://www.metnet.hu/?m=climate&mode=2&pid=297&date=2008-12>.
- [13] HÁY György, 2006: *Amit a repülésről tudni kell*. Typotex Kiadó.
- [14] G.C. HOLZWORTH, 1964: *Estimates of mean maximum mixing depths in the contiguous United States*. Monthly Weather Review 92, 235–242.
- [15] Adina C. IONESCU and Horia DUMITRESCU, 2009: *Aircraft Noise Modeling and Noise Perception through CDA Procedure, the Impact on Communities*. 30th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference