



Csermely Ildikó - Dr. Wantuch Ferenc

AZ IDŐJÁRÁS HATÁSA A ZAJTERJEDÉSÉRE A FERIHEGYI NEMZETKÖZI REPÜLŐTÉR KÖRNYEZETÉBEN

A LÉGIKÖZLEKEDÉSI ZAJ

A környezetvédelem egyik legmostohábban kezelt területe a különböző zajok és rezgések csökkentése károsító hatásuk elkerülése. Ennek oka, hogy a károsodások többnyire jelentős időkéssel jelentkeznek. Az emberi környezet zajossága a technikai fejlődéssel olyan mértékben terjed, hogy nagyon sok esetben nemcsak egészségi szempontból elviselhető határt lépi túl, hanem sok esetben ellenőrizhetetlenné válik olyan értelemben, hogy átlépi a környezet növekvő zajosságának az elviselhető határ alatti tartásának műszaki gazdasági lehetőségeit. Magyarországon a lakosság közel 40 % - a él olyan területeken, ahol a környezeti zaj nagyobb a kívánatosnál. Egyes tudományos értekezések szerint a zajpanaszok jelentős része a légi közlekedésből származik, melyeknek mérése és eredményes csökkentése a környezeti zajvédelem sajátos részét képezik.

Repülőgépek keltette zajnak tekintik a repülőgép - hajtóművek és különféle rendszerek és segédberendezéseinek a működése során, valamint a szerkezeti elemek dinamikus terhelésekor és a repülőgép körül vevő levegő zavarásakor keletkező, az emberi fül számára hallható lég-, azaz hanghullámokat. Szubszonikus repülőgépeknél viszont az aerodinamikai zaj, a hangrobbanás okozza a jelentős területeket érintő zajszennyezést. Az új generációs zajscsökkentett gépek gyártásának kezdetekor és a légi alkalmasság megítélésénél előtérbe került a zaj szempontú minősítés kérdése. Az idő előre haladtával egyre szigorúbb zajkibocsátási határértékeket szabtak az újabb típusokra. Közben persze a zaj szempontú minősítés mérési módszere is finomodott, fejlődött.

A Nemzetközi Polgári Légitörvénykezési Szervezet fő környezetszennyezési célpontja a zajemisszió. A repülési zaj értékelése és a zavaró hatás mérlegelése során az egyedi repülési zajesemények keltette zajnak az átrepülési időre vonatkozóan, méréssel megállapított egyenértékű zajszint értékei a mérvadók.

Az időben változó szintű zajok jellemzésére az egyenértékű A – hangnyomásszintet használjuk, azaz meghatározzuk azt a szintet, amelynek hatása az emberre ugyanaz, mint a vizsgált változó zajé. Az egyenértékű zajszint a repülőterek környékén kialakuló zajhelyzet jellemzésére hivatott. Cél egy olyan számérték előállítása, amely a repülőtér környékén egy adott pontban a zajhatást átlagosan jól jellemzi.

A repülőgépek zajszennyezése minden esetben egyszerre több zajforrás által keltett, a hangmagaságban és intenzitásban egymástól különböző, időben és térben gyorsan változó hanghullámok együttes hatására alakul ki. Azonos zajterhelésű helyek közül 60 dB zajterhelés alatt a repülési zaj kevésbé zavarja az embereket, mint az utcai járműforgalom zaja, de 60 dB felett ez a viszony megváltozik és

magasabb zajszintek esetén a lakosok a repülési zajt kevésbé viselik el, mint az ugyanolyan zajszintű utcai zajokat.

A polgári légiközlekedés zaja legfőképpen a repülőterek környezetében jelent problémát. Egy adott magasság fölé emelkedve, és utazómagasságon repülve ugyanis a légijárművek zajának csak egy csökkentett hangintenzitású, alacsony frekvenciás összetevője jut le a földfelszínig, és annyira alacsony zajszintet okoz, hogy a gyakorlatban elhanyagolható.

A Ferihegyi Nemzetközi repülőtér környezetében keltet zajterhelés alakulásával foglalkozom különböző időjárási körülmények között. Mérési eredmények alapján szeretnék megoldást találni, arra hogy, hogyan lehetne ezen információkat figyelembe véve a repülőtér forgalmát úgy koordinálni, hogy azzal csökkentsük a zajpanaszok számát.

A téma aktualitását és egyúttal fontosságát az adja meg, hogy napjainkra életünk elválaszthatatlan részévé vált a repülés. A repülőgép közlekedési és munkaeszköz, de a sport területén is bebizonyította életre valóságát. A levegőbe emelkedő ember újra meg újra tapasztalja, hogy a légköri jelenségek egyrészről segítik, másrészről megnehezítik, sőt eseteként lehetetlené teszik repülési feladat végrehajtását. Ezért a meteorológia és a repülés igen szoros együttműködésre lépett egymással.

1. A Zaj terjedése

A hangforrások körül kialakuló hangteret elsősorban a hangforrás alakja (pont, vonal, sík) és a tér jellege (szabad, zárt) határozza meg. A hangforrást az általa kisugárzott hangteljesítmény, a hangteret a bármely pontjában mérhető hangnyomás jellemzi.

Környezetünkben pontszerű, vonalszerű, és felületi sugárzóként működő zaj források hatását észleljük. Környezetünkben *pontforrásnak* tekinthetjük a kisméretű motorokat, gépeket, az egyes járműveket, de nagyobb, pl. 100 m távolságban már egy üzemi épület, vagy zajt sugárzó homlokzata is pontszerű zajforrásnak számít.

Vonalforrás például a közút, ahol a forgalom elég nagy és folyamatos, hasonló- képen például egy nagyon hosszú csővezetékhez, amelyben az áramló gáz vagy folyadék zajt okoz. A vonalforrásoktól távolodva kétszeres távolságnál a hang- nyomásszint fele olyan mértékben csökken, mint pontsugárzó esetén.

Környezetünkben felületi *síksugárzónak* tekinthető például egy néhány méter távolságban lévő üzemcsarnok homlokzata

Akadálytalan, szabad térben a hangenergia a távolsággal gyorsan csökken. A hangnyomás csökkenést a levegő elnyelése, ill. az ezt befolyásoló meteorológiai viszonyok (hőmérséklet, nedvességtartalom, a szél nagysága és iránya) módosítják.

A hanghullámoknak a levegőből a vízbe való behatolásánál 0,24 a víznek a levegőre vonatkoztatott hangtörés mutatója. Ha beesési szög nagyobb $\sin \alpha / \sin 90^\circ = 0,24$ egyenletből adódó $\alpha = 14^\circ$ határ szögnél, akkor a vízfelületén törés helyett teljes visszaverődés következik be. A törésnek és a teljes visszaverődésnek jelentős szerepe van a szabad légkörben való hangterjedésénél. Ha vízszintesnek feltételezett légrétegek hőmérséklete s ezzel a hangsebesség felfelé növekszik, akkor ferdén kiinduló

hangsugarak folytonos törések és teljes visszaverődés folytán „visszahajlanak” a földre, s ezért a hang nagy távolságra is elhallatszik. **(Budó et. al, 1962)**

Ha a hangforrás és az észlelési pont között hangakadály, pl. épület, domb, fal van, a hangterjedés módosul. A hanghullám energiája az útjában lévő akadályról (pl. falról) részben visszaverődik (hang-reflexió), részben behatol a falba. Ennek az energiahányadnak egy része a falban hővé alakul és „elvész”, míg másik része „átjut” a falon, és a fal felülete lesugározza.

Ha a hangsugár kisebb terjedési sebességű anyagból lép a nagyobb terjedési sebességűbe bizonyos határszögeken túl teljes visszaverődés keletkezhet. A hangsugár azért törik meg, mert az újközegben a terjedési sebesség más értékű. Ha csak a közeg hőmérséklete változik, a melegebb közegben a hang általában nagyobb sebességgel terjed. Már néhány Celsius fok is észrevehető sebességváltozást idéz elő. Két különböző hőmérsékletű közeg határfelületén a hang úgy szenved törést, hogy a melegebb közeg irányában haladva a beesési merőlegetől törik. Ha a hőmérsékleti gradiens megfordul, a hang beesési merőleges felé törik, tehát egykettőre elvész a levegőben. Ilyenkor a hang igen kis távolságig hallatszik. A felülettel haladó hullámok akadályokba ütköznek és hamar elnyelődnek, ferdén kiindulók pedig magasba vesznek. Az atmoszférában többszörösen előfordulhat hőmérsékletváltozás. Felhők alatt erősen hűl, fölötte melegszik a levegő, ilyen helyen tehát 1,5-2 km távolságból visszafordulhat a hang a föld felé. Magasabban még bonyolultabb a helyzet, ugyanis a hőmérséklet 20 km magasságig -50°C -ra csökken, de azután újra emelkedni kezd és 50 km magasságban $+50^{\circ}\text{C}$ -ra növekszik. Nagy intenzitású hangok ebből a magasságból fordulnak vissza és a földön széles „süket zóna” kihagyása után 200 km távolság környékén ismét hallhatóvá válnak. A jelenség nagyon fontos a sztratoszférában végrehajtandó hangnál gyorsabb repülés szempontjából. Különös terjedési jelenséget tapasztalhatunk szélben. Mivel a súrlódás a föld felületén a legnagyobb a szélesebbesség ott a legkisebb, és fölfelé általában növekszik. A szélirányban a szélesebbesség a hangterjedési sebességéhez mindig hozzáadódik, azaz a visszafordulás esete következik be. Az ellenkező irányban fölfelé mind nagyobb sebesség vonódik ki a hangterjedési sebességéből, vagyis a csökkenő hőmérsékleti gradiens esetével van dolgunk: hang térbe vész. Nagy magasságokban nem szabályszerű a változás. A légáram sebességének növekedése mintegy 12-14 km magasságig tart. További magasság növekedéssel csökkeni, kezd, majd 22 km magasságban ismét megfordul és 50 km magasságban már eléri a 200 km/óra sebességet. Mindez a nagy magasságú repülésben is, meg a hang terjedési viszonyaiban is bőven érezteti hatását. **(Tarnóczy, 1984)**

A hangterjedésével kapcsolatos további jelenségek közül fontos megemlíteni a hang interferenciát. Ilyenkor állóhanghullámok jönnek létre. Míg minden irányban egyenletesen terjedő gömbhullámok intenzitása a távolság négyzetével fordított arányban csökken addig azokban az esetekben, amikor a hang csak egy felület mentén vagy lényegében egy irányban terjed, a távolsággal való csökkenés kisebb mértékű.

A doppler hatás, amely mindenfajta hullámnál felléphet, de az akusztikában figyelhető meg a leggyakrabban abban áll, hogy a hullámforrás és a megfigyelő relatív mozgása az észlelt rezgések frekvenciáját befolyásolja. Közismert példa, hogy amikor egy fűtyülő mozdony vagy dudáló gépkocsi

mellettünk elhalad-, vagy ha gépkocsival haladunk el a hangforrás mellett -, a távolodáskor mélyebb hangot hallunk, mint közeledéskor. (Budó et. al, 1962)

2. A Ferihegyi repülőtér környezetének zajterhelése

A Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtéren működő zajmonitor-rendszer megfelel a kor elvárásainak, és európai szinten is minőségi adatszolgáltatást tesz lehetővé. A repülőtéren először 1985-ben helyeztek üzembe zajmonitor-rendszert, amely hat ponton kihelyezett berendezéssel mért.

A rendszer a repülőgépek egyedi zajkibocsátást mérte a 90 dB A-s küszöbérték fölött. Csak az ennél nagyobb túllépéseket rögzítette, és ezeket minősítette zajeseménynek. A repülési események és a zajadatok megfeleltetése csak manuálisan, a menetrendi és a zajadatok egyenkénti egyeztetésével volt lehetséges, a rendszer nem volt közvetlen kapcsolatban az irányítás radarszolgálatával.

2004 tavaszán fejeződtek be az új zajmonitor-rendszer üzembe helyezésének munkálatai. Az új rendszer ugyanazon helyszíneken mért, mint az 1985-ben üzembe helyezett, de fejlettebb technológiával mér.



1. ábra. Ferihegyi repülőtér zajmonitor pontjainak elhelyezkedése

Zajmérő állomások helyszínei:

1. állomás: X. kerület, Venyige u.
2. állomás: XVIII. kerület, Csévéző u.
3. állomás: XVII. kerület, Rákóczi u.
4. állomás: Vecsés, Vigyázó F u.
5. állomás: X. kerület, Keresztúri út
6. állomás: Üllő, Széchenyi u.

A Brüel & Kjaer gyártmányú berendezések beállított küszöbértéke 67 dB (A), e fölött az érték fölött kezd el mérni az adott zajmérő pont a hangnyomásszintek időbeli változását. A rögzített adatokat egy

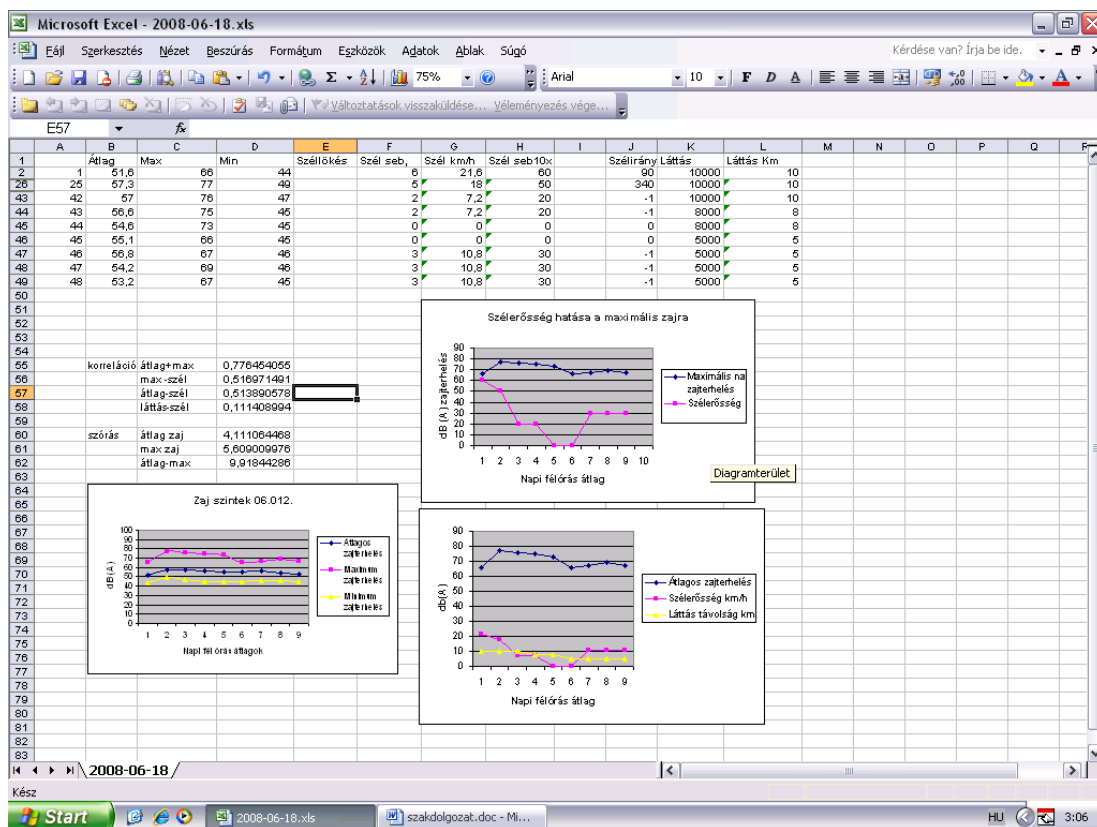
központi adatfeldolgozó rendszernek továbbítja telefonos kapcsolaton keresztül, ahol nem csak az egyes zajesemények lefutása, de az egyenértékű zajszintek is kiszámításra kerülnek. A hat ponton mért értékekből approximációs módszerrel kerülnek a köztes pontok zajszintjei meghatározásra.

A monitorrendszer kapcsolatban van az irányítás radarszolgálatával, és így lehetővé válik az automatikus zajesemény – repülési esemény összerendelés. A kapcsolódó informatikai háttér lehetővé teszi a tervezést és optimalizálást is. A rendszerhez egy panaszkezelő szoftver kapcsolódik, amely segítségével lehetséges az adatok oly módon való feldolgozása, hogy a panaszos személyre szabott információkat kaphat a lakóhelyét érintő zajterhelésről. A Budapest-Ferihegy Nemzetközi repülőtéren most működő monitor-rendszer megfelel a kor elvárásainak, és európai szinten is minőségi adatszolgáltatást tesz lehetővé.

Ferihegyi repülőtér meteorológiai jellemzőit figyelembe véve megállapítható, hogy extrém, abnormális időjárási viszonyok nem lépnek fel csak rövid időszakokban. Vizsgálataim során a repülőtér zajcsökkentő eljárásait, preferált futópálya használatot, uralkodó szélirányt és a zajmonitor mérőpontjainak elhelyezkedését figyelembe véve 5-ös zajmonitor pont, amely X.kerületben a Keresztúri úton és a 6-os zajmonitor pont, amely, Üllön, a Széchenyi úton helyezkedik el, mérési adatait dolgoztam föl az időjárás függvényében. A vizsgált időszakra vonatkozóan rendelkezéseimre álltak napi bontásban az 5-ös és 6-os zajmérő állomás maximális-, minimum-, átlagos zajterhelésének adatai másodperces lebontásban. Mivel a rendelkezéseimre álló adatmennyiség hatalmas volt és a zajmonitor rendszer mérőállomásai mindennap 00.00-kor és 12.00-kor kalibrálják magukat, mely 10-15 másodpercig tart, a kalibráláskor mért igen magas értékeket ki kellett szűrni. Mivel a kalibráció néhány másodpercet vagy akár egy percet is csúszhat, ezért célszerű volt saját programot fejleszteni, ami a kalibrációból eredő hibás adatokat kiszűri. Program írását indokolta még a mérési adatok igen nagy száma. Az egy hónap során mért másodpercenkénti zajadatok száma több min 2,5 millió adat feldolgozását jelentette. Ebből az óriási adatmennyiségből 30 perces átlagokat, maximumokat, minimumokat illetve egyéb statisztikákat képeztem az erre a célra fejlesztett szoftverrel. A félórás időtartamú feldolgozást azért végeztük, mert a rendelkezésre álló meteorológiai adatbázis is félórás bontású és így lehetőség nyílt egyesített adatbázis létrehozására. A program segítségével txt típusú fájlkká alakítva az adatokat Microsoft Excel programba konvertálva tudtam végrehajtani a vizsgálataimat. Miután a konvertálás megtörtént, 30 napra vonatkozóan külön külön az 5-ös és 6-os állomás zajadataihoz illesztettem, a szélirány-(m/s-, km/h-ban) szélsősebesség-, látástávolság adatait.

Összefüggéseket vizsgáltam kapcsolatot keresve az:

- 1) Átlagos zajterhelés és a maximális zajterhelés között
- 2) Maximális zajterhelés és a szélsősebesség között.
- 3) Átlagos zajterhelés és a szélsősebesség között
- 4) Látás távolság és a szélsősebesség között



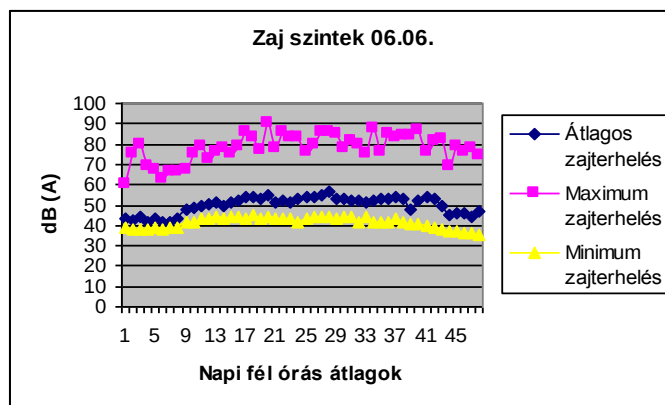
2. ábra. Zajterhelés és az időjárás hatásának vizsgálata

Majd külön diagramon ábrázoltam az:

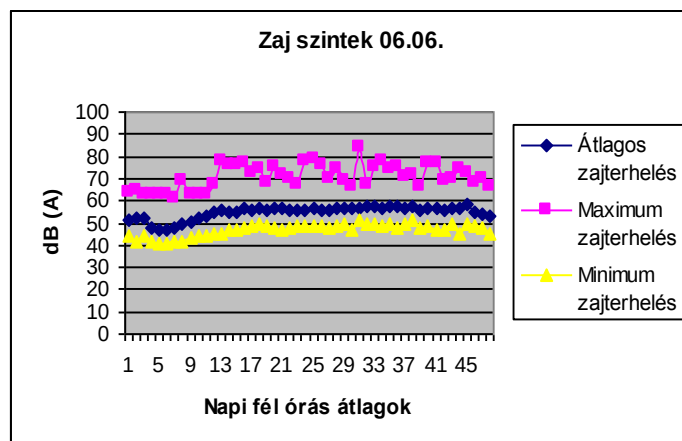
- 1) maximum, minimum és az átlagos zajterhelés adatait
- 2) maximális zajterhelés és a szélerősség adatait
- 3) maximum zajterhelés, szélerősség, látás távolság adatait

30 napra vonatkozóan külön külön az 5-ös és 6-os állomás zajadatait figyelembe véve.

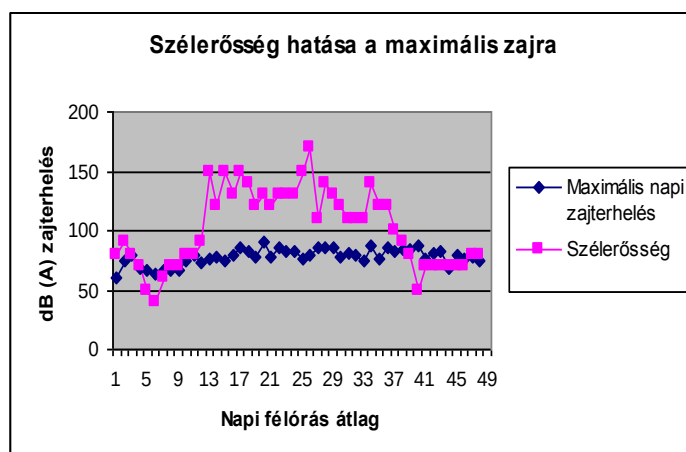
A következőkben be mutatom, amelyeknél találtam kiugró korrelációt a zajterjedése és az időjárás hatása között.



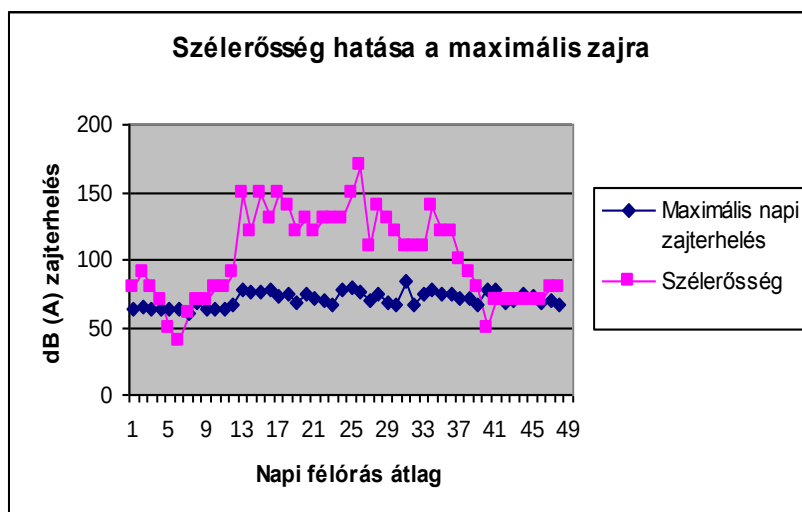
3. ábra. 6-os zajmonitor pont zajterhelésének alakulása 06.06-án



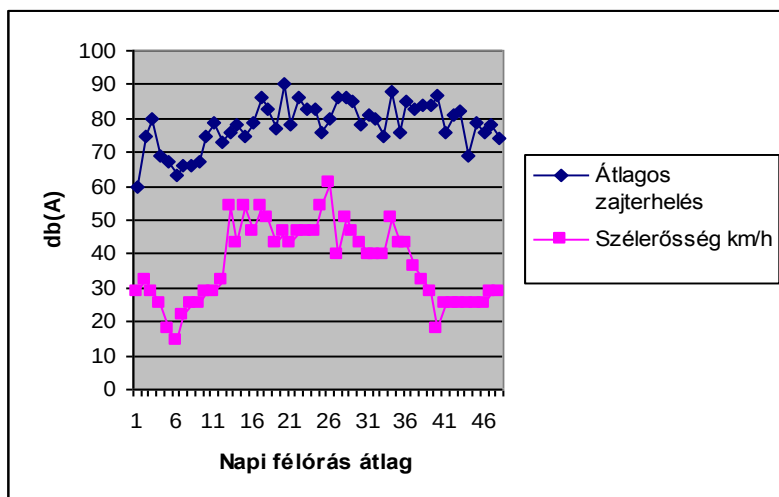
4. ábra. 5.-ös zajmonitor pont zajterhelésének alakulása 06.06-án



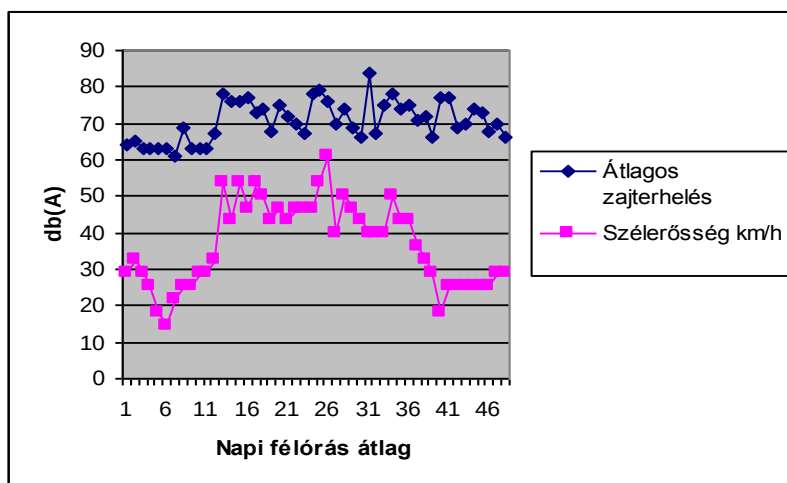
5. ábra. 6-os zajmonitor pont maximális zajterhelésének alakulása 06.06-án



6. ábra. 5-ös zajmonitor pont maximális zajterhelésének alakulása 06.06-án



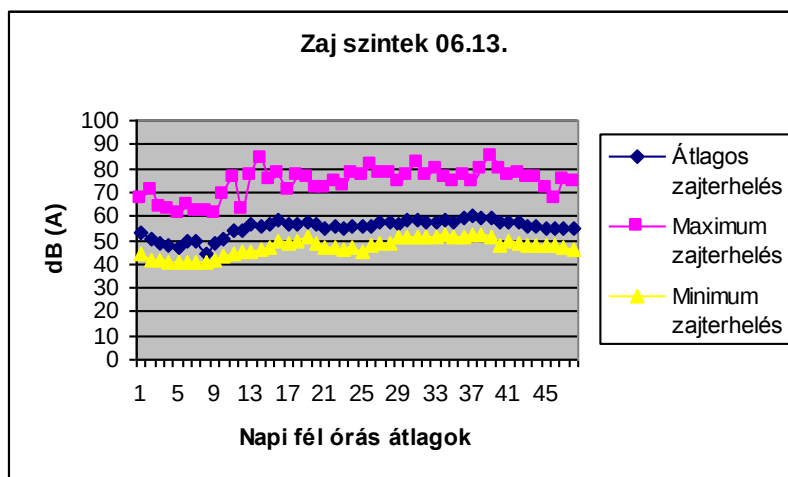
7. ábra. 6-os zajmonitor pont átlagos zajterhelésének alakulása 06.06-án



8. ábra. 5-ös zajmonitor pont átlagos zajterhelésének alakulása 06.06-án

A korrelációs számításaim elvégzése után megállapítottam, hogy a 6-os mérő adatait figyelembe véve szoros kapcsolatról beszélhetünk a maximum zajterhelés és az átlagos zajterhelés valamint az átlagos zajterhelés és a szélerőssége között. A maximum zajterhelés és a szélerősség között közepes kapcsolat volt megfigyelhető. Az időjárásra ezen a napon nagyrészt „CAVOK” volt jellemző, de volt eső is és felhős időszak is. A napi szélerőssége 8-15 m/s között változott.

Az 5-ös mérőállomás esetében mért adatok alapján közepes kapcsolatot tudtam megállapítani a maximum zajterhelés- szélerősség és az átlagos zajterhelés- szélerősség között, míg a maximum és az átlagos zajterhelés között szoros kapcsolatot. Ezen a napon a domináns szélirány a 6-os mérőállomás iránya volt. A légijárművek a nap nagy részében ezen irányba hajtották végre a felszállást és bár az 5-ös mérőállomás egyenértékű zajterhelés nagyobb, mert a szél elfújja a zajt addig a 6-os állomás maximális zajterhelése nagyobb, mert a légijárművek ebben az irányban hajtották végre a felszállást.



9. ábra. Zaj szintek vizsgálata

Ezen a napon esős felhős szeles idő volt. Az átlagos és a maximális zajterhelés között **0,83** volt a korrelációs együtt ható, amely szoros kapcsolatot jelent. Most már egyértelműen megállapítható, hogy a napi maximális zajterhelés befolyásolja a napi átlagos zajterhelés alakulását, és ha ehhez párosul esős, szeles, felhős időjárás akkor még inkább szorosabb kapcsolatról beszélhetünk a két tényező között. Hiszen esős időben nagy a relatív páratartalom és emiatt a hang csillapítása kisebb lesz, és ha ehhez párosul még egy erősebb szél, amely befolyásolja a mozgó tárgyaknál a doppler hatást, az nagymértékben hozzájárul a zajterhelés alakulásához.

Vizsgálataim során egyértelműen kimutatható, hogy mindenképpen a maximális zajterhelés befolyásolja a napi átlagos zajterhelés alakulását. Az előző vizsgált napokban már sikerült rámutattam arra is, hogy ha esős időben, ha nagyobb szeleket figyelhetünk, meg egy-egy napon az már befolyással van a napi átlagos zajterhelés alakulására. A napi átlagos zajterhelést, ahogy már említett pedig befolyásolja a maximum zajterhelés, tehát ebből csak következtetni tudtam a fizika törvényei szerint, hogy a szél mind az átlagos, mind a maximum zajterhelésre hatással van.

Azt hogy, milyen erősségű szél van, hatással a zajterjedésére képet kellett kapjak az uralkodó szélirányról ezért szektorokra bontottam a repülőtér környezetét:

- 1 szektor 315° - 45°
- 2 szektor 45° - 135°
- 3 szektor 135° - 225°
- 4 szektor 225° - 315°

A megfigyelések azt mutatják, hogy a szélirány eloszlások nagyon homogének egész hónapban. A repülőtér és környékén 2 fő szélirány dominál, melyek közül az egyik a leggyakoribb. A fő szélirány és a fő érkezési és indulási irányok többé kevésbé megegyeznek.

A szektorok meghatározása után az 5-ös és 6-os állomás átlagos és maximális zajterhelésének adatait egyesítettem és szektorokhoz rendeltem a 30 napot vizsgálva.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	6.állomás		5.állomás											
2	Max zaj		Max zaj		Szel sek	315.45	45.135	135.225	225.315					
3	0.61434551	0.67414248	0.51668547	0.55324434										
28	75	50.4	78	56.3	8				240					
29	80	49.4	75	55	7				240					
30	85	49.8	79	56.8	8				220					
31	72	48	82	58.4	7				240					
32	77	49.8	83	56.8	8				260					
33	84	49.6	75	57.5	7				260					
34	88	50.9	74	57.8	7				260					
35	92	51.1	78	57.5	7				240					
36	82	51.9	77	56.9	6				220					
37	83	51.4	73	57.7	7				220					
38	74	51.5	76	56.1	7				230					
39	79	51.5	82	58.7	5				220					
40	84	51.2	73	59	5				200					
41	75	49.2	72	57.7	5				200					
42	74	50.2	74	58.4	5				200					
43	73	51.2	82	57.2	4				200					
44	71	50.3	85	58.7	0	0								
45	81	49.8	76	58.2	0	0								
46	71	49.5	75	57.1	0	0								
47	72	45.6	71	55.6	0	0								
48	75	47.2	79	56.2	0	0								
49	72	45.4	73	56.2	0	0								
50	75	47.6	73	55.4	0	0								
51	71	45	70	54.8	0	0								

10. ábra. A szélerősség vizsgálata szektoronként napi bontásban 06_10-én

Ezek után korrelációs számításokat végeztem naponta az átlagos, a maximális zajterhelés kapcsolatát vizsgálva a szélerősséggel. 12 napon tudtam valamilyen összefüggést, kapcsolatot kimutatni. Amint az a 10. ábra alapján megállapítható, hogy 4. szektor szerint szélirány is volt 06.12-én, amely azt jelenti hogy a légijárművek a az 5-ös zajmonitor pont irányába széllal szembe szálltak föl, azaz a 31R vagy 31 L futópálya volt használatban. Továbbá látható, hogy ha nincs légijármű forgalom akkor a maximális zaj a 6-os állomásnál nagyobb azaz a szél elfújja a zajt az 5-ös állomásról a 6-os állomás felé. Látható egy kiugró maximális zajérték az 5-ös állomásnál is ez valószínűleg felszálló légijármű lehetet ugyanis sokkal nagyobb az eltérés a két állomás maximális zajértéke között. De összességében vizsgálva a monitor pontokat hiába látszik, hogy a szél elfújja a zajt a 6-os mérőállomás felé az 5-ös mérőállomás egyenértékű zajterhelése nagyobb. Ez amint már a fentiekben említettem a napi futópálya használatból addódik.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	6.állomás		5.állomás											
2	Max zaj	Átlag	Max zaj	Átlag	Szel sek	315.45	45.135	135.225	225.315					
3	0.68708062	0.66217636	0.4958091	0.73592835										
16	75	52.8	75	57.5	4				160					
17	74	50.5	72	57.3	4				160					
18	69	48.9	75	55.9	4				170					
19	75	48.2	75	59.6	5				190					
20	77	49.9	71	57.8	5				160					
21	82	51.1	70	58.2	5				200					
22	85	50.2	78	58.6	7				170					
23	78	49.3	78	58.7	8				160					
24	87	50.8	77	59.1	10				180					
25	86	54.7	85	58.5	9				170					
26	79	49.9	81	57	8				180					
27	86	49.1	88	57.9	8				210					
28	84	51.7	67	57.1	8				190					
29	80	50.4	69	56.7	10				170					
30	75	54.4	68	57.6	10				180					
31	84	50.1	73	58.7	10				180					
32	78	51.2	74	58.7	10				180					
33	80	51	70	59.4	9				190					
34	76	53.2	79	59	8				180					
35	85	52.2	72	58.7	10				180					
36	87	52.7	69	59.1	10				170					
37	90	52.2	71	58.1	8				160					
38	86	51.8	80	59.9	8				160					
39	86	52.2	84	59	9				170					
40	88	53.4	70	58.7	8				180					
41	86	49.7	69	57.9	9				170					
42	86	54.9	71	57.5	7				140					
43	88	50.2	71	59.3	6				140					
44	86	50.3	71	57.8	5				140					
45	76	49.1	71	55.6	6				150					

11. ábra. A szélerősség vizsgálata szektoronként napi bontásban 06_16-án

A 11. ábra alapján a megállapítható, hogy a 3 szektor szerinti oldalszél esetén is az 5-ös monitor pont egyenértékű zajterhelése lesz a nagyobb.

Tehát az 1, 3 és 4 szektor szelei esetén is a 5-os monitor pont zajterhelése lesz a nagyobb, a kidolgozott zajcsökkentő eljárást figyelembe véve és a preferált futópálya használhatnak köszönhetően. A fizika törvényei alapján, 2-es szektorú szél esetén, 13L vagy 13 R irányú pálya használat esetén a fent említett megállapítások ellenkezője lesz igaz, mert akkor a szél a 5-ös állomás felől a 6-os állomás irányába fogja vinni a zajt.

Következő lépésként, hogy megállapítsam milyen erősségű szél van hatással a zajterjedésére, kiszűrtem azokat a napokat, ahol kapcsolatot találtam a zajterhelés és a szélerősség között. A 12. ábra szerinti megosztásban már külön-külön szélirány függvényében, szektoronként végeztem az adatok csoportosítását.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2	6. állom	5. állom	1. szektor	2. szektor	3. szektor	4. szektor	5. szektor	6. szektor							
3	MAX	ÁTLAG	MAX	ÁTLAG	MAX	ÁTLAG	MAX	ÁTLAG	MAX	ÁTLAG	MAX	ÁTLAG	MAX	ÁTLAG	MAX
4	0,201349	0,140562	0,288856	0,343723	315,45	0,094701	-0,03395	0,109455	-0,09897	15,135	0,074283	0,127244	0,244365	0,481759	
5	76	45	71	48,1	6	76	45	75	57,4	6	73	48,7	74	52,2	7
6	62	42,9	62	44,7	5	74	44,5	75	56,6	5	83	50,2	72	51,6	9
7	60	43,5	72	48,4	6	77	45,7	73	55,2	7	69	49,2	73	53,9	6
8	63	50,4	66	46,9	5	79	46,7	66	54,2	7	75	50,5	76	52,4	4
9	73	49,8	66	51,2	5	74	50	67	52,9	7	77	48,6	77	54,1	3
10	77	49,2	74	55,4	6	73	42	75	51,4	9	85	50,7	66	53,4	5
11	74	49,6	68	54,2	9	61	42,9	86	50,8	10	88	48,6	66	52,7	5
12	74	50,5	78	56	10	61	42,8	63	49,3	11	73	49,5	67	51,4	4
13	80	51,3	83	55,2	8	68	42	65	47,5	8	80	49,9	77	56,4	7
14	74	49,1	77	54,9	10	73	51,4	72	56,9	10	75	52,3	77	57,4	7
15	88	51,4	76	55,5	8	80	51,3	73	55,1	10	77	50,7	84	56,3	8
16	82	51,3	76	55,4	7	78	51,5	75	54,9	9	76	50,4	79	57,7	5
17	76	51,4	80	55,1	5	49,1	80	55,2	75	6	76	49,8	71	56,8	7
18	91	54,9	72	54,9	10	50,7	85	56,1	76	7	88	50,8	81	58,4	8
19	60	43,1	64	51,4	8	51,5	86	57,6	78	7	85	51,3	77	57,9	9
20	75	42,8	65	52,2	9	48,7	87	55,4	75	8	83	50,5	79	57,6	9
21	80	44,6	63	52,1	8	50,5	79	55	79	8	86	55,4	78	57,8	9
22	69	42	63	48,1	7	51,4	79	55	72	10	91	51,5	83	57,8	7
23	67	43,4	63	46,7	5	51,3	86	56,2	82	7	73	51,4	80	58,4	9
24	63	41,2	63	46,9	4	54,1	89	56,5	77	9	77	50,9	77	58,5	11
25	66	41,5	61	47,7	6	52,2	88	55,3	77	9	77	49,1	82	57,7	13
26	66	43,2	69	49,8	7	78	51,3	71	55,4	10	80	49,4	77	58,5	15
27	67	47,9	63	50,3	7	84	52,2	67	54,3	10	81	49,7	78	58,4	8
28	75	48,8	63	52,1	8	83	52,3	68	54,2	12	76	52,9	75	58,1	9
29	79	49,4	63	52,9	8	84	52,9	73	53,8	11	86	53,5	78	58,1	7
30	73	50,2	67	54,9	9	84	51,5	74	54,6	11	82	52,1	76	57,7	7
31	85	53,4	73	59,5	8	86	53,7	65	54,4	11	84	51,3	77	58,9	8
32	81	52,2	72	57,7	7	81	55,3	65	54,4	10	87	51,2	71	58,1	5
33	74	53,2	73	57	7	88	55	68	53,6	10	86	50,8	74	55	9

12. ábra. A szélerősség vizsgálata szektoronként

A 12. ábra szerinti csoportosításkor már csak a 6 m/s—os szélerősségtől vettem figyelembe szektorok szerint a zajterhelést. Majd korrelációs számítását végeztem szektoronként a maximális zajterhelés és átlagos zajterhelés kapcsolatát vizsgálva a szélerősséggel. Az előző vizsgálataim alapján már volt információ arról, hogy egy erősebb szelesebb időben a korrelációs számítás elviszik negatív irányba a kisebb erősségű szelek. Ezért a következő esetekben, ahol már megfigyeltem legalább 13 m/s-os szél-erősséget ott már csak 9 m/s –tól kezdtem el foglalkozni a szélerősséggel. Majd szűrőpróba szerűen folyamatosan hagytam el a kisebb erősségű szeleket minél nagyobb kapcsolatot keresve.

Vizsgálataim során rámutattam arra, hogy az esős idő általában növeli a környezet zajterhelését. Nagyon nehéz azonban leválasztani az egyes meteorológiai elemek hatását mivel azok szeszélyes el-

oszlásban egyszerre lépnek fel és hatásuk összegződik. A hangsebesség a hőmérséklettől és a széltől függ. A legdöntőbb hatások nyilvánvalóan a levegő hőmérsékleti rétegződésének sajátosságaiból származnak.

Vizsgálataim során továbbá rámutattam még arra is, hogy a Ferihegyi repülőtér a Ferihegyi repülőtér környezetében az ÉNy-i szélirány a domináns, ebből kifolyólag 5-ös mérőállomás egyenértékű zajterhelése lesz nagyobb, mert számos esetben a preferált futópálya, a 31 R vagy 31 L.

- zajt elfújja a szél.
- a napi maximális zajterhelés befolyásolja a napi átlagos zajterhelés alakulását.
- a magas páratartalom miatt a hang csillapítása kisebb lesz, és ha ehhez párosul még egy erősebb szél, amely befolyásolhatja a mozgó tárgyaknál a doppler hatást, az nagymértékben hozzájárul a zajterhelés alakulásához
- 9-11 m/s illetve az ennél nagyobb erősségű szél befolyásolja a zajterjedését a Ferihegyi Nemzetközi repülőtér környezetében.
- 1 ,3 és 4 szektor szelei esetén is a 5-ös zajmonitor pont egyenértékű zajterhelése lesz a nagyobb, a kidolgozott zajcsökkentő eljárást a preferált futópálya használatot figyelembevé.
- A látástávolság és a szélerősség között közepes kapcsolatot egyetlen napon figyeltem meg.

Saját tapasztalataim és a Légiközlekedési Igazgatósághoz benyújtott panaszok egyértelműen azt mutatják, hogy a lakosságot a maximális zajterhelés és annak gyakorisága zavarja.

Azt tudomásul kell venni, hogy az Európai szabályozást a zajnak nem a maximális értékére, hanem az egyenértékre hozták meg a jogalkotók.

A repüléssel járó zajterhelés egyike azon urbanizációs zajártalomnak, amely modern életünk és az urbanizáció fejlődése kapcsán az egyéb előnyök élvezete mellett el kell viselnünk. A zaj az iparilag fejlett országokban növekvő környezeti terhelést okoz és hatásai elsősorban a légkör közvetítésével érvényesülnek. A szuperszónikus repülés, a korszerű rakétatechnika, műholdak felbocsátásakor és visszaérkezésekor felmerülő irányítástechnikai problémák új igényeket támasztanak a hang légköri terjedési sebességének minden rétegre és övezetre kiterjedő pontos feltérképezése és előrejelzése iránt.

A nagyobb távolságra terjedő hangok (repülőtéri- és közúti zajok, stb.) esetében a hatékony és gazdaságos védekezési módok kifejlesztése szükséges, amely a légköri akusztikával foglalkozó szakértők számára ad feladatokat.

Időjárástól függően javaslom a szélirány szerinti pályahasználatot. A két futópálya között nagy eltérések lehetnek, mert több kilométer egyes küszöböknek a távolsága egymástól.

A pálya használat esetében az egyik legfontosabb szempont maga a szélkomponens. Ez több órára, de esetleg több napra is meghatározza a felszállási leszállási irányokat.

Felszállási zajt erősen lehet csökkenteni, ha a szembeszél hatását figyelembe vesszük, mivel a repülőgép ugyanolyan teljesítménynél meredekebben emelkedik. Ezért felül kell vizsgálni azokat a meteorológiai tényezőket is, hőmérséklet, páratartalom, sűrűség, amelyeket figyelembe veszünk a később-

biekben felhasználható rövid távú zajövezetek számítására, amely mindenképpen a lakosság igazságosabb zajterhelését eredményezi.

Ugyancsak figyelembe kell venni a tervezhető légijármű javításoknál a meteorológiai viszonyokat, mivel a hajtóművezetés (karbantartási hajtóműpróba) szintén meteorológiai körülményektől függő. E miatt a meteorológiai viszonyok miatt szükségesnek tartom zajtompítás céljából külön hangár kiépítést.

Kialakult az a paradox helyzet, amely szerint a repülés fejlődése, teljesítményének növelése nemzetgazdasági érdek, ugyanakkor a lakossági ellenállás növekedése következtében a fejlesztések csak a csatlakozó környezetvédelmi beruházások megfelelő szintje mellett valósulhatnak meg a folyamatosan szigorodó környezetvédelmi előírások betartásával, miközben a lakossági tiltakozások is egyre növekednek az egyes pályák közvetlen környezetében lakók esetében a fel- és leszállások ellen. A repülőtér fel- és leszálló pályáinak környezete beépült. A beépített ingatlanok pálya – tengelyektől való távolsága Rákoshegy irányába kevesebb, mint 1500 méter, Vecsés irányába kevesebb, mint 3000 méter, Üllő irányába, kevesebb, mint 6000 méter Pest felé, kevesebb, mint 3000 méter.

Áttekintve a repülőtér környezetének településszerkezetét, olyan pályahasználatot javaslok, ahol az érintett lakosságnak napi repülési zaj mentes időszakai alakíthatóak ki, illetve alacsony forgalmú időszakokban olyan megközelítési eljárások bevezetésében érdekelt, amelyek lehetőség szerint lakott területeket nem érintenek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR.BUDÓ ÁGOSTON - DR. PÓCZA JENŐ (1962): Kísérleti fizika. Tankönyvkiadó, Budapest 342 p. 346 p. 348 p.
- [2] ICAO ANNEX 3. (2007) International Standards and Recommended Practises, Meteorological Service for International Air Navigation
- [3] ROHÁCS J.(1994): A légi közlekedés hatása a környezetre. Budapest, OMIKK, 6 p., 10-11 p.
- [4] TARNÓCZY T.(1984): Hangnyomás, Hangosság, Zajosság, Akadémia Kiadó, Budapest 33-35 p.
- [5] SOMOGYI R (2004): Légiközlekedés zajmennyiségek mérése, számítása és értékelése . Diplomamunka 14 p.18p.