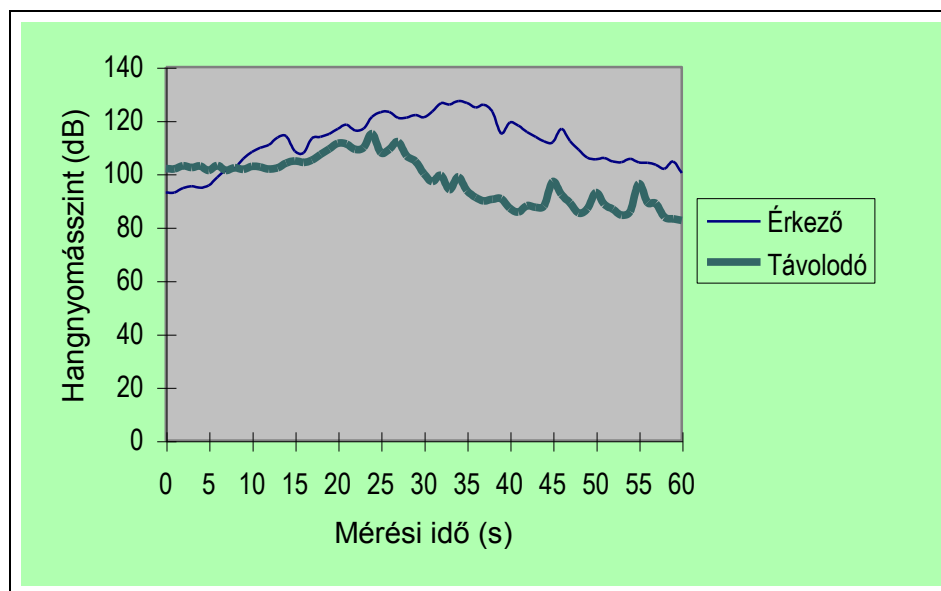


HELIKOPTER LESZÁLLÓHELY ZAJVÉDELMI TERVEZÉSE

Helikopteres repülésre és a lakóterületek felett végzett repülési műveletekre a növekvő igények miatt egyre gyakrabban kerül sor, ezzel együtt a beépített területeken helikopter leszállóhelyek létesítését és működtetését is meg kell oldani. A leszállóhelyek tervezését azonban erőteljesen meghatározza, ha a létesítményt olyan települési környezetben kívánjuk elhelyezni, ahol a szomszédos építmények zaj elleni védelmét is biztosítani kell. Előfordul, hogy egy-egy területen a repülési műveletszám erőteljes korlátozása is szükséges, vagy a leszállási és kirepülési útvonalak pontos kijelölése jelenti a zajvédelmi követelmények teljesítésének egyik lényeges feltételét. A leszállóhelyek tervezésénél ezért napjainkban már elkerülhetetlen a repüléstől származó zaj előzetes becslése és meghatározása, illetve a zaj elleni védelemhez szükséges intézkedések tervezési fázisban történő kidolgozása. A helyes megoldáshoz azonban a rendelkezésre álló adatok pontosítása, a korábban alkalmazott vizsgálati módszer korszerűsítése szükséges.

REPÜLÉSTŐL SZÁRMAZÓ ZAJTERHELÉS

A repülési zaj értékelésénél és a zavaró hatás mérlegelésénél az egyedi átrepülésektől származó zaj átrepülési időre vonatkozó, méréssel megállapított értékei a mérvadók. A vonatkozó jogszabályokban előírt követelmények szerinti minősítés esetében azonban már a nappali 16 óra és az éjszakai 8 óra megítélési idővel számolunk, ami a rövid idejű, de magas hangnyomásszintet okozó átrepülések esetében is kisebb értéket ad, a legtöbb esetben a határértékek teljesüléséhez járul hozzá. Így van ez akkor is, ha egy-egy repülési műveletnél a zajszint-változás vagy a maximum értékek alakulása kimagasló jellegű.



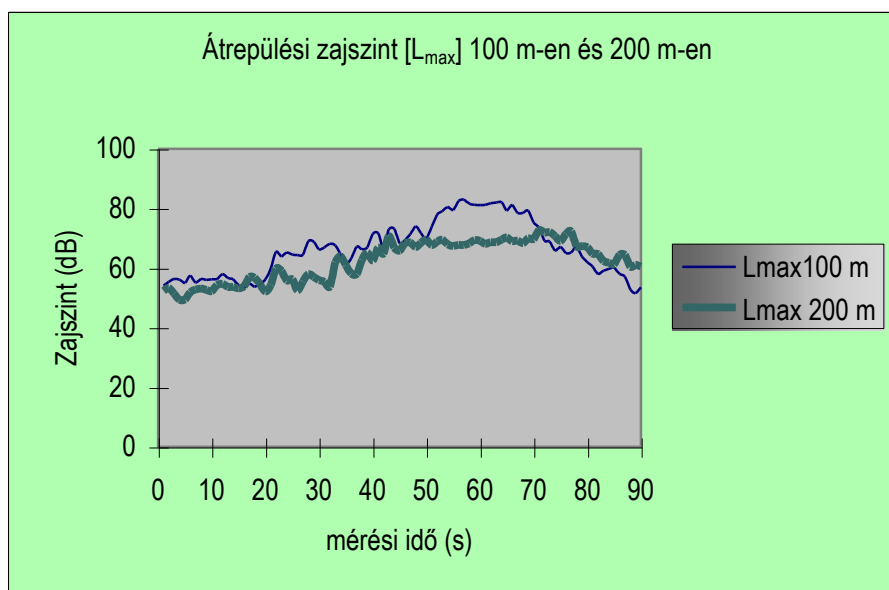
1. ábra. Érkező és távolodó helikoptertől származó zajterhelés

A szubjektív érzékelés szempontjából a repüléstől származó zaj megjelenése, érkezéskor a környezeti alapzajtól való kiemelkedés, távolodáskor a környezeti alapzajban való eltűnés adja a zajhatást. Egy érkező és egy távolodó MI-8 típusú helikopter átrepülése során, közvetlenül az

átrepülési útvonal alatt műszeres méréssel meghatározott zajterhelés adataiból megrajzolt zajszint-idő függvényt mutatja az 1. ábra.

Megfigyelhető, hogy az érkezés és a távolodás időszakában jelentős különbségek adódnak. Az érkező és a leszálló helikopter által kifejtett hajtómű-teljesítmény, a járműszerkezet és a forgószárny által lesugárzott zaj, valamint a környezeti jellemzők miatt a hangtér jellegében eltérés tapasztalható.

Az azonos időszakra vonatkozó zajszint adatokban további szembevetendő különbség, hogy a maximális értékek nem közvetlenül akkor észlelhetők, amikor a zajforrás és a vizsgálati pont közötti távolság a legkisebb. A különbség elsődleges oka az, hogy a forgószárny és a faroklégcsavar-lapátok eltérő zajkeltése a hangtér deformációját okozza.



2. ábra. Átrepülési zajszintek alakulása eltérő magasság esetében

A kialakuló hangtér másik jellemzője, hogy a távolodó helikopter esetében több kiemelkedő csúcs-szint is megfigyelhető, ami a szubjektív értelemben is észlelt zajhatás növekedéséhez vezet. Több megismételt méréssorozat adatai vezettek arra a megállapításra, hogy az észlelési pont és a térben mozgó zajforrás közötti távolság növekedésével a kigyorsítás sebességétől függetlenül észlelhetők az újra és újra kiemelkedő hangnyomásszintek.

Ehhez hasonló jelenség figyelhető meg a repülési magasság növelése során, amikor a zajforrás és a terhelési pont közötti távolságot szintén megnöveljük. Talajszinten és azonos körülmények mellett kijelölt vizsgálati pont felett, eltérő magasságban átrepülő helikoptertől származó zajterhelés értékeit mutatja a 2. ábra. Jól megfigyelhető, hogy 100 m-en és 200 m-en megválasztott repülési magasság esetében a kimutatott zajszintek jellegükben nem különböznek egymástól. Ezzel együtt a maximális értékek között csak rövidebb időszakokban van különbség.

Az idő függvényében rögzített maximális A-hangnyomásszintek (L_{max}) és az időegységre vetített egyenértékű A-hangnyomásszintek közötti különbséget az 1. táblázat mutatja. A műszaki gyakorlatban az egyenértékű hangnyomásszintet alkalmazzuk a határértékekkel történő összehasonlításra és az értékelésre, ami a méréssel kimutatott maximális értékek jelentőségét csökkenti. Fontos megjegyezni, hogy a közölt zajszint értékek beépítetlen szabad térben, általános mezőgazdasági terület fölötti átrepülésre vonatkoznak, ahol a terület növényzettel fedett. A mérési körülmények, a környezet és az esetleges beépítettség jellemzői a későbbiekben, az előzetes tervezés és a tényleges vizsgálat eredményeinek elemzése során kapnak még jelentőséget.

Zajszintek		1. táblázat	
Átrepülési magasság 100 m		Átrepülési magasság 200 m	
$L_{\max}$	L_{Aeq}	$L_{\max}$	L_{Aeq}
81,8 dB	73 dB	72,3 dB	63 dB

Az egyenértékű A-hangnyomásszint (L_{Aeq}) annak a folyamatos A-hangnyomásszintnek az effektív értéke adott T idő alatt, amely azonos a vizsgált, időben változó zaj effektív értékével az (1) egyenlet szerint:

$$L_{Aeq, T} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} df \right] \quad (1)$$

ahol:

$L_{Aeq, T}$ az egyenértékű A-hangnyomásszint a t_1 -től a t_2 -ig tartó T időtartam alatt decibelben.

P_0 a vonatkoztatási hangnyomás értéke (20 μ Pa).

$P_A(t)$ pillanatnyi hangnyomás érték.

Látható, hogy a repülési zajesemény vizsgálatánál az időegységre vetített egyenértékű szintek figyelembevételével, a valóságban észlelt maximális zajszintnél [$L_{\max}$] jóval kisebb hangnyomásszintet kapunk, ami a zajhatás értékelését torzítja, az esetleges probléma megoldásánál bizonytalansági tényezőt jelent.

TERVEZÉSI MÓDSZER

Helikopter leszállóhely használatától származó zajterhelést a leszállási-, a felszállási- és az átrepülési hangnyomásszintek alapján számíthatjuk napi le- és felszállási műveletek figyelembevételével a (2) egyenlet szerint.

$$L_{AM} = 10 \cdot \lg \left[M \cdot \left(\tau_{ref} / T \right) \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AX}} \right] \quad (2)$$

ahol:

L_{AM} a repülési zaj mértékadó A-hangnyomásszintje [dB].

M a repülési műveletek száma egy napra vonatkoztatva (le- és felszállás egy repülési művelet).

τ_{ref} 1 sec.

T Vonatkoztatási idő, nappali időszakban $T = 16$ óra, azaz 57 600 sec.

L_{AX} Repülési műveletre vonatkozó átlagos repülési zajesemény-szint.

A számításhoz a MI-2 típusú, valamint a járműpark korszerűsítésével a jövőben sok helyen használni kívánt EC 132 T2 típusú helikopter esetében elvégzett műszeres zajvizsgálatok eredményeit használtuk fel, amit a 2. táblázat mutat.

A repülési műveletektől származó környezeti zajterhelés (2) egyenlet alapján számított értékeit a leszállóhely közvetlen környezetében a 3. táblázat szemlélteti.

Repülési zajszint értékek			2. táblázat		
MI-2 helikopter			EC 132 T2 helikopter		
Leszállás	Felszállás	Átrepülés	Leszállás	Felszállás	Átrepülés
97,5 dB	92,9 dB	88,5 dB	94,9 dB	88,3 dB	85,7 dB

Repülési zaj számított értékei		3. táblázat	
MI-2 helikopter		EC 132 T2 helikopter	
1 repülési művelet	5 repülési művelet	1 repülési művelet	5 repülési művelet
$L_{AM} = 41$ dB	$L_{AM} = 48$ dB	$L_{AM} = 38$ dB	$L_{AM} = 45$ dB

A tervezés folyamatában a helikopter működésétől származó maximális hangnyomásszintek mellett az időegységre —leggyakrabban a vonatkozó jogszabályokhoz igazodva a napi 16 óra megítélési időre— vetített napi átrepülések száma is meghatározó. Ez a feltétel azonban jelentős korlátozást jelenthet a leszállóhely használatában, hiszen a repülési műveletszámok betartása a későbbi üzemeltetés során kötelező érvényű lesz. Felvetődik tehát a kérdés, hogy a repülési zaj kialakulásában a maximális zajszintek és a környezeti tényezők változása milyen hatással lehet?

TERVEZÉS ÉS VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

Amennyiben egy helikopter leszállóhely használatából származó zajterhelést kell előzetesen meghatároznunk, a számításoknál és a becslésnél a légi járműre vonatkozó hangnyomásszintek, az ebből meghatározott hangteljesítményszint felhasználása és a hangtér adottságainak figyelembe vétele elkerülhetetlen. A műszeres zajmérés eredménye azonban minden esetben az adott környezeti állapot, a vonatkozó előírások figyelembevételével kijelölt vizsgálati helyszín, és a vizsgált helikopter műszaki jellemzői alapján kimutatott zajszint érték.

A környezeti zajterhelést számos tényező befolyásolja, a tényleges értékek az adott környezeti jellemzők, a hangterjedést módosító tényezők, valamint a repülési eljárás függvényében is változnak. Helyszíni zajmérések tapasztalata, hogy az adott környezetben mért A-hangnyomásszintek eltérést mutatnak az előzetes becsléssel meghatározott értékektől, ennek következménye lehet a repülési műveletek utólagos korlátozása vagy a repülési eljárás módosítása. Azonban a kijelölt repülési útvonalat a környezetvédelmi követelmények mellett számos más tényező is (pl. repülésbiztonság, légtérhasználat) befolyásolja, így megváltoztatására esetenként nincs lehetőség.

A tervezési folyamatban három meghatározó tényező van, ami a végeredményt alapvetően meghatározza:

- Helikopterre vonatkozó leszállási-, átrepülési- és felszállási zajszint. Vagy a légijármű zajbizonyítványában szereplő adat, vagy egyedi vizsgálattal meghatározott érték.
- Repülési műveletek száma az adott időegységre vonatkoztatva.
- A légijármű, mint zajforrás és az előzetesen meghatározott védendő létesítmények, azaz a kijelölt terhelési pontok közötti távolság.

Leszállóhelyek tervezése és későbbi üzemeltetése során a légijármű jellemzőit, így a maximális és az egyedi átrepülésekre vonatkozó zajszinteket alapadatként vesszük figyelembe. A repülési művelet jellemzői, mint a le- és felszállási irányok, vagy a repülési magasság, valamint a környezeti adottságok közötti kapcsolatot azonban érdemes alaposabban vizsgálni, mivel a kialakuló hangtér és a hangterjedési viszonyok a zajhatás mértékét kisebb-nagyobb mértékben, esetenként döntően befolyásolják.

A légijármű, mint sugárzó hangforrás hangteret létesít maga körül, ennek jellemzésére használjuk a hangtér adott pontjában kimutatott hangnyomás (L_p) értéket. A zajforrásra a hangnyomásszintekből megállapított és kisugárzott hangteljesítményszint (L_w) a jellemző. A légijárműre jellemző zajszint érték, a lesugárzott hangteljesítmény és a hangtér közötti kapcsolatot az alábbiak szerint jellemezhetjük:

- Vizsgálunk kell, hogy a zajforrás a hangtér mely részébe sugározza le összhangteljesítményének adott részét, vagyis a lesugárzás irányítottságát.
- A kapcsolat függ a hangtér állapotától is, a hőmérséklet megoszlása, a szélirány- és sebesség mellett a vizsgált terület beépítettségére jellemző terjedési viszonyoktól.

Tehát a tervezés folyamatát a továbbiakban ki kell terjesztenünk a repülési művelettel érintett terület vizsgálatára is, vagyis a beépítettségre és a hangterjedést befolyásoló környezeti jellemzőkre. Emellett a leszálló és a felszálló helikoptertől származó zajszintek közötti különbségek és a repülési irányok együttes értékelésére is szükség van.

A továbbiakban annak lehetőségeit vizsgáljuk, hogyan lehet a helyszíni zajmérések eredményeit felhasználni és alkalmazni a várható zajterhelés minél pontosabb meghatározása érdekében, egyben keresve annak lehetőségeit, hogy az előzetes becsléssel kimutatott zajszint adatok a későbbi üzemeltetésnél célszerűen felhasználhatók legyenek.

Számított zajterhelés előzetes vizsgálatoknál

A leszállóhelyek előzetes vizsgálata vagy tervezése, esetlegesen a várható hatások becslése során a leggyakrabban nincs lehetőségünk a későbbiekben megvalósuló, tényleges leszállóhely használatától származó zaj vizsgálatára. Abban az esetben, amikor a létesítmény kiépítése előtt kell megmondanunk, hogy a tervezett elhelyezéssel már kialakult környezeti viszonyok mellett mekkora zajterhelés várható a védendő területeken, a légijármű adataira és a szokásosan alkalmazott számítási eljárásra hagyatkozhatunk. Ekkor az ideális esetre vonatkozó elméleti összefüggések felhasználásával, a zajforrás és a terhelési pont közötti távolság alapján a leszállási-, átrepülési- és felszállási zajszintekből számítjuk a vizsgálati pont távolságának figyelembe vételével a várható zajterhelést.

A befolyásoló tényezők nagy száma és összetettsége miatt —rész-zajforrások eltérő zajintenzitása és karakterisztikája, sugárzási tényezője, a légijármű térbeli helyzete— előzetes becslésnél a gyakorlati igényeket a vonatkozó műszaki szabványokban foglalt összefüggések is kielégítik. A számítást elvégezhetjük a (2) összefüggés alapján, amikor a repülési műveletre vonatkozó átlagos repülési zajesemény-szinteket vesszük alapul. A vizsgálat keretében kijelölt terhelési pontra vonatkozó L_t (L_{AM}) hangnyomásszint értéket a távolság és a hangelnyelés figyelembe vételével a (2) összefüggéssel határozzuk meg a következők szerint:

$$L_t = L_{ref} - 20 \cdot \lg \frac{d}{d_0} - R \cdot \alpha(d - d_0) \quad [dB] \quad (2)$$

A (2) összefüggés a zaj gömbsugárzóra vonatkozó terjedésére, és a távolságtól függő geometriai hangnyomásszint-csökkenés feltételezésével adja meg a zajterhelést. Az R az irányítási tényező, az α a környezeti jellemzők miatt fellépő csillapítási tényező.

A zajforrás és a zajterhelési pont közötti távolság zajcsökkenésre gyakorolt hatását a (2) összefüggés figyelembe vételével, EC 132 T2 típusú helikopterre vonatkozó adatok alapján számítottuk, az eredményeket 4. számú táblázat szemlélteti. Az előzetes vizsgálatnál a légijárművet szabadban mozgó zajforrásnak tekintjük, és feltételezzük, hogy a lesugárzott hangteljesítmény minden irányban azonos intenzitással terjed.

Számított zajszint értékek

4. táblázat

Leszállás			Felszállás			Átrepülés		
$L_{ref} = 94,9 \text{ dB}$			$L_{ref} = 88,3 \text{ dB}$			$L_{ref} = 85,7 \text{ dB}$		
Távolság $s_t = 50 \text{ m}$			Távolság $s_t = 100 \text{ m}$					
Leszállás	Felszállás	Átrepülés	Leszállás	Felszállás	Átrepülés			
49,9 dB	43,3 dB	40,7 dB	43,9 dB	37,3 dB	34,7 dB			

A jelenleg rendelkezésünkre álló, légijárművekre vonatkozó zajszint adatok, és a tapasztalati összefüggések csak egy idealizált állapotra vonatkozó becslést tesznek lehetővé. Ennek oka, hogy a térben mozgó zajforrástól származó hangnyomásszinteket műszeres mérésekkel talajszinten (mérési pont magassága adott terhelési pontban $h = 1,5 \text{ m}$) tudjuk meghatározni. A leszálló, a felszálló vagy az átrepülő légijármű összetett zajforrás, a számításnál ugyanakkor határolatlan térbe sugárzó, minden irányba azonos intenzitással sugárzó hangforrásként vettük figyelembe. Mindez jelentős bizonytalanságot okoz a számítással meghatározott zajterhelésben és értékelésében.

Az elméleti összefüggéseken alapuló eljárásból és a kapott eredményekből (4. táblázat) kitűnik, hogy a szabad térben mozgó zajforrás ideális körülmények között, mint gömbsugárzó működik, emiatt a távolság megkétszerezésével a hangnyomásszint 6 dB-lel csökken. A távolság zajcsökkenésre gyakorolt hatása mellett azonban az egyéb környezeti jellemzők —beépítettség hatása, hangvisszaverődés és hangelnyelés, szélmozgás és hőmérséklet— figyelembe vétele is indokolt. Ezek közül emeljük ki jelen esetben az eltérő környezetben kialakuló hangterjedést, vagyis a terület beépítettségéből adódó jellemzőket. A szabad hangterjedést befolyásoló építmények reflexiók hatása miatt jelentkező hangnyomásszint változás, valamint ezzel összefüggésben a földhatás-jelenség figyelembe vételére a számításoknál tapasztalati eredmények alapján van lehetőség.

Zajmérések eredményei

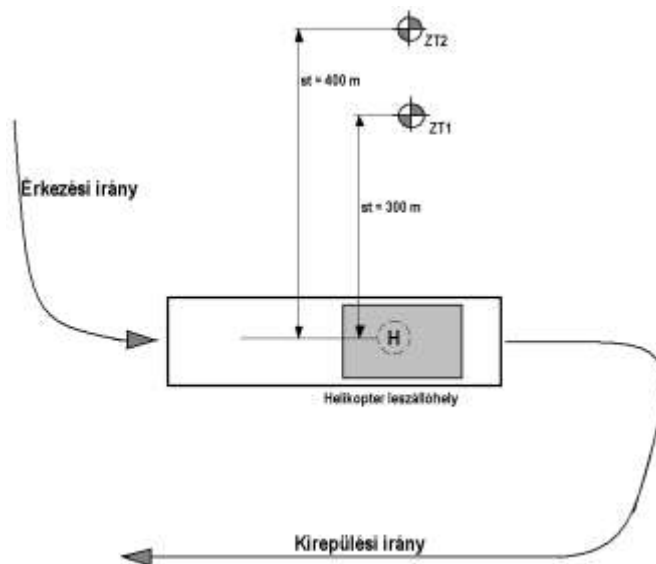
Pontosabb eredményt kapunk, amikor a vizsgált területen a tervezett leszállások és kirepülések végrehajtására már lehetőség nyílik, és a légijármű adatait —leszállási zajszint, átrepülési zajszint, felszállási zajszint— a védendő területen kijelölt terhelési pontban műszeres mérésekkel meghatározzuk. Ekkor a vizsgálati eredményt módosíthatják a környezeti adottságok, így a terület beépítettsége miatt fellépő hangvisszaverődés, a felületek és környezeti elemek hangelnyelése, a környezeti alapzaj, esetlegesen az ebből adódó hangelfedés.

Távolabbi, a zajforrástól esetenként több száz méterre (pl. 400-500 m) kijelölt terhelési pontban számított értéket a távolság mellett már az egyéb környezeti tényezők jelentős mértékben befolyásolják. Természetesen akár számítással, akár műszeres mérésekkel határozzuk meg a zajterhelést, a kapott eredményt a legkisebb bizonytalansággal, illetve a valós helyzetnek megfelelő legnagyobb pontossággal kell meghatározni, ami feltételezi, hogy a környezeti adottságok zajszint-változásra gyakorolt hatását is figyelembe vesszük. Ez a célkitűzés a korábbiakban bemutatott (1) és (2) összefüggéseken alapuló számítási eljárásban a bizonytalanságot adó tényezők alaposabb vizsgálatát igényli. A továbbiakban helyszíni zajmérési eredmények alapján mutatom be, hogy helikopter leszállóhely használata során, tényleges repülési műveletektől származó zaj jellemzői hogyan alakulnak települési környezetben.

A vizsgálat során, lakóterületen létesített leszállóhelyre érkező és onnan induló helikoptertől származó hangnyomásszinteket mértük eltérő távolságban kijelölt terhelési pontokban. A méréseket a beépítettség függvényében, zaj ellen védendő területen végeztük el a következő távolságokban:

- ZT1 jelű mérési pont a repülési útvonaltól $s_t = 400$ m-re.
- ZT2 jelű mérési pont a repülési útvonaltól $s_t = 300$ m-re.

A terhelési pontot mindkét esetben lakóházak homlokzata előtt, a talajtól 1,5 m-es magasságban határoztuk meg. A vizsgált leszállóhely elhelyezkedését, a repülési útvonalat és a terhelési pontok kijelölését a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A leszállóhely és a vizsgálati pontok elhelyezkedése

A leszállóhelyet a zajmérések során Robinson R44 típusú helikopter használta. A vizsgált repülési műveletek:

- Álló helyzet alapjáraton, üzemi fordulaton motormelegítés, felemelkedés, kirepülési irányra történő ráfordulás, fokozatos emelkedés közben kirepülés és távolodás.
- Érkezés, berepülés és fokozatos ereszkedés (repülési magasság csökkentése), leszállóhely megközelítése és fokozatos leereszkedés, alapjáraton a hajtómű visszahűtése.

A zajmérési eredményeket az 5. és 6. táblázatokban adjuk meg mérési pontonként, ahol az egy felszállás és az egy leszállás több mérési eredményből vett átlagos zajeseményszintjét (L_{AX}) határoztuk meg. A mérési eredmények jelenlegi értékelésénél eltekintek az alappaj és a tonális összetevők részletes értékelésétől, a vizsgálatnál a ténylegesen mért hangnyomásszinteket vettem alapul.

ZT1 pontban mért zajszint értékek

5. táblázat

Repülési művelet	Zajeseményszint	Átlagos zajeseményszint
Felszállás 1	$L_{AX} = 79,9 \text{ dB}$	$L_{AX} \text{ átlag} = 79,6 \text{ dB}$
Felszállás 2	$L_{AX} = 79,2 \text{ dB}$	
Leszállás 1	$L_{AX} = 70,5 \text{ dB}$	$L_{AX} \text{ átlag} = 71,4 \text{ dB}$
Leszállás 2	$L_{AX} = 72,2 \text{ dB}$	
Teljes fel- és leszállás eredője		$L_{AX} \text{ eredő} = 80,2 \text{ dB}$

ZT2 pontban mért zajszint értékek

6. táblázat

Repülési művelet	Zajeseményszint	Átlagos zajeseményszint
Felszállás 1	$L_{AX} = 77,6 \text{ dB}$	$L_{AX} \text{ átlag} = 78,0 \text{ dB}$
Felszállás 2	$L_{AX} = 78,5 \text{ dB}$	
Leszállás 1	$L_{AX} = 77,9 \text{ dB}$	$L_{AX} \text{ átlag} = 77,6 \text{ dB}$
Leszállás 2	$L_{AX} = 77,2 \text{ dB}$	
Teljes fel- és leszállás eredője		$L_{AX} \text{ eredő} = 80,8 \text{ dB}$

A vizsgálati eredmények további értékelését azzal a korábban tett megállapítással folytatjuk, hogy a környezetben okozott zaj értékelését és szubjektív megítélését a legnagyobb hangnyomásszintek mellett a különböző frekvencia sávokban mért hangnyomásszintek is meghatározzák. Az elvégzett zajmérések alapján a helikopterek felszállásától származó zajszinteket a frekvencia függvényében a 7. táblázat mutatja.

Hangnyomásszintek a frekvencia függvényében

7. táblázat

Frekvencia [Hz]	Repülési idő másodpercenkénti bontásban			
	5 s	10 s	15 s	20 s
	Mért hangnyomásszintek [dB]			
25	63,3	61,7	58,5	57,9
31,5	72,4	59,8	56,6	55,8
40	69,9	58,9	62,1	56,1
50	64,5	57,4	59,9	62,9
63	60,9	58,9	57,3	55,9
80	62,6	60,8	54,9	58,5
100	60,4	56,8	52,2	51,9
125	63,8	77,9	66,1	56,6
160	72,1	65,6	53,8	51,7
200	64,8	60,9	59,0	53,5
250	62,7	68,4	63,9	55,9
315	68,9	64,8	60,9	58,8
400	62,7	63,6	60,3	53,5
500	63,8	60,3	59,1	50,9
630	59,5	58,8	56,8	52,7
800	61,8	56,6	57,1	49,9
1000	59,2	53,4	56,9	47,8

7. táblázat folytatása

Frekvencia [Hz]	Repülési idő másodpercenkénti bontásban			
	5 s	10 s	15 s	20 s
	Mért hangnyomásszintek [dB]			
1250	59,9	54,8	53,1	46,1
1600	54,9	56,9	48,8	45,6
2000	53,1	53,7	43,7	41,4
2500	52,8	47,7	46,8	35,7
3150	48,9	45,8	43,9	31,6
4000	43,7	39,8	35,1	24,6
5000	36,9	34,3	24,5	21,7
6300	32,6	26,3	22,9	24,1
8000	21,5	24,1	21,5	21,1

A vizsgálati eredmények alapján látható, hogy a legnagyobb hangnyomásszintek a mély frekvenciákon, a kiugró tonális összetevők értékelése szerint 125 Hz-en, 160 Hz-en és 315 Hz-en alakulnak ki. A magas hangok a terjedési úton jobban csillapodnak, mint a mélyek. A többletcstillapítás mértéke a repülési zaj földön észlelt nagyságát befolyásolja, az elnyelés hatása a zajforrás és az észlelési pont közötti távolság növelésével meghatározó szerepet kap. Ezzel együtt nem mindegy, hogy a lesugárzott zajszintekben a frekvencia függvényében hol mutathatók ki a legnagyobb hangnyomásszintek.

Mérési tapasztalataink szerint az $f = 125$ Hz-en és az $f = 160$ Hz-en jelentkező legnagyobb értékek a terjedési úton várt csillapodás mértékét rontják. Emiatt beépített területen az egyéb környezeti jellemzők hangterjedésre gyakorolt hatása, a térben (vizsgált környezetben) található felületek esetleges hangelnyelése nagyobb szerepet kap.

Számítási és a vizsgálati eredmények együttes értékelése

A korábbiakban bemutatott (2) összefüggés alapján a ZT1 mérési pontban kimutatott zajszintek figyelembe vételével számítással is meghatározhatjuk a ZT2 pontban várható zajterhelést. A számítással először a távolság növelésének zajcsökkenésre gyakorolt hatását vizsgáljuk, az eredményt a 8. táblázatban foglaltam össze. A ZT2 mérési pontban méréssel kimutatott és a számított eredmények összevetését szemlélteti a 9. táblázat.

ZT2 pontban számított zajszint értékek 8. táblázat

Átlagos zajeseményszint ZT1 mérési pontban	Távolság ZT1 és ZT2 mérési pontok között	Számított zajeseményszint ZT2 mérési pontban
$L_{AX \text{ mért}} = 80,2 \text{ dB}$	$s_t = 100 \text{ m}$	$L_{AX \text{ számított}} = 77,7 \text{ dB}$

ZT2 pontban mért és számított zajszint értékek összevetése 9. táblázat

Számított zajszint ZT2 mérési pontban	Mért zajszint ZT2 mérési pontban	Különbség
$L_{AX \text{ számított}} = 77,7 \text{ dB}$	$L_{AX \text{ mért}} = 80,8 \text{ dB}$	$\Delta L = 3,1 \text{ dB}$

A vizsgálatot többször megismételve a méréseket befolyásoló környezeti alapzaj függvényében 0,1-0,4 dB-es eltérést mutatva ugyanazt az eredményt kaptuk. Megállapítható, hogy a számított és a mért értékek között jelentős, +3 dB-es különbség adódik, ami a beépítettségre jellemző reflexiós hatásnak, illetve az egyéb környezeti jellemzőknek —beépítettség miatti hangvisszaverődés és hangelnyelés hiánya, szélmozgás és hőmérséklet— tudható be. A 3 dB-es zajszint-növekmény a hanghatás megkétszereződését jelenti, vagyis szubjektív érzékeléssel kétszer hangosabbnak ítéljük meg az észlelt hanghatást.

A mért zajszintek alapján megállapíthatjuk, hogy a (2) összefüggésben a távolság, az R irányítási tényező, és az α -val jelölt csillapítási tényező miatt fellépő hangnyomásszint csökkenésben a beépítettségéből eredő zajszint-változásnak is jelentősége van. Beépített területeken számolnunk kell a sík felületekről történő hangvisszaverődéssel, valamint az un. földhatásból származó hangelnyelés hiányával.

Beépítetlen szabad térben, növényzettel fedett általános mezőgazdasági terület fölötti átrepülésre vonatkozó mérési eredmények bizonyítják, hogy a szabad tér (természetes környezet) és az épített környezet (építmények, mesterséges műtárgyak) hatása adott esetben meghatározó lehet a kialakuló zajterhelésben. Beépítetlen terület feletti átrepüléstől származó zajszinteket vizsgáltunk 100 m-es és 200 m-es repülési magasságok alapján, a vizsgálati pontot 1,5 m-es magasságban jelöltük ki. A méréssel kimutatott és a számított hangnyomásszinteket a 8. táblázat mutatja.

Zajszintek szabad térben 8. táblázat

Mért hangnyomásszintek			
Távolság 100 m		Távolság 200 m	
L _{max} mért 100	L _{AX} mért 100	L _{max} mért 200	L _{AX} mért 200
81,8 dB	72,8 dB	72,3 dB	63,3 dB
Számított hangnyomásszintek			
Zajeseményszint Távolság: 100 m	Távolság	Számított zajeseményszint Távolság: 200 m	
L _{AX} mért = 72,8 dB	s _t = 100 m	L _{AX} számított = 66,8 dB	
Különbség a mért és a számított zajszintek között			
Számított zajszint	Mért zajszint	Különbség	
L _{AX} számított = 66,8 dB	L _{AX} mért = 63,3 dB	ΔL = -3,5 dB	

Látható, hogy a beépített területre vonatkozó vizsgálati eredménnyel szemben, szabad térben a hangnyomásszintek jelentősebb csökkenése volt tapasztalható. A (2) tapasztalati összefüggésben szereplő, távolság hatása alapján meghatározott korrekció mellett, az egyéb környezeti hatások többletcillapítást eredményeznek, így jelentősebb különbség adódik a különböző távolságokban mért hangnyomásszintek között.

KÖVETKEZTETÉSEK

Helikopter leszállóhelyek létesítésénél és üzemeltetésénél a repülési műveletektől származó zaj a tevékenység meghatározója lehet annak függvényében, hogy a fel- és leszállásokat, illetve az átrepüléseket milyen környezetben kell végrehajtani. Napjaink igényei szerint egyre több ilyen létesítmény épül települési környezetben —pl. kórházak mentőhelikopter leszállóhelye— azzal együtt, hogy a repülési feladatokra zaj ellen védett területek felett vagy épületek mellett kerül sor.

A zajvizsgálatokkal kimutatott hangnyomásszintek alapján megállapítható, hogy a beépítettség függvényében már a tervezés és előzetes becslés idején meg kell határoznunk azokat a jellemzőket, melyek a kialakuló zajterhelést a távolság zajcsökkentő hatása mellett módosítják. A tapasztalati összefüggések és a vizsgálati eredmények figyelembe vételével a következőket állapíthatjuk meg:

- A megítélési zajterhelés az időegységre vetített (nappal 16 óra, éjjel 8 óra) egyenértékű szintek alapján a valóságban észlelt maximális zajszintnél [$L_{\max}$] jóval kisebb hangnyomásszintet jelent, ami a zajhatás értékelését torzítja. A különbség átlagosan $L_{\max} - L_{Aeq} = 8-9$ dB, ami a probléma megoldásánál bizonytalansági tényező.
- A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a légijárművektől származó legnagyobb hangnyomásszintek a mély frekvenciákon, azaz 125 Hz-en, 160 Hz-en és 315 Hz-en alakulnak ki. A 125 Hz-en és a 160 Hz-en jelentkező legnagyobb értékek a terjedési úton várt csillapodás mértékét rontják. Emiatt beépített területen az egyéb környezeti jellemzők hangterjedésre gyakorolt hatása, és a hangelnyelés nagyobb szerepet kap.

- Települési környezetben és beépített területen a szabad térben jelentkező többletszabaddal nem számolhatunk, ezzel szemben a sík felületekről történő visszaverődés és a reflexiók miatt a terhelési pontban átlagosan 3 dB-es zajszint-növekmény adódik.

Az eddig elvégzett vizsgálatok eredményeinek figyelembe vételével látható, hogy a légi járművekre vonatkozó zajszint adatok és az alkalmazott repülési eljárások mellett az egyes környezeti jellemzők és a beépítettség részletesebb elemzésére is szükség van a kialakuló hangtér megismeréséhez, és a várható zajterhelés minél pontosabb meghatározásához. Tekintve, hogy a hangterjedést módosító jellemzők változása hatással van az észlelési pontban kialakuló hangnyomásszintekre, az előzetes becsléseknél és a tervezés folyamatában is kiemelt figyelmet kell fordítanunk a légi járművek számára létesített leszállóhelyek, valamint a környezet együttes vizsgálatára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BERA JÓZSEF: Repülési zajszintek változása, hatása a zaj észlelésére. Repüléstudományi közlemények, Szolnok, 2001/2, 137-143. o.
- [2] BERA JÓZSEF - DR. POKORÁDI LÁSZLÓ: A repülési zaj mérésének aktuális kérdései. Járművek 47. évfolyam, Budapest, 2000/1-2, 25-30. o.