

HELIKOPTEREK ZAJKIBOCSÁTÁSA

A XXI. században a társadalom, a gazdasági élet szereplői és korunk embere számára már létfontosságú a közlekedési rendszerek működtetése, a nyersanyagok és az előállított termékek szállítása, valamint az emberek napi utazásához szükséges feltételek biztosítása. Ugrásszerűen megnövekedett az igény a közlekedési eszközök, ezen belül a légi járművek szinte folyamatos működtetésére és használatára. Napjainkban az emberi tevékenységekhez, akár termelésről vagy munkavégzésről, akár szabadidő eltöltéséről vagy tengerparti nyaralásról legyen szó, szervesen kapcsolódik valamilyen közlekedési eszköz igénybevétele. A honvédelmi tevékenység, ezen belül a békefenntartói- vagy a speciális kiszolgálási feladatok esetében is helikopteres támogatással történik a végrehajtás. Gyakran a szállítások, vagy a speciális tevékenységek —többek között a katonai-, tűzoltási-, vagy mentési feladatok végrehajtása— légi járművek használatát igényli. Emellett a kiképzés és oktatás keretében is elengedhetetlen a leszállóhelyek működtetése, a gyakorló repülések végrehajtása.

Az elmúlt 70 évben a közlekedési létesítmények környezetének jelentős megváltozásával, a területek beépítettségének módosulásával, a repülőterek és leszállóhelyek működtetésében, illetve a repülési eljárásokban bekövetkezett változások miatt mind a katonai, mind a polgári repüléssel szemben támasztott igényként fogalmazódott meg a környezetben okozott zajterhelés vizsgálata, a kíméletes környezethasználat megvalósítása. Erre mutatnak rá a világ számos országában, így Magyarországon is folytatott, a légi járművek használatától származó zajterhelésre vonatkozó vizsgálatok eredményei. Több olyan tanulmány is napvilágot látott az elmúlt évtizedekben, ami a zajterheléssel összefüggésben tárja fel a környezetvédelmi jellegű károkat, valamint mérési adatok felhasználásával igyekszik repülőterek környezetében zajcsökkentési tervek készítéséhez információt nyújtani.

Az okinawa-i Kadena Légibázis közelében már 1968. és 1972. között, a vietnámi háború idején vizsgálták a légi járművektől származó zajhatásokat és ezek következményeit. Az erre vonatkozóan közölt tanulmányban K. Hiramatsu, T. Matsui, A. Ito, T. Miyakita, Y. Osada és T. Yamamoto összefoglalóan elemzi a légibázis környezetében fellépő zajterhelést és hatásának veszélyeit [1].

Ugyanakkor a legtöbb országban —többek között Magyarországon is— az egyéb zajokhoz képest magasabb követelményértékek előírására került sor a közlekedési létesítmények, így a repülőterek környezetében. Ez felveti azt a kérdést, hogy mekkora lehet a magasabb határérték, valamint a zavaró hatást mérlegelve mekkora zajkibocsátás engedhető meg légi járművek esetében, a repülés több évtizedes történetét, a múltat és a jövő feladatit is figyelembe véve, hiszen következményeit a megvalósíthatóság érdekében minden esetben figyelembe kell vennünk. A kérdésre helikopter leszállóhelyek működtetésénél, helikoptertől származó zaj vizsgálata során kerestünk választ.

REPÜLŐTÉR ÉS KÖRNYEZETI ZAJTERHELÉS

Helikopteres repülésre, illetőleg lakóterületek felett és közelében végzett repülési műveletekre a növekvő igények miatt egyre gyakrabban kerül sor, ezzel együtt a beépített területeken helikopter leszállóhelyek létesítését és működtetését —kisebb városi repülőterek, gazdasági társaságok leszállóhelyei, mentő helikopter leszállóhely— is meg kell oldani. Sajnálatos módon a korábban létesített leszállóhelyek esetében a területek beépítettségével a repülőtér és a védendő létesítmények közötti távolságok lecsökkentek, ami megfigyeléseink szerint a külső légterekre is igaz. A leszállóhelyek működtetését azonban erőteljesen korlátozza, ha a létesítményt olyan települési környezetben kívánjuk elhelyezni, vagy az igénybe vett légtér olyan terület környezetében került kijelölésre, ahol építmények zaj elleni védelmét is biztosítani kell.

Előfordul, hogy egy-egy területen a repülési műveletszám korlátozása szükséges, vagy a leszállási és kirepülési útvonalak pontos kijelölése jelenti a zajvédelmi követelmények teljesítésének egyik lényeges feltételét. A határértékek előírása és a követelmények teljesítése miatt elkerülhetetlen a repüléstől származó zajterhelés pontos meghatározása, amire a leszállóhelyek létesítésénél és a repülési eljárásokban bekövetkezett módosítások előzetes vizsgálatánál is szükség lehet [2].

Repülőterek és leszállóhelyek —lehet egy-egy speciális feladathoz kijelölt ideiglenes, vagy állandó jellegű leszállóhely— használatához a zajvédelmi követelmények előírása, és a helikoptertől származó zaj értékelése a következő tényezők alapján történik [2]:

- helikopterre vonatkozó leszállási-, átrepülési- és felszállási zajszint. Vagy a légi jármű zajbizonyítványában szereplő adat, vagy egyedi vizsgálattal meghatározott érték;
- repülési műveletek száma az adott időegységre vonatkoztatva;
- repülési eljárások módja és jellemzői, repülési magasság megválasztása;
- légi jármű és a terhelési pontok közötti távolság.

A helikopteres repüléstől származó zaj minősítésénél a repülési műveletek száma és repülési eljárás megválasztása, illetve a zajforrás és a védendő területek közötti távolság az adott helyzettől függő, változó és a követelmények szerint változtatható tényező. Ezzel szemben a helikopterre jellemző leszállási-, átrepülési- és felszállási zajszint, a légi jármű működése és a repülési feladat végrehajtása miatt fellépő zajterhelés nem módosul jelentősen, korlátozására vagy csökkentésére a műszaki megvalósíthatóságot figyelembe véve nincs lehetőség. Ez nem szorul különösebb magyarázatra, hiszen a helikopter, mint szabadban mozgó összetett zajforrás esetében nincs lehetőség a hagyományos értelemben vett műszaki intézkedések megvalósítására.

Ez egyben azt is jelenti, hogy a helikopterektől származó környezeti zaj minősítését, a zajcsökkentést és a kijelölt területek zaj elleni védelmét azzal a feltétellel kell és lehet megvalósítani, hogy a légi jármű zajkibocsátása nem változó jellemző. A helikopter, mint környezeti zajforrás közvetlen környezetében kimutatható A-hangnyomásszinteket alap adatnak kell tekintenünk.

HELIKOPTER, A SZABADBAN MOZGÓ ZAJFORRÁS

A leszállóhelyek környezetében elvégzett korábbi vizsgálataink alapján megállapíthatjuk, hogy az üzemeltetési körülmények függvényében a helikopterre vonatkozó hangnyomásszintek elsődlegesen módon határozzák meg a környezetben okozott zajterhelést, tehát az un. zajszint adat a minősítés és értékelés rendszerében első helyen szerepel. A légi jármű, mint szabadban mozgó sugárzó hangforrás hangteret létesít maga körül, ennek jellemzésére a hangtér adott pontjában kimutatott és méréssel pontosan meghatározható hangnyomás (L_p) értékeket használjuk. A lesugárzott hangnyomásszint és a hangtér közötti kapcsolatot ezért annak figyelembe vételével kell megvizsgálnunk, hogy a helikopter összetett zajforrás, a rész-zajforrások jellemzőinek és a lesugárzás irányítottságának függvényében is változik a környezeti zajkibocsátás.

Helikoptertől származó zajterhelés bemutatásához, illetve a zajjellemzők értékeléséhez végeztünk helyszíni vizsgálatot MI-24 Hind típusú helikopterrel végzett átrepülések során. A zajmérésre 1,5 m magasságban kijelölt észlelési pontban, a helikopter eltérő repülési magassága és távolsága mellett került sor. A terhelés pont és a zajforrás távolságának módosításával, jelen esetben 25 m-ről 50 m-re, majd 100 m-re növelésével azt is vizsgáltuk, hogyan változnak a zajjellemzők.

A terhelési pontban kimutatott, átrepüléstől származó hangnyomásszint értékeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

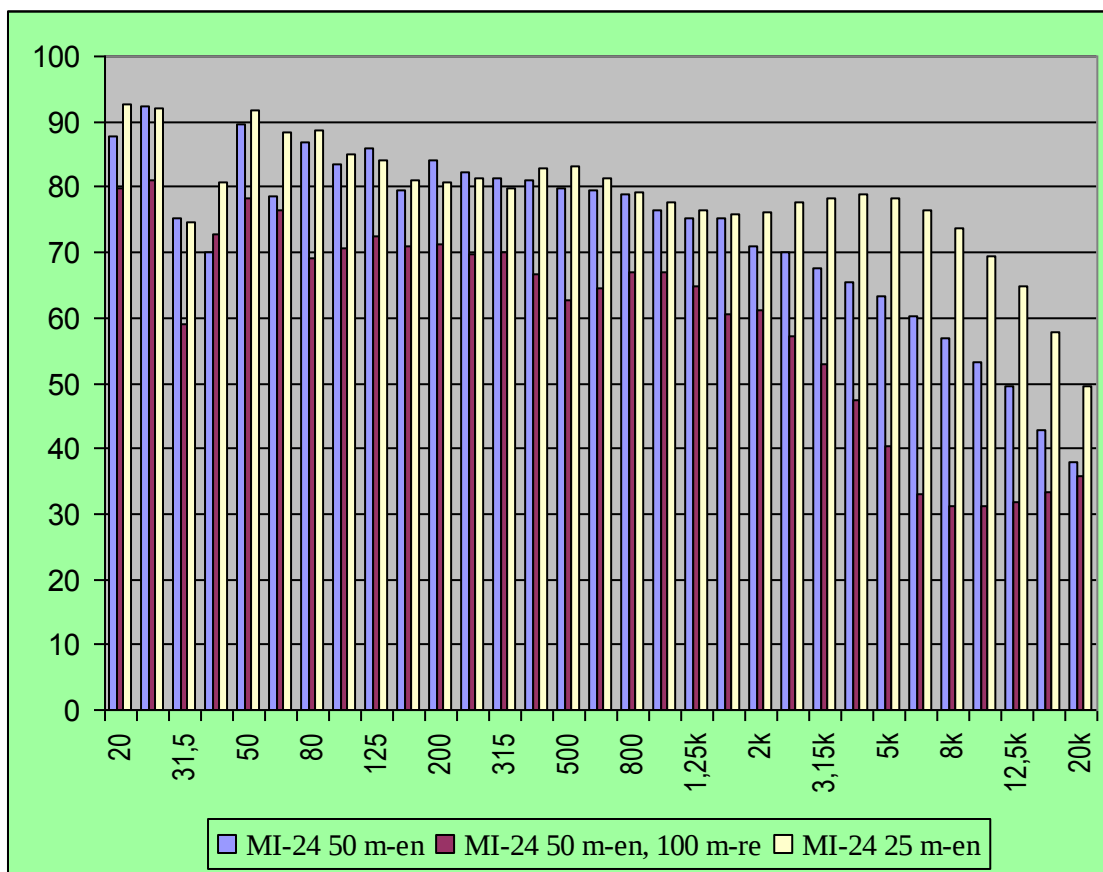
Álló helyzet								
MI 24, 50 m-en átrepül			MI 24 50 m-re, 100 m-re átrepül			MI 24 25 m-en átrepül		
$L_{\max}$	$L_{\min}$	L_{Aeq}	$L_{\max}$	$L_{\min}$	L_{Aeq}	$L_{\max}$	$L_{\min}$	L_{Aeq}
100,4 dB	56,0 dB	86,4 dB	84,0 dB	55,2 dB	74,1 dB	103,2 dB	62,1 dB	89,9 dB

1. táblázat: Legnagyobb és legkisebb zajszintek MI-24 Hind helikopter átrepülése során

Az átrepülési zajszintek értékelésénél levont elsődleges megállapítás, hogy a repülési magasság kismértékű növelése —esetünkben kétszeresére, azaz 25 m-ről 50 m-re növelése— csak méréssel kimutatható módon módosította a hangnyomásszinteket, de szubjektív észleléssel ez az eltérés nem volt érzékelhető. Mindez a magas, $L_{\max} = 100,4$ dB-es és $L_{\max} = 103,2$ dB-es zajszintek mellett abból is következik, hogy a távolság ilyen kismértékű megváltozása nincs jelentős hatással a terhelési pontban észlelt zajszintekre. Megjegyezzük, hogy 100 dB feletti hangnyomásszintek esetében a hanghatás felezésével egyenlő 3 dB-es csökkenés a szubjektív érzékelést nem befolyásolja kimutatható mértékben.

Más a helyzet, amikor a terhelési pont és a zajforrás távolságát már jelentősebben növeltük, a repülési magasságot 50 m-en, az oldalirányú távolságot 100 m-en választottuk meg. Ekkor mind az $L_{\max}$ értékekben, mind az átrepülésre vonatkoztatott L_{Aeq} egyenértékű hangnyomásszintekben jóval nagyobb eltérés mutatkozott. A zajszint csökkenése már jelentősnek mondható, de ekkora távolság mellett is meghaladja a zavaró hatás mértékét és jellegét. A lesugárzott zaj további értékelését a hangnyomásszintek frekvencia függvényében történő összevetésével folytatjuk.

A hangterjedésre, a felületi hangelnyelésre vagy hangvisszaverődésre jellemző, valamint a környezet beépítettségétől függő általános elvek érvényesülését számos, a zajforrásra és a repülésre vonatkozó típus- és üzemiállapot-függő tényező is befolyásolja [3]. Az egyes rész-zajforrások aránya szintén befolyásolja a hangtér kialakulását és a zajjellemzők változását. Ennek igazolására az eltérő távolságokban végzett átrepülésektől származó hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében elemeztük. Az 1. számú ábrán a hallástartományban (20 Hz-től 20 000 Hz-ig), azaz az emberi fül számára szubjektív módon is érzékelhető hangnyomásszinteket ábrázoltuk.



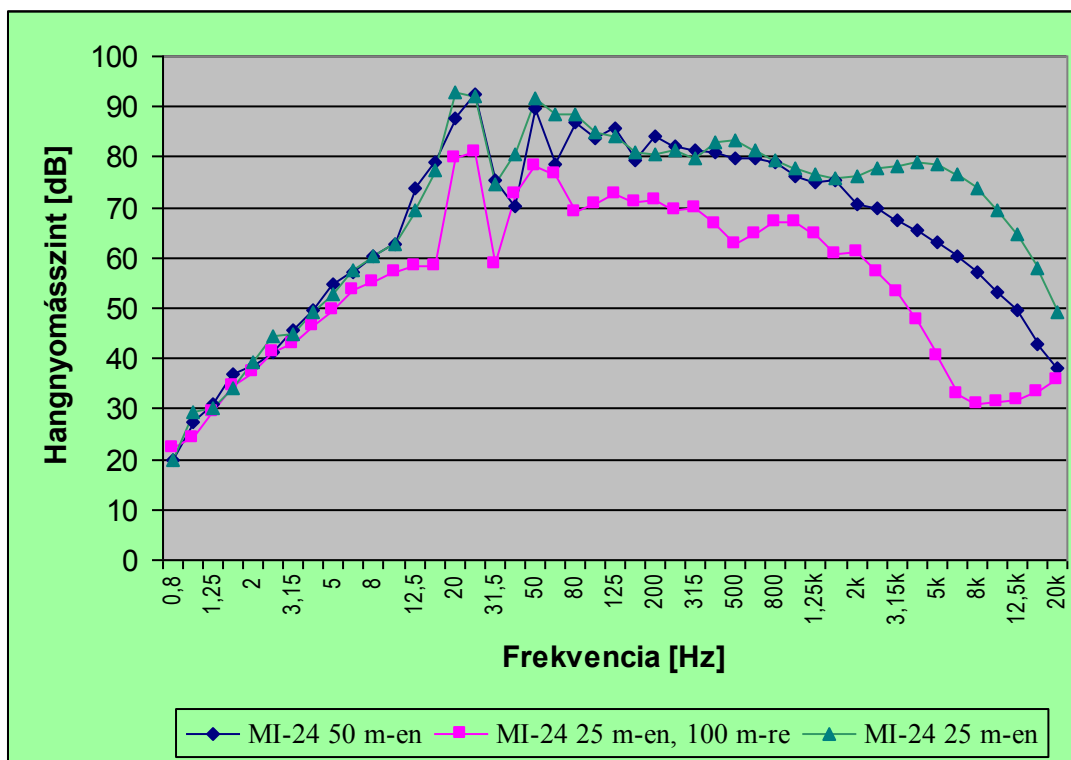
1. ábra. Hangnyomásszint-frekvencia függvény eltérő repülési távolság esetében

Látható, hogy a mérési pont és a zajforrás közötti távolság változását a hangnyomásszintek változásai frekvencia-sávonként hasonló jelleg szerint követik. A szomszédos terc-hangnyomásszinttől kiemelkedő hangnyomásszintek és a mért értékek alapján a helikoptertől származó zaj a mély frekvencia tartományokban domináns, a hanghatást meghatározó nagyobb zajszint értékek a 20 Hz és 25 Hz, valamint az 50-80 Hz tartományban mutathatók ki. Ez kettő szempontból is jelentőséget kap:

- a szabad térben érvényesülő hangelnyelés a mély hangok tartományában kisebb mértékű, így a zajcsökkenés is kisebb;
- a mély hangok az érzékelés szempontjából a zavaráshoz nagyobb mértékben járulnak hozzá.

Ezt igazolja, hogy az 50 m-es magasságban és 100 m-es távolságban végzett átrepülésnél a magasabb frekvencia-sávokban már jelentős a hangnyomásszintekben kimutatott különbség.

A zavaró hatást a továbbiakban vizsgáltuk az ember számára már nem érzékelhető hallástartományban, azaz az infrahang tartományban ($f = 20$ Hz alatt) is. Ennek jelentősége abban van, hogy a követelményértékkel nem szabályozott és szubjektív módon nem érzékelt hangnyomás a térben jelen van, tehát a zavarást erősíti. Ugyanakkor a vizsgált zajforrásra és annak részegységeire jellemző lehet, ami a helikopter zajlesugárzásának jobb megismerését is segítheti. A szubjektív módon észlelhető hallástartományban és az infrahang tartományban rögzített zajszinteket a 2. számú ábrán szemléltetjük.



2. ábra. Hangnyomásszint-frekvencia függvény teljes frekvencia tartományban

Az infrahang tartományban a hangnyomásszint-frekvencia függvény jellegében a repülési magasság és a távolság növelésével nincs jelentős eltérés, amit azzal a megállapítással rögzíthetünk, hogy az $f = 8$ - 20 Hz-es tartományban 60 dB és 79 dB közötti hangnyomásszinteket mértünk. A zajszintek a távolság jelentősebb növelése, a 100 m-es repülési távolság esetében csökken 60 dB alá. Ezért a továbbiakban célszerűnek tartjuk a méréseket a 20 Hz-es frekvenciatartomány alatti infrahangokra is kiterjeszteni, és a helikopter rész-zajforrásainak vizsgálata során az itt kimutatott adatokat figyelembe venni. Emellett a mért hangnyomásszintek alá támasztják azt is, hogy a távolság növelésével a magas frekvenciatartományban, 2000 Hz fölött jelentkezett nagyobb különbség a zajszintekben. Ugyanakkor a 20 és 63 Hz-es tartomány környezetében kiugróan magas, 80 - 93 dB-es értékeket rögzítettünk mindhárom esetben, ami a hangtér kialakulását —figyelemmel a hangterjedést befolyásoló tényezőkre— és a környezet zajhelyzetét elsődleges módon határozza meg. Mindez ismételtén rávilágít arra a tényre, hogy repülésnél nagy kiterjedésű hangérrel kell számolnunk.

HELIKOPTER ÁLTAL LESUGÁRZOTT ZAJ

Az átrepülések mellett elvégzett zajvizsgálat eredményeit figyelembe véve mérési adatokkal támasztottuk alá a következőket:

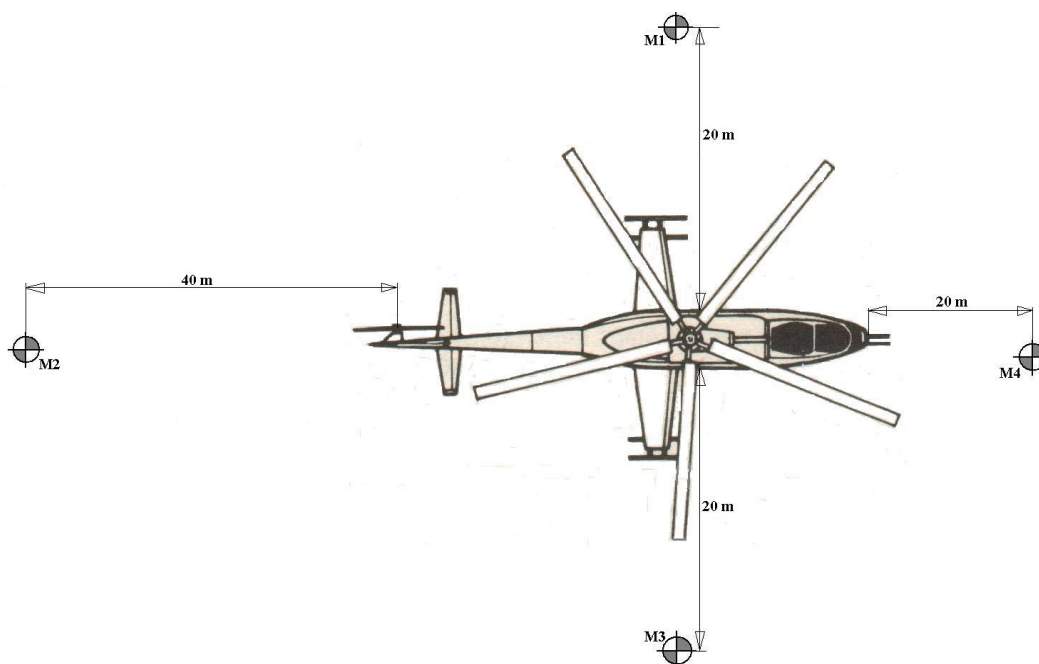
- az észlelési pont és a helikopter közötti távolság függvényében az egyéb környezeti hatások ellenére is minden esetben kimutathatóak azok a zajforrásra jellemző frekvencia-tartományok, ahol a legnagyobb és meghatározó hangnyomásszintek dominálnak, a 20 és 63 Hz frekvencia közelében kiugróan magas értékek tapasztalhatók.
- a helikopter átrepülése során a távolság kétszeresre növelése nem eredményez határos hangnyomásszint csökkenést, a zajhatás mértéke és jellege nem változott jelentős mértékben, a szubjektív észlelésben nem tapasztaltunk érzékelhető javulást, amit a frekvencia jellegben mutató zajszintek indokolnak.

A zajmérési eredmények alapján rögzítenünk kell, hogy a terhelési pontban fellépő zajszint eredményes csökkentéséhez tág és beépítetlen szabad környezet, valamint nagy észlelési távolság szükséges, ahol 50 m-es vagy 100 m-es terület nem elégséges. Azonban számos alkalommal pont a kellő távolság hiánya, esetenként megszüntetése okozza helikopter leszállóhelyek környezetében a zajproblémát, a kialakuló helyzetben irányul nagyobb figyelem a zajforrásra és fogalmazódik meg az igény a helikoptertől származó zaj jobb megismerésére. Ennek érdekében további vizsgálatokat végeztünk helikopter közelterében, olyan zajmérések elvégzésével, melyek a zajforrás adottságait és a lesugárzott zajjellemzőket tárják fel.

A rész-zajforrások egymáshoz viszonyított aránya nagymértékben függ a hajtómű által kifejtett teljesítménytől, ami legnagyobb mértékben a gázsugárzajt befolyásolja. Ez a helikoptereknél a felszálló és a névleges teljesítmény kifejtésekor alapvetőnek tekinthető. A rész-zajforrások arányának vizsgálatát fentiek miatt csak több irányban kijelölt, eltérő helyzetű mérési pontban végezhetjük el. A mérések során a helikoptertől származó zajt négy fő irányban, a meghatározó rész-zajforrások (forgószárny, farok légszár, hajtómű) figyelembe vételével több ponton mértük. A zajszintek megállapítása és a lesugárzott zaj jellegének elemzése céljából MI-24 Hind típusú helikopter közeltéri mérését végeztük el állóhelyi és felszálló (függeszkedés 15 m-en) üzemmódban. A helikopter környezetében 4 db mérési pontot jelöltünk ki a következő szempontok figyelembe vételével:

- a mérések a vizsgált részegységre vonatkoztatva, de ezzel együtt a szomszédos részegység közelében is történnek, ezért a meghatározó rész-zajforrásokat igyekeztünk minél jobban elhatárolni;
- a különböző irányok kijelölése egymástól jól elhatárolt módon, a zajlesugárzás mértékének és jellegének függvényében történt, ami összehasonlításra is lehetőséget ad;
- a mért zajszintek jellemzők legyenek a kialakuló hangtérre.

Méréseinket alapjáratú és felszálló üzemmódban (függeszkedés 15 m-en) végeztük a 3. számú ábrán szemléltetett vizsgálati pontokban, a mérési pontok magassága 1,5 m és 6 m volt.



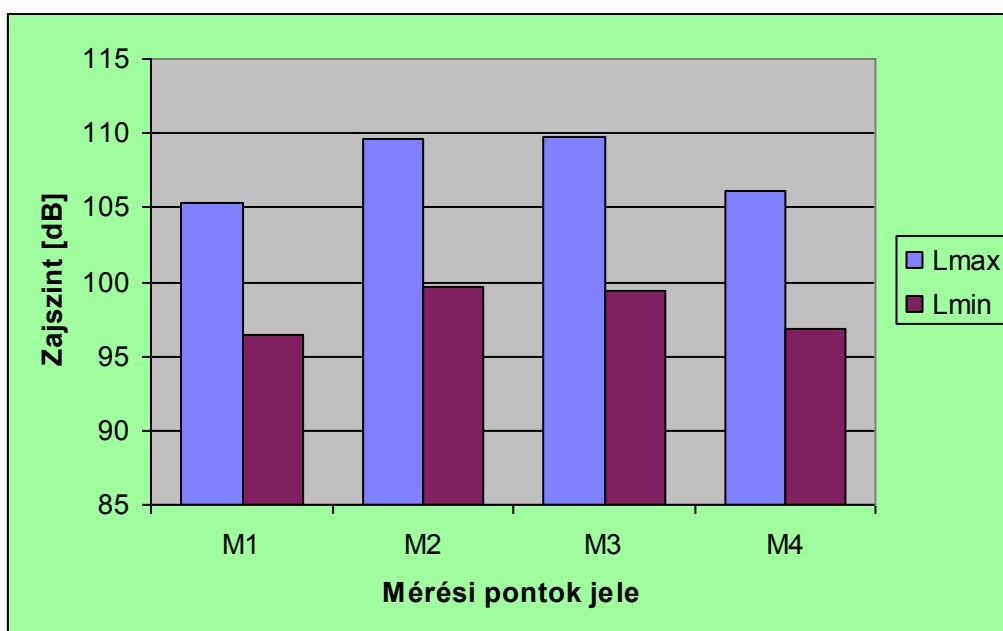
3. ábra. A vizsgált helikopter és a zajvizsgálati pontok elrendezése

A 2. táblázatban feltüntetett, mért zajszint értékek alapján megállapítható, hogy mind álló helyzetben a kisebb hajtómű teljesítménynél, mind függeszkeedésnél a nagyobb hajtómű teljesítménynél a hangtér fő irányában egyaránt jelentős eltérések mutatkoznak a kimutatott legnagyobb és legkisebb hangnyomásszintekben. A zajszintek összevetését 1,5 m-es terhelési pontban függeszkeedésnél a 4. számú ábra szemlélteti.

Alapjáratú helyzet							
M1		M2		M3		M4	
$L_{\max}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$L_{\min}$
100,5 dB	92,4 dB	105,7 dB	99,9 dB	104,2 dB	95,7 dB	105,8 dB	95,9 dB
Függeszkeedés 15 m-en							
M1		M2		M3		M4	
$L_{\max}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$L_{\min}$
105,3 dB	96,5 dB	109,6 dB	99,7 dB	109,7 dB	99,4 dB	106,1 dB	96,9 dB

2. táblázat: Legnagyobb és legkisebb zajszintek

A helikopter hátsó és jobb oldalán észlelt magasabb értékekben például a hajtómű és a főrotor működése mellett jelentős szerepe van a farok légcsavarnak, ami a baloldali elhelyezésből, illetve ebből adódóan a szívó-nyomó irányból adódik. Emellett a helikopter bal- és jobb oldalán a minimum értékek változása alapján következtethetünk arra, hogy az indulás időszakában megnövekszik a hajtóművektől származó zaj szerepe az összes zajkibocsátásban, míg álló helyzetben elsősorban a rotorlapátok zaja dominál. A rész-zajforrások működési jellemzői miatt a kialakuló hangtér baloldalán és első részén, illetve a hangtér hátsó részén és jobb oldalán mutatható ki közel azonos mértékű és jellegű zajszint. Álló helyzet üzemmódban a helikopter mögött kisebb értékeket mértünk, ami a farok légcsavar működéséből eredő zaj változását mutatja.

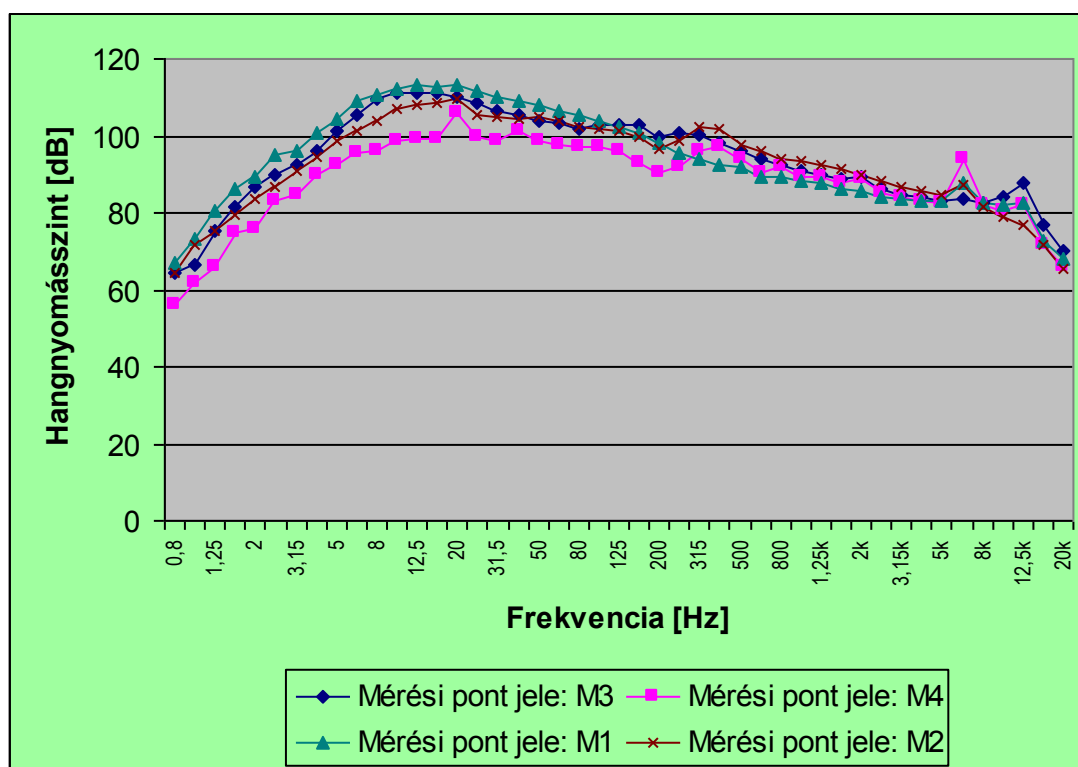


4. ábra. Legnagyobb és legkisebb zajszintek összevetése függeszkezdésnél

A helikopter környezetében különböző irányokban egyidejűleg mért zajszintek alapján jutottunk azokra a megállapításokra, melyek a további vizsgálatokat alapvetően meghatározzák. A kimutatott hangnyomásszintek figyelembe vételével levont következtetések:

- a légi jármű, mint összetett zajforrás működik, a környezetében kialakuló hangtér jellemzői a különböző irányokban eltérőek, a rész-zajforrások kialakítása és működése függvényében jelentős eltérések adódnak a hangtér különböző pontjain;
- a helikoptertől származó zaj fentiek miatt csak több mérési adattal írható le pontosan, a zajszintek értékelésénél minden esetben figyelembe kell venni a lesugárzási irányokat.

A rendelkezésükre álló mérési eredmények rámutatnak arra, hogy a helikopterek működésétől származó zajterhelés, illetve a követelmények meghatározásánál az elemzést ki kell terjeszteni a rész-zajforrásokra és a hangtér egyéb jellemzőire. Ennek figyelembe vételével néztük meg a továbbiakban, hogy a helikopter környezetében a hangtérre milyen terc-hangnyomásszintek a jellemzőek, mely frekvencia sávokban jelentkezik kiemelkedő vagy meghatározó hangnyomásszint. Emellett az is érdekes lehet, hogy a 15 m-es függeszkezdés mellett mért értékek és a korábbiakban az átrepülésnél mért értékek mennyiben térnek el vagy egyeznek meg, hol tapasztalható azonos és eltérő jelleg a hangnyomásszint-frekvencia függvényben. Elsődlegesen megállapíthatjuk, hogy a teljes spektrumot tekintve a hangnyomás értékek hasonló jelleget adnak, a rész-zajforrások hatása miatt jelentkezik egy-egy szűkebb tercsávban eltérés, illetve kimagasló zajszint érték. Emellett megfigyelhető az is, hogy a 20 Hz alatti infrahangtartományban az átrepülésekhez hasonlóan szintén magas, 60 dB feletti hangnyomásszintet mértünk, ami a 4-16 Hz tartományban minden mérési pontban meghaladta a 90 dB-es értéket. Ez alátámasztja azt a korábbi megállapítást, miszerint magas infrahangszintek jellemzik a helikopter környezetében kialakuló hangteret. A mérési eredményeket az 5. számú ábra szemlélteti.



5. ábra. Függeszekedés mellett mért hangnyomásszintek a frekvencia függvényében

A helikopter előtt (M4 mérési pont) kettő tercsávban, az $f = 20$ Hz és az $f = 6,3$ kHz frekvenciasávban tapasztaltunk kimagasló, terc-hangnyomásszint értéket. Hasonló jellegű terc-hangnyomásszintet mértünk a helikopter jobb oldalán (M3 mérési pont), ahol az $f = 10$ -16, az $f = 20$ -25 Hz és az $f = 250$ Hz tartományban jelentkezett a szomszédos tercsávokhoz képest kiugróan magas hangnyomásszint érték. A terc-hangnyomásszint mérési eredményeit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

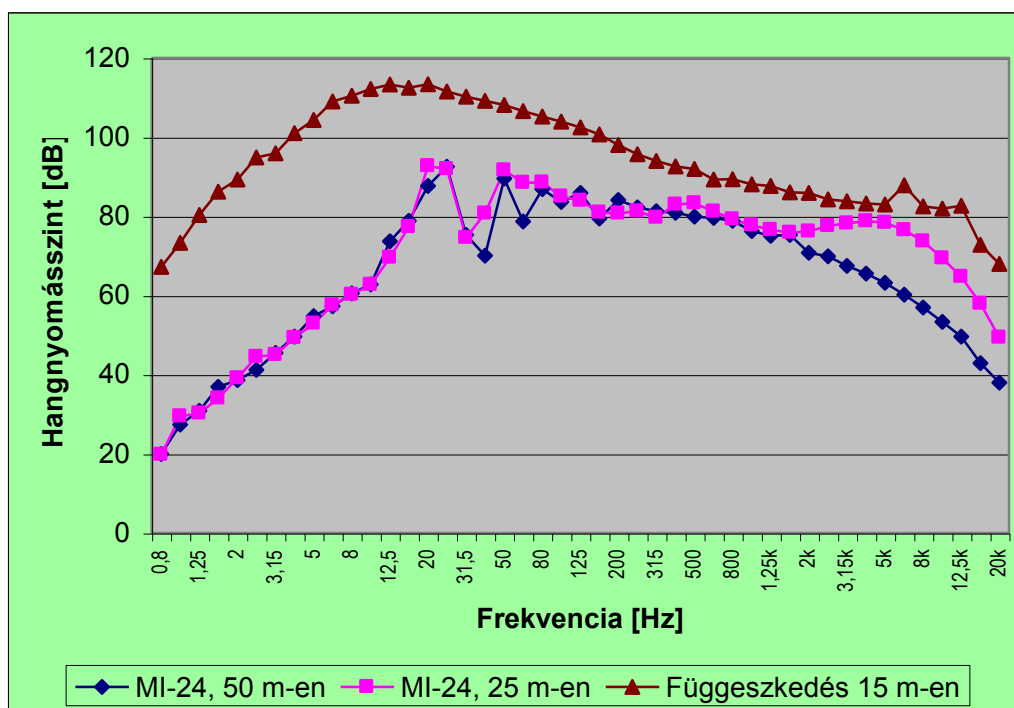
M4 mérési pontban		M3 mérési pontban					
20 Hz	6,3 kHz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	250 Hz
106,2 dB	93,9 dB	111,4 dB	111,4 dB	111,3 dB	110,3 dB	108,8 dB	100,8 dB

3. táblázat: Terc-hangnyomásszintek a helikopter környezetében

A farok légsavár működésére leginkább jellemző, a helikopter mögött kijelölt M2 mérési pontban kimagasló hangnyomásszint érték az $f = 16$ -20 Hz, és az $f = 315$ -400 Hz tartományban jelentkezett. A helikopter baloldalán, az M1 mérési pontban a mélyebb frekvenciasávokban tapasztaltunk magas zajszinteket, a magasabb frekvencia sávokban alacsonyabb értékeket mértünk. Terc-hangnyomásszint a baloldali mérési pontban ennek ellenére az $f = 6,3$ kHz frekvencia sávban volt észlelhető. Összegezve megállapítható, hogy a helikoptertől származó zaj a térben eltérő jelleget mutat, különböző irányokban más-más frekvencia sávokban jelentkeznek kimagasló hangnyomásszintek. Ez rámutat arra, hogy a rész-zajforrások működése meghatározza a környezetben okozott zajterhelés jellegét, mind a hangnyomásszinteket, mind a kialakuló hangtér jellemzőit tekintve. Emiatt a helikopterektől származó zaj csak több mérési adattal jellemezhető pontosan.

ÁTREPÜLÉS ÉS FÜGGESZKEDÉS ZAJKIBOCSÁTÁSA

A korábbiakban szó volt az átrepüléstől származó, valamint a függeszkedés mellett mért hangnyomásszintekről, illetve a helikopter környezetében kialakuló hangtér jellemzőiről eltérő üzemi állapot mellett. Mindkét esetben magas hangnyomásszintek jellemzik a zajforrás működésével érintett területet, jelentősebb zajszint csökkenés 100 m-es távolság esetében volt kimutatható. A 25 m-es és az 50 m-es átrepülési magasságra vonatkozó hangnyomásszinteket azonban érdemes összehasonlítani a 15 m-es magasságban végzett függeszkedésre vonatkozó értékekkel, hogy lássuk, milyen módon változik a terhelési pontokban észlelt zaj jellege és nagysága. Az összevetést a 6. számú ábrán foglaltuk össze.



6. ábra. Átrepülésre és függeszkedésre jellemző hangnyomásszintek

A frekvencia-hangnyomásszint jelleggörbe jól szemlélteti, hogy a távolságnak mekkora szerepe van a helikoptertől származó zajterhelés kialakulásában, minden frekvencia sávban érzékelhető a jelentős eltérés. A 15 m-es függeszkedésnél a helikopter baloldalán kijelölt terhelési pont adatait vettük figyelembe, jól látható magasabb, $f = 6,3$ Hz frekvenciasávban mutatkozó hangnyomásszint növekedés. A 15 m-es függeszkedésre jellemző üzemállapotban mért értékhez hasonló kiemelkedés a 25 m-es átrepülési magasság esetében tapasztalható, nagyobb távolságnál ez a kiugró zajszint érték eltűnik. Ugyanakkor megjelenik a mélyebb frekvenciasávokban, $f = 20$ Hz és $f = 63$ Hz-es tartomány környezetében a szomszédos tercsávokhoz képest magasabb érték. Emellett jól megfigyelhetők infrahang-tartományban észlelt, az összes üzemállapotban magas, a távolság függvényében azonos jellegű hangnyomásszintek.

KÖVETKEZTETÉSEK

Helikopterek üzemeltetése és a helikopteres repülés jelentősége az elmúlt hét évtizedben szerzett tapasztalatok és a XXI. században megfogalmazódott igény figyelembe vételével folyamatosan növekedett. Az élet számos területén, így a katonai szállítások-, kiszolgálás- és speciális feladatok biztosítása Magyarországon és külföldi missziókban, egyéb mentési és katasztrófavédelmi — árvízvédelem, tűzoltás— feladatokban való részvétel esetében, vagy akár speciális építkezésekben való közreműködés esetén a rádiótornyok vagy szélgenerátorok beemelésénél megmutatkoznak a repülésből származó előnyök és lehetőségek. Ezzel együtt természetesen a repüléssel szemben napjainkra megfogalmazódott környezetvédelmi szempontok érvényesítésével kell ezeket a feladatokat végrehajtani, ami a korábbiakhoz képest szigorúbb követelményeket támaszt minden, a repüléssel kapcsolatos tevékenység esetében. Ez csak a légi járművektől és a repülési eljárásoktól származó zaj pontos felmérése és megismerése, valamint a repülés és a környezeti zajvédelem minél magasabb szintű összhangjának megteremtésével lehetséges.

A helikopteres repülés területén megfogalmazódott környezetvédelmi igény teljesítéséhez szükséges feltételrendszer kidolgozása és megteremtése a katonai repülés elmúlt 70 évében az utóbbi 10-15 évre szorítkozik. Ez egyben azt is jelenti, hogy a továbbiakban több olyan tényezőt kell feltárni, ami segíti a helikopterektől származó zaj értékelését és minősítését. Ennek érdekében került sor azokra a zajvizsgálatokra, melyek keretében helikopterek üzemeltetése során átrepülések és felszálló üzemmód mellett vizsgáltuk a környezetben okozott zajterhelést, illetve a légi jármű által igénybe vett terület környezetében a zajjellemzők változásait. A mérési adatok szemléletesen mutatják a helikopter üzemeltetése során a környezetben fellépő hangnyomásszintek jellegét, nagyságát és az üzemi tényezők függvényében bekövetkező változásokat.

A vizsgálati eredmények alapján a következő megállapításokat tettük:

- A helikopterekre, mint térben mozgó zajforrásokra és a zajforrás által létesített hangtérre eltérő műszaki és üzemeltetési jellemzők esetében is 90-100 dB feletti hangnyomásszintek a jellemzőek, amit az értékelésnél, minősítésnél és a követelmények kialakításánál érvényesíteni kell. Az átrepülési zaj és a felszálló üzemmódban észlelt zaj jellege eltér, azonban mindkét esetben kimutathatóak egy-egy frekvencia sávban az üzemi-állapot függvényében olyan kiugróan magas terc-hangnyomásszintek, ami az egyenértékű hangnyomásszintek nagyságát meghatározzák;
- a magas zajszint értékek miatt hangsúlyozott szerep jut a helikopter-leszállóhelyek és az igénybe vett légtér, valamint a zaj ellen védendő létesítmények közötti távolságnak, ezért a zajforrás és a védendő terület között a lehető legnagyobb távolságot kell tartani, kialakítani és biztosítani, ami az eredményes zajcsökkentés alapvető feltétele;

- a légi jármű, mint összetett zajforrás működik, a környezetében kialakuló hangtér jellemzői a különböző irányokban eltérőek, a rész-zajforrások kialakítása és működése függvényében jelentős eltérések adódnak a hangtér különböző pontjain;
- a helikoptertől származó zaj fentiek miatt csak több mérési adattal írható le pontosan, a zajszintek értékelésénél minden esetben figyelembe kell venni a lesugárzási irányokat és az üzemi-állapot tényezőket.

Az eddig elvégzett vizsgálatok eredményeinek figyelembe vételével látható, hogy a légi járművekre vonatkozó zajszint adatok és az alkalmazott repülési eljárások alapvetően meghatározzák a környezetben okozott zajterhelést. A zajcsökkentés műszaki megvalósítása a zajforrás esetében korlátozott, bizonyos szempontból nem is lehetséges, ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a környezeti zajvédelemben rendelkezésünkre álló egyéb megoldásokra és lehetőségekre, illetve a területhasználatban érvényesíthető intézkedésekre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány megírásához szükséges helyszíni mérések elvégzését a Magyar Honvédség 86. Szolnok Helikopter Bázis parancsnoksága támogatta, melyet a szerző ezúton köszön meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] K. HIRAMATSU, T. MATSUI, A. ITO, T. MIYAKITA, Y. OSADA ÉS T. YAMAMOTO: The Okinawa study: an estimation of noise-induced hearing loss on the basis of the records of aircraft noise exposure around Kadena Air Base, Journal of Sound and Vibration 277, 2004., p. 617-625.
- [2] BERA JÓZSEF: Helikopter leszállóhely zajvédelmi tervezése, Repüléstudományi Közlemények különszám, 2007. április 20., Szolnok.
- [3] BERA JÓZSEF – DR. POKORÁDI LÁSZLÓ: A repülési zaj mérésének aktuális kérdései, Járművek, 47. évfolyam, 2000. 1-2. szám, o. 25-30.