

Palik Mátyás¹ – Csermely Ildikó²

A REPÜLŐ SZEMÉLYZETRE HATÓ ZAJTERHELÉS MÉRÉSE, KIÉRTÉKELÉSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA³

A pilótafülke zajterhelésével foglalkozó tanulmányok megállapították, hogy a pilótafülke zajterhelésének spektruma csekély mértékben változik a légijármű típusoktól függően. 100–300 Hz körül a zaj csökken a frekvencia növekedésével. A hang intenzitása 70–100 dB (A) között változhat. A pilótafülke zajterhelése általában a sugárhajtóművel rendelkező légijárművekben a legalacsonyabb. A legzajosabb pilótafülkéi a nyitott, mezőgazdaságban használt, valamint az utánégetővel rendelkező katonai sugárhajtóműves légijárműveknek vannak. Amennyiben a pilótafülke zajterhelése 88 dB (A) felett van a személyzetnek a kommunikáció fenntartása érdekében komoly „erőfeszítéseket” kell tennie.

MEASURING THE EFFECTS OF NOISE POLLUTION ON CREWMEMBERS, COMPARING ASSESSMENT METHODS

The primary energy in those noises lies in the low frequencies, ranging mostly from 100 to 300 Hz, with a rapid decrease as frequency increases. The overall sound intensity varies from about 70 dB(A) to more than 100 dB (A). Generally, the quietest cockpits are found in jet aircraft; the noisiest are found in open cockpit airplanes such as those used for aerial application in agriculture and in some small military jets that use afterburners. When the noise level in the cockpit, exceeds 88 dB(A) the crewmembers efforts should be made to aid communication.

A zaj által okozott hallásvesztési panaszok az Európai Unióban a 10 leggyakrabban előforduló foglalkozási betegség közé tartoznak [3]. A zaj okozta nagyothallás (halláscsökkenés) vagy siketség a foglalkozási betegségek európai listáján található betegségek részét képezi.

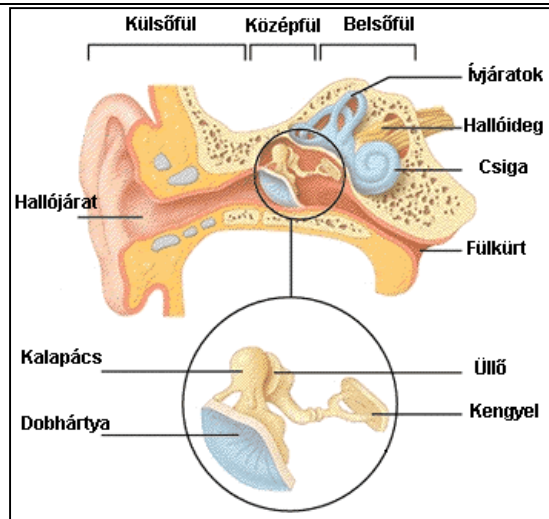
A zaj okozta halláskárosodást általában az idézi elő, hogy a munkavállaló hosszú időt tölt el zajos munkakörnyezetben. Az első tünet rendszerint az, hogy a beteg nem hallja a magas hangokat. Ha nem küszöbölik ki a túlzott zajt, a hallás tovább romlik, és a probléma kiterjed az alacsonyabb hangfekvésű hangokra is. A zaj okozta halláskárosodás végleges, mely általában mindkét fület érinti, mely bekövetkezhet akkor is, ha a zajjal járó expozíció nem hosszú távú. A hirtelen keletkezett erős zajjal (akár egyszeri erős zajjal) járó rövid idejű expozíció – például fegyverekből leadott lövés, vagy szög- és szegecsbelövő pisztolyok esetén – szintén maradandó hatást, így halláskárosodást és folyamatos fülzúgást okozhat. A hirtelen keletkezett erős zajok a dobhártyát is beszakíthatják, mely ugyan fájdalmas sérülés, de idővel begyógyul.

Hallószervünk, a fül három fő részre, – külsőfülre, – középfülre és – belsőfülre osztható (1. ábra). A külsőfül a többszörösen görbült, porcból és az azt borító bőrből álló fülkagylóból, valamint a körülbelül 2,5 cm hosszú és 8 mm átmérőjű csőszerű hallójáratból áll. A méretei miatt a rezonanciafrekvenciája 3000 Hz körüli, vagyis ezen a frekvencián legnagyobb az érzékenysége. A hallójáratot a dobhártya zárja le, amely egyben a külsőfül és a középfül elválasztó vonala is.

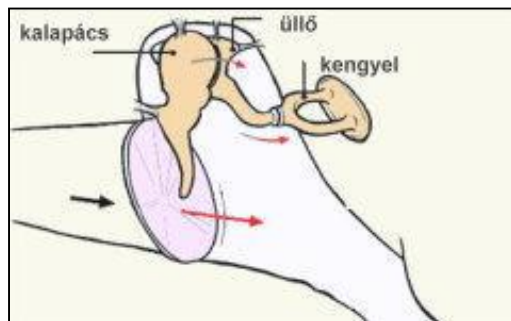
¹ PhD, alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

² Vizsgálómérnök, zaj- és rezgéscsökkentési szakértő, Richter Gedeon Nyrt., csermely.ildiko@gmail.com

³ Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@prosystmod.hu



1. ábra A fül felépítése⁴



2. ábra Középfül felépítése⁵

A középfület, a három hallócsontot: a kalapácsot, a kengyelt és az üllőt tartalmazó dobüreg és a fülkürt alkotja (2. ábra). A kalapács ízülettel kapcsolódik a dobhártyához, nyelén keresztül az üllőhöz és az ovális ablakhoz, talpán keresztül rögzülő kengyelhez. Az így kialakult hallócsontlánc feladata a dobhártya rezgéseinek az ovális ablakhoz való továbbítása. Ezen folyamat elengedhetetlen feltétele, a dobüregben lévő nyomás külsővel való kiegyenlítése, amelyet az Eustach-kürt lát el. Ha a középfület és a garatot összekötő hallókürt nem működik megfelelően, akkor a dobüregben lassan vákuum keletkezik, ami a dobhártya behúzódását eredményezi

A halántékesont piramisában helyezkedik el a belsőfület alkotó folyadékkal töltött csontos labirintus, amely az előcsarnokból, a csontos csigából (cochlea) és az egyensúlyozáshoz szükséges három félkörös ívjáratból áll. A csontos csigán belül még található, egy a folyadékréteget kettéosztó hártyás csiga is, amelynek az alsó részét alaphártyának, a felsőt pedig Reissner-hártyának nevezünk. A hallás érzékszerve, az alaphártyának szőrrel és fedőlemezzel borított része Corti-szerv. Ez végzi a mechanikus rezgés ingerületté való átalakítását.

A hallás folyamata

A hangforrás által keltett rezgéseket a fülkagyló összegyűjti, szűri és a dobhártyára reflektálja. A szűrés, a hallójáratnál együtt alkotott negyedhullámú rezonátorral történik. A hanghullámok által

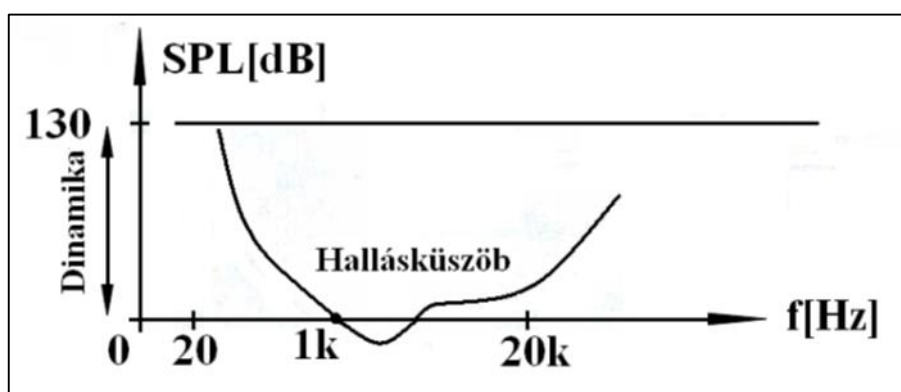
⁴ Forrás: <http://www.fulspecialista.hu/index.php?page=content&method=static&id=58>

⁵ Forrás: <http://www.fulspecialista.hu/index.php?page=content&method=static&id=58>

keltett dobhártyarezgések, a hallócsontokon át eljut a csigáig. A rezgés ezután a csigában lévő folyadék felső részén végighalad, majd annak végére érve megfordul, és az alsó felén visszajön egészen az ovális ablakig. Ennek hatására az alapszövet és a Corti-szerv is rezgésbe jön.

Az emberi hallás jellemzői

Az emberi hallás egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy csak egy bizonyos frekvenciatartományon belül elhelyezkedő hanghullámok érzékelésére képes. A hallás frekvenciafüggősége miatt, a különböző frekvenciájú hangokat más-más hangnyomásszint felett vagyunk képesek érzékelni, vagyis minden egyes frekvenciához egy hallásküszöb érték is tartozik. A hallásküszöb nem más, mint az a legkisebb hangnyomásszint, amelyen az adott hang hangérzetet kelt. Az emberi fül hallásküszöbje (3. ábra) a 2–4kHz tartományban, a beszéd frekvenciatartományában a legalacsonyabb, majd innen a magasabb és mélyebb hangok felé haladva folyamatosan növekszik.



3. ábra Az emberi fül hallásküszöbe⁶

Az emberek hallástartománya általában 20 Hz-től 20k Hz-ig terjed, amely erősen kor és egyénfüggő. Az idősebb embereknél a hallástartomány felső 20 kHz-es határa, akár 12–14 kHz-re is lecsökkenhet. Az emberi szervezet képes a 20 Hz alatti hangok érzékelésére is, csak ezeket a hangokat már nem a fülünk, hanem a csontvázunk segítségével végezzük. Ezt nevezzük csonthallásnak.

A hallásunk egy másik nagyon fontos paramétere a fájdalomküszöb. Ez gyakorlatilag az adott frekvenciájú hangnak azt a hangnyomásszintjét jelenti, amely már fájdalmat okoz az emberi szervezet számára, sőt a dobhártya beszakadásával is járhat. Ez az érték 130 dB hangnyomás környékén van. A fájdalomküszöb dB-ben megadott értéke, gyakorlatilag az emberi fül dinamikájával egyenlő, ami 130 dB.

Mivel a fülünk érzékenysége a hallástartomány minden egyes frekvenciáján más, ezért a különböző frekvenciájú hangok, ugyanolyan erősségű hangérzetet, más-más hangnyomásszinten keltenek. Ezért a szubjektív hangosságérzet számszerűsítésének érdekében bevezették a hangerő fogalmát. Mértékegysége a phon. Ez alapján egy hang hangerőssége annyi phon, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. Ha ábrázoljuk és összehasonlítjuk az azonos hangerősségű élményt nyújtó hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében, akkor az úgynevezett Fletcher-Munson görbéket kapjuk meg. Az így kapott görbék közül, a 0 phon-os megegyezik az ember hallásküszöbjével. A phon-ban lévő értékek hátránya, hogy nem

⁶ Forrás: MAGYAR VIKTOR: Környezeti és munkahelyi zajvizsgálatok szabványos mérése és kiértékelése, Szakdolgozat, Széchenyi István Egyetem, 2010

fejezik ki számszerűen, és lineárisan hangosságérzetünk változását, valamint egymással algebrailag nem összegezhetőek. Azért, hogy ez elvégezhető lehessen, szükség volt egy újabb mennyiség, a hangosság bevezetésére, amelynek jele L_p , mértékegysége sone.

ZAJEXPOZÍCIÓ MEGHATÁROZÁSÁNAK HAZAI SZABÁLYOZÁSA

A munkavállalók fizikai tényezők (zaj) hatásának való expozíciójára vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimumkövetelményekről szóló, az Európai Parlament és a Tanács által 2003. február 6-án elfogadott 2003/10/EK irányelv a 86/188/EGK tanácsi irányelv végrehajtásának 10 éven át tartó elemzése alapján tett megfontolások eredménye.

Az új, 2003/10/EK irányelv meghatározza a zajexpozícióból vagy vélhetően a zajexpozícióból keletkező, a munkavállalók egészségét és biztonságát – különösen a hallást – veszélyeztető kockázatokkal szembeni védelemre vonatkozó minimumkövetelményeket.

Az Európai Unió irányelv hazai jogrendbe történő átültetése a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről szóló 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet hatályba léptetésével történt meg.

A rendelet határértékeit a szervezett munkavégzés keretében végzett minden, olyan tevékenységre alkalmazni kell, amikor a munkavégzés során a munkavállalók zajból származó kockázatnak ténylegesen vagy vélhetően ki vannak téve.

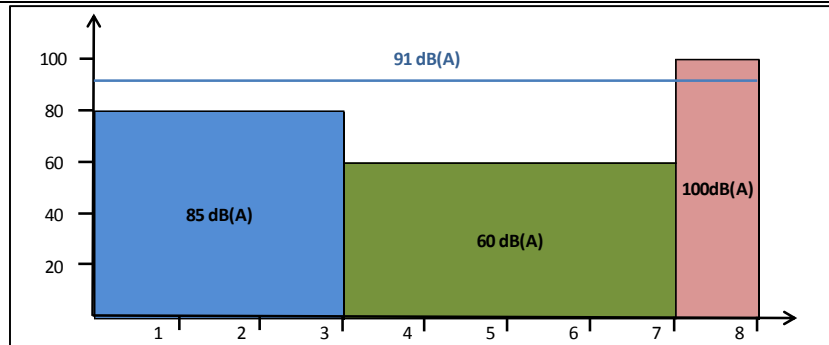
A napi zajexpozíció szintjére és a legnagyobb hangnyomásszintre vonatkozó zajexpozíciós határértékek, illetve a zajexpozíciós beavatkozási határértékek a következők:

Zajexpozíciós határérték:	$L_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)}$, illetve $p_{csúcs} [L_{max}] = 200 \text{ Pa}$ [140 dB(C)]
Felső beavatkozási határérték:	$L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$, illetve $p_{csúcs} [L_{max}] = 140 \text{ Pa}$ [137 dB(C)]
Alsó beavatkozási határérték:	$L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$, illetve $p_{csúcs} [L_{max}] = 112 \text{ Pa}$ [135 dB(C)]

A nem állandó zaj egyenértékű folyamatos A-hangnyomásszintje annak az állandó zajnak az A-hangnyomásszintje, amely ugyanolyan hatással van az egyénre, mint az a zaj, amelyre vonatkozóan kiszámítjuk az egyenértékű folyamatos A-hangnyomásszintet.

A frekvenciának és a szintnek megfelelő hangészlelésben meglévő különbségek azt jelentik, hogy a hallásvesztési kockázat felméréséhez súlyozott hangnyomásszinteket használnak.

A dB(A)-ban kifejezett, A-szűrővel súlyozott hangnyomásszint felel meg legjobban az alacsony hangnyomásszintű hangok egyéni észlelésének (4. ábra).



4. ábra zajexpozíció számítása⁷

Az A-szűrővel súlyozott görbe az alacsony frekvenciájú hangok esetében nagymértékű hangnyomásszint korrekciót mutat. A dB-ben (frekvenciakorrekció nélkül) és dB(A)-ban kifejezett hangnyomásszintek ezért az erős, alacsony frekvenciájú összetevők esetében erősen szóródnak.

A dB(C)-ben kifejezett, C-szűrővel súlyozott hangnyomásszint felel meg legjobban a magas hangnyomásszintű hangok egyéni észlelésének.

Egyszerűen fogalmazva, a súlyozás a hangnyomásszintek kiigazítását, illetve korrekcióját jelenti, melyet valamennyi frekvenciára alkalmaznak

A munkahelyi zajmérés során a mérési pontot általában a munkavállaló fülétől 50 cm-en belül kell kijelölni. Ha ez nem lehetséges, akkor a mérési pontot a munkavállaló szokásos tartózkodási helyén, álló munkavégzés esetén 1,5 m, ülő munkavégzés esetén 1,25 m magasságban kell kijelölni. A méréseket a munkavállalók szokásos tevékenysége közben, illetve a zajforrások üzemszerű működése mellett kell elvégezni. Nem kell számításba venni az olyan zajokat, amelyek nem a munkafolyamathoz kapcsolódnak, és kiküszöbölhetőek (pl. kiabálás, rádió-, magnetofon-működtetés stb.).

A munkavállalókat érő zajexpozíció meghatározását követően az egyéni hallásvédő eszközt úgy kell kiválasztani, hogy az megszüntesse, vagy a lehető legkisebb mértékűre csökkentse a halláskárosodás kockázatát. A munkafolyamatnak megfelelő csillapítású védőeszköz kiválasztásánál az MSZ EN 458:2005 szabvány módszerei irányadók.

A 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet előírásai szerint az alkalmazott egyéni hallásvédő eszköz megfelelőségének ellenőrzésére az ún. SNR módszert kell alkalmazni: az egyéni hallásvédő eszköz használata mellett a munkavállalót érő zajexpozíció meghatározásához vizsgálni kell a munkahelyen fellépő egyenértékű C-hangnyomásszintet, valamint figyelembe kell venni a biztosított védőeszköz gyári katalógus alapján meghatározott korrigált csillapítását (SNR).

Az egyéni hallásvédő eszközök megfelelőségének részletesebb elemzését, valamint a védőeszközök kiválasztását az MSZ EN 458:2005 szabvány A.2 melléklete szerint, a munkavállalók részére biztosított egyéni védőeszközök MSZ EN 352:2003 szabványsorozat szerinti (gyári katalógus alapján meghatározott) korrigált csillapításának és a zajexpozíció frekvenciasávok elemzésével célszerű végezni.

⁷ Forrás: Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

NEMZETKÖZI AJÁNLÁS

A PILÓTAFÜLKE ZAJTERHELÉSÉNEK VIZSGÁLATÁRA

A pilótákat érő zajterhelés nem új keletű probléma. Már az első világháború utáni kereskedelemi repülést végrehajtó pilóták is állandó zajexpozíciónak voltak ki téve. Ezeknek a repülőgépeknek a pilóta fülke zajszintje elérte akár a 120 dB-t. A II. világháború alatt 1944-ben az első, harci körülmények között is alkalmazható sugárhajtású vadászrepülőgépek – a német Messerschmitt Me 262 – megjelenésével a pilótafülke zajszintje szemmel láthatóan csökkenni kezdet. A repülőgépek tervezésének fejlődésével a hajtóművek fokozatosan a géptörzsének hátsó részén kerültek elhelyezésre, melynek köszönhetően a pilóta fülke további zajszintjének csökkenését és a beszédérthetőség javulását érték el a tervezők.

Zaj megléte esetén jellemzően bekövetkező jelenség, hogy az annál gyengébb hangok nem hallhatók. Ezt a jelenséget a hang elfedésének hívják. A hangelfedése a légijármű fedélzetén, a pilótafülkében azért nagyon veszélyes, mert a légijármű személyzet és a földi irányítás közötti kommunikáció szóbeli utasításokkal történik. A kismértékű beszédérthetőség a szóbeli utasítások félreértését eredményezheti, amely akár komolyabb katasztrófához is vezethet.

Az amerikai Nemzeti Közlekedésbiztonsági Testület, az NTSB⁸ egy vizsgálata során mutatott rá a beszédérthetőség fontosságára, amelynek következtében az Amerikai Légügyi Hatóság (a továbbiakban: FAA⁹) „*Cockpit noise and speech interference between crewmembers*” című 20–133 ajánlásában tesz javaslatot a pilótákat érő zajexpozíció mérési módszerére és értékeire.

A pilótafülke zajterhelésével foglalkozó tanulmányok megállapították, hogy a pilótafülke zajterhelésének spektruma csekély mértékben változik a légijármű típusoktól függően. 100–300 Hz körül a zaj csökken a frekvencia növekedésével. A hang intenzitása 70–100 dB (A) között változhat. A pilótafülke zajterhelése általában a sugárhajtóművel rendelkező légijárművekben a legalacsonyabb. A legzajosabb pilótafülkék a nyitott, mezőgazdaságban használt, valamint utánégetővel nem rendelkező katonai sugárhajtóműves légijárművekben találhatók. Az állásfoglalása szerint amennyiben a pilótafülke zajterhelése 88 dB (A) felett van repülőszemélyzetnek kommunikációban „erőfeszítéseket” kell tennie.

A pilótafülke zajterhelésének meghatározására az „A” súlyozó szűrő használatát javasolja az FAA. A mérést a pilóta fejmagasságában a mérendő fültől az ajánlás szerint 1 feet-re, de a gyakorlatban 6 inch távolságra kell végrehajtani és „körbe kell mérni” a fül környezetét.

A mérési idő intervallumának megválasztására 20 másodpercet javasolnak, amíg a légijármű stabilizálja a repülését. A mérést szükséges megismételni még egyszer vagy kétszer, hogy átlagos eredményeket tudjunk kapni és a mérési bizonytalanságokat kitudjuk küszöbölni. A méréseket felszállás, utazás, megközelítés és leszállás fázisaiban is végre kellene hajtani. A légnyomás változás 0,25 dB (A) különbséget okoz a földön és a repülés közben végrehajtott zajmérés eredményeiben.

Az FAA hozzájárulása szükséges az alábbi változtatások bevezetése esetén:

⁸ National Transportation Safety Board

⁹ Federal Aviation Administration

1) Pilótafülke zajterhelését kívánjuk csökkenteni:

- ajtó tömítés használata;
- hangelnyelő szigetelés alkalmazása;

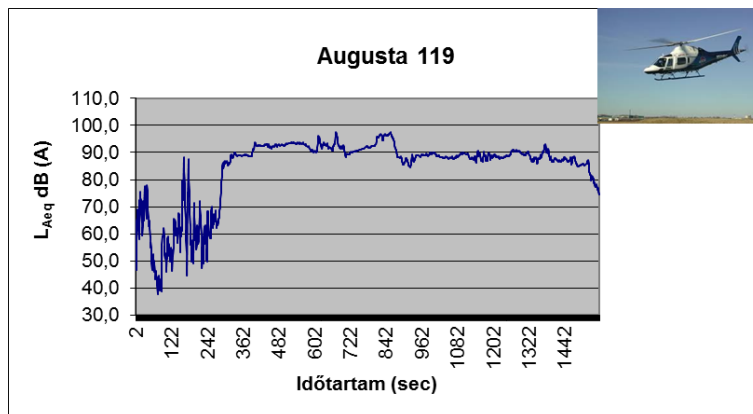
2) Jel- zaj arány módosítása esetén

3) Megfelelő hallásvédő használatához

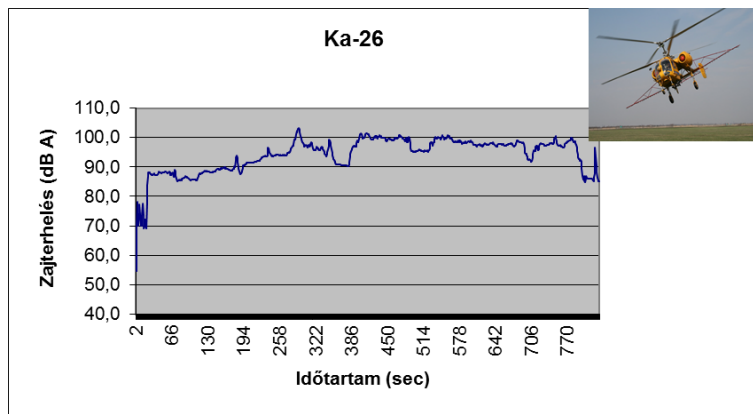
Vizsgálati eredmények

Az alábbiakban a pilótákat érő L_{Aeq} (dB) egyenértékű zajterhelést kívánom bemutatni a mérési időre vonatkoztatva részben követve a hazai szabályozás előírásait (5–9. ábrák).

Helikopterek kabinzajterhelésének alakulása



5. ábra Augusta 119 kabinjában mért zajterhelés¹⁰

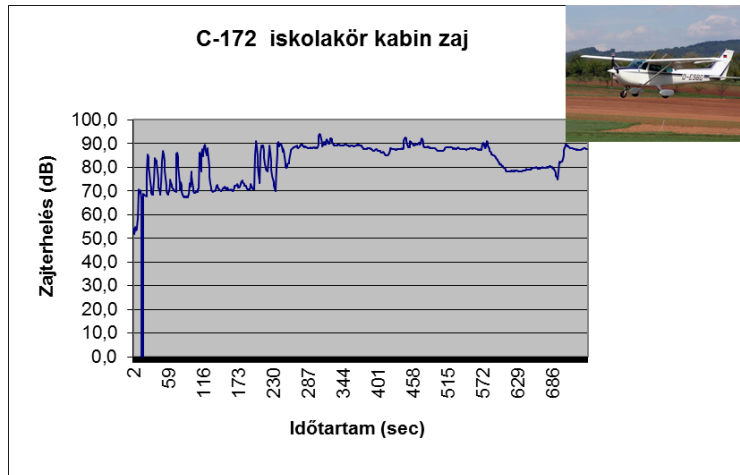


6. ábra Ka-26 kabinjában mért zajterhelés¹¹

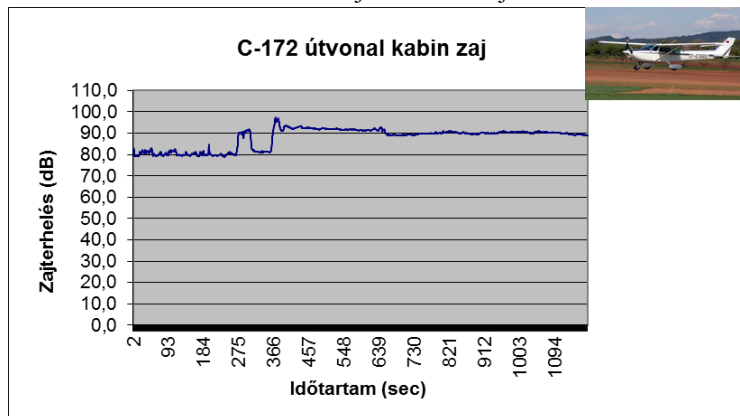
¹⁰ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

¹¹ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

Légcsavaros légijárművek kabinzajterhelésének alakulása



7. ábra C-172 kabinjában mért zajterhelés ¹²



8. ábra C-172 kabinjában mért zajterhelés ¹³



9. ábra Commander kabinjában mért zajterhelés ¹⁴

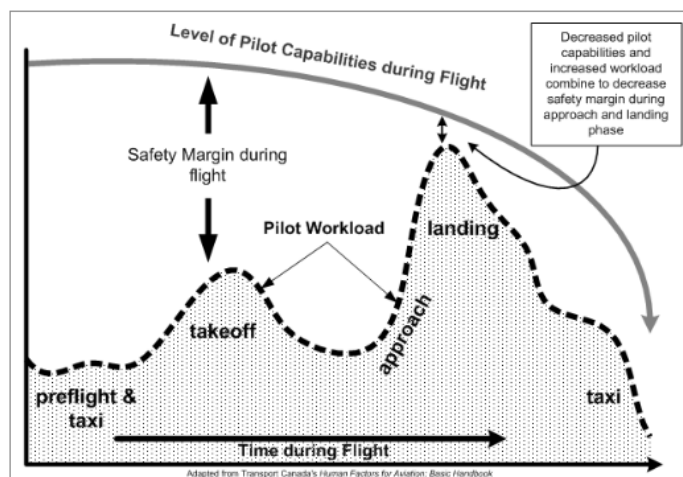
A következő ábrán látható a pilóták repülés ideje alatti terhelése (10. ábra). Ennek alapján megállapítható, hogy a legnagyobb „terhelést” a pilótákat a leszállás művelete alatt keletkezik, ezért nagyon fontos, hogy a zavaró tényezőket - mint a zaj – minimálisra csökkentsük megfelelő műszaki megoldásokkal a repülésbiztonság érdekében.

¹² Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

¹³ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

¹⁴ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

A repülés biztonság érdekében kiemelten fontos továbbá, hogy a pilóták minden zavaró körülmény ellenére is jól és pontosan hallják a légiforgalmi szolgálatok, a környezetükben lévő más légijárművek, illetve a fedélzeten tartózkodók közleményeit. Ezért is olyan fontos, hogy megfelelő legyen a beszédérthetőség és a pilótafülke zajszintje, ahogyan ezt az FAA ajánlása is alátámasztja. A British Airways adatai szerint a pilótafülke zajterhelése 77–89 dB (A) között alakul a repülési műveletektől függően, míg a repülések 40%-ban 85 dB (A) vagy magasabb zajterhelés is éri a repülőszemélyzetet.



10. ábra Pilóták terhelhetősége¹⁵

Összefoglalva megállapítható, hogy a repülőszemélyzetet érő igen magas zajterhelés nem küszöbölhető ki teljes egészében, viszont egyéni védőeszközök alkalmazásával a krónikus zajártalom hallórendszeri károsodást okozó hatásai elkerülhetők. Mindezekon túl szükséges lenne egy olyan hazai szabályozás kidolgozása, amely figyelembe veszi a nemzetközi ajánlásokat és a gyakorlati mérési tapasztalatok eredményeit, és melynek segítségével a légiközlekedésben érintett munkáltatók és munkavállalók átfogó képet kaphatnak – adott esetben – az egészséget ténylegesen is veszélyeztető fizikai tényezőről, a zajterhelésről.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 1993 évi. XCIII. törvény, A munkavédelemről
- [2] 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet, A munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről szóló
- [3] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2003/10/EK IRÁNYELVE, a munkavállalók fizikai tényezők (zaj) hatásának való expozíciójára vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimumkövetelményeiről
- [4] COLIN KESTELL: The Active Noise Control of a Light Aircraft Cabin Interior, A work in progress.
- [5] FAA: 20-133ADVISORY CIRCULAR, Cockpit noise and speech interference between crewmembers, http://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac20-133.pdf
- [6] <http://www.fonor.hu/meres/munkahelyi-zajvizsgalat>
- [7] MAGYAR VIKTOR: Környezeti és munkahelyi zajvizsgálatok szabványos mérése és kiértékelése, Szakdolgozat, Széchenyi István Egyetem, 2010, <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/MVIK.pdf>
- [8] MISS S. JAMES: Defining the Cockpit Noise Hazard, Aircrew Hearing Damage Risk and the Benefits Active Noise Reduction Headsets Can Provide
- [9] NAGY ZSUZSANNA: Zajvizsgálat a Magyar Honvédség repülőterein, Hadmérnök, VI. évfolyam 1. szám - 2011. március

¹⁵ <http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:stress-in-aviation>