

Hernád Mária¹

HALLÁSVÉDELEM A ROBBANTÁSTECHNIKÁBAN²

Az egyik leggyakoribb foglalkozási ártalom a halláskárosodás, de ilyenkor leginkább a folyamatosan jelen lévő ipari zajokkal foglalkozunk. Jelentős károsodást okozhat viszont a robbantás során fellépő légnomásváltozás és impulzus zaj is. Előadásomban szeretném bemutatni ezen ártalmak okozta elváltozásokat és betegségeket, a keletkező egészségkárosodás jellegzetességeit összehasonlítva a klasszikus zajártalommal, valamint a megelőzés lehetőségeit.

Kulcsszavak: dőrejártalom, akut akusztikus trauma, zajártalom, hallásvédelem

BEVEZETÉS

Az impulzus zaj okozta és dőrej halláskárosodás nagymértékben különbözik a tartós zajártalomtól. Más mechanizmusok játszanak közre a kialakulásában, különböznek a határértékek, a zajmérés és az eredmények értékelése is problémát okozhat. A robbantási munkafolyamatok kapcsán ezzel a zajtípussal kell számolnunk, ha a kockázatértékeléshez és az egyéni védőeszközök kiválasztásához számba vesszük a lehetséges veszélyforrásokat. Előadásomban szeretném bemutatni a robbantás során fellépő dőrej és impulzus zaj okozta halláskárosodás jellegzetességeit, kialakulását, valamint szeretnék segítséget nyújtani a zajvédelem megfelelő kialakításához, az egyéni védőeszközök kiválasztásához.

A HALLÁSKÁROSODÁS KIALAKULÁSA

Élettanilag a hallás során a hangnyomás változást alakítja át a fülünk ingerületté, melyet a központi idegrendszer a hallóidegen keresztül kap meg és dolgoz fel. A 20–20 000 Hz frekvencia közötti hangokat a külsőfül vezeti a dobhártyához, a hang azt megrezegteti, a dobhártya átadja a rezgést a hallócsont láncolatnak. A dobhártya és a hallócsontok is erősítőként szerepelnek, majd átadják az energiát a labirintusban lévő folyadéknak, az érzékelő sejtek a folyadék mozgásától kerülnek ingerületbe. A hangnyomást a koponyacsont is közvetíti, így közvetlenül a labirintusba jut az inger, de a külső és középfül erősítő és védő szerepe kiesik.

A dobhártyának egyes frekvenciákon, főleg a 100–200 Hz tartományban nagyobb impedanciája, így a beszédhangokat jobban erősíti, míg a magasabb hangokat kevésbé, a hallócsont láncolattal együtt mintegy 22-szeresére növeli a nyomásváltozást. Az utolsó hallócsontocska mozgását szabályozza egy kis izomköteg (musculus stapedius), mely a

¹ MH 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred.

² Bírálta: Prof. dr. Szabó Sándor ny. mk. ezredes, egyetemi tanár. Nemzeti Közszerológiai Egyetem, E-mail: szabo.sandor@uni-nke.hu.

nagyobb nyomásváltozáskor reflexesen összehúzódik, csökkenti a csontocska mozgásterjedelmét, így védi a belsőfület. [1]

Dörejártalom

Akut hallászervi károsodás kialakulhat egy egyszeri nagyintenzitású hang hatására pl. lövés (kb. 150 dB) vagy egy egyszeri, egyetlen hullámból álló aperiodikus légnyomásváltozás és nagyintenzitású hang együttes hatására létrejövő dörejártalom miatt.

A dörejártalomnál a középfül és a belsőfül struktúrájának károsodása következtében általában kombinált típusú halláscsökkenés³ jön létre. A dörej erejétől függően a dobhártyán kisebb–nagyobb szakadások, a középfülben bevérzés, a hallócsontláncolat ficama, szakadása, az ovális ablak rupturája, a basalmembrán leszakadása, a Corti-szerv, illetve a szőrsejtek károsodása jöhet létre. [2]

Mivel a robbanási túlnyomás gyorsabban terjed, mint a hang⁴, ezért előbb a légnyomás–változás okozta károsodás jön létre, mely főleg a hangvezető rendszer (középfül) károsodását okozza, de nagy erejű robbanás akár a basalmembrán leszakadását és a csiga folyadék-rendszerének károsodását is okozhatja.

A fenti elváltozások miatt jellemzően kombinált típusú halláscsökkenés alakul ki. Érvényesül a fej árnyékoló hatása, ezért általában egyoldali a károsodás. A halláscsökkenés mellett fülfájdalom, fülsengés, a hallójáratból véres váladék szivárgása, súlyosabb esetben egyensúlyzavar és hányinger is jelentkezhet. Minden esetben akut szakorvosi ellátást igényel. [1]

SEQ táblázat * ARABIC 1. táblázat Fülészeti tünetek megjelenése [3]

Tünetek	Tünetek megjelenése (%)
Halláscsökkenés	77%
Fülfájás	15%
Füldugulás érzés	19%
Fülfolyás	25%
Fülsengés	50%
Szédülés	8%

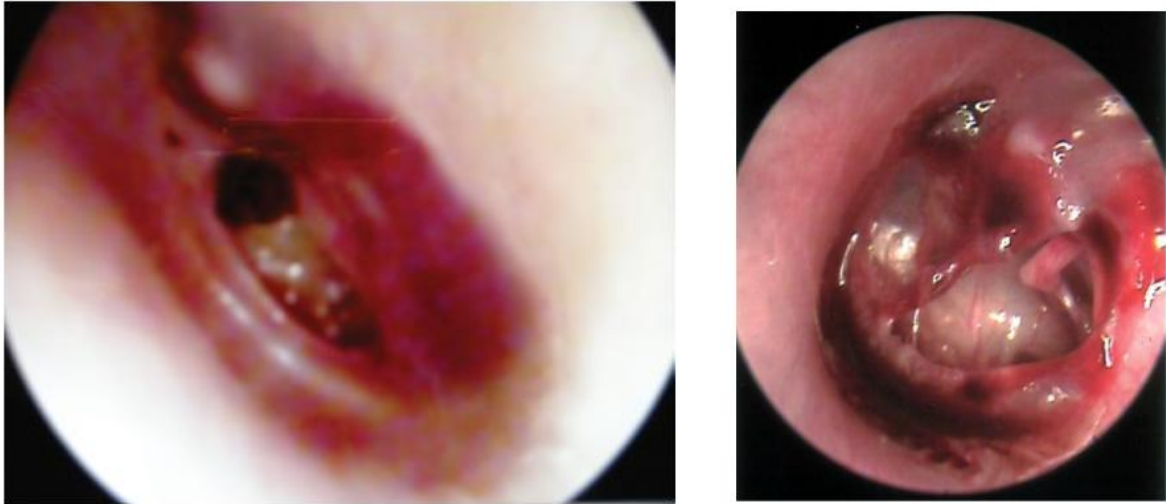
A kezdetben kialakult halláscsökkenés a szakorvosi ellátás után néha spontán is javulhat, a vérömleny felszívódik, a dobhártya-repedés spontán vagy műtéti eljárás hatására gyógyul, a szőrsejtekben bizonyos mértékű regeneráció jön létre, ezért a halláscsökkenés végleges megítélésével, a kártérítési igény elbírálásával fél évet kell várni. A dörejártalom nem foglalkozási betegség, hanem baleset, a bejelentés során is ennek megfelelően kell eljárni. [4]

A robbanásos sérültek esetében 30%-ban maradandó halláscsökkenésre lehet

³ Kombinált típusú halláscsökkenés: vezetésszerű és idegi halláscsökkenés is kialakul, a vezetésszerű halláscsökkenés lényege a hangvezető és erősítő rendszer (dobhártya, hallócsontok) károsodása, míg az idegi halláscsökkenésnél a jelfeldolgozó rendszer (csiga, hallóideg) nem működik megfelelően.

⁴ A hang terjedése levegőben 330 m/s, a robbanási túlnyomás terjedési sebessége az adott robbanóanyag detonációs sebességétől függ $c = \frac{1}{4} D$ pl. hexogén esetében 5250 m/s. [14]

számítani a sérülést követő fél év után végzett vizsgálatok adatai alapján, az érintettek 5%-ának hallókészülékre lett szüksége. [3]



1. ábra Dohártyarepedés [5]

1. táblázat A dohártya repedés osztályozása az elváltozás súlyossága szerint [3]

Osztály	Jellemzők	Megjelenési arány (iraki és afganisztáni adatok) (%)	Megjelenési arány (1967–86 közötti időszakban feldolgozott adatok) (%)
1	tűszúrásnyi vagy 2mm-nél rövidebb lineáris szakadás	6	24
2	25%-nál kisebb területet érint	33	42
3	25–50% területet érint	23	27
4	50%-nál nagyobb területet érint	38	7

A dohártya sérülésének mértékéből következtethetünk a többi szerv, főleg a tüdő sérülésének lehetőségére. Amennyiben egy sérült esetben a dohártya átszakadt, mindenképpen alapos vizsgálat szükséges az esetleges tüdőbevérzések felderítésére, és az első ellátástól kezdve potenciális mellkasi sérültként kell kezelni. [5] Irakban több mint 600 IED⁵ támadásban sérült katona adatait dolgozták fel és szignifikáns összefüggést találtak a központi idegrendszeri sérülések és a dohártya átszakadása között, tehát ez a károsodás jelzője lehet a koponyában lezajló folyamatoknak is. [6]

Az impulzív zajra, dőrejre a végtagok hajlító izmai, a gerincoszlopot támasztó izomkötegek és a szem körüli izmok reflexhatásra összehúzódnak (startle reakció). [1]

A dohártya átszakadásának küszöbértéke különböző irodalmi adatok alapján 35–45 kPa, ez alatt fájdalom, bevérzés, átmeneti halláscsökkenés, fülsengés lép fel. 100 kPa körüli

⁵ IED= Improvizált robbanóeszköz.

nyomásemelkedésnél 50%-os a valószínűsége, más irodalmi adatok szerint viszont majdnem 100%-os, hogy a dobhártya átszakad. [5] [2] [3]

A dobhártya átszakadásának valószínűségét az alábbi tényezők befolyásolják:

- független a robbanás paramétereitől: dobhártya ellenálló képessége, életkor, esetlegesen fennálló betegségek (otosclerosis), egyéni érzékenység az akusztikus terhelésekkel szemben;
- robbanás tulajdonságaitól függ: a sérült az epicentrumhoz képest hogyan helyezkedik el, csúcsnyomás (csúcsintenzitás), a nyomásgörbe meredeksége, lökéshullám pozitív fázisának időtartama, hullámreflexió;
- környezeti tényezők: szél, domborzat, hőmérséklet. [2]

Akut akusztikus trauma

A légnyomásváltozás nélküli nagyintenzitású hang (125 dB) hatására főleg a magas hangok területére korlátozódó percepciós típusú halláscsökkenés alakul ki, ennek típusos formája a lőfegyver elsütése (kb. 150 dB) után kialakuló halláskárosodás.

A robbanás lökéshulláma tovaterjedve a levegőben szintén nagyintenzitású impulzív zajjá alakul, de főleg a mélyebb frekvenciákat érintve. A halláskárosodás jellemzően egyoldali, a fej árnyékoló hatása miatt.

Állatkísérletek segítségével kimutatták, hogy a károsodás kialakulása során az érzékelő szőrsejtek oxigénhiányos állapotba kerülnek és ennek következtében elhalnak, mivel a zaj hatására összehúzódnak az őket ellátó erek. Ezen érzékelő sejtek nem képesek regenerálódni, ezért az elváltozás visszafordíthatatlan, és idegi típusú halláscsökkenés alakul ki. [1] A károsodást fokozza, hogy az egyszeri, nagyerejű, impulzusszerű hanginger hatására olyan nagyfokú endo- és perilymphamozgás⁷ jön létre, hogy a Corti-szerv helyenként leszakad a táplálását biztosító membrana basilarisról és azon a ponton elhal. Azok a hangok, melyek karakterisztikus frekvenciája ezen a ponton található, csak jóval nagyobb hangnyomás mellett válnak érzékelhetővé. [1]

Vezető tünet a halláscsökkenés és fülcsengés, fülzúgás, de társulhat hozzá szédülés, hányinger, hányás is. A károsodás mértékét és jellegét a fizikális vizsgálatot követően hallásvizsgálat segítségével állapítjuk meg.

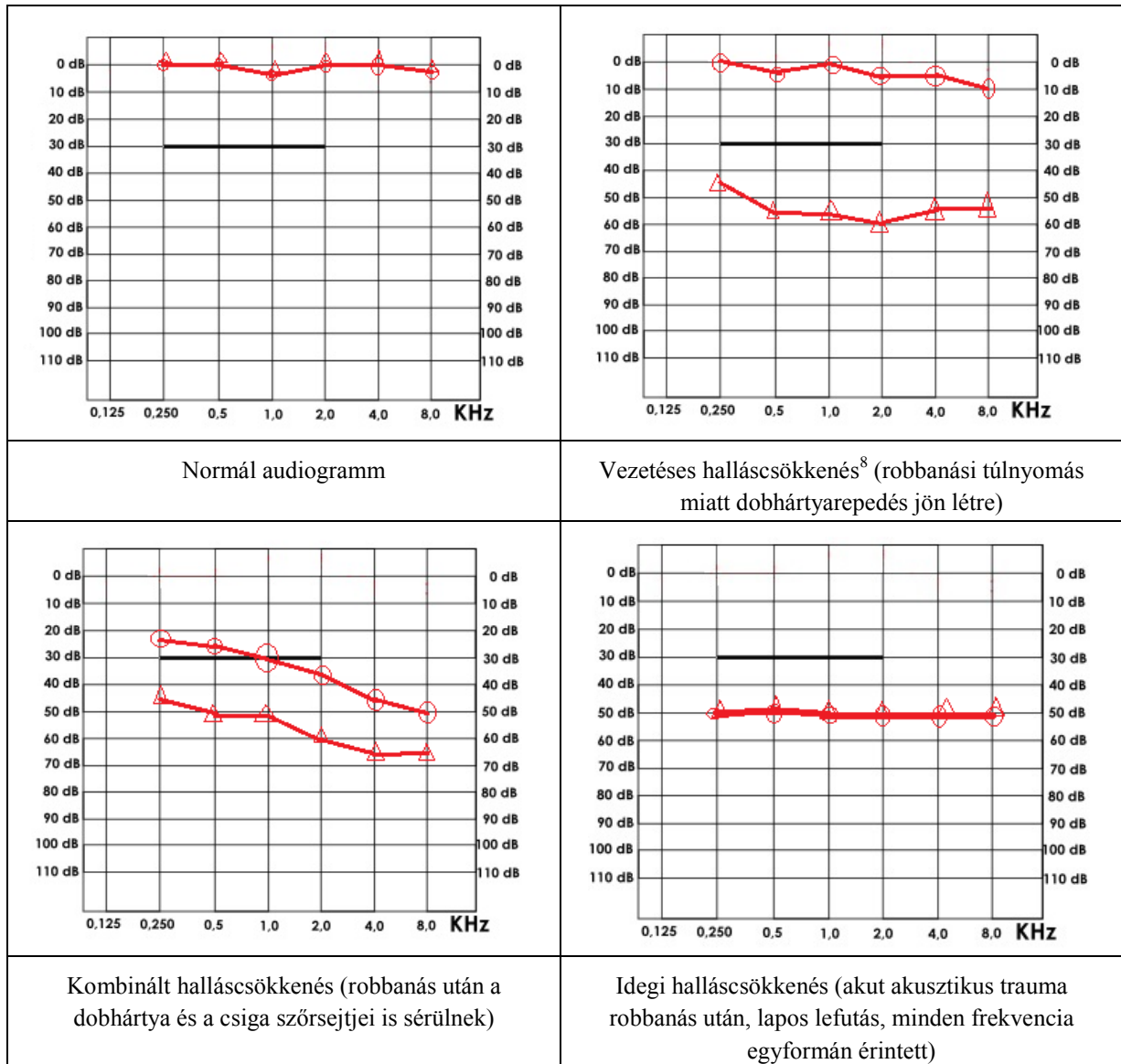
Nem találtak egyértelműen jellegzetes lefutású audiogrammot a robbanás okozta akusztikus traumára, az eredményeket befolyásolta a sérültek életkora, előzetes halláskárosodásuk és a vezetési halláscsökkenés mértéke. Dobhártya sérülés esetén kisebb arányban keletkezett zajcsipke az 1–4 kHz frekvenciáknál, ez talán a hang erősítő funkció kiesésével magyarázható. Zárt terekben történt robbanás esetén a robbanási túlnyomás növekedésével nagyobb arányban történt dobhártyarepedés is, ezért az érintetteknél szintén a lapos audiogramm volt a jellemző. A következő táblázatban néhány jellegzetes hallásgörbe látható.

⁶ Idegi típusú halláscsökkenéskor a belfülben található csigában elhelyezkedő érzékelő szőrsejtek, vagy a képződött jeleket továbbító hallóideg károsodása áll fenn.

⁷ Endo- és perilympa: a belfülben található csiga és félkörös ívjáratokon belül, illetve körül elhelyezkedő folyadékok, a hangrezgés az ovális ablakban elhelyezkedő hártyan keresztül az endolymphában hullámokat kelt, amely megmozgatja a csiga szőrsejtjeinek érzékelő szerveit.

[1] [4] [7]

2. táblázat Különböző típusú audiogrammok [4]



Akut és krónikus zajártalom összehasonlítása

A hosszan tartó zajártalom okozta halláskárosodás az egyik leggyakoribb foglalkozási betegség, az egészségügyi szakemberek főleg ezzel a problémával találkoznak annak ellenére, hogy jogszabályi környezet és a megfelelő védőeszközök elérhetősége által biztosított a betegség megelőzése.

Ahogy a korábbi alfejezetekben bemutattam, más a helyzet az akut impulzív zaj, dőrej okozta ártalmakkal. Az alábbi táblázatban különböző szempontok szerint meghatározásra kerültek

⁸ Vezetékes halláscsökkenés akkor alakul ki, ha hangvezető és erősítő rendszer (dobhártya és a dobüregben elhelyezkedő hallócsontocskák) károsodnak.

az akut és krónikus zajártalom legfontosabb jellemzői.

3. táblázat Akut és krónikus zajártalom jellemzőinek összehasonlítása

Jellemzők	Akut	Krónikus
Behatás ideje	Egyszeri behatás következménye	5-10 év expozíciós idő
Prognózis	Gyógyulhat	Maradandó
Halláskárosodás típusa	Vezetékes, idegi vagy kombinált halláscsökkenés	Idegi halláscsökkenés
Oldaliság	Majdnem mindig egyoldali	Kétoldali
Megelőzés	Esetek egy részében megelőzhető pl. kiegyenlítés vizsgálata bűvároknál	Megelőzhető
Bejelentés	Balesetként jelentendő be	Foglalkozási expozícióként vagy megbetegedésként jelentendő be

IMPULZÍV ZAJOK MUNKAHIGIÉNÉS ÉRTÉKELÉSE

Alapfogalmak

A zajokat alapvetően három jellemzővel tudjuk leírni, az intenzitással, a frekvenciaspektrumával és az időbeli lefolyással. A robbanásnál fellépő zaj rendkívül rövid idejű és nagy intenzitású, frekvencia-spektrumában a mély hangok dominálnak.

A rövid ideig tartó zaj, az impulzív zaj, melynek meghatározása nem egységes. Egyes szerzők szerint impulzív zajról beszélünk akkor, ha a zaj időtartama 300 ms-nál rövidebb, mások ezt 500 ms-ban jelölik meg. Általában elfogadott, hogy impulzív zajnak kell tekinteni azokat a zajokat, amelyeknél a hangnyomásszint az alapzajhoz képest legalább 20 dB-lel emelkedik és a növekedés 35 ms-nál rövidebb idő alatt jön létre. [1] [8]

Az impulzív zajon belül van egy még rövidebb időtartamú csoport, az impakt zaj, amely 25 μ s-nál rövidebb és elsősorban lőfegyverek használatakor keletkezik.

A dőrej (hangrobbanás) egy rendkívül erős, rövid ideig tartó hangjelenség, amely elsősorban légnyomásváltozást okoz. Egy másik megfogalmazás szerint: egyszeri, egyetlen hullámból álló a légnyomás növekedésével is járó zajhatás. A robbanás okozta dőrej spektrumában főleg mély hangok dominálnak. [1]

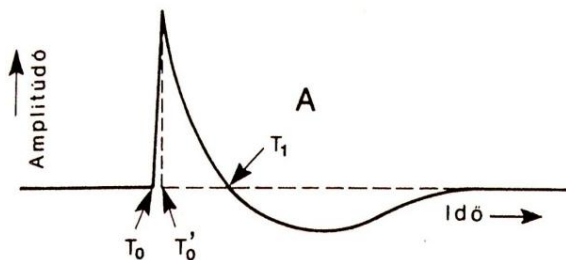
Az MSZ ISO 1996–1:2003 szabvány [9] az impulzív zajokat 3 csoportba sorolja:

- nagy energiájú impulzív zajforrások: bármely robbanó hangforrás, ahol a TNT tömege meghaladja az 50 g-ot, vagy a hasonló fokú és karakterisztikájú források (például: bányarobbantások, olyan bontási és ipari folyamatok, ahol robbanóanyagokat használnak, katonai lőszer: páncéltörő gránátok, tüzér lövedékek) ez a kategória nem tartalmazza a rövid időtartamú kézfegyverek által generált zajokat;

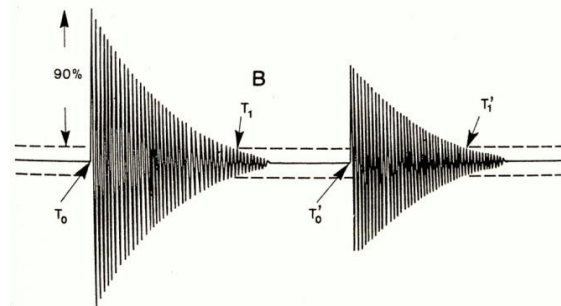
- nagy impulzusú zajforrások: bármely hangforrás, amely nagy impulzusú karakterisztikával rendelkezik (ide tartoznak: kézi fegyverek, kalapácsütés fémén, szögbelövő pisztoly stb.);
- szabályos impulzív zajforrások: azok az impulzív zajforrások, amelyek nem tartoznak sem a nagy impulzusú, sem a nagy energiájú impulzusos zajforrások közé. Ez a kategória magában foglalja azokat a zajokat, amelyek néha olyan hatásúak, mint az impulzív zajok, azonban mégsem tartoznak az előbb leírt impulzív zajforrások közé. Ilyenek például: a gépjármű ajtajának becsapása, templom harangja.
- Az MSZ EN 458:2005 szabvány egy útmutató a hallásvédő kiválasztásához, mely szintén 3 csoportba osztja az impulzív zajokat:
 - 1-es típusú: ahol a legtöbb hangenergia a mély frekvencia tartományban oszlik meg. Például: ütve nyomás, robbanóanyag (1 kg), robbanóanyag (8 kg);
 - 2-es típusú: ahol a legtöbb hangenergia a közepes és a magas frekvenciatartomány között oszlik meg. Például: szögbelövő pisztoly, puska, kalapács (alumínium, acél);
 - 3-as típusú: ahol a legtöbb hangenergia a magas frekvencia tartományban oszlik meg. Például: pisztoly. [10]

Az emberi zajterhelés és halláskárosodás szempontjából a lökés jellegű hangjelek sokkal veszélyesebbek az összes többinél. A rövid, nagyon erős hangok (impulzusos zajok) hatásainak felmérését a hangnyomás csúcserőteke teszi lehetővé. Coles és munkatársai (1968) szerint az impulzusokat két különböző típusba sorolhatjuk. [11]

Az első típusú éles pozitív csúcscsal kezdődik, majd egy sokkal kisebb, de időben hosszabb, negatív nyomású szakasszal folytatódik. Ez a puska lövések jellemző idő – amplitúdó grafikonja.



2. ábra Egyszeri impulzus [11]



3. ábra Lecsengő és esetleg ismétlődő impulzus [11]

A második típusnál az impulzus lecsengő jellegű, a csökkenő pozitív és negatív csúcsok a hang frekvenciájának ütemében követik egymást. Emellett például visszaverődések miatt egy második lecsengő jel is előfordulhat.

A rövid idejű hangok hatására bekövetkező hallásküszöb eltolódás többek között azzal is összefüggésben van, hogy a középfül védekező izmai ilyen rövid idő alatt nem léphetnek működésbe. Az időkésést különböző szerzők 10–40 ms közöttire becsülik. Ezért nagy szerepe van a hangimpulzus meredekségének, és ezáltal elmondható az is, hogy az egyszeri hangimpulzus veszélyesebb, mint a lecsengő típusú. Ha az egymás utáni hanglökések 1 s-nál

közelebbiek, a védekező izmok működésben maradnak. [11]

Zajexpozíció értékelése

Minden olyan tevékenység esetén zajmérést kell végezni, amikor a munkavégzés során a munkavállalók zajból származó kockázatnak ténylegesen vagy vélhetően ki vannak téve.

Az alábbi értékeket határozzuk meg a munkavállalót érő zajterhelés megállapításához:

- L_{Aeq} : zajterhelés: a munkahelyen fellépő zaj egyenértékű A-hangnyomásszintje;
- L_{AM} : a munkavállaló tényleges – védőeszközzel meghatározott – expozíciója;
- $L_{EX,8h}$: napi/heti zajexpozíció szintje [dB(A) 20 μ Pa-ra vonatkoztatva], a zajexpozíció idővel súlyozott átlaga egy nyolcórás munkanapra vagy negyven órás munkahétre vonatkoztatva. A munkahelyen fellépő mindenfajta zaj idetartozik, az impulzusos jellegű zajokat is beleértve;
- $p_{csúcs}$ [L_{max} vagy L_{Cpeak}]: legnagyobb hangnyomásszint: az értékelési idő alatt C súlyozó szűrővel és csúcs (peak) időállandóval mért legnagyobb hangnyomásszint. [12]

A zajexpozíciós határértékek és beavatkozási határértékek a következők:

- zajexpozíciós határértékek:
 $L_{EX,8h} = 87$ dB(A), illetve
 $p_{csúcs} [L_{max}] = 200$ Pa [140 dB(C)];
- felső beavatkozási határértékek:
 $L_{EX,8h} = 85$ dB(A), illetve
 $p_{csúcs} [L_{max}] = 140$ Pa [137 dB(C)];
- alsó beavatkozási határértékek:
 $L_{EX,8h} = 80$ dB(A), illetve
 $p_{csúcs} [L_{max}] = 112$ Pa [135 dB(C)]. [12]

A beavatkozási határértékek alkalmazása esetén az egyéni hallásvédő eszköz hatását nem kell figyelembe venni. A beavatkozási határértékek szabják meg a munkáltató és munkavállaló jogait és kötelezettségeit a zajvédelemmel kapcsolatban, mint orvosi vizsgálatok elrendelése vagy egyéni védőeszközök biztosítása. [12]

A zajexpozíciós határértékek alkalmazása esetén a munkavállalót érő tényleges zajexpozíciót a munkavállaló által viselt egyéni hallásvédő eszköz zajcsökkentő hatásának figyelembevételével kell meghatározni. A zajexpozíciós határértéket nem lehet meghaladni. [12]

A zaj mérése integráló zajszintmérő műszerrel történik, amelyben különböző szűrőket alkalmazunk a zaj frekvencia összetevőinek a hallószervre kifejtett eltérő hatása miatt:

- „A” szűrővel történik az A-hangnyomásszint meghatározása, itt a mélyfrekvenciás hangokat kevésbé vesszük figyelembe;
- „D” szűrőt kell alkalmazni környezeti zajterhelés megállapításakor pl. repülőterek közelében, figyelembe veszi a külsőfül, mint rezonátor erősítő szerepét;
- „C” szűrővel mért eredmények szükségesek az egyéni védőeszközök kiválasztásához, figyelembe veszi a mélyfrekvenciás komponenseket. [1]

A mérés során a mérési pontot 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 végrehajtani. A méréseket a munkavállalók szokásos tevékenysége közben, illetve a zajforrások üzemszerű működése mellett kell elvégezni. A legnagyobb hangnyomásszint mérésekor különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a méréskor valóban a legnagyobb zajszintet okozó üzemelési körülmény legyen. Ennek érdekében megengedett, hogy a legnagyobb zajszintet okozó tevékenységet a mérés érdekében célzottan végezzék, illetve az ilyen gépet, berendezést célzottan működtessék. A nem munkafolyamatból származó, de rendszeresen jelentkező, illetve ki nem küszöbölhető zajokat (pl. más üzemszerű zaj, közlekedési zaj) is számításba kell venni. [12] [1]

A megítélési idő 8 óra a műszak, illetve a zajhatás időtartamától függetlenül, ehhez hasonlítjuk a mérési időt, ha egy munkakörben több technológiával vagy munkaterületen zajlik, akkor a munkaidőt fel kell osztani (vonatkoztatási idő) és minden időszakban zajmérést kell végezni, majd ezeknek az értékeknek a súlyozásával lehet kiszámolni a zajexpozíciót.

Az L_{Aeq} egyenértékű A–hangnyomásszint meghatározása:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_m} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1)$$

ahol:

- $p_A(t)$ az A–szűrővel súlyozott hangnyomás időfüggvénye Pa-ban;
- p_0 20×10^{-6} Pa, az alapszint;
- t_1 a mérési idő kezdete;
- t_2 a mérési idő vége;
- T_m $(t_1 - t_2)$, a mérési idő s-ban. [12]

Az értékelési idő részidőkre bontása esetén minden egyes „i” részidőre meg kell mérni a zaj $L_{Aeq,i}$ egyenértékű A–hangnyomásszintjét az előző képlet szerint, majd a következő összefüggéssel ki kell számítani az értékelési időre vonatkozó L_{Aeq} egyenértékű A–hangnyomásszintet, dB-ben.

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^n \tau_i 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,i}} \right] \quad (2)$$

ahol:

- $L_{Aeq,i}$ az i-edik részidőben ható zaj egyenértékű A–hangnyomásszintje dB-ben;
- τ_i az i-edik részidő tartama s-ban;

$$\tau = \sum_{i=1}^n \tau_i \text{ az értékelési idő s-ban}$$

- n a részidők száma.

Ugyanilyen összefüggésekben a L_{Ceq} hangnyomásszintet is meg kell határozni. [12]

A fenti eredmények alapján lehet meghatározni a munkavállalót érő zajexpozíciót és kiválasztani a szükséges védőeszközt az alábbi képletekkel:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\frac{\tau}{T} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq}} \right) \quad (3)$$

ahol:

L_{Aeq} a zaj egyenértékű A–hangnyomásszintje dB-ben, a τ értékelési időre vonatkoztatva;

τ az értékelési idő s-ban;

T 28 800 s, a megítélési idő. [12]

A munkavállalót érő egyenértékű A–hangnyomásszint (L_{AM}) meghatározása egyéni hallásvédő eszköz használata mellett:

$$L_{AM} = L_{Ceq} - SNR \quad (4)$$

ahol:

L_{Ceq} az értékelési időre meghatározott egyenértékű C–hangnyomásszint;

SNR az alkalmazott egyéni hallásvédő védőeszköz legalább 80%-os szinten számított csillapítása (SNR_{80}). [12]

A jogszabályok értelmében a zajexpozíció meghatározásához minden esetben szükséges az $L_{EX,8h}$ meghatározása, ezért az erre szakosodott laboratóriumok meg is határozzák, de a robbantás-technikában az impulzív zaj természete és a munkaidő egészéhez mérten igen rövid volta miatt nem nagyon van értelme.

Távolságtörvény

Pontszerű forrás esetén – a robbanás annak tekinthető – a hangnyomás csökkenése a gömbfelület sugarával, vagyis a távolság négyzetével arányos.

$$L = L_w + \lg \frac{D}{4r^2 \pi} \quad (dB) \quad (5)$$

ahol:

L a vizsgált pontban lévő hangnyomásszint;

L_w a zajforrás hangteljesítményszintje;

D irányítási tényező;

r a távolság.

D irányítási tényező:

- teljes szabadtérben: $D=1$;
- egy visszaverő felület esetén (sík terep): $D=2$;
- két visszaverő felület esetén (fal): $D=4$;
- három visszaverő felület esetén (derékszöget bezáró falak): $D=8$.

Ebből következik, hogy sík terepen a távolság kétszerezésével 6 dB-t csökken a zajszint, a hangnyomás a negyedére csökken. [8]



4. ábra Zajmérés Feldebrő körzetében lévő robbantási területen [13]

HALLÁSVÉDELEM A ROBBANTÁSTECHNIKÁBAN

A zajártalom esetén a munkáltató köteles a zajexpozíció csökkentését célzó intézkedési tervet készíteni a műszaki, illetve munkaszervezési intézkedési lehetőségek figyelembevételével. [1]

Megelőzés eszközei a zajexpozíciónak kitett állomány esetében:

- a jogszabályok betartása;
- műszaki megoldások: teremakusztika helyes kialakítása építészeti megoldásokkal, különböző hangnyomásszintű munkahelyek elhatárolása, zajvédő fülkék, zajvédő fal építése (3 dB-es csökkentés a felére csökkenti a halláskárosodás veszélyét), kevésbé zajos gépek, automatizálás merülnek fel lehetőségként;
- munkaszervezési szempontból a következőket kell betartani: minimális létszám tartózkodjon és csak minimális ideig zajban. Rövid ideig tartó nagyobb zaj után képes a fül regenerálódni, ha utána 70 dB alatt pihen legalább 16 órát;
- alkalmassági vizsgálatok elvégzése az előírt esetekben;
- sérülékeny csoportok védelme;
- egyéni védőeszközök alkalmazása, amelyeket 80dB felett munkáltató köteles biztosítani, 85 dB felett a munkavállaló köteles használni. [1], [12]

A robbantástechnikában – egyes ritka kivételektől eltekintve – az állandóan változó munkahely miatt behatárolt a műszaki megoldások köre, itt főleg a távolságvédelmet és az egyéni védőeszközöket alkalmazzuk.

A kollektív védelem egyik zajcsökkentő intézkedési lehetősége a távolságtörvény alkalmazása. A szabad térben telepített zajforrás által okozott zajszint (L) távolságfüggése, ha a zajforrás legnagyobb mérete (l) és a megfigyelési távolság (r) között az $l < r$ [m] összefüggés érvényesül:

$$L = L_w + 10 \lg D - 20 \lg r - 11 - \sum K_i \quad (6)$$

ahol:

L_w a zajforrás teljesítményszintje [dB];

D a zajforrás irányítási tényezője;

K_i a hangterjedést befolyásoló korrekciók összege [dB]. [8]

Ahhoz, hogy meg lehessen határozni azt a távolságot, ahol a csúcs hangnyomásszint értéke nem lépi túl a rendelet által előírt határértéket, először meg kell határozni, hogy a robbanás helyszínén mekkora a csúcs hangnyomásszint, majd a határértéket behelyettesítve meg lehet határozni a biztonsági távolságot.

A biztonsági távolság lehet kevesebb is, attól függően, hogy milyen a talajtakaró és a környező növényzet, milyen a talaj összetétele, illetve függ az időjárástól, vagy a beépítettségétől is. Ez utóbbi növelheti is a biztonsági távolságot például, ha egy épület oldalán, vagy annak tövében helyezük el a robbanóanyagot. [8]

Amennyiben a zajexpozícióból eredő kockázatot más intézkedéssel nem lehet megelőzni, akkor a munkavállalót megfelelően illeszkedő egyéni hallásvédő eszközzel kell ellátni. Ha a zajexpozíció meghaladja az alsó beavatkozási határértékeket, akkor a munkáltató egyéni hallásvédő eszközt biztosít a munkavállaló részére, viszont ha eléri, vagy meghaladja a felső beavatkozási határértékeket, akkor a munkavállaló köteles a rendelkezésére bocsátott egyéni hallásvédő eszközt a munkáltató által előírt módon viselni. [1]

Az egyéni hallásvédő eszközt úgy kell kiválasztani, hogy az megszüntesse, vagy a lehető legkisebb mértékűre csökkentse a halláskárosodás kockázatát. A kiválasztásnál a MSZ EN 458:2005 számú szabvány A. 5. eljárása a minimálisan irányadó: [10]

$$L_{AM} = L_{Ceq} - SNR \quad (7)$$

összefüggés alapján kiszámolható a választandó hallásvédő minimális zajcsillapítási értéke. A zajexpozíció nem haladhatja meg a határértékeket, tehát a L_{AM} helyébe ezeket az értékeket behelyettesíthetjük.

Az SNR érték egyszerűsített csillapítási érték, az alkalmazott egyéni hallásvédő legalább 80% -os szinten számított csillapítása. [10]

Impulzív zajoknál az MSZ EN 458:2005 szabvány (nem kötelező érvényű) B melléklete alapján járunk el, amely impulzív zajok elleni egyéni hallásvédő számításának előírását tartalmazza:

4. táblázat Impulzus zajok osztályozása a védőeszköz kiválasztásához [10]

Zajtípus	Frekvenciatartomány	Zajforrás	d_m (dB)
1	a legtöbb hangenergia a mély frekvencia tartományban oszlik meg	lyuksajtoló gép	L-5
		ütve nyomás	
		robbanóanyag (1 kg)	
		robbanóanyag (8 kg)	

2	a legtöbb hangenergia a közepes és a magas frekvenciatartomány között oszlik meg	szögbelövő	M-5
		fémkalapálás	
		kalapács (acél)	
		kalapács (alumínium)	
3	a legtöbb hangenergia a magas frekvencia tartományban oszlik meg	puska	H

A d_m érték azt jelzi, hogy az adott csoportban a védőeszköz gyárilag meghatározott frekvenciára lebontott csillapítási értékei közül melyik tartományt kell és mennyivel módosítanunk. Robbantásnál az 1-es típust kell figyelembe venni, amennyiben bizonytalanok vagyunk, a mérés során frekvencia-analízis kell elvégezni.

Robbantásnál a hangenergia nagyobb része az alacsony frekvenciatartományba esik, ezért a hallásvédő eszköz védelmi képességét korrigálni kell. Amilyen mértékben az alacsony (L) frekvenciatartományban a védőeszköz csillapítani tud, ebből az értékből le kell vonni 5 dB-t, a végeredmény lesz a csillapítás értéke, vagyis a korrigált érték:

$$d_m = L - 5. \quad (8)$$

Ennek ismeretében:

$$L'_{\text{peak}} = L_{\text{peak}} - d_m \quad (9)$$

Hallásvédő eszköz kiválasztása során L'_{peak} -nek a vonatkozó rendeletben meghatározott zajexpozíciós határértéket vesszük, $L_{\text{max}}=140$ dB. [10]

A megfelelő zajcsillapítási jellemzők mellett további követelményeknek is eleget kell tennie a hallásvédő eszköznek:

- EK minősítés;
- Viselése kényelmes legyen;
- Ne jelentsen plusz munkahelyi megterhelést, veszélyt vagy kockázatot. [1]

A megfelelő védőeszköz kiválasztásához a következő táblázat nyújt segítséget:

5. táblázat Hallásvédő eszközök kiválasztása [1] [4]

Szemponatok	Vatta	Füldugó	Fültok	Sisak
zajsztint	90 dBA-ig	100 dBA-ig	105 dBA-ig	110 dBA-ig
zaj frekvencia spektruma				
mély	0	igen	igen	igen
magas	igen	igen	igen	igen
napi expozíció időtartama				

8 óra	igen	igen	nem	nem
rövid	nem	nem	igen	igen
munkakörülmények				
oldószer	igen	korlátozottan	igen	igen
meleg	igen	igen	nem	nem
piszkos			igen	igen
nehéz fizikai munka	igen	igen	korlátozottan	igen
intenzív mozgás	korlátozottan	korlátozottan	nem	igen
gyakorlati alkalmazás	nehézkés	tanítható	egyszerű	egyszerű
anatómiai viszonyok	nem	igen	igen	igen
ellenőrzés lehetősége	nehézkés	megoldható	egyszerű	egyszerű

Az előző szempontokat figyelembe véve a hallásvédő kiválasztásánál kifejezetten impulzus zajra tervezett és a mély hangokon is megfelelő teljesítményű eszközt válasszunk. Elsősorban a fültek a választandó vagy a fültek fül dugóval kombinálva. Léteznek elektromos hangerősítő rendszerrel ellátott, szintfüggő fültek is, amelyeket olyan környezetben használnak, ahol változó erősségű vagy impulzusszerű zajkibocsátás ellen kell védekezni, azonban kiemelten fontos a figyelmeztetés, vezényszavak vagy általában a beszédhang hallhatósága. Másik lehetőség a kommunikációs eszközzel, akár Bluetooth-szal ellátott fültek, ami lehetővé teszi a megfelelő kommunikációt. [14]

Robbantási gyakorlatban az is fontos, hogy a választott egyéni hallásvédő eszköz kompatibilis legyen a fejét védő sisakkal, védőszemüveggel, ha szükséges légzésvédővel is.



5. ábra Peltor Com Tac II vékony kivitelű kommunikációs fültek, sisak alatt viselhető [15]

Ha nincs lehetőség fültek viselésére, kifejezetten impulzus zajra kifejlesztett fül dugó alkalmazása szükséges, bár védelmi értékét nagymértékben befolyásolja a használat

minősége, a megfelelő behelyezés is. [14]



6. ábra EAR Combat Arms fül dugó [16]

ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadásomban és a konferencia-kiadványban megjelent publikációmban bemutattam az akut halláskárosodás kialakulását, főleg robbantási munkákkal, robbanási sérülésekkel kapcsolatban.

Az esetek nagy részében a védőtávolság betartásával, megfelelő védőeszközök alkalmazásával meg lehet előzni ezeket a károsodásokat. A megelőzés során elengedhetetlen a zajexpozíció mérése, ez alapján határozzuk meg a védelem eszközeit. Ehhez próbáltam segítséget nyújtani.

FELHASZNÁLT IRODALOM, FORRÁS

- [1] UNGVÁRY GYÖRGY, MORVAI VERONIKA: Munkaegészségtan, Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest, 2010 pp. 274–289.
- [2] SUSÁNSZKY ZOLTÁN: A robbanás emberre gyakorolt hatása I., Műszaki Katonai Közlöny 1993/4 pp. 3–18.
- [3] AMBER E. RITENOUR, MD, AARON WICKLEY, BS, JOSHUA S. RITENOUR, MD, BRIAN R. KRIETE, MD, LORNE H. BLACKBOURNE, MD, COL JOHN B. HOLCOMB, MC, AND CHARLES E. WADE, PHD: Tympanic Membrane Perforation and Hearing Loss From Blast Overpressure in Operation. *Iraqi Freedom Wounded, J Trauma*. 2008;64: S174–S178.
- [4] ÉKES ERIKA: Halláskárosodottak munkaköri alkalmasságának véleményezése, szakmai segédanyag, OMFI (2004) p. 40.
- [5] BELLAMY, ZAJTCHUK: Pathology of Blast and Impact Injuries. In: R. Bellamy, R. Zajtchuk (Eds.), *Textbook of Military Medicine. Conventional Warfare, Ballistic, Blast, and Burn Injuries, Part 1. Vol. 5*, 221–240. (2010).
- [6] MICHAEL S. XYDAKIS, VIKHYAT S. BEBARTA, COREY D. HARRISON, JONATHAN C. CONNER, GERALD A. GRANT, ANTHONY S. ROBBINS: Tympanic-Membrane Perforation as a Marker of Concussive Brain Injury in Iraq, *The New England Journal of Medicine*, 357;8 August 23, 2007.

- [7] RONEN PEREZ, RETTA GATT, DAVID COHEN: Audiometric Configurations Following Exposure to Explosion Arch Otolaryngol Head and Neck Surg. Vol 126. Oct 2000 pp. 1249–1252.
- [8] WALZ G.: Zaj és rezgésvédelem – Szent István Egyetem, Gödöllő (2007) p.198.
- [9] MSZ ISO 1996-1:2009 Akusztika. A környezeti zaj leírása, mérése és értékelése. 1. rész: Alapmennyiségek és értékelési eljárások.
- [10] MSZ EN 458:2005 Hallásvédők. Ajánlások a kiválasztáshoz, a használathoz, a gondozáshoz és a karbantartáshoz. Útmutató dokumentum.
- [11] TARNÓCZY T.: Hangnyomás, hangosság, zajosság – Akadémia Kiadó, Budapest (1984) p.234.
- [12] 66/2005 (XII. 22.) EüM rendelet a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről.
- [13] Saját készítésű kép.
- [14] GÚTH GÁBOR: Lövés és robbanás által okozott impulzív zajok munkabiztonsági kérdései a Honvédelmi ágazatban szakdolgozat (2010) p. 67.
- [15] PELTOR honlapja <http://peltorcomms.3m.com/> Letöltés ideje: 2010. 08. 08. 14:21.
- [16] EAR honlapja http://www.e-a-r.com/e-a-r.com/premold_detail.cfm?prod_family=Combat%20Arms&ind_prod_num=370-1000001 Letöltés ideje: 2010. 08. 08. 14: 20.