



NNGYK

NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI
ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT

A környezeti zaj aktuális kérdései

A környezeti zaj aktuális kérdései

**Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ
2024**

Szerzők:

Bán Csaba
Dr. Horváth Eszter
Dr. Román Zsuzsa
Dr. Vargha Márta
Középesy Szilvia

Budapest
2024

NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT
LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI IGAZGATÓSÁG
KÖZEGÉSZSÉGÜGYI LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI FŐOSZTÁLY
Igazgató: Dr. Pándics Tamás PhD

1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6.
Levelezési cím: 1437 Pf. 839.
Telefon: +36 /1/ 476-1100
kozeglab@nngyk.gov.hu

TARTALOMJEGYZÉK

Összefoglaló.....	1
Rövidítések és fogalmak.....	5
Bevezetés	7
1. Szabályozás és helyzetkép	8
1.1 <i>Az Európai Unió zajpolitikája.....</i>	8
1.2 <i>A környezeti zajra vonatkozó hazai jogszabályok.....</i>	9
1.3 <i>Európai helyzetkép.....</i>	10
1.4 <i>Hazai helyzetkép</i>	13
2. Hangtani alapfogalmak, mértékegységek.....	15
2.1 <i>A hang.....</i>	15
2.2 <i>A zaj definíciója</i>	15
2.3 <i>Akusztikai alapfogalmak</i>	16
2.4 <i>Az indikátorok meghatározása az END-ben, indikátorok közötti átváltás, kiegészítő zajmutatók.....</i>	20
3. A zaj egészségre gyakorolt hatása	25
3.1 <i>A zaj hallórendszert érintő hatásai</i>	26
3.2 <i>A zaj hallórendszeren kívüli hatásai</i>	26
3.2.1 <i>Észlelési folyamat és pszichés faktorok.....</i>	27
3.2.2 <i>Alvászavar.....</i>	28
3.2.3 <i>Kognitív képességekre gyakorolt hatás.....</i>	29
3.2.4 <i>A környezeti zaj által okozott kardiovaszkuláris és metabolikus betegségek biológiai hatásmechanizmusa.....</i>	30
3.2.5 <i>A krónikus zajexpozíció és az elhízás kapcsolata</i>	35
3.2.6 <i>A zajexpozíció és a diabétesz összefüggése</i>	36
3.3 <i>Az éjszakai zaj egészséghatása</i>	37
3.3.1 <i>Zajindikátorok.....</i>	37
3.3.2 <i>Az éjszakai közúti zaj szintje és időszakos jellege.....</i>	40
3.3.3 <i>Az éjszakai zajterhelés hatása az egészségre és a jól-létre</i>	41
3.3.4 <i>A vezetés közbeni álmoság és a gépjárművel okozott balesetek közötti összefüggés</i>	45
4. A zajexpozíció mértékének becslése.....	47
5. Expozíció-válasz összefüggések, és az egészségvégpontok küszöbértékei	49

5.1	<i>Expozíció-hatás kapcsolat a szív- és érrendszeri betegségek tekintetében</i>	49
5.1.1	Közúti zaj	49
5.1.2	Repülőtéri közlekedésből eredő zaj	53
5.1.3.	Következtetések	55
6.	Kockázatbecslés	56
7.	Iránymutatás a zajterhelés egészséghatásának további kutatásához	61
8.	Zajcsökkentő intézkedések	66
9.	Ajánlások	69
9.1	<i>Közúti zaj</i>	69
9.2	<i>Vasúti zaj</i>	71
9.3	<i>Repülőtéri zaj</i>	73
9.4	<i>Szélturbina keltette zaj</i>	76
9.5	<i>Egyéb eredetű zaj</i>	77
10.	Az infrahang és az ultrahang	78
10.1	<i>Az infrahang természetes forrásai</i>	78
10.2	<i>Az infrahang humán forrásai</i>	79
10.3	<i>Az infrahang felhasználása</i>	80
10.4	<i>Egészségügyi szempontok az infrahang vonatkozásában</i>	80
10.5	<i>Az ultrahang természetes forrásai</i>	82
10.6	<i>Az ultrahangok humán forrásai</i>	83
10.7	<i>Az ultrahang felhasználása</i>	83
10.8	<i>Egészségügyi szempontok az ultrahang vonatkozásában</i>	84
Irodalomjegyzék		86

A környezeti zaj aktuális kérdései

„Eljön a napja, amikor az embernek ugyanolyan ádázul kell majd harcolnia a zaj ellen, mint a pestis és a kolera ellen.” *Robert Koch, 1910.*

Összefoglaló

Napjainkra a környezeti zaj – a levegőszennyezettség után – a második legjelentősebb környezeti eredetű egészségkockázati tényezővé vált, ami számos betegség kialakulásához hozzájárul, ezért a politikai döntéshozók és a lakosság körében egyaránt aggodalomra okot adó, növekvő jelentőségű közegészségügyi kérdés. A környezeti zajnak számos különböző forrása lehet, populációs szinten a legjelentősebb a közlekedési (különösen a közúti, repülési és vasúti) eredetű zajterhelés, de lokálisan az építési, üzemi vagy szabadidős zaj (pl. különböző motorsport rendezvények, fesztiválok, digitális zenelejátszók), a szélturbinák vagy a háztartási elektromos/robbanómotoros eszközök gerjesztette zaj is nagyban zavaró hatású lehet.

Egyre több tudományos bizonyíték támasztja alá a környezeti zaj káros hatását az emberi egészségre, amely különböző formákban nyilvánulhat meg. Zavaró, nyugtalanító hatású lehet, emeli a stressz-szintet, alvászavarokat okozhat. Hosszú távon növeli a szív- és érrendszeri megbetegedések, az elhízás és a 2-es típusú diabetes kialakulásának kockázatát. A kognitív funkciókra, mentális egészségre is kedvezőtlen hatással van, iskolai környezetben kimutathatóan csökkenti a diákok teljesítményét. Az alvászavar másodlagos kockázata a közúti balesetek számának növekedése. Emellett meg kell említeni a szárazföldi és vízi vadon élő állatok egészségére és eloszlására gyakorolt káros hatásokat is.

A különböző negatív hatások már 55 dB felett érzékelhetőek; az Európai Környezeti Ügynökség (EEA) értékelése szerint Európában több mint 100 millió és Magyarországon is több mint egymillió ember van ilyen mértékű zajterhelésnek kitéve, és a becslések szerint csak Nyugat-Európában legalább 1,6 millió egészséges életév elvesztése köthető a közúti közlekedés okozta zajhoz. (EEA, 2020).

A probléma jelentőségét felismerve a különböző nemzetközi szervezetek szabályozást, illetve ajánlásokat fogalmaztak meg a környezeti zaj mérésére, értékelésére és csökkentésére vonatkozóan. Az Európai Parlament és a Tanács 2002-ben adta ki irányelvét a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről, amelynek végrehajtását azóta több ízben értékelte. A WHO több útmutatást is közzétett a környezeti zajterhelésről, az Európai Regionális Iroda által készített legutóbbi felülvizsgált átfogó útmutató 2018-ban készült el.

A különböző szakmai anyagok megegyeznek abban, hogy bár számos tanulmány készült a környezeti zaj egészséghatásáról, további vizsgálatok szükségesek az ok-okozati összefüggések meghatározására (statisztikai adatok, kísérletek, kérdőívek). A zajexpozíció mérési/számítási metodikája sem egységes, ami megnehezíti a különböző kutatások és jelentések összehasonlítását.

Jelen módszertani útmutató elsődlegesen a népegészségügyi szakemberek számára készült, a WHO zaj témájú iránymutatásait hazai körülményekre adaptálva. Bár Magyarország is átültette a vonatkozó európai tanácsi irányelvet, és történtek előrelépések annak végrehajtása terén, átfogó anyag jelenleg nem érhető el magyar nyelven a különböző típusú környezeti zajexpozíciók következtében fellépő egészségkárosító hatásokról, illetve az egészségkárosító hatások csökkentésének lehetőségeiről. Az útmutató ezt a hiányt hivatott pótolni. A népegészségügyben dolgozó szakemberek mellett haszonnal forgathatják a településtervezéssel, környezetvédelemmel, környezeti hatásvizsgálattal foglalkozó szakemberek is, illetve az ezeket a területeket felügyelő hatósági szervek.

A kiadvány alapját képező források:

- 1. fejezet:** WHO Regional Office for Europe: *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO, 2018.
- 2. fejezet:** Barótfi I.: *Környezettechnika*. Mezőgazda Kiadó, 2002.
Horváth A.: *Hangtan I*. Széchenyi István Egyetem, Győr 2006.
WHO Regional Office for Europe *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO, 2018.
- 3. fejezet:** Eriksson C, Pershagen G, Nilsson M.: *Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise*. WHO Regional Office for Europe, 2018.
WHO: *Guidelines for Community Noise*. WHO, 1999a.
WHO Europe: *Night noise guidelines for Europe*. WHO, 2009.
Bioulac, S. et al.: *Risk of Motor Vehicle Accidents Related to Sleepiness at the Wheel: A Systematic Review and Metanalysis*. 2017.
- 4. fejezet:** WHO Regional Office for Europe: *Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise*. ed. by Hellmuth T, Classen T, Kim R, Kephelopoulos S. WHO, 2012.
- 5. fejezet:** WHO Regional Office for Europe: *Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise*. ed. by Hellmuth T, Classen T, Kim R, Kephelopoulos S. WHO, 2012.
WHO Regional Office for Europe: *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO, 2018.
WHO Europe: *Night noise guidelines for Europe*. WHO, 2009.
- 6. fejezet:** WHO Regional Office for Europe: *Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise*. ed. by Hellmuth T, Classen T, Kim R, Kephelopoulos S. WHO, 2012.
EEA: *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*. EEA Technical report No 11/2010.
WHO Regional Office for Europe: *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe*. WHO, 2011.
EEA: *Health risks caused by environmental noise in Europe*. EEA, 2020.
WHO Europe: *Night noise guidelines for Europe*. WHO, 2009.
- 7. fejezet** WHO Regional Office for Europe: *Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise*. ed. by Hellmuth T, Classen T, Kim R, Kephelopoulos S. WHO, 2012.
- 8. fejezet:** WHO: *Guidelines for Community Noise*. (5. chapter) WHO, 1999a.

- 9. fejezet:** WHO Regional Office for Europe: *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO, 2018.
- 10. fejezet:** Bárdos Gy.: *Nem-specifikus egészségproblémák háttere és lehetséges modelljei*. Akadémiai Doktori Értekezés. 2007-2008.
UK Health Protection Agency: *Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound*. Health Protection Agency, London, 2010.
Horváth G.: *Szélparkok tervezése környezetvédelmi szempontok alapján*. Magyar Tudomány, 2005.

Rövidítések és fogalmak

AR – absolute risk – abszolút kockázat

%LSD – percentage of the population „low sleep-disturbed” – enyhe fokú alvászavar százalékos aránya a populációban

%HA – percentage of the population „highly annoyed” – a zajterhelést erősen zavarónak érzékelő populáció százalékos aránya

%HSD – percentage of the population „highly sleep-disturbed” – súlyos fokú alvászavar a populációban

%SD – percentage of the population „sleep-disturbed” – alvászavar százalékos aránya az adott populációban

Annoyance – zavaró érzet

BMI – Body Mass Index – testtömegindex

CI – Confidence Interval – konfidencia intervallum

CNG WHO – Guidelines for Community Noise – A környezeti zajra vonatkozó irányelvek

CNOSSOS-EU – Common Noise Assessment Methods in Europe – Közös zajértékelési módszerek az EU-ban

DALY – Disability-Adjusted Life Years – egészségkárosodással korrigált életevek

DW – Disability Weight – rokkantsági teher

EBD – Environmental Burden of Disease – környezeti betegségteher

EBoDE – Environmental Burden of Disease in Europe – környezeti betegségteher Európában

EC – European Commission – Európai Bizottság

EEA – European Environment Agency – Európai Környezetvédelmi Ügynökség

END – Environmental Noise Directive – Környezeti zajjal foglalkozó irányelv

ENNAH – European Network on Noise and Health – A zaj és egészség európai hálózata

ERF – Exposure–Response Function – expozíció–válasz függvény

ESS – Epworth Sleepiness Scale – Epworth-féle álmosági skála

GBD – Global Burden of Disease – globális betegségteher

GDG – Guideline Development Group – Irányelveket kidolgozó csoport

GRADE – Grading of Recommendations Assessment Development and Evaluation – Módszer, mely a bizonyítékokat rangsorolja erősségük alapján, és ajánlásokat ad meg.

HPA – Axis Hypothalamic-Pituitary-Adrenal (HPA) axis – hipotalamusz-hipofízis-mellékvesekéreg tengely

ICBEN – International Commission on Biological Effects of Noise – A zaj biológiai hatásaival foglalkozó nemzetközi bizottság

IHD – Ischaemic Heart Disease – ischémiás szívbetegség

JRC – Joint Research Centre [of the European Commission] – Közös Kutatóközpont (Európai Bizottság)

MI – Myocardial Infarction – miokardiális infarktus

NNG WHO – Night Noise Guidelines for Europe – Az éjszakai zajra vonatkozó irányelvek

OR – Odds Ratio – esélyhányados

PAF – Population – Attributable – Fraction – járulékos kockázati hányados

PECCOS – Population, Exposure, Comparator, Confounder, Outcome and Study – populáció, expozíció, komparátor, zavaró tényező, kimenet és tanulmány

PICOS – Population, Intervention, Comparator, Outcome and Study – populáció, intervenció, komparátor, kimenet és tanulmány

PLD – Personal Listening Device – fülhallgató

PM – Particulate Matter – kisméretű aeroszol részecskék

RANCH – Road traffic and aircraft noise exposure and children’s cognition and health [study] – Közúti és légitözlekedési zajexpozíció és a gyerekek kognitív képessége és egészsége

RCT – Randomized Control Trial – randomizált kontrollált vizsgálatok

RK – Relatív Kockázat

RR – Relative Risk – relatív kockázat

SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Hazards and Risk – Új és Újonnan Azonosított Egészségügyi Kockázatok Tudományos Bizottsága (ÚÚAKTB)¹

SEL – Sound Exposure Level – zajeseményszint

YLD – Years Lost Due To Disability – rokkantág miatt elveszített életévek

YLL – Years of Life Lost – elvesztett életévek

¹ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:241:0021:0030:HU:PDF>

Bevezetés

A környezeti zaj, azon túl, hogy zavarja a koncentráció képességet, veszélyezteti a pszichés-, és mentális egészséget, valamint a jó közérzetet, számos súlyos betegség kialakulásához is hozzájárulhat (pl. szív- és érrendszeri betegségek, alvászavarok, cukorbetegség, elhízás, depresszió és szorongás), emiatt az egészségünket veszélyeztető vezető környezeti kockázatok közé tartozik Európában. Az okozott, bizonyítékokkal alátámasztható káros egészséghatások (*WHO Regional Office for Europe, 2011; Hänninen et al., 2014*) egyre növekvő aggodalmmal tölti el a lakosságot és a döntéshozókat.

A WHO 1999-ben jelentette meg a Környezeti zajjal kapcsolatos útmutatót (Community Noise Guideline), majd ezt követően 2000-ben az Éjszakai zajjal kapcsolatos útmutatót (Night Noise Guideline). Azóta számos új bizonyíték gyűlt össze a környezeti zaj egészségre vonatkozó hatásairól.

A naprakész egészségügyi irányelvek megfogalmazására való igény a 2010-es párizsi kongresszuson kapott hangot, ahol a tagállamok felkérték a WHO-t, hogy dolgozzon ki a környezeti zajra vonatkozó irányelveket, melyek magukban foglalják a járulékos zajforrásokat, mint például az elektromos készülékek, játékok, szélturbinák (*WHO Regional Office for Europe, 2010*). Emellett az Európai Parlament és a Tanács 2002/49/EK irányelve (2002. június 25.) a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről (END)², valamint az Európai Környezeti Ügynökség (European Environment Agency, EEA) vonatkozó technikai irányelvei körültekintően leírták a környezeti zaj témáját és annak fontosságát (*EEA, 2010*). Ezek az irányelvek olyan megalapozott közegészségügyi útmutatásokat tartalmaznak, amelyek nélkülözhetetlenek az olyan szakpolitikai intézkedések ösztönzéséhez, amelyek védelmet nyújtanak a közösségeket érő zaj káros hatásai ellen, egyben kiindulási alapként szolgálnak a jövőbeli módosításokhoz, amelyekre, tekintettel a folyamatosan növekvő zajterhelésre és a zaj egészségre gyakorolt hatásaival kapcsolatos kutatások gyors fejlődésére, biztosan szükség lesz.

A zajexpozíció egészséget érintő hatásai vonatkozhatnak egyrészt a hallórendszerre, másrészt befolyásolhatják az egészségünket a hallórendszeren kívül is. A hallórendszer károsodása többféle lehet, például halláscsökkenés vagy különböző fokú halláskárosodás (süketség), míg a károsodást jelző tünetek lehetnek a fülzúgás, szédülés, vagy fejfájás is. A zaj egy nem specifikus stresszor, amelynek kimutatható káros hatásai az egészségre elsősorban a hosszú távú, magas szintű expozíció követően jelentkeznek. A zajexpozíció és annak az egészségre gyakorolt hatásai közötti összefüggés populációs szintű statisztikai (epidemiológiai) elemzéseken és kísérleti megfigyeléseken, vizsgálatokon alapul. A környezeti zaj kockázatbecslése az expozíció-válasz összefüggés megállapítására és bizonyítására támaszkodik.

2011-ben a WHO Regionális Irodája és az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (Joint Research Centre) jelentést tett közzé a környezeti zaj egészségkárosító hatásáról, és számszerűsítette mértékét az egészségkárosodással korrigált életévek (DALYs) index segítségével (*WHO Regional Office for Europe, 2011*). A DALY egyaránt magába foglalja a

² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&qid=1694694037881>

korai halálozás következtében elvesztett éveket – tehát a mortalitást (YLL – Years of Life Lost), valamint a károsodott egészségi állapotban leélt éveket – vagyis a morbiditást (YLD – Years Lived with Disability). A becslések szerint a környezeti zajból származó DALY-k ischémias szívbetegségek esetén 61 000 évvel, a gyermekek kognitív zavarai tekintetében 45 000 évvel, alvászavarnál 903 000 évvel, fülzúgásnál 15 000 évvel, és a zaj okozta zavaró érzetnél 654 000 évvel egyenértékűek. (*WHO Regional Office for Europe, 2011*). Tehát az akkori becslés szerint is legalább egymillió egészséges életév veszteséget okozott a környezeti zaj legnagyobb hányadát kitevő közlekedési zaj Nyugat-Európában. Ezek alapján a környezeti zaj okozta egészségkárosodás a második helyen áll a légszennyezettség mögött (*WHO Regional Office for Europe, 2011; Hänninen et al., 2014*). A közép- és kelet-európai hiányzó adatok miatt 2018-ig nem lehetett megbecsülni az egész európai régióban az egészségkárosodás mértékét.

1. Szabályozás és helyzetkép

1.1 Az Európai Unió zajpolitikája

Az Európai Bizottság 1993-ban indította el az ötödik környezetvédelmi cselekvési programot (The 5th European Community Environment Programme (EAP): towards sustainability, 1992-2000), amely kimondta: „senkit sem szabad az egészséget és az életminőséget veszélyeztető zajszintnek kitenni”. A környezeti zaj elleni küzdelem korántsem megfelelő politikáját, annak hiányosságait ismerte fel az Európai Unió, amikor 1996 novemberében kibocsátotta a közösségi zajpolitikáról szóló ún. „Zöld Könyv”-ét, amely megerősítette a zaj szakterület fontosságát azzal, hogy a környezeti zajt az egyik legfontosabb környezetvédelmi problémaként határozta meg Európában; egyben új zajpolitika kidolgozására tett javaslatot, melyekkel a felhalmozódott problémák kezelhetők.

Az új szabályozás legfőbb eleme és lényege, hogy első lépésben ún. stratégiai zajtérképeket kell készíteniük a tagállamoknak a területükön található, meghatározott kritériumok szerinti nagyvárosi agglomerációkra, nagy forgalmú közutakra, vasútvonalakra és a nagy forgalmú repülőterekre (*Berndt, 2007*).

A hatodik környezetvédelmi cselekvési program (The 6th EAP, 2002-2012) célja a következő volt: „olyan minőségi környezet biztosítása, ahol az ember által előállított szennyező anyagok szintje nem károsítja az emberi egészséget”. Ez követte az END (*Environmental Noise Directive, Környezeti zaj irányelv*) végrehajtása 2002-től. Az irányelv fő célja egy olyan közösségi zajértékelési és zajkezelési módszer bevezetése és alkalmazása, mellyel elkerülhetők, megelőzhetők vagy tervszerűen csökkenthetők a környezeti zaj okozta káros hatások.

A hetedik környezetvédelmi cselekvési program (The 7th EAP), amely 2020-ig határozza meg az európai környezetvédelmi politikát elkötelezett amellel, hogy megvédje az EU polgárait környezeti eredetű egészségkockázatoktól. A Programon keresztül az EU célul tűzte ki, hogy 2020-ra az Európai Unió területén a zajterhelést jelentősen csökkentse, közelebb kerülve a WHO által ajánlott szintekhez. Ennek eléréséhez különösen fontos egy naprakész program végrehajtása, mely a legújabb tudományos eredményekhez igazodik.

Az END-en túl számos nemzeti kormány is rendelkezik jogszabályokkal és/vagy határértékekkel nemzeti és/vagy regionális szinten. Az EEA, a Földhasználat és a Térinformációk Európai Központja révén összegyűjti a zaj expozíciós adatokat, és a tagállamok által szolgáltatott stratégiai zajtérképek és érintettségi adatok alapján fenntart egy zajmegfigyelési és információs szolgálatot Európában³. Összesen 33 EGT ország, valamint 6 délkelet-európai ország szolgált adatot az EEA-nak.

1.2 A környezeti zajra vonatkozó hazai jogszabályok

A környezeti zaj szakterületét az alábbi rendeletek szabályozzák:

A 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól

Meghatározza a zaj és rezgés fogalmát, előírja a védekezés szükségességét.

284/2007. (X. 29.) Kormányrendelet a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól

A Kormányrendelet definiálja a zajterhelésre vonatkozó alapfogalmakat, meghatározza a védendő területeket és kijelöli az eljáró hatóságot. Meghatározza a zajt kibocsájtó létesítmények létesítésére vonatkozó szabályokat, az építési, a közlekedési, az üzemi és a szabadidős zajforrásokra vonatkozó előírásokat (külön szabályozva a versenypályákat, alkalmi rendezvényeket). Előírja a zajvédelmi intézkedési terv tartalmi követelményeit, valamint a zaj mérésére vonatkozó szabályokat.

27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról

Az együttes rendelet határozza meg a különböző környezeti zajterhelésre vonatkozó határértékeket, mind a zajkibocsátásra, mind a védendő területek terhelésére, külön szabályozva az építési, közlekedési, az üzemi és a szabadidős zajterhelést, a nappali és éjjeli időszakot.

280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről

A Kormányrendelet ülteti át az END előírásait a hazai jogrendbe. A Kormányrendelet értelmében Budapest és vonzáskörzetére, valamint a 100 000 főnél nagyobb lakosságú városokra és a fő közlekedési útvonalakra stratégiai zajtérképet kell készíteni. Definiálja a környezeti zaj jellemzésében használandó hazai alapfogalmakat:

L_{den} napi (napközben–este–éjszaka) zajjellemező: a teljes napi zajterhelésre vonatkozó zajjellemező;

$L_{napköz}$ (napközbeni, 6:00-18:00) zajjellemező: a napközbeni időszak zajterhelésére vonatkozó zajjellemező;

L_{este} (esti, 18:00-22:00) zajjellemező: az esti időszak zajterhelésére vonatkozó zajjellemező;

$L_{éjjel}$ (éjszakai, 22:00-6:00) zajjellemező: az éjszakai időszak zajterhelésére vonatkozó zajjellemező.

25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelete a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól

³ <https://noise.eea.europa.eu/>

A rendelet a 280/2004 (X. 20.) Kormányrendelet végrehajtási rendelete, amely a kapcsolódó részletszabályokat határozza meg.

2012. évi II. törvény a szabálysértésekről, a szabálysértési eljárásról és a szabálysértési nyilvántartási rendszerről

149. pont – Csendháborítás okán szabálysértési helyszíni bírság szabható ki.

93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgés-kibocsátás ellenőrzésének módjáról

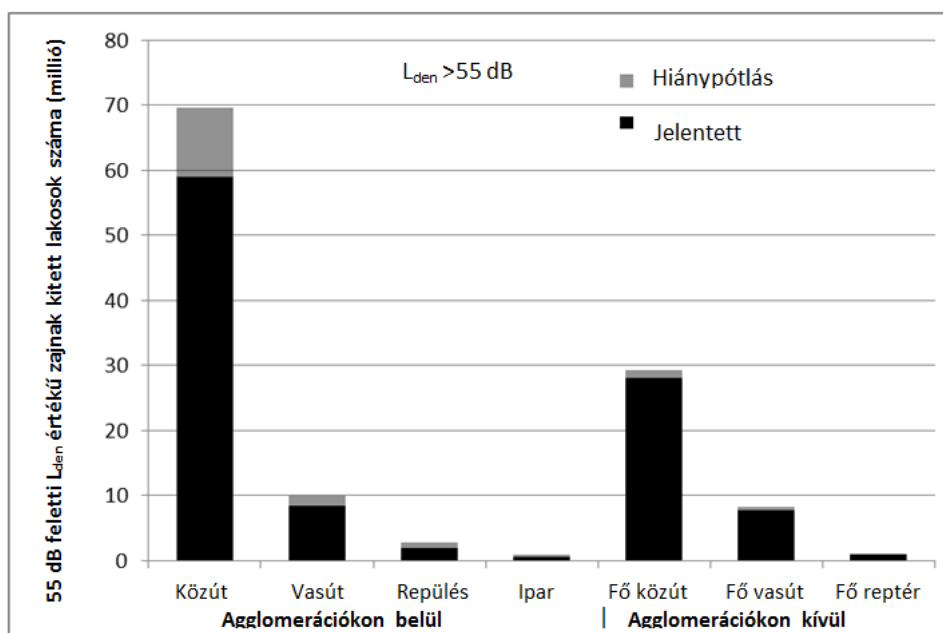
Rendelkezik a különböző típusú zajforrások zajkibocsátási határértékeinek megállapításáról és ellenőrzésének módjáról.

1.3 Európai helyzetkép

Az Európai Környezeti Ügynökség 2014-ben tette közzé jelentését az európai környezeti zajterhelésről (EEA, 2014). A jelentés az uniós tagállamok által az END értelmében elkészített stratégiai zajtérképek, illetve az ezeken alapuló országjelentések felhasználásával készült. A zajtérképek lefedik a 100 000 főnél nagyobb lakosszámú településeket és azok agglomerációit, a fontosabb (3 000 000 jármű/év forgalmat meghaladó) közutakat, a forgalmasabb (több mint évi 30 000 utast szállító) vasútvonalakat és a nagyobb (több mint évi 50 000 fel- és leszállást bonyolító) reptereket, emellett az IPPC (egységes környezethasználati engedély) köteles üzemi létesítményeket. A zajtérképeket 2007-től kezdődően kellett az egyes országoknak elkészítenie, majd öt évente felülvizsgálniuk; ahol ez rendelkezésre állt, ott a trendek elemzésére is lehetőség nyílt.

A jelentés 34 ország (az EEA tagállamai, és Észak Macedónia) adatait dolgozza fel. Ez összesen 471 agglomeráció, 91 reptér, 181 767 km közút és 40 066 km vasútvonal értékelését jelenti. Egyik elemzéshez sem állt rendelkezésre valamennyi tagállamból teljeskörű információ, egy-egy területen az összes jelentendő adat 50-95%-a érkezett be.

Az elemzés megerősítette, hogy Európában jelentős a környezeti zajterhelés; összesen (agglomerációkon belül és kívül) mintegy 125 millió ember (100 millióan élnek ebből az EU tagállamaiban) van kitéve zavaró, 55 dB-t meghaladó zajnak, és ebből 37 millió 65 dB-nél is nagyobb zajnak. Az Unión belül egyértelműen a közúti közlekedés teszi ki a legnagyobb részét a zajterhelésnek, településen belül és azokon kívül egyaránt (1. ábra).



1. ábra Az 55 dB feletti L_{den} értékű környezeti zajnak kitett lakosok száma az agglomerációkon belül és kívül, az Európai Unió 28 tagállamában, 2012.
(forrás: Európai Bizottság, 2017)

A vasúti közlekedés, mint második jelentős zajterhelést okozó forrás, jelentősen elmarad a közúti forgalomtól, összesen 18 millió embert érint, míg a repülési zaj 4 millió, az egyéb ipari zaj (településeken belül) 1 millió ember számára jelent terhet (Európai Bizottság, 2017). Ez alapján becsülhető, hogy a környezeti zaj 14,1 millió felnőtt nyugalmát jelentősen zavarja, becslések szerint 5,9 milliónál súlyos alvászavarokat okoz, évente 69 000 embernél tesz szükségessé kórházi kezelést szükségessé, és 15 900 korai halálessel hozható összefüggésbe. Ráadásul metodikai okokból a számítás nem fedi le Európa teljes lakosságát (csak a nagyobb agglomerációkban, és a főközlekedési útvonalak mellett élőket), így a tényleges szám ennél magasabb is lehet (EEA, 2014).

Bár az egyes országok között jelentős eltérések vannak, általánosan megállapítható, hogy minél magasabb fokú urbanizáció jellemző egy országra, annál nagyobb mértékű a közúti közlekedésből eredő zajterhelés. A 21 országból, ahol ez az adat elérhető volt, kilenc jelentette, hogy a 100 000 fő feletti agglomerációkban lakóknak több mint 50%-a 55 dB-t meghaladó zajnak van kitéve (Ausztria, Észtország, Hollandia, Írország, Lengyelország, Litvánia, Románia, Spanyolország és Svájc), és 3 további országban több mint a lakosok 75%-a (Belgium, Bulgária és Luxemburg – utóbbi közel 100%-os arányt jelentett) (EEA, 2014). Magyarország ehhez az értékeléshez nem szolgáltatott adatot.

Ahol 2007. és 2012. év adatai is rendelkezésre álltak, általában javuló tendenciát tapasztaltak a zajterhelésben, bár vannak olyan országok is, ahol az erős (75 dB feletti) zajterhelés ugyan csökkent, de ezzel összefüggésben az alacsonyabb sávokban (55-64 dB) növekedett az érintett lakosok száma.

A jelentés megállapítja, hogy a tagállamok sok esetben eltérő metodikát alkalmaznak a zajterhelés számítására, ennek következtében nehezen összehasonlíthatóak az adatok mind az országokon belül, mind az országok között és a jelentési ciklusok között is (EEA, 2014).

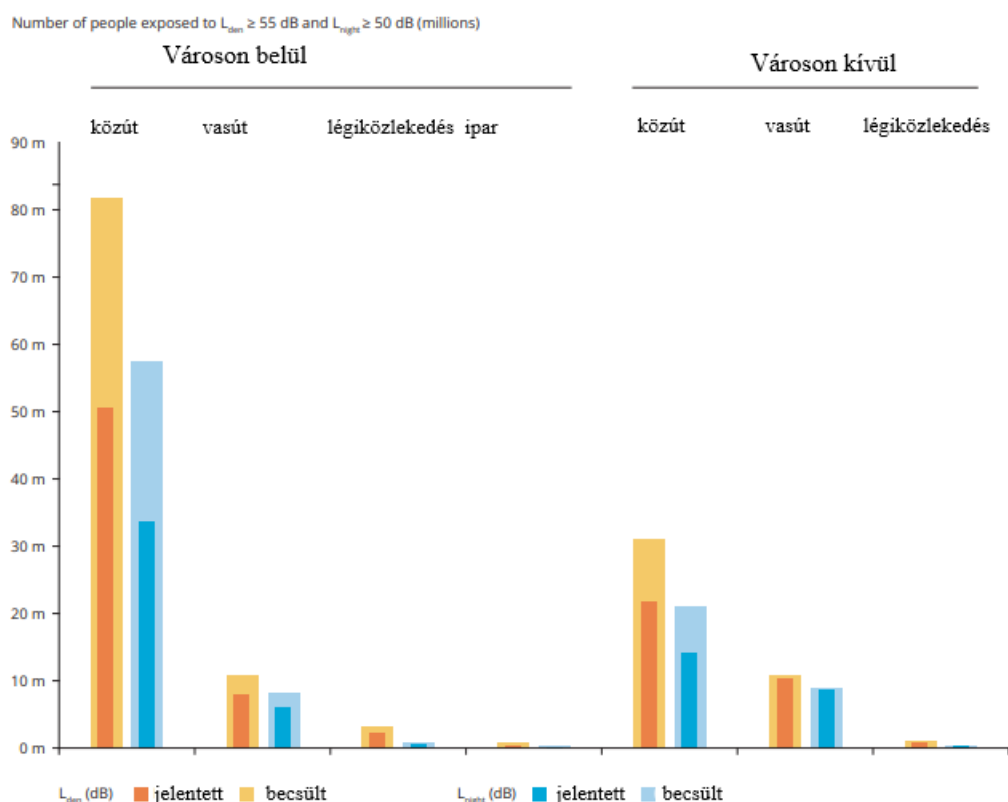
Az Európai Bizottság END végrehajtásáról készült elemzése szerint a 28 tagállam közül 21 állapított meg határértéket a különböző zajterhelésekre (köztük Magyarország is), és további 4 határozott meg nem kötelező érvényű ajánlott értéket (*Európai Bizottság, 2017*).

Az EEA 2020-ban jelentette meg az Európában élő, magas környezeti zajexpozíciónak kitett lakosságra és az ehhez kapcsolódó egészséghatásokra vonatkozó újabb értékelését (*EEA, 2020*). Az értékelés alapját az WHO új, a környezeti zajra vonatkozó iránymutatása (*Environmental noise guidelines for the European Region, WHO, 2018*), az EEA 2014-ben kiadott értékelése (*EEA, 2014*), valamint az EEA csendes övezetekre vonatkozó *jelentése* (*EEA, 2016*) szolgáltatta.

A jelentés egyaránt dokumentálja a zaj kezelésére és csökkentésére tett eddigi intézkedéseket, beszámol az END-ben meghatározott kötelezettségek teljesítése terén elért előrehaladásról, emellett a 7. környezetvédelmi cselekvési programban felvázolt, 2020-ra vonatkozó zajvédelmi célkitűzések teljesítéséről. A jelentés más fontos kérdéseket is ismertet, például a környezeti zajnak való kitettség egyenlőtlenségeit, valamint a biológiai sokféleségre gyakorolt hatásokat.

A dokumentum főbb megállapításai:

- A közúti, vasúti, légi és ipari forrásokból származó környezeti zaj továbbra is az egyik legjelentősebb környezeti probléma, amely emberek millióit érinti és egyben jelentős hatást gyakorol az egészségükre (2. ábra).



2. ábra Az 55 dB feletti L_{den} értékű környezeti zajnak kitett lakosok száma az agglomerációkon belül és kívül, (33 EEA ország, Törökország kivételével), 2017. (forrás: EEA,2020)

- A környezeti zajra vonatkozó célkitűzéseket nem sikerült elérni.
- A nagymértékű közlekedési zajnak kitett lakosság létszáma (abszolút száma) továbbra is magas és várhatóan még tovább fog növekedni a jövőben.
- Az országok számos intézkedést tettek a környezeti zaj kezelésére és csökkentésére, azonban ezeknek az egészségre gyakorolt pozitív hatását egyelőre még nehéz értékelni.
- További előrelépést kell elérni a városokban és az egyéb területeken a „csendes övezetek” kijelölésében és védelmében.
- A zajterhelés növekvő mértéke egyre nagyobb fenyegetést jelent a szárazföldi és tengeri vadvilág számára is.

Az előírt zajterképezési adatok több mint 30%-a még mindig nem áll rendelkezésre a 2017-es törvényes jelentéstételi határidő után sem.

1.4 Hazai helyzetkép

Az EEA az összeurópai szintű elemzések mellett egyedi országértékeléseket is készít az egyes országok által jelentett adatokból. Az egyes országok adatlapja elérhető az EEA honlapján⁴.

Magyarországról az utolsó elérhető adatlap a 2021-es⁵, ami a 2017 évi jelentést dolgozza fel. Az előző, 2017-ben kiadott, 2012. évre vonatkozó adatlap⁶ az 1. táblázatban feltüntetett zajforrásokról számolt be.

1. táblázat Magyarország által jelentett zajforrások (EEA, 2017)

Zajforrás	Mennyiség
100 000 fő feletti agglomeráció	9 (Budapest, Debrecen, Győr, Kecskemét, Miskolc, Nyíregyháza, Pécs, Szeged, Székesfehérvár), összesen 3 325 311 lakos
repülőtér (évi 50 000-nél több járatot indító/fogadó)	1 (Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér)
főútvonal (több mint évi 3 000 000 jármű)	2 697 km
fő vasútvonal (több mint 30 000 utas évente)	914 km

A 2007-es és 2012-es adatokhoz hasonlóan 2017-ben Magyarországon a városi környezetben továbbra is a közúti közlekedésből eredő zajterhelés bizonyult a legnagyobbaknak. A nappali és éjszakai közúti zajterhelés által exponáltak száma a 2012. évben becslésekhez képest nőtt ($L_{den} \geq 55$ dB egész napra vonatkoztatva 1 607 100 fő, $L_{night} \geq 50$ dB 1 211 000 fő).

Jelentősen csökkent viszont a a 2012-es adatokhoz képest a városon kívüli, közúti, vasúti és légiforgalomból eredő zaj által exponáltak száma mind nappal, mind éjszaka, azonban

⁴ <https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/noise-fact-sheets>

⁵ <https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/noise-fact-sheets/noise-country-fact-sheets-2021/hungary-noise-fact-sheet-2019>

⁶ https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/noise-fact-sheets/noise-country-fact-sheets-2017/country_fiches-hungary.pdf/view

össességében ez is közel 300 000 embert érint nappal és 195 300 fő éjszakai nyugalmát zavarja.

Az egészséghatást tekintve, becslések szerint a közúti közlekedés zaja közel 300 000 főnél okoz zavaró hatást, közel 84 000 főnél alvászavarokat, 1 011 főnél ischémias szívbetegség kialakulásához járul hozzá, és közel 20 000 rokkantságban eltöltött életévet jelent.

A 280/2004. (X. 20.) Kormányrendelet szerinti stratégiai zajtérképek, valamint a közlekedési zajtérképek 2012 és 2018 évre a Herman Ottó Intézet honlapján érhetőek el⁷.

A 49/2002/EK irányelv nemcsak az 5 évente megújítandó stratégiai zajtérképek frissítését írja elő, hanem az erre épülő intézkedési tervek készítését is, mely lényegi eleme a közösségi zajszabályozásnak. Az intézkedési tervek kötelezettjei az érintett üzemeltetők és az önkormányzatok.

⁷ <http://www.zajterkepek.hu>

2. Hangtani alapfogalmak, mértékegységek

2.1 A hang

A zaj definíciójához először ismernünk kell a hang fogalmát.

„Maga a hang fizikai értelemben a vivőközeg (gáz, folyadék, szilárd test) állapotának elemi ingadozása (rezgése), amely hullámszerűen terjed a hangforrástól az érzékelőhöz. A vivőközeg (amelyet ideálisan rugalmas közegként tekintünk) állapotának térben és időben történő megváltozását azért tekinthetjük eleminek, mert levegőben történő hangterjedés esetén pl. a nyomásingadozás legalább négy nagyságrenddel kisebb a nyugvó légkör átlagos nyomásához viszonyítva” (Horváth. R., 2011, 14. o.). Az elemi kifejezés itt arra utal, hogy a vivőközeg állapota minimális mértékben ingadozik.

„A hullámmechanika foglalkozik részletesen a hullámmozgás leírásával, amely nemcsak a hanghullámokra, hanem más hullámtermészetű folyamatokra, pl. fény-, elektromos-, anyag- stb. hullámokra is érvényesek.”

„A hullámmozgás nem egyéb, mint az anyagi közegben történő vezetési impulzus- és energiaáramlás. A vezetési áramlás azt jelenti, hogy részecskéről részecskére történik az elemi állapotváltozás terjedése, ami tehát a részecskék rezgésének a rugalmas közegben, hullámmozgás formájában történő terjedését jelenti. A hullámmozgás a terjedési sebességgel párhuzamosan, vagy arra merőlegesen rezgő részecskék alapján longitudinális illetőleg tranzverzális lehet. Szilárd közegben mindkét terjedési mód lehetséges, míg folyadékok és gázok esetén csak longitudinális hullámmozgás lehetséges, mivel a folyadékok és gázok nyírási feszültséget nem tudnak átvinni.

Hanghullámok esetén tehát az eredetileg nyugalomban levő levegőrészecskék a szomszédos nagyobb nyomású levegőrészecskéktől impulzust vesznek át, összenyomódva ezt az impulzust tovább adják a kisebb nyomású szomszédoknak, vagyis a levegőben hullám terjed. Természetesen a kinetikus gázelmélet szerint tudjuk, hogy a levegőmolekulák minden irányban mozognak, így a levegő tulajdonságainak leírásánál nem az egyes molekulákból kell kiindulni, hanem a levegő térfogatelemének a viselkedését írjuk le. Hang csak akkor keletkezik, ha az a távolság, ahol a sűrűség és a nyomás észrevehetően megváltozik sokkal nagyobb, mint a molekulák átlagos szabad úthossza. Elmozduláson e térfogatelem tömegközpontjának elmozdulását értjük, és a nyomás és sűrűség is e térfogatelemre vonatkozik.” (Horváth R, 2011, 14. o.)

2.2 A zaj definíciója

A hang észlelése életünk szükséges és fontos jelensége. A beszélgetés, a játszó gyermekek hangjai, a zene, a természet hangjai parkokban, erdőkben – ezek mindennapjainkban gyakran előforduló példák. A hangok azonban – bizonyos hangok, ill. bizonyos körülmények között – zavaróak lehetnek számunkra.

Mindazon hangokat, amelyek az emberben kellemetlen érzetet keltenek, tevékenységét, nyugalmát megzavarják, ill. patológiás reakciókat váltanak ki, zajnak nevezzük.

Tehát a zaj fogalma az emberi értékelés függvénye, erősen szubjektív. A hangos zenét hallgató személyek esztétikai élvezetet éreznek (miközben rendszeresen halláskárosodást okozó hangerőnek teszik ki magukat), míg ugyanezt a hanghatást a szomszéd lakás lakója kellemetlen élményként éli meg (csendháborítás, zajpanasz).

A zaj különböző erősségű (intenzitású) és frekvenciájú hangok keveréke.

A környezeti zaj az adott helyen, adott idő alatt, általában sok közeli és távoli forrásból származó teljes zaj. **A háttérzaj** az azonosítható zajok elhagyása után marad.

A hang zavaró hatása – a WHO által elfogadott meghatározás szerint – a szervezet morfológiai és fiziológiai változása, amely a funkcionális teljesítménynek vagy a járulékos stresszhatások, vagy más környezeti jelenségek kompenzálásának képességében való romlásában mutatkozik meg. Ez a tudományos igényű megfogalmazás azt jelenti, hogy az a hang zavaró, amely a hallásunkat és más, a szervezetünkben lejátszódó folyamatokat károsan befolyásolja. Ennek következtében romlik az a képességünk, hogy további környezeti hatásokat elviseljünk, ill. ellenálljunk hatásuknak. Ez a meghatározás magában foglalja szervezetünk fizikai, pszichológiai vagy szociális működésének minden időszakos vagy tartós (negatív irányú) változását.

A zaj zavaró hatásait a következő szakaszokban külön tárgyaljuk. Ezek a hatások:

- zaj okozta halláskárosodás,
- a beszédértés romlása,
- az alvás és pihenés zavarása,
- a kognitív, pszichés teljesítmény romlása,
- a szociális magatartásunkra való hatás⁸.

A környezeti zaj forrásai

Alapvetően a környezeti zajforrások a következő nagy csoportokra oszthatóak:

- közlekedési (közúti, vasúti, repülési),
- üzemi (építkezési és ipari zaj, pl. szélturbinák, erőművek, építkezések),
- intézményi és szabadidő eltöltéséhez kapcsolódó zajforrások,
- épületen belüli zaj – munkahelyi zaj,
- a lakókörnyezet zajártalma – szomszédsági zaj.

2.3 Akusztikai alapfogalmak

A zaj hatásainak megértéséhez ismernünk kell néhány alapfogalmat.

Az emberi fül által érzékelt akusztikus jelenségek leírásához a legfontosabb fizikai mennyiség a **hangnyomás** ($p_{(r,t)}$), amit úgy definiálunk, mint a tér egy adott pontjában (r_0) az adott t idő pillanatban uralkodó gáznyomás ($p_{akt}(r_0,t)$) és az időben állandónak tekinthető légköri nyomás (p_0) közötti különbség.

$$p(r_0,t)=p_{akt}(r_0,t)-p_0,$$

⁸ https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/13-Zaj_rezges_vedelem.pdf

ahol: az r helykoordináta 0 indexe kifejezi, hogy a tér egy rögzített pontjában vizsgáljuk a hanghullám által előidézett nyomásingadozást. A légköri nyomás (p_0) értéke kb. 10^5 Pa.

Hangnyomásszint

Egy adott effektív hangnyomáshoz (p_{eff}) definiálhatjuk a hangnyomásszintet (vagy hangszintet), amit L_p szimbólummal jelölünk. A hangnyomásszint használatakor a hangnyomást egy referencia hangnyomással hasonlítjuk össze az alábbiak szerint:

Hangnyomásszint: Két hangnyomás érték hányadosának a tízes alapú logaritmus.

Jele L_p , mértékegysége a dB (decibel).

Számításának módja:

$$L_p = 20 \cdot \lg(p/p_0)$$

A hangnyomásszint mértékegysége a decibel (jelölése dB). A referencia hangnyomás értékét másként $20 \mu\text{Pa}$ -ként is jelölhetjük ($1 \mu\text{Pa}$ /ejtsd: mikropaszka/ megfelel a Pa milliommód részének: $1 \mu\text{Pa} = 10^{-6} \text{ Pa}$)⁸

Függ: a hangforrás helyétől,
a környezeti feltételektől,
a mérési ponttól való távolságtól.

Intenzitás: (objektív, fizikai intenzitás): a hanginger erősségét jellemzi, mértékegysége W/m^2 .

Ha a hang merőlegesen esik egy A nagyságú felületre, és az erre a felületre a hang által juttatott teljesítmény P . Ekkor hangintenzitásnak nevezzük az:

$$I = P/A \text{ mennyiséget}$$

1 kHz esetén az emberi fül már $I_0 = 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$ intenzitást is érzékel. Ezt nevezzük az emberi fül küszöbintenzitásának. A maximális, még elviselhető hangintenzitás: $I_{\text{max}} = 10 \text{ W}/\text{m}^2$.

A környezetünkben észlelt zajok többsége nem állandó, hanem az idő függvényében kisebb vagy nagyobb mértékben változik. Az időben változó hangnyomásszinttel jellemzett helyzetekben szükségünk van olyan, egy számértékkel kifejezhető mutatóra, amely ezen változó zaj zavaró hatását tükrözi.

Az **egyenértékű hangnyomásszint** olyan időben állandó hang hangnyomásszintjének felel meg, amelynek energiataralma – az adott működési idő alatt – azonos az időben változó zaj energiataralmával.

Azonban az egyenértékű hangnyomásszint nem minden esetben tükrözi a változó zaj zavaró hatását (pl. a repülési zaj, vagy az impulzusos zaj esetében).

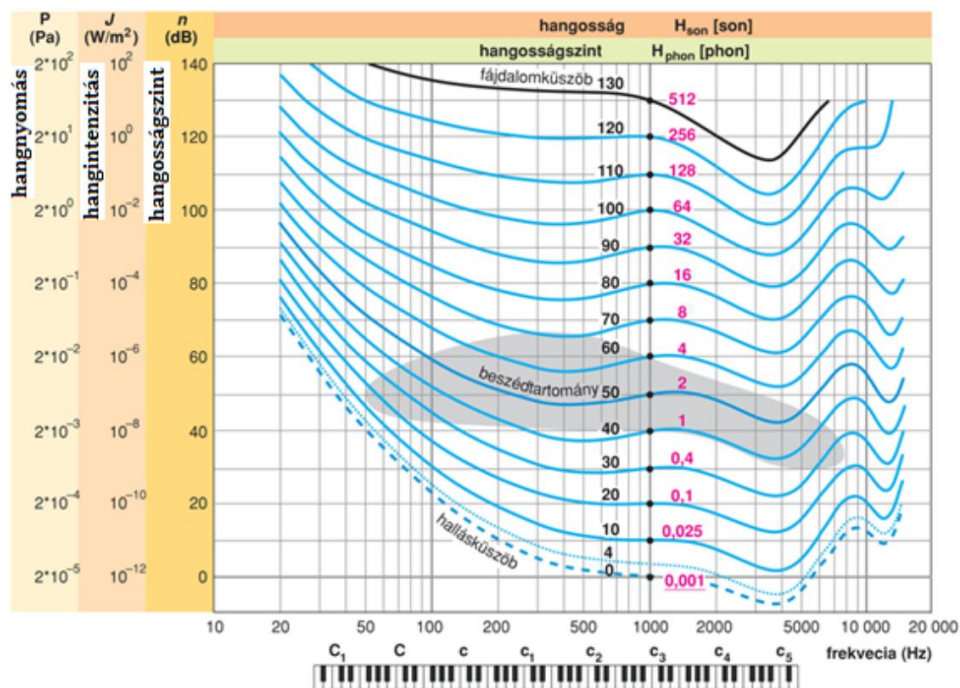
Az **egyenértékű A-hangnyomásszint** (egyenértékű A-szint), jele L_{Aeq} , mértékegysége dB. Ez lényegében az A-szűrővel mért intenzitásátlagból képzett szint. (Barótfi, 2002).

A műszerekkel mérhető (objektív) hangteljesítménytől (W), hangnyomástól (Pa), az intenzitástól (W/m^2), megkülönböztetjük az emberi fül által érzékelt (szubjektív) hangosság szintet (phon) és a hangosságot (son). Az előbbieket, azaz a műszerekkel mért paramétereket az inger, az utóbbiak az érzet erősségének felelnek meg (Oláh, 2006).

Az emberi fül 3 000 Hz környezetében a legérzékenyebb. Kisebb frekvenciák felé haladva az ingerküszöb erősen emelkedik, de nagyobb frekvenciákon is rosszabbul hallunk (Babák, 2011).

Hangosság szint: mértékegysége a phon, tulajdonképpen a dB szubjektív megfelelője. Egy hang phon-értékén azt a hangnyomásszintet értjük, amilyen hangnyomásszintű 1 kHz-es hangot ugyanolyan erősségűnek halljuk, mint a vizsgált hang. A phon-érték a hangéret erősségét jellemzi (Horváth A., 2006). A phon és a dB értéke 1 000 Hz-en azonos, a többi frekvencián eltérnek egymástól. A Weber-Fechner-féle „törvény” azt tételezi fel, hogy a hangosság a hangintenzitás logaritmikus függvénye, tehát a decibelben mért hangnyomásszint egy adott frekvencián azonos az érzékelt hangosságszinttel.

A hang fizikai mértékének növekedése és a szubjektív érzékelés erőssége közötti összefüggést kísérleti úton elsőként Fletcher és Munson mérte meg. Az azonos hangosság szintek görbéi – a Fletcher-Munson görbék – az átlagos emberi fül esetére teremtenek kapcsolatot a hangnyomásszint, a frekvencia és a phon hangosságszint között (3. ábra).



3. ábra Egyenlő hangosságszintű görbék
(forrás: Damjanovich et al., 2007)

A vízszintes tengelyen F a frekvenciát, a függőleges tengelyen I a hangintenzitást (az egységnyi felületre eső hangteljesítmény) fizikai (W/m^2) egységben, illetve P a hangnyomás logaritmikus (dB, azaz decibel) egységét jelöli. A gyakorlatban a hangnyomás könnyebben mérhető, így többnyire ezt alkalmazzák a hang erősségének fizikai jellemzésére.

A görbék mindegyike egy adott hangosságérzethez tartozik, melyet számszerűleg a phon-hangosságszint értékkel adnak meg. Nemzetközileg az 1 000 Hz frekvenciájú hangot választották az összehasonlítás alapjául. Kísérleti úton határozták meg, hogy különböző frekvenciákon mekkora intenzitás kelt ugyanolyan hangosságérzetet, mint az 1 000 Hz

frekvenciájú tiszta hang. (A phon-hangosság szint mérőszáma 1 000 Hz frekvencián megegyezik a dB hangnyomás-szint értékével.)

A 0 phon hangosság szint az ún. hallásküszöb értéke, amely 1 000 Hz frekvencián $1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$ hangintenzitást, illetve 0 dB hangnyomás-szintet jelent.

A 120-130 phon hangosság szint a fájdalomküszöb szintje, amely felett kóros elváltozással kell számolni.

Hangosság: (szubjektív, pszichofizikai intenzitás): érzet erősségét jellemzi, mértékegysége a son. Az egyenlő hangosság szintű görbék változatlanul hagyásával a különböző görbékhez új, a pszichofizikai, lineáris hangérzet változást kifejező ún. son értékeket rendelt Fletcher és Munson (1933). A hangosság-skála alappontja definíció szerűen az etalon hang 40 dB-es intenzitás szintje, azaz 1 son. Megállapították, hogy 10 phon hangosság szint növekedés a hangosság érzet kétszerezésének felel meg.

Néhány, a mindennapi környezetünkben gyakori hangeseményt mutat be a 2. táblázat.

2. táblázat Néhány, a környezetünkben előforduló hangnyomás és hangintenzitás
(forrás: Kiss és Tasnádi., 2012)

Hang, hangforrás	Hangintenzitás (W/m^2)	Hangintenzitás szint (dB)	Hangnyomás (Pa)
hallásküszöb	10^{-12}	0	$20 \cdot 10^{-6}$
falevél szellőben	10^{-11}	10	$63 \cdot 10^{-6}$
suttogás	10^{-10}	20	$200 \cdot 10^{-6}$
beszélgetés 1 m-ről	$3 \cdot 10^{-6}$	65	$35 \cdot 10^{-3}$
autóban menet közben	10^{-4}	80	0,2
autó kipufogó nélkül	10^{-2}	100	2
diszkózene	1	120	20
vészsziréna (fájdalomhatár)	100	140	200

Hallásküszöb: A hangérzékelés alsó szintje.

Fájdalomküszöb: A hang intenzitásának növelésekor egy bizonyos értéket meghaladó hangerő esetén fájdalomérzet jelentkezik.

Hangosságtartomány: A fenti két érték közötti különbség.

Hangmagasság (mel): Az emberi fül a rezgésszámot hangmagasság formájában észleli.

Az emberi fül által érzékelt frekvenciatartomány 20-20 000 Hz.

A frekvencia és a hangmagasság érzet egymással logaritmikus összefüggésben vannak.

A hangokat frekvencia szerint három csoportba soroljuk:

- infrahangok az 1-20 Hz, hallható tartomány alatt,
- hallható hangok a 20 Hz-20 kHz-ig,
- ultrahangok a 20 kHz feletti hanghullámok, hallható tartomány felett.

A hangok erőssége szerint:

- 40-65 dB közötti hangok elsősorban pszichés hatásokat váltanak ki,
- 65-85 dB már az autonóm (vegetatív) idegrendszer irányítása alatt működőfunkciókban okoznak eltérést,
- 85 dB felett (hosszú távon) már halláskárosodás is fellép.

2.4 Az indikátorok meghatározása az END-ben, indikátorok közötti átváltás, kiegészítő zajmutatók

A zajjellemzők (zajindikátorok) olyan jellemzők, amelyek jelzik a zaj emberre gyakorolt hatását.

Az END (Environmental Noise Directive) számos zajmutatót határoz meg, amelyeket a startégiai zajtérkép készítés során a tagállamoknak alkalmazniuk kell. A legfontosabbak az L_{den} és a L_{night} .

Az L_{den} a nappali, esti és éjszakai napi zajszint mutatója (nappali-esti-éjjeli súlyozott hangnyomásszint), amely a zajnak való kitettség okozta zavaró hatás leírására szolgál.

Az L_{night} egyenértékű hangnyomásszint, az éjszakai zajszint mutatója, amelyet az alvászavarok leírására használnak.

Magas zajszint: A 7. Környezetvédelmi Cselekvési Programban meghatározott, 55 dB feletti L_{den} és 50 dB feletti L_{night} .

Az L_{den} nappali-esti-éjjeli hangnyomásszint decibelben (dB) mért értékét az alábbi képlettel kell meghatározni:

$$L_{den} = 10 * \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{napköz}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{este}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{éjjel}+10}{10}} \right)$$

ahol:

- az $L_{napköz}$ az MSZ ISO 1996-2 szerinti, az egy év összes napközbeni (6:00 és 18:00 óra közötti) időszakaira meghatározott hosszú idejű átlagos A-hangnyomásszint,
- az L_{este} az MSZ ISO 1996-2 szerinti, az egy év összes esti (18:00 és 22:00 óra közötti) időszakra meghatározott hosszú idejű átlagos A-hangnyomásszint,
- az $L_{éjjel}$ az MSZ ISO 1996-2 szerinti, az egy év összes éjszakai (22:00 és 6:00 óra közötti) időszakaira meghatározott hosszú idejű átlagos A-hangnyomásszint.

A stratégiai zajtérkép készítésekor a terepszint feletti 4 méteres magasságra végezzük a számítást.

Tudományos szempontból a zajindikátor kiválasztásának legfontosabb kritériuma, hogy mennyire képes a vizsgált hatás előrejelzése. Ezért a különböző egészségvégpontokhoz különböző mutatók ajánlottak. A hosszú távon kialakuló hatások – mint a szív- és érrendszeri rendellenességek – jobban korrelálnak a zajhelyzetet hosszabb távon jellemző zajindikátorokkal, mint az éjszakai zajszint éves átlaga a külső homlokzaton ($L_{\text{night, outside}}$). Ugyanakkor egy tehergépkocsi, repülőgép vagy vonat áthaladása közvetlen hatást válthat ki rövid távon (pl. az alvás megzavarása), ami az eseményenkénti maximális A-súlyozású hangnyomásszinttel (L_{Amax}) hozható összefüggésbe. Gyakorlati szempontból a mutatóknak – a lakosság számára is – könnyen értelmezhetőnek kell lenniük.

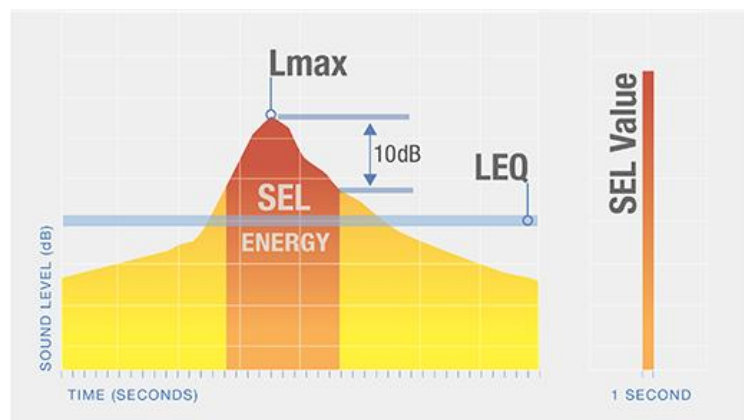
Az END által elfogadott $L_{\text{night, outside}}$ a tudományos és gyakorlati felhasználásra egyaránt alkalmas mutató.

A jelenleg szabályozási célokra használt mutatók közül az L_{Aeq} (egyenértékű A-súlyozott hangnyomásszint) és az L_{Amax} hasznosak a rövid távon kialakuló (pl. alvás megzavarása) egészséghatások előrejelzésére.

Hasonlóan a SEL (zajeseményszint) is fontos mutató az egyes zajesemények leírására.

A zaj különböző típusai és indikátorai:

- folyamatos zajok (pl. ventilátor, hűtő, légkondicionáló), indikátora: L_{Aeq} (egyenértékű A-hangnyomásszint),
- időszakos zajok (pl. repülőgép, vonat/jármű elhaladás, szirénázó jármű) indikátora: SEL, L_{Amax} (4. ábra),



4. ábra SEL (forrás: Federal Aviation Administration, 2022)

- zajimpulzusok: rövid, hirtelen hangnyomásszint-változás (pl. robbantás, kalapálás, csattanás), indikátor: L_{Amax} , $L_{\text{Aeq}} + K_{\text{imp}}$ impulzuskorrekció az MSZ 18150-1:1998 szerint,
- színeképből kiemelkedő egy frekvenciasávban lényegesen erősebb zaj (pl. bűgő, fűtűlő, sívítő hangok), indikátor: $L_{\text{Aeq}} +$ keskenysávú jelleg: K_{ton} keskeny sávú korrekció az MSZ 18150-1:1998 szerint,
- alacsony frekvenciájú zaj: 20-100 Hz (Diesel-mozdony, hajók, zenés szórakozóhelyek „basszusa”); fizikai tulajdonságainál fogva a távolság csillapító hatása kisebb, akár kilométerekre is jobban zavarnak, mint az az L_{Aeq} egyenértékű A-hangnyomásszint-mértékéből adódnék; nincs nemzetközi standard.

Az alváskutatásban gyakori az L_{Amax} vagy SEL (sound exposure level) használata. A SEL lehetővé teszi a zajesemények összehasonlítását azáltal, hogy a hangesemény teljes energiáját egy másodperces időtartamra vonatkozó decibelértékké alakítja át.

Az átváltási műveletek a következők:

$$SEL - L_{Amax}$$

A SEL-t a közlekedésből származó környezeti zaj értékelésére használják pl. repülőtéri expozíció esetén, *Ollerhead et al. (1992)* alapján a következő reláció áll fenn:

$$SEL = 23,9 + 0,81 * L_{Amax}$$

A közúti zajra vonatkozó SEL becslésére egy általánosabb megközelítést alkalmazunk. Ha a hangnyomásszint időmintázatát meg lehet becsülni egy blokkformával, akkor $SEL \approx L_{Amax} + 10 \lg t$, ahol a t (másodperc, s) a zajesemény időtartama. Ez alkalmazható, többek között egy hosszú tehervonatra, ami a közelben halad el. Ha a t 3-30 s, akkor a SEL 5-15 dB-lel magasabb, mint az L_{Amax} . A legtöbb repülő, közúti jármű, vagy vonat elhaladása esetén a hangnyomásszint időmintázatának alakja jobban becsülhető egy háromszöggel. Ha a hangnyomásszint „a” (dB/sec) értékkel nő és rövid ideig a maximumon marad, mielőtt megint „a”-val csökken, akkor $SEL \approx L_{Amax} - 10 \lg(a) + 9,4$.

Zajesemények átváltása hosszú távú mutatókra

Ha a SEL értékek ismertek, azok átválthatóak L_{night} -ra:

$$L_{night} = 10 * \lg \sum_i 10^{SEL_i/10} - 10 * \lg(T)$$

Ha mindegyik zajeseménynek (N) megközelítőleg azonos a SEL szintje, akkor:

$$L_{night} = SEL + 10 * \lg(N) - 70,2$$

ahol: N = T időegység alatti zajesemények száma,

T = a zajesemény időtartama másodpercben. Egy évre (éjszaka) $10 \lg(T) - 70,2$.

Az L_{night} megjelölés igazodik az END meghatározásához.

Beltéri-kültéri zajszintek relációja

Mivel az L_{night} éves érték, ezért az izolációt is éves szinten kell kifejezni. Ez azt jelenti, hogy ha zárt ablakok mellett az izolációs érték 30 dB és 15 dB nyitott ablakoknál, akkor, ha az idő felében tartjuk nyitva, ez az érték 18 dB. Ha az ablakokat csak az idő 10%-ban tartjuk zárva, akkor több, mint 15 dB. Ha az eredmények beltérre vannak megadva, át kell váltani L_{night} értékekre, az END definíciónak megfelelően. Átlagos zajszintkülönbségként itt a 21 dB-t választották. Általánosságban:

$$L_{night} = L_{night,inside} + Y_{dB}$$

Y az éves átlagos hangszigetelési érték a hálószoba frontján. Természetesen ez erősen klímáfüggő, és attól is függ, mennyit nyitjuk ki az ablakot.

A leginkább exponált homlokzat

Amikor a beltéri értéket átváltjuk a fenti egyenlet szerint kültérre, akkor feltételezzük, hogy ez megfelel az L_{night} értéknek a leginkább exponált fronton.

Kültéri/ beltéri különbségek

A legegyszerűbb szigetelés általában kevesebb, mint 24 dB-el csökkenti a belső zajsztet, a kidolgozottabbak több mint 45 dB-el. Közép-Európában ez az érték 30-35 dB zárt ablakok esetén.

A-súlyozás: frekvenciafüggő korrekció, amely figyelembe veszi az emberi fül frekvenciafüggő érzékenységét (hangérettel arányos, fordított egyenhangosságú görbe). A felsorolt indikátorok dB(A) értékek.

C-súlyozás: Frekvenciafüggő korrekció, amely jellemzi a zaj hallószervre kifejtett egészségkárosító hatását, hallásvédő eszközök kiválasztásánál és csúcsérték mérésénél használjuk (WHO, 2018).

Kiegészítő zajmutatók:

Egyes esetekben az L_{den} és $L_{éjjeli}$ zajmutatókon és adott esetben az $L_{nappali}$ és L_{esti} értékeken túlmenően hasznos lehet különleges zajmutatókat és a hozzájuk tartozó határértékeket alkalmazni. Ezt mutatja be az alábbi néhány példa:

- a vizsgált zajforrások a nap csak egy kis százalékos arányában működnek (pl. az év során az összes nappali, az összes esti vagy összes éjszakai időszak kevesebb mint 20%-ában),
- egy vagy több időszakban a zajesemények átlagos száma nagyon alacsony (pl. a zajesemények átlagos száma óránként egynél kevesebb; „zajesemény”-ről akkor beszélünk, ha a zaj öt percnél rövidebb ideig tart; erre példa az elhaladó vonat vagy repülőgép zaja),
- a zaj alacsony frekvenciájú összetevője erős,
- L_{Amax} vagy SEL (maximális A hangnyomásszint – zajeseményszint) az éjszakai időszaki védelem érdekében, zajcsúcsok esetén,
- különleges védelem a hétvégeken, vagy az év meghatározott időszakaiban,
- különleges védelem a nappali időszakban,
- különleges védelem az esti időszakban,
- különböző forrásokból származó zajok kombinációja,
- háborítatlan vidéki térségek,
- a zaj erősen tonális összetevőket tartalmaz,
- a zaj kifejezetten lökésszerűen jelentkezik.

Zajindikátorok

L_{Aeqt} : A-súlyozott, egyenértékű hangnyomásszint egy meghatározott időintervallumban. Kezdeté t_1 , vége t_2 , dB-ben kifejezve a tér egy adott pontjában

L_{Amax} : Maximum, idő-súlyozott és A-súlyozott hangnyomásszint egy meghatározott időintervallumban. Kezdeté t_1 , vége t_2 , dB-ben kifejezve

L_{A,F}: A-súlyozott hangnyomásszint FAST⁹ időkonstanssal

L_{A,Fmax}: Maximum, idő-súlyozott és A-súlyozott hangnyomásszint FAST időkonstanssal egy meghatározott időintervallumban. Kezdeté t₁,vége t₂, dB-ben kifejezve

L_{AS,max}: Maximum, idő-súlyozott és A-súlyozott hangnyomásszint SLOW¹⁰ időkonstanssal egy meghatározott időintervallumban. Kezdeté t₁,vége t₂, dB-ben kifejezve

L_{day}: Egyenértékű hangnyomásszint, ha a referencia időintervallum a nappal

L_{dn}: Nappal–éjjel súlyozott hangnyomásszint

L_{evening}: Egyenértékű hangnyomásszint, ha a referencia időintervallum az este

SEL: Sound Exposure Level – zajesemény szint

⁹ **FAST**: A zajszintmérőn a gyors időállandó, 125 milliszekundum

¹⁰ **SLOW**: A zajszintmérőn a lassú időállandó, 0,1-1szekundum

3. A zaj egészségre gyakorolt hatása

A zaj a modern civilizációs betegségek egyik rizikófaktora. A felmérések egyértelműen igazolják, hogy a lakosság nagy része zajterhelés szenvedő alanya. A zaj egyrészt veszélyezteti egészségüket, másrészt rontja a települések környezetminőségét. Az EU lakosságának kb. 40%-a van kitéve napközben 55 dB-t meghaladó közúti közlekedési zajterhelésnek, 20%-nál pedig a zajterhelés nappal nagyobb, mint 65 dB.

Éjjel az arány még rosszabb: a lakosság 30%-a 55 dB-nél nagyobb zajban él, ez pedig már bizonyítottan zavarja az alvást (*Berndt és Bibók, 2003*).

A zaj nem specifikus stresszor, amely bizonyítottan káros hatással van az emberi egészségre, különösen hosszú távú expozíciót követően. Ezek a hatások a pszichológiai és fiziológiai distressz, valamint a szervezet homeosztázisának zavara és a növekvő allosztatikus terhelés eredménye (*Basner et al., 2014*).

A zajnak való kitettségnek hallást érintő és egyéb, nem a hallást érintő hatása is van. A zaj a hallórendszer közvetlen sérülése révén olyan hallást érintő hatásokhoz vezet, mint a halláskárosodás és a fülzúgás.

Halláskárosodás során általában a hallásküszöb emelkedéséről beszélünk. A zaj okozta halláskárosodás továbbra is igen gyakori a munkahelyi (katonai, építőipari és mezőgazdasági) környezetben, ugyanakkor egyre gyakrabban fordul elő a szabadidős zajterhelés (pl. személyi zenelejátszókon keresztül, fesztiválok) következtében.

Az ilyen magas zajszinteknek (>85 dB) való hosszú távú expozíció többnyire közvetlen hallási hatásokkal, többek között halláskárosodással, fülzúgással és túlhallással (a túlhallók a normál erősségű hangokat is elviselhetetlenül hangosnak érzékelik) hozhatók összefüggésbe, míg a nem hallórendszert érintő hatások ismerete korlátozott a foglalkozási szelekciós hatások miatt.

Ugyanakkor az általános lakossági környezetre jellemző alacsony-közepes (45-65 dB) zajszinteknek való hosszú távú expozíciót a nem hallórendszert érintő egészségügyi hatások széles spektruma követi, mint a bosszúság, az alvászavarok, a kognitív károsodás, viselkedési és érzelmi zavarok gyermekeknél és serdülőknél, depresszió és szorongás felnőtteknél, erősebb fiziológiai stresszreakciók, valamint endokrin egyensúly- és szív- és érrendszeri hatások.

A hallás károsodása a kognitív teljesítményt is befolyásolhatja és csökkenti a koncentrációképességet. A nem diagnosztizált halláskárosodás következménye lehet a balesetek és esések előfordulásának növekedése, amelyek 20 év alatt 10-20%-os többlethalálalozással járhatnak.

A zaj hatására romlik a beszédértés. A beszédértés korlátozódása következtében beszűkülnek az emberi kapcsolatok lehetőségei, megváltozik az illető személy magatartása, és az is elképzelhető, hogy a személyiségében is változások következnek be. Ahogy a zavaró hang szintje magasabb, az emberek automatikusan megemelik beszédük hangerejét, hogy „túlkiabálják” a zajt. A WHO ajánlása szerint olyan helyiségben, ahol a beszéd megértése fontos, 45-50 dB hangnyomásszintű beszéd esetén a háttérzaj ne haladja meg a 35 dB-t. Ez nemcsak a beszéd megértése szempontjából fontos, hanem a beszélő szempontjából is, hiszen az emelt hangú beszéd hosszabb távon nagyon fárasztó (*Baum, 1992*).

A beszéd jó érthetősége akkor biztosított, ha az alapzaj szintjét 15-20 dB-lel meghaladja (oktatási intézmények, óvodák, konferenciaterem), ehhez néha hangosítás szükséges. Figyelembe kell venni a terem akusztikai paramétereit is, a jó beszédértéshez kívánatos utánzengési idő 0,6 sec, az 1 sec nagyobb utánzengési idő esetén a teremben a beszéd összemosódik (visszhangos), ezáltal romlik a beszédértés (*Domokos és Horváth, 2011*).

3.1 A zaj hallórendszert érintő hatásai

A hallórendszert érintő hatások nem elsődlegesek a környezeti zajterhelés szempontjából, ezért ezeket a jelen útmutató csak érintőlegesen tárgyalja.

A zaj okozta halláskárosodás lehet akut és krónikus akusztikus trauma.

Akut (heveny) akusztikus traumának nevezzük a belső fül sérülését, amelyet egyszeri, nagyon hangos (125 dB feletti) hanghatás (pl. egy robbanás, ha egy fegyvert a fül mellett sütnek el), vagy zárt térben fellépő hirtelen nyomásváltozás (autóban légzsák(ok) kinyílása) okoz. A kialakuló hallásvesztés lehet átmeneti vagy tartós. Extrém hangos zaj hatására akár a dobhártya is beszakadhat. Fejsérülés is okozhat akusztikus traumát. Ha a sérülés koponyaalapú töréssel jár, a belső fül károsodhat. Egy fejre mért erős ütés, amely nem töréssel, csak a belső fül rázkódásával jár, szintén eredményezhet halláskárosodást.

A belső fül sérülését az is kiválthatja, ha valaki tartósan ki van téve hangos (85 dB feletti) zajoknak, például munkagépeket kezel.

Az akusztikus trauma főbb tünetei:

- szubjektív halláscsökkenés, szédülés, fejfájás,
- sípoló jellegű fülcengés (tinnitus), fülzúgás,
- részleges hallásvesztés, amely inkább a magasabb frekvenciájú hangokat érinti,
- a hallás fokozatos romlása, ez idővel a mélyebb frekvenciájú hangokat is érinti.

Halláscsökkenés általában hosszú idő alatt alakul ki, krónikus akusztikus traumának számít. Az elváltozás audiológiai tünete a hallásküszöb emelkedés, amely lehet:

- átmeneti halláscsökkenés (TTS), ez esetben csendes környezetben idővel regenerálódik a hallószerv,
- maradandó halláskárosodás (PTS), amely végleges elváltozást jelent.

A nagyothallás a halláskárosodásnak az a foka, amely már akadályozza a mindennapi életben való tájékozódást.

A zaj okozta halláskárosodás lényege a hang érzékelésére szolgáló, belső fülben található sejtek, a szőrsejtek destrukciója. Ezek, lévén módosult neuronok, nem regenerálódnak, tehát a folyamat irreverzibilis.

3.2 A zaj hallórendszeren kívüli hatásai

A WHO Európai Régiót érintő környezeti zajra vonatkozó iránymutatásai a nem hallószervi egészségkimenetekre összpontosítanak, beleértve az alvászavarokat, zavaró érzetet, a szív- és érrendszeri betegségeket, a kedvezőtlen születési statisztikákat, a kognitív funkció zavarait, a

mentális egészség és jól-lét csökkenését. Ez a fejezet az alvászavarokkal, a kardiovaszkuláris és a metabolikus hatások környezeti zajjal kapcsolatos biológiai mechanizmusaival foglalkozik és különösen a zaj által kiváltott stresszhatás mechanizmusaira és az észlelési folyamat, illetve pszichés tényezők változásaira összpontosít.

A környezeti zaj főbb hallórendszeren kívüli hatásai:

- alvászavar,
- stresszhatás (érszűkület, magas vérnyomás és ebből adódó betegségek, pl. miokardiális infarktus, fekélybetegség, stb. gyakoriságait növeli),
- magatartászavarok (ingerlékenység, neurózis, fáradtság),
- a figyelem, a koncentrációképesség csökkenése,
- teljesítménycsökkenés,
- egyensúlyzavar,
- startle reakció (impulzív zajra a végtagok, a gerinc hajlító izmai és a m. orbicularis oculi (a szemkörüli izom) összehúzódnak).

3.2.1 Észlelési folyamat és pszichés faktorok

Mivel az egyes emberek nagyban különböznek a zaj érzékelésében és az arra való reagálásukban, fontos feltenni a kérdést, hogy ezek az egyéni különbségek milyen szerepet játszanak a zajexpozíció és a káros egészségügyi hatások, elsősorban a szív- és érrendszeri betegségek közötti összefüggésben. A zaj okozta zavaró hatás erősen összefügg a zajterheléssel mértékével, de az olyan nem akusztikus tényezőkkel is, mint az életkor és az , hogy az illető mennyire érzékeny a zajra.

Zavaró érzet, bosszúság

A környezeti zaj legelterjedtebb hatásai között említhető a zavarás és a bosszúság érzése. A zavaró érzet fogalma alatt egy adott hang által okozott elégedetlenséget, kellemetlenséget, zavart vagy irritációt értünk. Ezt kérdőívvel mérik fel.

Ez a szubjektív érzet számos úton befolyásolhatja a zajexpozíció és a kardiovaszkuláris betegségek közti kapcsolatot; súlyosbíthatja a fiziológiás stressz-választ a hallókéregtől kezdve a kéreg alatti területek felé történő közvetlen átkapcsolással.

Az is elképzelhető, hogy a zavaró érzet nem játszik szerepet a zajexpozíció és a kardiovaszkuláris betegségek kapcsolatában. Ez akkor történhet, ha a zaj közvetlenül a kéreg alatti területeken keresztül indítja be a stressz-választ.

Az alvás közbeni zaj indukálta fiziológiai válaszok jól dokumentáltak, és nem a zajélmény (a zaj értékelése, megítélése) által közvetítettek. A zavaró érzet erősen függ a zajexpozíciótól, a kortól és a zajérzékenységtől. Egyes vizsgálatok alátámasztják a zavaró érzet és a szív- és érrendszeri betegségek, főként a hipertenzió közötti kapcsolatot (*Ndrepepa et Twardella, 2011*).

Zajérzékenység

A zaj nem mindenkit zavar egyformán, az emberek zajérzékenysége jelentős eltérés mutat. Az érzékenységet befolyásolhatják:

- egyéni tényezők: az idegrendszer ingerfeldolgozási érzékenysége (egyed személyek a többségnél érzékenyebben reagálnak a külső ingerekre). Az egyén aktuális helyzete (életkor, egészségi állapot, fáradtság, mentális állapot, társadalmi-gazdasági viszonyok, életvitellel kapcsolatos szokások, a zajforráshoz való viszony, egyéb betegségek stb).
- környezeti tényezők: a lakóköznyezet minősége (levegőszennyezés, biztonság), a lakás helye (városközpont, külváros, vidék), közlekedési ellátottság stb.

Emellett a zajérzékenység összefüggésben van a neuroticizmus tágabb személyiségjegyeivel, úgy, mint a szorongás, düh, szomorúság, túlzott önkritika és alkalmatlanságérzés jelenségeivel. Azok a szabványok, amelyek a zaj elleni védelmünket biztosítják olyan vizsgálatok alapján készültek, amelyekben „normális” vagy „átlagos” embereket vizsgáltak. Az ezekben kiválasztott embereket általános társadalmi csoportokból válogatták, rendszerint egészséges felnőttek voltak, ennek következtében az érzékenyebb csoportok alulreprezentáltak. Ilyen csoportok: az idősebbek, depresszióban szenvedők, betegek, munkájuk szerint komplex kognitív feladatokat végzők, mozgás-, látás-, halláskorlátozottak, magzatok, csecsemők, kisgyermekek, több műszakban dolgozók stb. Ezek a csoportok kevésbé képesek védekezni a zaj hatásai ellen, így nagyobb a kockázata a káros következményeknek.

A zajérzékenység kérdőív segítségével mérhető fel.

Bár úgy tűnik, a zajérzékenység nem korrelál a zajexpozícióval, mégis nagy valószínűséggel jelzi előre a zavaró érzet kialakulását (*WHO, 2018*).

3.2.2 Alvászavar

Ebben a tekintetben a szakirodalom kifejezetten egységes; egészséghatás szempontjából az alvászavar a legjelentősebb probléma, mert az éjszakai nyugodt pihenés előfeltétele a munkaképesség és az egészség megőrzésének, a jó fiziológiai és mentális működésének. Az alvászavar leggyakoribb formái: az elalvás nehézsége (megnövekedett elalvási idő), az átalvási nehézség (gyakori ébredések), változás az alvás fázisainak szabályosságában vagy mélységében.

A zajos környezetben való alvás fiziológiai hatásokat okozhat: megnövekedett vérnyomás, a szívritmus változása, esetleg arhythmia, növekvő pulzusszám, erek összehúzódása, a légzésritmus változása, alvás alatti mozgástöbblet, testhelyzet-változtatás megnövekedett száma, krónikus fáradtságérzet, idegesség, ingerlékenység, stb. Azoknál, akiknek az éjszakai nyugalma gyakran megzavarja a közlekedés zaja, jelentősen nagyobb adrenalinszint mutatható ki. Gyakorta rosszkedv, teljesítmény és koncentrációképeség-csökkenés a következmény. Különböző tanulmányok azt is igazolták, hogy zajos területen élők (alvók) több nyugtatót, ill. altatót fogyasztanak (*Jakovljević et al., 2006; Okokon et al., 2018; Clark et Paunovic, 2018; WHO, 2009b; WHO, 2018*).

A vizsgálatok szerint a jó alvás feltétele, hogy a zajszint folyamatosan ne haladja meg a 30 dB értéket, és amennyiben a zaj nem folyamatos, a maximális értéke ne haladja meg a 45 dB szintet (*Gatschnegg, 2003*). A nem kielégítő alvás hat a mentális egészségre és a teljesítmény romlását

okozza. A következmények szorongás, emocionális stressz, idegrendszeri panaszok, hányinger, fejfájás, instabilitás, szexuális impotencia, hangulati ingadozások, a társadalmi konfliktusok számának növekedése, továbbá általános pszichés rendellenességek, mint pl. neurózis, pszichózis, hisztéria. A zaj kedvezőtlenül befolyásolja a másnapi teljesítményt, valamint a felismerő képességet. Az olvasásra, figyelemre, problémamegoldó képességre és a tanulásra is negatív hatást gyakorol. Mindezek mellett a zaj számos társas magatartással kapcsolatos probléma, valamint kellemetlenség okozója lehet. Ezek a hatások többnyire közvetettek, illetve több összetevő kölcsönhatásának eredményeként jelentkezhetnek. Az emberi magatartás megváltozása agresszióban, barátságtalan fellépésben, az együttműködési hajlandóság hiányában, kedélytelenségben stb. nyilvánulhat meg (*Barótfi, 2000*). A zaj nem mindenkit zavar egyformán, az emberek zajérzékenysége jelentős eltérést mutat, ez meg nyilvánul az alvászavarok kialakulásában is.

3.2.3. Kognitív képességekre gyakorolt hatás

Számos tanulmány kimutatta, hogy a környezeti zajterhelés negatív hatással van a gyermekek tanulási eredményeire és kognitív teljesítményére. Azoknak a gyerekeknek, akik fő közlekedési utak mentén laknak magasabb a pulzusszámuk és a vérnyomásuk. Tanulmányok igazolják, hogy a zajártalomtól szenvedő gyerekek iskolai teljesítménye rosszabb az átlagnál. A gyerekek és a fiatalok tanulási nehézségei és korai halláskárosodásuk gyakran a túl magas zajterheléssel függ össze. Ráadásul, a gyerekek és fiatalok a zajterhelést nemcsak a mindennapi életből kapják, hanem önként is kiteszik magukat a szabadidős tevékenységeik során az egészen magas akusztikai terhelésnek (*Gatschnegg, 2003*).

Több kutatás is vizsgálta a zajterhelés és a kogníció közötti expozíció-hatás összefüggéseit, hogy meghatározza azt az expozíciós szintet, amelynél a zaj hatásai már detektálhatóak. A RANCH vizsgálatban 2844 9-10 éves gyermek vett részt, akik a Heathrow, (London, Egyesült Királyság), Schiphol (Amszterdam, Hollandia) és Madrid-Barajas (Spanyolország) repülőterek környékén található iskolákba jártak. A diákok körében lineáris dózis-hatás összefüggést lehetett kimutatni az iskolában mért repülőgép okozta zajterhelés és a gyermekek olvasás és szövegértése, valamint felismerési memóriája között. Az eredményeket a társadalmi-gazdasági tényezőkre korrigált formában határozták meg.

Amikor az intervenció vizsgálatok során a zajterhelést szigeteléssel csökkentették, illetve a légiforgalom okozta zaj megszűnt, a kognitív képességek javulását tapasztalták, ami arra utal, hogy a zajcsökkentés kiküszöbölheti a zaj kognícióra gyakorolt hatását (*Hygge et al., 2002; Bronzaft, 1981; Cohen et al., 1980*).

Az elfogadhatónál nagyobb zaj rontja a „zajérzékeny intézmények” rendeltetésszerű működését: zajos iskolában csökken az oktatás hatékonysága, kórházakban hosszabbodhat a gyógyulási idő. Zajos munkahelyeken csökken a teljesítőképesség, a tevékenység lelassul, nő a figyelmetlenség, a feszültség, romlik a koncentráció, mindez csökkenti a munkaintenzitást, növeli a balesetveszélyt. Megfigyelések szerint zajos környezetben az emberek agresszívebbé válhatnak, romlik az egymás felé irányuló kapcsolatok minősége, csökken a segítségnyújtási készség (*Póta, 2006; Gyulai, 2011*).

3.2.4 A környezeti zaj által okozott kardiovaszkuláris és metabolikus betegségek biológiai hatásmechanizmusa

A zaj legfontosabb hallórendszeren kívüli hatása a szív- és érrendszerre kifejtett hatás. Ezért ezt külön fejezetben tárgyaljuk.

A környezeti zaj akut kardiovaszkuláris és metabolikus hatásokat okozhat közvetlenül, a szubkortikális összeköttetéseken keresztül, illetve közvetve, kivételül a hallókéregbe.

A behatásra adott válasz a stresszhormonok fokozott kiválasztásában és vazokonstriktációban nyilvánul meg, alvás közben is. A krónikus hatások kialakulása mögötti mechanizmus még nem teljesen feltárt. Valószínűleg fontos szerepet játszik a szimpatikus idegrendszer ismételt ingerlése és a hipotalamusz-hipofízis tengely hosszan tartó túlzott stimulációja. Az alváshiány szerepe is számottevő lehet. A gyerekkorban elszenvedett zajexpozíció későbbi esetlegesen megnyilvánuló hatásairól nincs elég adat.

Az egészségügyi kutatások eredményeként több országban a 65 dB feletti zajt a szívinfarktus egyik rizikófaktoraként kezelik (*Gatschnegg, 2003; Ising et Kruppa, 2004*).

Általános stresszelmélet

A zajingerekre adott nem hallószervhez kapcsolódó fiziológiai válaszok fő biológiai reakciómodellje az általános stresszelméleten alapul, melyet Selye János dolgozott ki. Már korai orvosegyetemi éveiben, 1926 körül kezdett foglalkozni a később stressznek nevezett teóriával, pontosabban azzal, hogyan hatnak az emberi szervezetre a sérülések és betegségek, és az ember hogyan tud ezekkel megküzdeni. Felismerte, hogy a különböző betegségekben szenvedő betegek számos hasonló tünetet is produkálnak. Így azt feltételezte, hogy ezek a tüneti hasonlóságok a szervezet egyfajta általános válaszát képezik a betegségekkel szemben. Ezt a tünetegyüttest nevezte el stressz-szindrómának, más néven generális, azaz általános adaptációs szindrómának (GAS). Selye fedezte fel és írta le, hogy a stressz különbözik más válaszreakcióktól, létezik negatív és pozitív formája is (distressz ill. eustressz). A szervezetben a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese „tengely” küzd meg a stresszel. Rámutatott a vészreakció (alarm-reakció), a rezisztens, és a kifáradásos (exhaustív) állapotok létezésére is. A későbbiekben kidolgozta a stressz-rezisztencia és stressz-energia fogalmát (*Szirmai, 2011; Egészségkalauz, 2015*).

A zaj alvászavaron, gyakori ébredéseken és megváltozott alvásmintákon keresztül is hat a szervezetre. Az alvás nélkülözhetetlen a szervezet normális fiziológiai működéséhez, és a mentális jóléthez. Megfelelő mennyiségű és minőségű alvás hiányában romlik a koncentrációs képesség, a tanulás határfoka. A súlyos alváshiány a testi állapot romlásához, az immunrendszer gyengüléséhez vezethet.

A hallórendszer fontos figyelmeztető rendszer, amely alvás közben is aktív marad. A hangok a külső és a középfülön keresztül jutnak a belső fül érzékszervi sejtjeire, ezek a mechanikus energiát elektrokémiai energiává alakítják, amik a hallóidegen keresztül az agy különböző területeire jutnak. A direkt út szubkortikális összeköttetéseken keresztül haladva eléri a talamuszt, az amygdalát és a hipotalamuszt. Az indirekt útnak részét képezi az talamuszon át a hallókéregbe kivetülő pálya, ahonnan az információ szubkortikális területekre vetül

(pl. az amygdalába). A talamus az agytörzsből, kisagyból, basalis ganglionokból, limbikus struktúrákból érkező információk nagyagykéreg előtti „reléállomása”; szerepére a tudat fenntartásában a XX. század második felében derült fény (*Szirmai, 2011*).

A zaj élettani hatásai két rendszeren keresztül nyilvánulnak meg: ezek a szimpatikus idegrendszer – mellékvesevelő – rendszer (locus coeruleus-hipotalamusz-szimpatikus-mellékvesevelő-rendszer SAM) és a hipotalamusz-hipofízis-mellékvesekéreg (HPA) tengely (*Lundberg, 1999; Spreng, 2000*). A stresszor jelenlétét a központi idegrendszer érzékeli, és beindítja az általános adaptációs szindrómát.

A szimpatikus idegrendszer működésbe lép, katekolaminok (adrenalin és noradrenalin) szabadulnak fel a mellékvesevelőből. Ez a bonyolult és összefüggő reakció a szervezet védekezésének szolgálatában áll, és lehetőséget teremt a harcra vagy a menekülésre (fight or flight). Gyorsul a szívműködés és a légzés, emelkedik a vérnyomás, a pulzus, a percvolumen, élénkül az agy tevékenysége, több vérhez és több energiához jutnak az izmok (a vazodilatáció és a vércukorszint emelkedése miatt), a szervezet glükózt mobilizál, emelkedik a szabad zsírsavszint, fokozódik a trombocytá aggregáció, a belső szervek véráramlása viszont csökken. A reakció másodperceken belül kialakul, sikeres megbirkózás után az idegrendszer „riadókészültsége” lecseng, a locus coeruleus aktiváló hatása megszűnik, a vérben lévő adrenalin lebomlik, s a szervezet nyugalmi állapotba kerül, regenerálódhat.

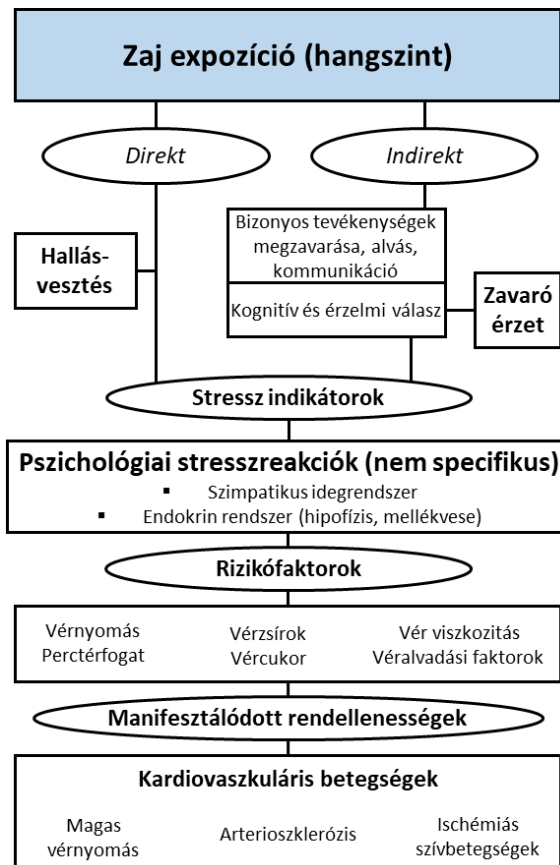
Hosszabb távú hatás esetén, az amygdala és a locus coeruleus tartósan aktivált állapotba kerül, a szimpatikus idegrendszer aktivitása hosszú távon is fennmarad.

A HPA-tengely endokrin válasza a hipotalamuszból indul ki, ahol kortikotropin-felszabadító hormon (CRH) szabadul fel, mely az agyalapi mirigy (hipofízist) aktiválja. A felszabaduló adrenokortikotrop hormon (ACTH) glükokortikoidok termelését váltja ki a mellékvesekéregben, köztük a kortizolét. A HPA tengely fő funkciói közé tartozik a metabolikus funkciók fenntartása, az immunrendszer modulálása és a kardiovaszkuláris tónus fenntartása. A kortizol emeli a vércukorszintet, fokozza a lipolízist, immunszuppresszív, emeli a vérnyomást. A HPA rendszer túlműködése gyakran figyelhető meg krónikus stressz szindrómában.

A közlekedési zaj biológiai hatásának bizonyítékai laboratóriumi, illetve terepen végzett vizsgálatokon és epidemiológiai kutatásokon alapulnak.

A patomechanizmus vizsgálata kapcsán keletkezett eredmények nem teljesen alkalmasak azoknak a különbözőségeknek a magyarázatára, melyek a közlekedési zaj akut és krónikus hatásai között fennállnak (*Ising et Braun, 2000*). Ugyanakkor számos lehetséges elmélet létezik ezzel kapcsolatban. Emellett fontos kérdés, hogy a biológiai válasz függ-e a forrástól (pl. közúti, vasúti vagy repülőtéri közlekedés) és a zaj jellemzőitől (időszakos vagy folyamatos), a napszaktól (nappal vagy éjszaka), a nemtől és a kortól. Megjegyzendő, hogy a különböző zajforrásoknak egyidejűleg való kitettség nagyon kevés figyelmet kapott, bár ennek súlyos következményei lehetnek a biológiai és az etiológiai folyamatokra.

A zaj okozta hatásokat jól szemlélteti a 5. ábra.



5. ábra Zajterhelés hatásmechanizmusának lehetséges útjai
(forrás: Babisch, 2002)

a) Akut hatások

A zaj akut biológiai hatásainak manifesztálódásaiban a SAM és a HPA aktiválódása játszik szerepet, ennek során stresszhormonok, például adrenalin, noradrenalin és kortizol szabadulnak fel. A stresszhormonok az ok-okozati lánc korai szakaszában jelennek meg, így széles körben alkalmazhatóak a zaj hatásainak tanulmányozására az embereken.

Nagy energiájú hangok és a környezeti zaj egyaránt kiválthatja a stresszhormonszint emelkedését, bár a hatások sokszor eltérőek (Babisch, 2003; Ising et Braun, 2000; Griefahn et Robens, 2010).

A zajra adott endokrin válasz függ a vizsgálat kivitelezésétől, a hozzászokás fokától, és a zaj által hordozott információtól.

A kortizol cirkadián ritmusa megnehezíti az eredmények értékelését. Az adrenalin és a noradrenalin szekréciója vélhetően függ a zajhoz való hozzászokás mértékétől is. Az adrenalin szint akkor emelkedik meg, amikor nem alakult ki hozzászokás a zajhoz, míg a noradrenalin akkor, amikor az illető már hozzászokott a zajhoz. Ising és Kruppa azt állapította meg, hogy a zaj által továbbított információk gyakran a hangnyomásszintnél relevánsabbak. A neuroendokrin rendszer aktiválódását módosíthatja az egyéni érzékelés (Ising et Kruppa, 2004).

A zaj módosítja a hemodinamikai jellemzőket, változik a vérnyomás, a pulzusszám. Egy közelmúltbeli vizsgálat során a mellkasi bioimpedanciát használták a hemodinamikai tényezők mérésére. A vizsgálat kimutatta, hogy a 10 perces 89 dB L_{Aeq} közúti zajnak való kitettség 2-4 Hgmm-rel növelte a vérnyomást mind a férfiaknál, mind a nőknél. Ahogy a zajinger megszűnt, a vérnyomás visszatért a kiindulási állapotra, a pulzusszámmal viszont nem találtak összefüggést. Ez azt mutatja, hogy az uralkodó mechanizmus az érösszehúzóds, vagyis a szisztémás vaszkuláris ellenállás növekedése. Azonban egy éjszakai repülési zajról szóló tanulmány arra a megállapításra jutott, hogy az endotheliális diszfunkció is szerepet játszik, amelyet az ateroszklerózis korai fázisának tartanak. Továbbá egy 24 órás ambuláns vérnyomásmérés során összefüggést találtak az egyént érő napi zajexpozíció (leginkább <65 dB L_{Aeq}) és a pulzusszám azonnali változása között (*Chang et al., 2012*). Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a zajexpozíció növelheti az erekben az artériás tágulékonytságot és csökkenheti az artériás ellenállást, hogy kompenzálja a szimpatikus idegrendszer és az endokrin rendszer fokozott aktivitása miatt fellépő vérnyomás emelkedést. Az érlemezsedés miatt az erek rugalmassága fokozatosan csökken, amely együtt jár a vérnyomás emelkedésével.

Autonóm kardiovaszkuláris aktivitás alvás közben is megfigyelhető, és mivel a tudat ilyenkor nem módosítja az élettani hatást, a hanginger nagysága közvetlenebbül megítélhető. Di Nisi és munkatársai azt találták, hogy a kardiovaszkuláris válasz nagyobb volt éjszaka, akkor is, ha a zaj intenzitása alacsonyabb volt. A HYENA projekt egy keresztmetszeti vizsgálatában beszámoltak az éjszakai közlekedési zaj rövid távú változásának hatásairól a vérnyomásra és a pulzusszámra. Tizenöt perces időintervallumokat vizsgáltak, és kimutatták, hogy egy repülőgép elhaladása esetén nőtt a szisztolés (6,2 Hgmm) és a diasztolés vérnyomás (7,4 Hgmm) is. A pulzus emelkedése nem volt szignifikáns. Összehasonlítva a közúti és repülőgép okozta zajt, nem találtak jelentős különbséget a zajforrás vonatkozásában. Egyrészt minél gyorsabban nő a zajszint, annál meredekebben emelkedik a pulzusszám és magasabb a maximuma, másrészt a vérnyomás is magasabb, mint lassabban emelkedő zajszintnél (*Di Nisi et al., 1990*).

Bár nagyon fontos a zajterhelés által okozott betegségek háttérben álló patogén mechanizmusok megértése, mégis kevesen tanulmányozták a zaj akut hatását az anyagcsere markerekre, pl. a vércukorszintre, a széruminzulínra, a vér lipidszintjére és a gyulladásos markerekre (pl. CRP és IL-6). Ezt a szempontot követte az a kutatás, amely a HPA tengely aktivitásának hatását vizsgálta a metabolikus és hemodinamikai kockázati tényezőkre, melyek a stroke és a 2-es típusú cukorbetegség kialakulásában játszanak szerepet¹¹. Vizsgálták a BMI-t, a derék/csípő arányt, a vér glükóz szintjét, a triglicerideket, és a vérnyomást. Fiziológiásan működő HPA tengely esetén a

¹¹ A HPA tengely szabályozza a mellékvese hormonok kiválasztását, amelyek közül az egyik a kortizol. A kortizol az emberi szervezet szinte minden szintjén hat, többek között fontos szerepet játszik a lipid- és glükózanyagcserében. Az emelkedett kortizolszintek, ha tartósan fennállnak, a testzsír újraeloszlásához vezetnek, amelyet törzsi elhízás jellemez, beleértve a magas vérnyomást és a 2-es típusú cukorbetegséget. A vizsgálat során dexametazon tablettát (szintetikus glükokortikoid) használtak a HPA tengely befolyásolására.

rizikófaktorok eltérő klaszterekbe kerültek, amíg patológiásan működő HPA esetén a legtöbb kockázati tényező egymással korrelált, és úgy tűnt, hogy az alacsony HDL kivételével egyetlen szorosan összeálló klasztert alkotnak. Ez azt jelentheti, hogy a HPA-tengely rosszul működő szabályozása valójában a legtöbb más, megállapított kockázati tényezőt felülíró tényező (*Rosmond et Björntorp, 2000*).

A zaj gyermekekre gyakorolt hatását főként megfigyeléses vizsgálatok során tanulmányozták, elsősorban repülési zaj vonatkozásában (*Cohen et al., 1980; van Kempen et al., 2006*), bár létezik két újabb közúti zajt érintő epidemiológiai vizsgálat is (*Bilenko et al., 2013; Liu et al., 2014*). 326 gyerek vett részt abban a prospektív vizsgálatban, melyet a Münchener Nemzetközi Repülőtér megnyitása előtt és után folytattak (*Evans et al., 1998*). A repülőtér megnyitását követően statisztikailag szignifikáns szisztolés vérnyomás emelkedést, valamint emelkedett adrenalin és noradrenalin koncentrációt figyeltek meg a repülőtér közelében élő gyerekeknél. Emellett a kortizolszint is emelkedett, de nem szignifikánsan. Ugyanakkor egy West London School tanulmányban nem találtak kortizolszint-emelkedést a London Heathrow repülőtér közelében lakó gyermekeknél (*Haines et al., 2001*).

Az említett két, a közúti zaj és a vérnyomás kapcsolatát vizsgáló tanulmány ellentmondásos eredményeket mutatott (*Bilenko et al., 2013; Liu et al., 2014*).

Evans és munkatársai később a közúti és vasúti zaj hatását vizsgálták osztrák vidéki kistelepüléseken élő gyermekek esetében. Azt találták, hogy a zajosabb területeken élő gyermekek nyugalmi szisztolés vérnyomása és 8 órás, éjszakai vizeletkortizolszintje emelkedett. A zajosabb környékről származó gyermekeknél a laboratóriumban egy diszkrét stresszorra (olvasási teszt) a szívfrekvencia megemelkedett reakciókészségét is kimutatták, és ezek a gyermekek – az észlelt stressztüneteiket magába foglaló standardizált indexen keresztül – magasabbra értékelték a stressztüneteiket (*Evans et al., 2001*).

b) *Krónikus hatások*

Számos tanulmány azt mutatja, hogy a kardiovaszkuláris hatásmechanizmus által kialakuló akut hatások tekintetében nincs hozzászokás. Néhány tanulmány azt sugallja, hogy a zajhoz való hozzászokás függ a zaj karakterisztikájától. Sawada és munkatársai arra jutottak, hogy az állandósult zajra adott hemodinamikai válaszok a stimulus kezdete után néhány perccel csökkentek, míg az intermittáló zaj esetében nem (*Sawada, 1993*).

A szimpatikus idegrendszer ismételt ingerlése és a tartósan magas katekolamin szint hozzájárulhat az ateroszklerózis kialakulásához, fokozódik a koagulációs hajlam, azaz nő az érelzáródás veszélye. Bizonyított, hogy a szimpatikus aktivitás hozzájárul a magasvérnyomás kifejlődéséhez.

A nagy forgalmú utak mellett élők esetében az ebből adódó zajexpozíciót összefüggésbe hozták a szubklinikai ateroszklerózissal, azonban nem volt világos, hogy a kisméretű aeroszol részecskék (PM) vagy a zaj – a közlekedéssel kapcsolatos két fontos expozíció – közül melyik felelős-e az összefüggésért. Ezért megvizsgálták a PM és a közúti közlekedés zajával történő hosszú távú expozíció hatásainak összefüggéseit a mellkasi

aorta meszesedésével (TAC), ami a szubklinikai ateroszklerózis megbízható mutatója. A vizsgálat következtetése szerint a PM hosszú távú expozíciója és az éjszakai közlekedési zaj egymástól függetlenül is összefüggésbe hozható a szubklinikai ateroszklerózissal, így mindkettő hozzájárul az ateroszklerózis kialakulásához, azonban nem észleltek összefüggést a napi átlagos zajszinttel (L_{den}) (Kälsch et al., 2014).

A HPA tengely hosszantartó túlzott aktiválódása is növelheti a szív- és érrendszeri megbetegedések, valamint az anyagcsere zavarak kialakulásának esélyét (Björntorp, 1997; Rosmond, 2003; Rosmond, 2005). A kutatások alapján leírták, hogy a megemelkedett kortizolszint valószínűleg növeli az adrenerg receptorok érzékenységét, ezáltal fokozza az érösszehúzódást.

A keringő nemi- és növekedési hormonok szintje egyúttal csökken. A kortizol hatására a centrális zsírszövetben zsír halmozódik fel, amit elősegít a nemi- és a növekedési hormonszint csökkenése is. Ennek megfelelően a HPA tengely hiperaktivitása hasi elhízáshoz vezet. Erre magyarázat lehet, hogy a hasi területen nagyobb a kortikoszteroid receptorok sűrűsége, mint a test más részén levő zsírszövetben (Lundberg, 1999). A HPA túlzott aktivitását a muszkuláris inzulinrezisztencia követi, mely erős előrejelzője a 2-es típusú diabetesnek és a kardiovaszkuláris betegségeknek. A kortizolnak inhibitor hatása van az inzulinra és serkenti a lipoprotein lipáz működését, mely a triglicerideket szabad zsírsavakra bontja. Ezek emelkedett szintje gátolja a glükóz metabolizmust és hiperinzulinémiát okoz.

A krónikus hatások felléphetnek alvászavar következményeként is. A zaj hatására felléphet kortikális izgalom, ébredés, autonóm kardiovaszkuláris aktivitás, az alvás fázisainak megváltozása. Másnap fáradtság, álmoság, csökkent teljesítőképesség jellemző. Az olyan autonóm reakciók, amelyekhez a szervezet nem képes hozzászokni, valószínűleg az elsődleges okai a krónikus hatások kialakulásának.

Az alvásmegvonás hatással van a szénhidrát anyagcserére, az étvágy-szabályozásra, és az immunrendszer gyengülését okozhatja. Vizsgálatok összefüggést mutattak ki az alvásmegvonás és a csökkent glükóz tolerancia, a csökkent inzulin érzékenység, és a 2-es típusú diabetesz megnövekedett kockázata között. Az inzulin, leptin, ghrelin szabályozzák az étvágyat. Alváshiánykor megbomlik a rendszer egyensúlya, ami elhízást, így BMI növekedést okoz. Azt is megállapították, hogy alvásmegvonáskor megemelkedik a vérben keringő gyulladáshoz vezető faktorok szintje (pl. IL-6, TNF- α és CRP).

A fenti mechanizmusokat számos epidemiológiai tanulmány alátámasztja, ami a kardiovaszkuláris rendszert illeti. A tartós közlekedési zaj metabolikus rendszerre kifejtett krónikus hatását csak újabban kutatják. Jelenleg csupán két vizsgálat eredményei állnak rendelkezésre, az egyik a repülési zaj és a megnövekedett csípőkörtérfogat között talált összefüggést (Eriksson et al., 2014), a másik a közúti zaj és a 2-es típusú diabetesz között (Sørensen et al., 2013).

3.2.5 A krónikus zajexpozíció és az elhízás kapcsolata

Szisztematikus irodalmi áttekintés és metaanalízis

Egy 2018-ban publikált metaanalízis során 11 olyan vizsgálat eredményeit összegezték, amelyek a zaj és az elhízás közötti kapcsolatot értékelték. A tizenegy tanulmány közül hét számolt be pozitív összefüggésről a krónikus zajexpozíció és az elhízás között. 10 tanulmányban az otthoni, egynél a munkahelyi zajártalom hatását vizsgálták. Nyolc tanulmányban a vizsgált zajforrás a közúti zaj volt, négyenél a vasúti, kettőnél a repülőtéri és háromnál különféle eredetű zaj. Összehasonlítva a kontrollokkal, azoknak a felnőtteknek, akik krónikusan ki voltak téve 55-60 dB(A), vagy ezt meghaladó zajnak, évente 7,5 mm-rel nőtt a csípőkörtérfogatuk, valamint minden 10 dB-es krónikus zajszint emelkedés esetén évente 7 mm-rel nőtt a csípőkörtérfogat. A krónikus zajexpozíció és a BMI között nem volt kimutatható kapcsolat (An et al., 2018).

A zaj számos mechanizmuson keresztül okozhat elhízást. Egyrészt rontja az alvás minőségét és csökkenti az időtartamát. Az alváshiány változást idéz elő az anyagcsere és a neuroendokrin rendszer működésében, pl. csökkenti a glükóz toleranciát, az inzulin szenzitivitást, valamint növeli az étvágyat a csökkent leptin és az emelkedett ghrelin szint miatt.

Mára számos epidemiológiai tanulmány és laboratóriumi vizsgálat támasztja alá az alváshiány, vagy a nem kielégítő minőségű alvás szerepét az elhízásban (Anic et al., 2010; Buxton et Marcelli, 2010; Watanabe et al., 2010; Nedeltcheva et Scheer, 2014; Nedeltcheva et al., 2010; Spiegel et al., 2009). Ezenfelül, a zaj a stresszt kiváltó hatásán keresztül is hozzájárul az elhízáshoz, a stressz krónikussá válása esetén (Kyrou et Tsigos, 2008).

A fent leírtak felvetik annak szükségességét, hogy a vizsgálatokat tovább folytassák és kiterjesszék egyéb létesítményekre, pl. a munkahelyekre, illetve vizsgálni kellene egyéb zajforrásokat (pl. építkezés), valamint jobban fel kellene tárni a biológiai és pszichoszociális folyamatokat, amelyeken keresztül a tartós zajexpozíció elhízáshoz vezet.

3.2.6 A zajexpozíció és a diabétesz összefüggése

Szisztematikus irodalmi áttekintés és metaanalízis

Vizsgálták a hosszú távú közlekedési zajexpozíció és a 2-es típusú diabetes mellitus kapcsolatát.

15 vizsgálat alapján a diabetes mellitus kialakulásának kockázatának 6%-os emelkedését figyelték meg 5 dB-es zajszint emelkedésnél, tekintet nélkül a zajforrásra. A forrásspecifikus elemzések azt mutatták, hogy a legerősebb a kapcsolat a repülőtéri zaj tekintetében, itt 17%-os kockázattöbbleket figyeltek meg 5 dB-es zajszint emelkedésnél, míg a közúti zajszint ugyanilyen mértékű emelkedésével 7%-ot.

A mögöttes metabolikus mechanizmus alapja, hogy a tartós zajexpozíció krónikus stresszt okoz, ami károsan hat az anyagcsere-re (Sinha et Jasterboff, 2013; Vitaliano et al., 2002), megváltoztatja az étkezési szokásokat (Sominsky et Spencer, 2014; Ulrich-Lai et al., 2015). Az alvászavar és a 2-es típusú diabétesz megnövekedett kockázatát is kimutatták (Meisinger et al., 2005; Cappuccio et al., 2010; Zare Sakhvidi et al., 2018).

3.3 Az éjszakai zaj egészséghatása

3.3.1. Zajindikátorok

L_{night, outside}: Éves, átlagos éjszakai zajszint: a hosszútávú hatások leírására alkalmas, mint pl. kardiovaszkuláris betegségek előfordulásának mutatóival

L_{Amax}: Az azonnali hatások leírására alkalmas, pl. alvászavar előfordulásának mutatóival pl. áthaladó repülő, kamion, vonat stb. által keltett zaj leírására használjuk.

Állatokon és embereken végzett kísérletek támasztják alá, hogy az éjszakai zajexpozíció szorosabb összefüggésben van a kardiovaszkuláris hatásokkal, mint a nappali zajexpozíció.

A bizonyítékok áttekintése után az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- Az alvás biológiai szükséglet, megzavarása számos káros hatással jár az egészségre.
- Elegendő bizonyíték van a zaj által kiváltott alvás közbeni biológiai hatásokra: szívfrekvencia emelkedés, az alvás fázisainak megváltozása, ébredések.
- Elegendő bizonyíték szolgál annak alátámasztására, hogy az éjszakai zajexpozíció alvászavart okoz (önbevalláson alapuló), növekedik a gyógyszerhasználat, fokozódik az éjjeli forgolódás és a (környezeti) inszomnia.
- Míg a zaj okozta alvászavart önmagában is egészségi problémának tartjuk, további következményekkel is jár az egészségre és a jól-létre.
- Korlátozottan áll rendelkezésre bizonyíték arra, hogy az alvászavar fáradtságot, baleseteket és csökkent teljesítőképességet okoz.
- Korlátozottan áll rendelkezésre bizonyíték arra, hogy az éjszakai zaj hormonszint változást, érrendszeri betegségeket, depressziót és mentális betegségeket okoz. Hangsúlyozni kell, hogy létezik elegendő bizonyítékkal alátámasztott biológiai modell a zaj hatásmechanizmusának bemutatására.

Küszöbértékek

A NOAEL (felvételi vagy terhelési küszöb, melynél a káros hatás még nem figyelhető meg) egy, a toxikológiában használatos terminológia, melynek használata az éjszakai zaj témakörében nem adekvát. Helyette egy olyan küszöbszintet (LOAEL) használunk, mely felett a hatás jelentkezik, vagy ezen érték felett függ az expozíciós szinttől. A zajexpozícióhoz kötődő küszöbértékek meghatározása mérőföldkőnek számít a környezeti zajexpozíció egészséghatásainak kiértékelésében. A 3. és 4. táblázat összefoglalja azon hatásokat, amelyeknél elegendő mértékben, ill. korlátozottan áll rendelkezésre bizonyíték (*WHO, 2009b; WHO, 2018*).

3. táblázat Hatások és küszöbértékek, ahol elegendő bizonyíték áll rendelkezésre

Hatás		Indikátor	Küszöb (dB)
Biológiai hatások	változás a kardiovaszkuláris aktivitásban	*	*
	EEG aktivitás növekedés	$L_{Amax,inside}$	35
	motilitás, motilitás kezdete	$L_{Amax,inside}$	32
	az egyes alvásfázisok hosszának változása, az alvás struktúrájának változása és fragmentálódása	$L_{Amax,inside}$	35
Alvásminőség	éjszakai felébredés / túl korai ébredés	$L_{Amax,inside}$	42
	az elalvási idő megnyúlása	*	*
	fragmentált alvás, lerövidült alvási idő	*	*
	alvás közbeni mozgás fokozódása	$L_{night,outside}$	42
Jól-lét	alvászavar (önbevallás)	$L_{night,outside}$	42
	altatók és nyugtatók szedése	$L_{night,outside}$	40
Egészségi állapot	környezeti eredetű inszomnia**	$L_{night,outside}$	42

* A bizonyított hatás ellenére nem lehetett indikátorokat vagy küszöbértékeket meghatározni.

** A „környezeti eredetű inszomnia” orvosi diagnózison alapul, szemben az „önbevalláson alapuló alvászavar”-ral.

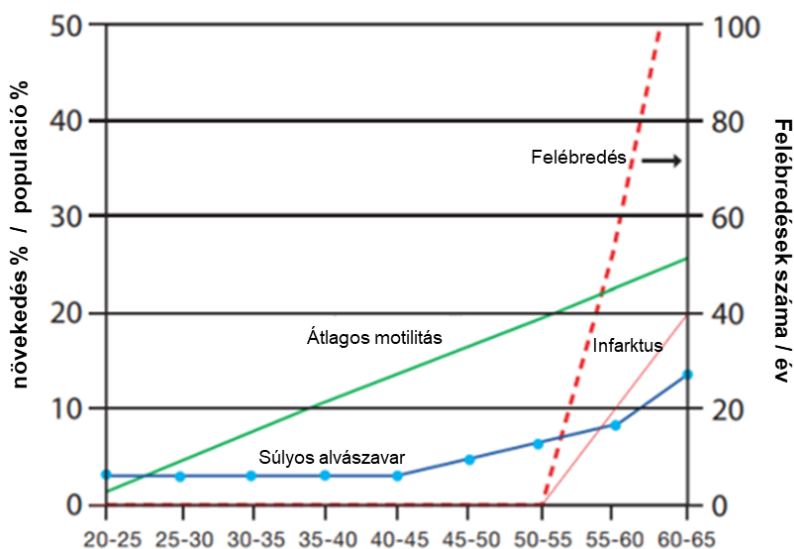
4. táblázat Hatások és küszöbértékek, ahol korlátozottan áll bizonyíték rendelkezésre

Hatás		Indikátor	Becsült küszöbérték
Biológiai hatások	(stressz) hormonszint változás	*	*
Jól-lét	aluszékonyság/ fáradtság napközben és este	*	*
	megnövekedett nappali irritabilitás	*	*
	romló szociális kapcsolatok	*	*
	panasz	$L_{night,outside}$	35
	romló kognitív képességek	*	*
Egészségi állapot	inszomnia	*	
	hipertenzió	$L_{night,outside}$	50
	elhízás	*	*
	depresszió (nőknél)	*	*
	MI	$L_{night,outside}$	50
	korai elhalálozás	*	*
	pszichés rendellenességek	$L_{night,outside}$	60
	(munkahelyi) balesetek	*	*

*A bizonyított hatás ellenére nem lehetett indikátorokat vagy küszöbértékeket meghatározni.

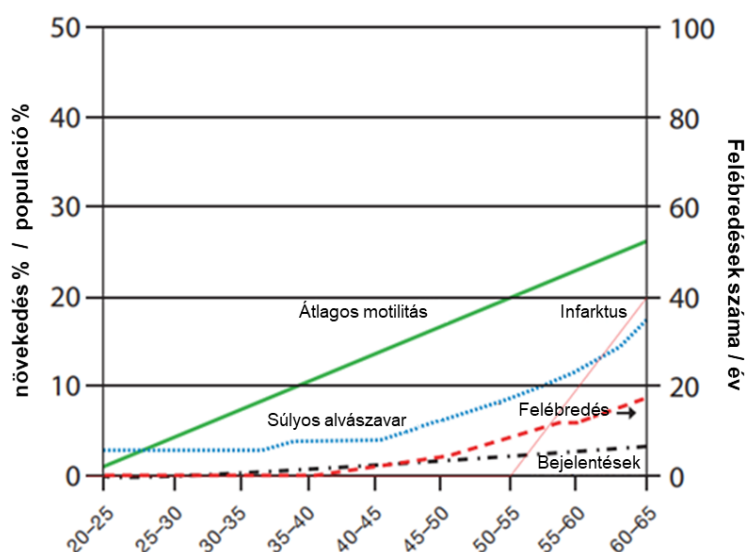
A zajforrástól függően jelentősen eltér az elkülönülő zajesetek száma. A közúti zaj nagy számokkal és eseményenként alacsony zajszinttel jellemezhető, míg a repülőtéri és vasúti forgalom alacsony számokkal és eseményenként magas zajszinttel. Két tipikus szituációt ábrázoltunk grafikus formában. Az első egy átlagos városi út (600 motorizált jármű/év), ami durván megfelel 8 000 jármű 24 órás használatának, vagy 3 milliónak évente, a második eset egy átlagos repülőtéri szituációnak megfelelő (8 járat/év, 3 000/év).

A 6. ábra azt mutatja, hogy az $L_{\text{night, outside}}$ értékek növekedésével hogyan növekednek a hatások egy tipikus városi út esetében. A zajesemények közül sok ébredéshez vezetett, ahogy a küszöb átlépte az $L_{\text{Amax, inside}}$ értéket.



6. ábra A közúti zaj hatásai éjszaka

A 7. ábrán egy tipikus repülőtéri helyzet látható. Mivel itt a zajesemények száma alacsonyabb, kevesebb a felébredés, mint a közúti zajnál, de ugyanannyi, vagy több egészséghatással. Ezekben a példákban a legrosszabb eseteket leíró értékek nagyságrendekkel nagyobbak: a megébredések maximális száma 300 évente $L_{\text{night, outside}}$ 60-65 dB-nél.



7. ábra A repülőtéri közlekedésből eredő zaj hatásai éjszaka

3.3.2 Az éjszakai közúti zaj szintje és időszakos jellege

A közúti zaj két komponensből adódik össze: a kocsisor áramlása és az egyes járművek keltette zaj. Fontos különbséget tenni a kettő között, ugyanis a csúcserőterek az egyes járművek elhaladásakor keletkeznek. Ezek egyedi pontforrásként viselkednek, és a csúcserőterek a távolság duplázódásával 6 dB-lel csökkennek (a hangnyomás fordítottan arányos a távolsággal). Másrészt, a kocsisor vonalforrásként viselkedik. Ennek a szintje, amit itt háttérzajnak tekintünk, csak 3 dB-lel csökken a távolság megduplázódásával (a hangnyomás fordítottan arányos a távolság négyzetgyökével).

Kiterjedt vizsgálatokban azt igazolták, hogy a motor és a kipufogó zajszintje arányosan növekszik a sebesség logaritmusával, és kétszeres sebességnél 10 dB-lel nőtt a maximum hangszint. A zaj terjedése 20-40 fokban a vízszint felett jelentős.

Az áramló kocsisor keltette zaj mérése bonyolultabb, mint az egyes kocsiké. Eloszlása erős és egyenletes forgalomnál közelíti a Gauss-görbét.

A alvás minőségét több tényezővel jellemezhetjük, mint pl. az alvás kezdete, a teljes alvási idő, az alvási szakaszok eloszlása, az alvás architektúrája, valamint az alvás, az ébredési reakciók és az alvás minőségének szubjektív értékelése.

Eberhardt, különböző korcsoportokon végzett vizsgálataiban azt állapította meg, hogy a folyamatos 36 dB(A)-es zaj nincs hatással az alvásra (*Eberhardt, 1988*), míg a szakaszos zajnál ennek a kiegészítését javasolja egy maximum hangszinttel (*Eberhardt et al., 1987*). Ezt támasztja alá Ohrstrom és Rylander, akik szerint a folyamatos zajnak kisebb hatása van az alvás minőségére, mint az intermittáló zajnak (*Ohrstrom et Rylander, 1982*). Azt várták, hogy a csúcsok nagysága az alvászavar legfőbb oka. Mindazonáltal, nem csak a csúcserőterek a fontos. Hosszabb tartamú, elkülönülő, alacsonyabb hangszintű zajok negatívabban hatnak az alvásra, mint a rövidebb, magasabb hangszintűek (*Thiessen, 1978*). Fontos faktor az egymástól elkülönülő zajesemények száma és a háttérzajhoz viszonyított hangszintjük. Azt állapították meg alvás közben vizsgált személyeknél, hogy a háttérzajból való kiugrás fontosabb, mint maga a csúcserőterek. Továbbá, ugyanakkora L_{eq} szintű folyamatos és szaggatott zaj, különbözőképpen befolyásolja az alvás egyes fázisait¹². Míg a folyamatos zaj a REM fázisra hat, a szaggatott főként a 3-as és 4-es fázisra (*Eberhardt et al., 1987*). Vallet és munkatársai 35 dB-ben határozta meg a hálószobai zajszintet, mivel azt találták, hogy $L_e=37$ dB-es folyamatos zaj esetén, vagy ha a szaggatott zaj egyes zajeseményei túllépik a 45 dB(A) maximumot, romlik az alvás minősége (*Vallet et al., 1983*).

Mivel a mélyalvás 3. és 4. fázisa alapvető a jó alvásminőséghez, levonható a következtetés, hogy általánosságban a szaggatott zaj rosszabb hatással van az alvásra. Ez teljesen egybevág Eberhardt megállapításával, hogy a közúti zaj az alvás első óráiban jobban zavarja az alvást, mint a késő éjszakai órákban (*Eberhardt, 1988*). Egy másik tanulmány szerint, az éjszakánként, a hangszigetelt hálószobában 50-55 dB(A) feletti zajcsúcserőtereket produkáló autók száma jobban jellemzi a zaj dózist, mint az egyenértékű hangnyomásszint, és a szubjektív

¹² Az alvás során két alvás típus, a NREM (non rapid eye movement vagy szemmozgás nélküli alvás) és a REM (rapid eye movement vagy gyors szemmozgásos alvás) váltja egymást ciklikusan. Az NREM négy, egyre mélyülő szakaszból áll.

alvásminőség az ezekkel a csúcsokkal jellemezhető zajdózissal korrelált szignifikánsan (Eberhardt et Akselsson, 1987). Ezt megerősítette egy másik vizsgálat, ahol elhaladó kamionok hangját játszották le egy laborban (Ohrstrom, 1995). Fontos következtetés, hogy a zaj időbeli karakterének jelentős szerepe van a felébredések kiváltásában.

Amikor egy vizsgálat során egyes személyeket kitétek különböző szintű és számú stimulációnak, az alvásminőségük szignifikánsan romlott 60 dB-nél, míg 50 dB-nél nem találtak összefüggést a zajesemények száma és az alvás minősége között. Naganuma és munkatársai ugyanerre jutottak rektanguláris intermittáló zaj esetében (Naganuma et al., 1991). Ohrstrom és munkatársai továbbá azt találták, hogy az egyes zajesemények csak bizonyos szám felett vannak hatással az alvásminőségre (Ohrstrom et al., 1990). Egyéb tanulmányok, melyek az alvásminőséget vizsgálják bizonyos hangnyomásszintet meghaladó elkülönülő zajesemények számának monitorozásával: Thiessen et Lapointe, 1978; Ohrstrom et Rylander, 1982; Tulen et al., 1986; Ouis, 1999.

3.3.3 Az éjszakai zajterhelés hatása az egészségre és a jól-létre

Önbevalláson alapuló (krónikus) alvászavar

A zajexpozíció és az alvászavar közti összefüggéseket 12 helyszíni tanulmány alapján, 12 000 ember megfigyelésével végezték. (Miedema, Passchier-Vermeer, Vos, 2003) A kapott görbék az L_{night} adatokon alapulnak. Az L_{night} mindig az épület zajnak leginkább kitett homlokzatánál, kívül mért érték 45-65 dB(A) tartományban. A polinomiális függvények jó közelítései a görbéknek ebben a tartományban extrapolálva alacsonyabb (40-45 dB(A)) és magasabb expozíciókra (65-70 dB(A)) (SD = sleep disturbance; H = high; L = low).

A polinóm becslések képletei:

Közúti zajra:

$$\%HSD=20,8-1,05*L_{\text{night}}+0,01486*(L_{\text{night}})^2$$

$$\%SD=13,8-0,85*L_{\text{night}}+0,01670*(L_{\text{night}})^2$$

$$\%LSD=-8,4+0,16*L_{\text{night}}+0,01081*(L_{\text{night}})^2$$

Repülőtéri zajra:

$$\%HSD=18,147-0,956*L_{\text{night}}+0,01482*(L_{\text{night}})^2$$

$$\%SD=13,714-0,807*L_{\text{night}}+0,01555*(L_{\text{night}})^2$$

$$\%LSD=4,465-0,411*L_{\text{night}}+0,01395*(L_{\text{night}})^2$$

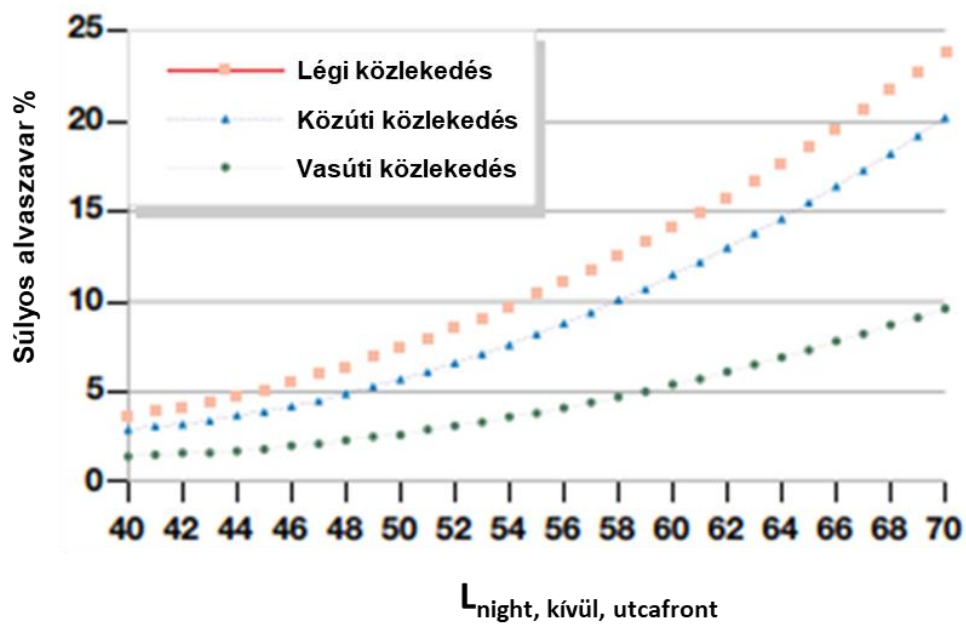
Vasúti zajra:

$$\%HSD=11,3-0,55*L_{\text{night}}+0,00759*(L_{\text{night}})^2$$

$$\%SD=12,5-0,66*L_{\text{night}}+0,01121*(L_{\text{night}})^2$$

$$\%LSD=4,7-0,31*L_{\text{night}}+0,01125*(L_{\text{night}})^2$$

A 8. ábrán a súlyos alvászavar (HSD) és az egyes zajforrások szerinti összefüggés látható.



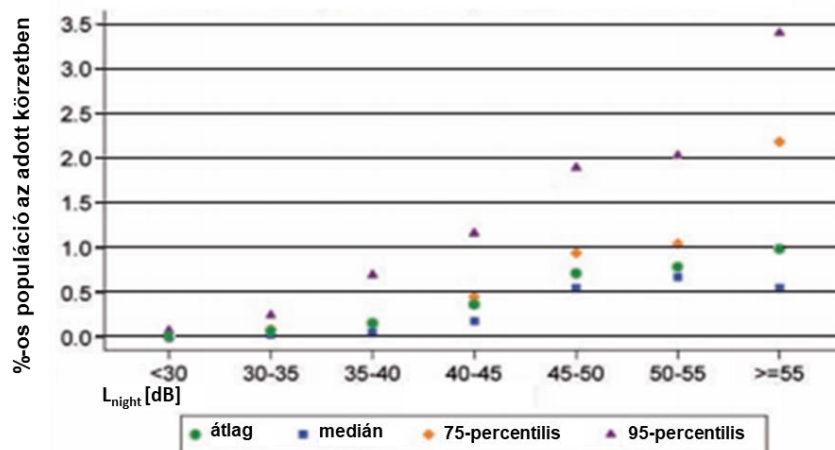
8. ábra A HSD és az egyes zajforrás típusok szerinti összefüggések
(forrás: European Commission, 2004)

- A különböző reptereken jelentősen eltér a zajexpozíció időmintázata köszönhetően az eltérő éjszakai szabályozásnak.
- A repülőtéri forgalom okozta alvászavarra vonatkozó kérdésekben is nagy volt a variáció.
- A legújabb tanulmányok azt mutatják, hogy a HSD ugyanannál az L_{night} szintnél a legerősebb. Ez időbeli tendenciát sugall.

Az ipari zajjal összefüggésben nagyon kevés adatunk van, bár mutat némi jel arra (Vos, 2003), hogy a pulzáló zaj jelentősen zavarja az éjszakai nyugalmat.

Bejelentések

Az amszterdami Schiphol reptéren végzett vizsgálatban vizsgálták a zaj zavaró hatása miatt tett bejelentéseket. Az éjszakai küszöbérték 35 dB L_{night} körül volt. A 9. ábrán látszik az egyértelmű kapcsolat az L_{night} szintje és a százalékos átlagértékek között. A 95 percentilis mutatja, hogy a küszöbérték 35 dB L_{night} .



9. ábra Dózis-hatás összefüggés azoknál, akik 1994 és 2004 között legalább egyszer panaszkodtak a zajra (forrás: WHO, Regional Office for Europe, 2009b)

A zaj kardiovaszkuláris hatásai – epidemiológiai tanulmányok megállapításai

Az epidemiológiai tanulmányok legújabb eredményei alátámasztják azt a feltételezést, hogy a zaj okozta hosszú távú egészséghatások, például a szív- és érrendszeri megbetegedések és halálozás, szorosabb összefüggésben vannak az éjszakai, mint a nappali zajterheléssel. Ez arra enged következtetni, hogy a megnövekedett egészségkockázatokat nagyrészt olyan zavarok válthatják ki, amelyek az éjszakai zajeseményekre adott szomatikus és pszichológiai reakciók halmozódásaként fokozatosan alakulnak ki (Brink, 2012).

Mint már tárgyaltuk, a zaj direkt módon, szinaptikus idegi kapcsolatokon keresztül, valamint indirekt módon, a zaj emocionális és kognitív érzékelésén keresztül hat. Fontos megjegyezni, hogy a direkt útnak lényeges szerepe van már alacsony zajszintnél is, főleg alvás közben. A zaj hatása nemcsak a zaj intenzitásától, hanem a frekvenciájától és időbeli mintázatától is függ.

60 releváns epidemiológiai vizsgálatot alapul véve, külön az éjszakai zajra vonatkozó információ kevés esetben állt rendelkezésre. Az újabb vizsgálatok 24 órás expozíciós átlaggal számoltak (L_{eq} , L_{dn} , L_{den}).

A zaj hatása az átlagos vérnyomásra

A legátfogóbb tanulmány a közlekedési zaj kardiovaszkuláris hatásairól Babischtól származik (Babisch, 2006).

A felnőtteket és gyerekeket ért hatásokat külön tárgyalja. Van arra bizonyíték, hogy a fiatalkori vérnyomás jó előrejelzője a későbbi életszakaszban jellemző vérnyomásnak. Ezt igazolták gyerekkori (Gillman et al., 1992), fiatal felnőttkori (Yong et al., 1993) és felnőttkori (Tate et al., 1995) vizsgálatok. Egyes tanulmányok azt szűrték le, hogy a gyerekek nem szoknak hozzá a hangos közúti zajhoz, ellenben a repülőtéri zajhoz valamennyire igen (Passchier-Vermeer et Passchier, 2000; Bistrup et al., 2001). A repülőtéri zajt vizsgáló tanulmányok az iskolai expozícióra fókuszáltak, míg a közúti zajt vizsgálók az otthonira. Evans et Lepore (1993) megállapítása úgy tűnik, ma is igaz: „Alapvetően semmit nem tudunk a korai zajexpozíció hatásáról a fejlődő szív-és érrendszerre. A vérnyomásemelkedés mértéke kicsi.

A gyerekkori vérnyomás ilyen változásának klinikai jelentőségét nehéz meghatározni. A zajnak kitett gyerekek vérnyomása a normális tartományban mozog. A vérnyomás emelkedés mértéke talán nem szignifikáns fiatal korban, de előrejelezheti a későbbi vérnyomás-emelkedést". Éjszakai műszakban dolgozó felnőttek laboratóriumban, közlekedési zaj szimulációjával történő vizsgálata során azt találták, hogy a vérnyomás elsősorban a hirtelen fellépő hangokra emelkedett. A zaj által kiváltott ébredés és az alfa EEG-válaszok összefüggésben álltak a vérnyomás-emelkedéssel. A szívritmus emelkedése akkor volt a legnagyobb, amikor a kísérleti személyeket zaj ébresztette fel, vagy amikor már ébren voltak. Három egymást követő alvás során nem volt tapasztalható a zajhoz való hozzászokás. Azt a következtetést vonták le, hogy az alkalmazott zajszintek tartományában a szívfrekvencia az alvás közbeni zajszintre, a vérnyomás pedig a hirtelen fellépő zajokra reagál (Carter et al., 2002). Griefahn és munkatársa szintén azt tapasztalták, hogy a vizsgálatukban résztvevőknél nem alakult ki hozzászokás az éjszakai közlekedési zajhoz a kardióvaszkuláris reakciók tekintetében és ezért a közlekedési zaj kulcsszerepet játszhat a szív- és érrendszeri betegségek kialakulásában (Griefahn et al, 2008).

Hipertenzió

Babisch tanulmányában vizsgálja az összefüggést a környezeti zajszint és a hipertenzió incidenciája vagy prevalenciája között (Babisch, 2006). A környezeti zaj és a hipertenzió kapcsolatát tekintve a kép heterogén, ami elsősorban a migrációnak köszönhető (akiket zavar a zaj, elköltöznek). A repülőtéri zaj esetében a tanulmányok egyöntetűen azt mutatják, hogy a nagyobb zajexpozíciójú területeken magasabb a kockázat. A bizonyítékok javultak Babisch 2000-es vizsgálata óta. A relatív kockázat négy szignifikánsan pozitív tanulmányban $RR=1,4$ és $RR=2,1$ közé esett olyanoknál, akik nagy zajterhelésű területeken laknak, azaz átlagosan minimum 60-70 dB(A)-nek vannak kitéve naponta. Egy svéd vizsgálat szerint, már 55 dB(A)-nél a relatív kockázat 1,6-ra nő.

Az újabb tanulmányok azt mutatják, hogy a magas zajterhelésnek kitett személyek esetében magasabb a magas vérnyomás kockázata ($RR=1,5-3,0$). Összeségében, az összes tanulmányt áttekintve, nem ennyire egységes a kép. Azokban az új tanulmányokban, ahol az expozícióhatást vizsgálták, a zaj, vagy a zaj által keltett zavaró hatás szubjektív megítélése következetesen pozitív összefüggést mutatott a hipertenzió prevalenciájával. A relatív kockázat 0,8 és 2,3 ($RR=0,8-2,3$) között mozgott, de ezen tanulmányok bizonyítóereje alacsonyabb (Babisch, 2006).

Ischémiás szívbetegség (IHD)

Az utóbbi évtizedek nagyszabású epidemiológiai vizsgálatai egyértelműen bizonyították a környezeti zaj, azon belül főként a közlekedési zaj kedvezőtlen szív- és érrendszeri hatásait, különösen az IHD-vel való összefüggéseit. Az epidemiológiai bizonyítékok folyamatosan bővülnek.

A keresztmetszeti vizsgálatokban az IHD előfordulását az angina pectoris, és szívinfarktus klinikai tünetei, a WHO-kritériumok alapján definiált EKG-eltérések, vagy az orvos által diagnosztizált szívrohamra vonatkozó, önbevalláson alapuló kérdőívek alapján határozták meg.

A követésen vizsgálatok során az IHD incidenciáját a kórházi nyilvántartásokban fellelhető MI, EKG, valamint klinikai interjúkból származó adatok alapján határozták meg.

A magasabb zajszint kategóriák esetében következetesen magasabb IHD kockázatot találtak, azonban statisztikai szignifikanciát ritkán értek el. Egyes tanulmányok lehetővé teszik a dózis-válasz összefüggések értékelését (*WHO, 2018*).

3.3.4 A vezetés közbeni álmoság és a gépjárművel okozott balesetek közötti összefüggés

Az alábbi fejezet Bioulac és munkatársai (*Bioulac et al., 2017*) által, a vezetés közbeni álmoság és a gépjárművel okozott balesetek számának összefüggésének témájában végzett metaanalízisről publikált tanulmányának kivonata. A kapcsolódást az jelenti, hogy a környezeti zajterhelés egyik fő egészségkimenete az alvászavar.

A vezetés közbeni álmoságot úgy lehet meghatározni, mint az ébrenmaradás nehézségét, amely zavarja a vezetési képességeket. A vezetés közbeni álmoságnak fontos szerepe van a gépjárművekkel okozott balesetekben. Ennek ellenére áttekintő tanulmány még nem jelent meg a témában. A bemutatásra kerülő tanulmány célja ezen összefüggés számszerűsítése volt.

A módszer a rendelkezésre álló összefoglaló tanulmányok szisztematikus áttekintése volt Medline, Scopus, és ISI Web of Science használatával. A vizsgálat tárgya a gépjárművel (2 és 4 kerekű) okozott baleset, professzionális és amatőr sofőrök részvételével. Az expozíció a volán mögötti álmoság volt (önbevallás alapján).

Tíz keresztmetszeti (51 520 résztvevő), hat eset-kontroll (4 904 résztvevő), és egy kohorsz tanulmányt elemeztek (13 674 résztvevő).

Háttér

A közúti balesetek világszerte a vezető halálokok közé tartoznak, 2030-ra várhatóan a 4. vezető halálokok lesz (*WHO, 2004, WHO, 2011*). Európában évente 120 000-en halnak meg és 2,4 millióan szenvednek valamilyen sérülést közlekedési balesetben (*WHO, 2009a*). Az elmúlt 15 évben számos tanulmány mutatott abba az irányba, hogy a vezetés közbeni álmoság és aluszékonyság nagymértékben hozzájárul a közúti közlekedési balesetekhez (*Sagaspe et al., 2007; Bioulac et al., 2015; Horne et Reyneer, 1999; Stutts et al., 2003; Philip et al., 2014*). Az aluszékonyságnak tulajdonítható balesetek aránya országonként nagy eltérést mutat, 3,9 és 33 % között változik az USA-ban (*Tefft, 2012*), Franciaországban (*Sagaspe et al., 2007; Bioulac et al., 2015*), és Új-Zélandon (*Connor et al., 2002*) jelenleg. Az álmoságot okozhatja valamilyen alvási rendellenesség, alvási apnoé, de lehet az oka alváshiány, vagy a váltott műszakban dolgozás is.

Bár vannak arra bizonyítékok, hogy az önbevalláson alapuló álmosan történő vezetés gyakorisága növeli a súlyos közúti balesetek kockázatát (*Nabi et al., 2006*), a cikk megjelenéséig nem publikáltak még olyan szisztematikus áttekintő tanulmányt, mely a volán melletti álmoságot és a gépjárművel elszenvedett balesetek viszonyát vizsgálta. Ezen tanulmány célja, hogy bizonyítékkal szolgáljon a volán melletti álmoság (mint expozíció) és a közúti balesetekről (kimenet) szóló irodalom szisztematikus áttekintésével.

Metaanalízis és metaregresszió

A korrigált esélyhányadosok 0,63 (95% CI:0,22-1,82) (*Liu et al., 2003*) és 12,90 (95% CI:1,72-97,69) (*Abe et al., 2011*) között változtak az áttekintett tanulmányokban. Az aluszékonyság egyértelműen növelte a balesetek kockázatát (összesített OR=2,51 [95% CI:1,87-3,39]), ugyanakkor az egyes kockázatbecslések között szignifikáns eltérés mutatkozott. (Q=93,21; I²=83%).

A metaanalízis következtetése

Annak ellenére, hogy sok tanulmány született az alvással kapcsolatos balesetekről, ezen módszeres áttekintés az első, amely összegyűjtötte az összes megfigyeléses vizsgálatot és rendszerezte őket. A 17 tanulmány bevonásával végzett analízisnek voltak korlátai, pl. különböző időintervallumokat vizsgáltak és a vezetők különböző populációit vonták be, azonban egyet kivéve mindegyikben arra jutottak, hogy az álmoság növeli a jármű okozta balesetek kockázatát. A kockázat több mint kétszeres.

Jelen eredmények aláhúzzák a fellépő álmoság fontosságát, amikor orvosilag meghatározzuk a járművezetésre való alkalmasságot. A vezetés közbeni álmoság legfőbb okait (alvási rendellenességek, azaz alvási apnoe, alvásmegvonás, váltott műszak) ki kell vizsgálni, mivel összekapcsolható a megnövekedett baleseti kockázattal.

4. A zajexpozíció mértékének becslése

A környezet hat az egészségre, a hatások azonban nagymértékben eltérőek a súlyosságukat, az okozott hatást, vagy a kialakult betegség típusát, időtartamát illetően. A zajterhelés az egyik leggyakrabban előforduló környezet-egészségügyi probléma Európában. Háromból egy embert zavar a nappali időszakban a zaj, és ötből egynek zavarja az éjszakai alvását. Több, mint 1,6 millió egészséges életév veszteséget okoz az EU városi lakosságának körében, ezzel a légszennyezés után a második helyet foglalja el a környezeti kockázatok között. A népesség egészségének mérésére szolgál a DALY (*disability-adjusted life year*). Egy DALY egy egészséges életév veszteséget jelöl, amely segítségével a zaj egészségkárosító hatása is számszerűsíthető.

2002-ben az Európai Parlament és Tanács elfogadta a 2002/49/EC direktívát (END), mely a környezeti zaj becsléséhez és kezeléséhez kapcsolódik. Az irányelv célja, hogy alapul szolgáljon olyan intézkedések kidolgozásához, amelyek csökkentik a zajkibocsátást, különös tekintettel a közúti, vasúti és repülőtéri forgalomra, ipari létesítményekre és mozgó gépekre. Ahhoz azonban, hogy kezelni tudjuk a problémát, az első lépés, hogy meg kell határozni annak mértékét.

„A környezet eredetű betegségterhek Európában” elnevezésű programot (EBoDE) azzal a céllal hozták létre, hogy a hat résztvevő országban (Belgium, Finnország, Franciaország, Hollandia, Franciaország, Németország, Olaszország és Németország) és potenciálisan azon túl is integrált módszerekkel mérje a környezeti eredetű betegségterheket (EBD), egyúttal irányt mutasson a megfelelő környezet-egészségügyi szakpolitika kialakításának. A hatékony szakpolitikai intézkedések kidolgozása, a források és a kutatási kapacitások leghatékonyabb felhasználása érdekében az első fontos lépés a környezeti kockázati tényezők rangsorolása volt az egészségre gyakorolt hatásuk alapján (*Hänninen et al., 2014*).

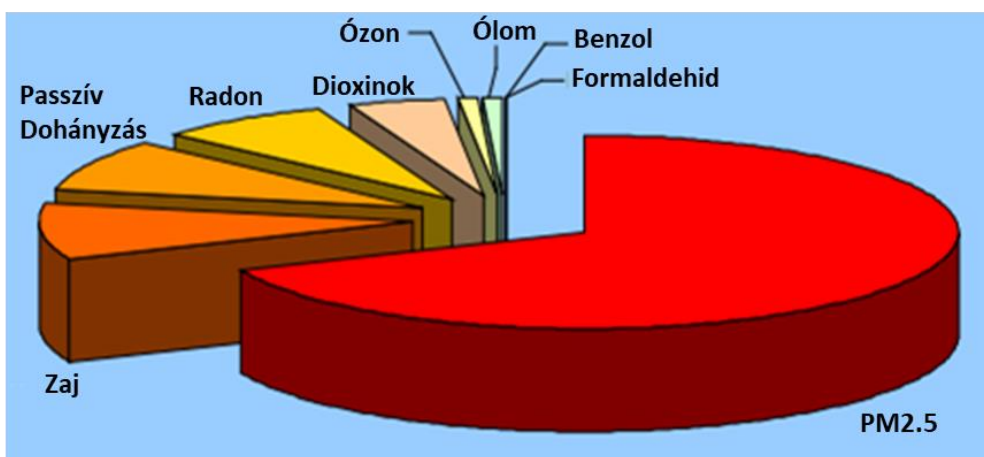
Módszer

A vizsgált környezeti kockázati tényezőket az ismert környezeti tényezők közül választották ki a populációs egészséghatások, a magas egyéni kockázatok, a közérdeklődés, a gazdasági érdekek és az adatok elérhetőségével kapcsolatos pragmatikus okok alapján. Az expozíciós adatokat nemzeti és nemzetközi adatbázisok szolgáltatták. Meghatározták az egészségvégpontokat és a dózis-válasz együtthatókat.

Ez alapján kilenc környezeti kockázati tényezővel (benzol, dioxinok, formaldehid, ólom, közlekedési zaj, ózon, kisméretű aeroszol részecskék (PM), radon, passzív dohányzás) összefüggő környezeti betegségterhet becsültek meg a résztvevő hat országban.

Eredmények

Az eredmények azt sugallják, hogy az éves betegségteher 3-7%-a hozható összefüggésbe az itt vizsgált környezeti rizikófaktorokkal. A kisméretű aeroszol részecskék (PM) a vezető rizikó tényező 6 000-10 000 DALY/ millió fővel, ezután következik a zaj, a passzív dohányzás és a radon (átfedő becsléssel 600-1 500 DALY/ millió fővel) (10. ábra).



Forrás: WHO, Európai Regionális Hivatal

10. ábra A vizsgált 9 stresszor relatív hozzájárulása abecsült betegségteherhez (korral nem súlyozott DALY) a 6 vizsgált ország átlagában

Értékelés

Az környezeti betegségteher becslések némelyike lényegi bizonytalanságokat tartalmaz, amit csak részlegesen lehet számszerűsíteni. Mégis, a kiválasztott bizonytalanságok számszerűsítése és összevetése korábbi, független becslésekkel azt mutatja, hogy az átfogó becslési tartomány 2-10 000 DALY / millió főre számolva, évente, relatíve tetemes. Néhol a stresszorok becslése átfedi egymást, ez esetben a rangsorolás nagyon bizonytalan. Ez főleg a zajra, a passzív dohányzásra és a radonra vonatkozik. A dioxinokra vonatkozó becslés a leginkább bizonytalan.

A projekt következtetése szerint a jövőbeni környezet-egészségügyi intézkedéseknek elsősorban a négy legnagyobb hatású kockázati tényezőre kellene fókuszálniuk, ezek a PM, a zaj, a passzív dohányzás, és a radon (11. ábra).

		Becslési bizonyosság		
		Magas	Közepes	Alacsony
Közegészségügyi hatás	Magas	légszennyezettség (6000-10000)		
	Közepes	passzív dohányzás (600-1200) radon (600-900)	közlekedési zaj (500-1100) ólom (100-500)* ózon (40-200)	dioxinok (<500)
	Alacsony	benzol (2-4)		dioxinok (<500)

Forrás: EBoDE

11. ábra A 9 kiválasztott környezeti stresszor közegészségügyi hatása a 6 résztvevő országban

5. Expozíció-válasz összefüggések, és az egészségvégpontok különbértékei

5.1 Expozíció-hatás kapcsolat a szív- és érrendszeri betegségek tekintetében

Ahogy már említettük, a zaj alvás közben is vegetatív reakciókat vált ki, mindenféle tudati kontroll nélkül.

Ez azt jelenti, hogy a rendszer aktiválódását a hallóideg és a központi idegrendszer más részeinek kapcsolódása határozza meg. Ez különösen releváns alvás közben, amikor egyes zaj ingerekre adott válaszként kimutatható volt a vérnyomásban és a szívfrekvenciában bekövetkezett változás. Ez közvetetten azt jelenti, hogy a zaj szubjektív percepciója, annak kognitív interpretálása és az alkalmazkodási képesség mind szerepet játszanak a fiziológias reakcióban.

Az ismétlődő biológiai válaszok végül állandósult anyagcsere-diszfunkciókhoz vezethetnek, ami hosszú távon, krónikus zajexpozíció esetén kedvez a krónikus elváltozások kialakulásának (ateroszklerózis, magas vérnyomás, ischémiás szívbetegségek). Az utóbbi években nagyobb érdeklődés övezi a zajterhelés szív- és érrendszerre gyakorolt hatásait. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy egyre több bizonyíték áll rendelkezésre, valamint, hogy a magasan fejlett ipari országokban a magas vérnyomás és az ischémiás szívbetegségek a vezető halálokok közé tartoznak. A WHO globális betegségteher tanulmánya alapján az ischémiás szívbetegség (IHD) a vezető halálok a fejlett (22,8%) és a fejlődő országokban (9,4%).

Számos szisztematikus és klasszikus összefoglaló tanulmányt készítettek a környezeti zaj szív- és érrendszerre gyakorolt hatásáról. (*Babisch, 2006; van Kempen et al., 2002; Hahad, et al., 2019*).

A közúti zaj kimutathatóan növeli az IHD kockázatát, beleértve a miokardiális infarktust (MI). Bizonyítékok támasztják alá, hogy a közúti és repülőforgalom keltette zaj is növeli a magas vérnyomás kockázatát. A többi zajforrás, pl.vonatközlekedés kardiovaszkuláris hatásairól kevés tanulmány áll rendelkezésre.

5.1.1 Közúti zaj

Tanulmányokban kimutatták, hogy a zajos utcákban élőknek nagyobb eséllyel lesz szív- és érrendszeri betegségük. Ezek a keresztmetszeti vizsgálatok szignifikáns összefüggést mutattak a zajszint 5 dB-enkénti emelkedése és a magas vérnyomás kialakulásának kockázata között (OR=1,05 95% CI:1,00-1,10), ($L_{Aeq,24h}$, 45-75 dB) és 1,38 (1,06-1,80) ($L_{Aeq,24h} \approx 40-70$ dB) (*Bluhm GL et al., 2007; Jarup et al., 2008; Barregard et al., 2009*).

Egy másik, 24 tanulmányt áttekintő metaanalízisben a szív- és érrendszeri betegségek kockázatának enyhe növekedését mutatták ki a közlekedési zajnak kitett lakosság körében.

A 16 órára vonatkoztatott átlagos közúti közlekedési zajszint ($L_{Aeq16hr}$) [tartomány 45-75 dB(A)] 5 dB(A) növekedésére 3,4%-kal növelte a magas vérnyomás kialakulásának esélyét (OR=1,034 95% CI:1,011-1,056). A légszennyezettséget, mint zavaró tényezőt nem vették figyelembe (*van Kempen et Babisch, 2012*).

A European study of cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) elnevezésű tanulmányban azonban egyszerre vizsgálták a környezeti levegőszennyezésnek és a közúti közlekedés zajának való hosszú távú kitettség valamint a magas vérnyomás előfordulása közötti összefüggéseket hét európai kohorszban. A követéses vizsgálatban a vérnyomás értékek önbevalláson, mérésen és gyógyszereszedésen alapultak. A légszennyezés és a nagy forgalom egyértelmű összefüggést mutatott az önbevalláson alapuló vérnyomás-emelkedéssel. Ezzel szemben a közúti közlekedés okozta zaj és az önbevallás szerinti magas vérnyomás, valamint vérnyomás-csökkentők szedése közötti pozitív kapcsolat erőssége a PM_{2,5}-lél való korrekciót követően csökkent (*Fuks et al., 2017*).

Hasonló csökkenésről számoltak be Babisch és munkatársai a KORA-vizsgálat alapján, azaz a PM_{2,5}-lél történő korrigálás után a közlekedési zaj és a magas vérnyomás közötti összefüggés elveszítette a szignifikanciáját (*Babisch et al., 2014*).

Három másik európai tanulmány viszont pozitív összefüggést mutatott ki a vasúti és közúti közlekedés okozta zaj és a magas vérnyomás között, amely a környezeti nitrogén-oxid koncentrációra való kiigazítás után is szignifikáns maradt, azonban a PM-re való kiigazításról nem adtak információt.

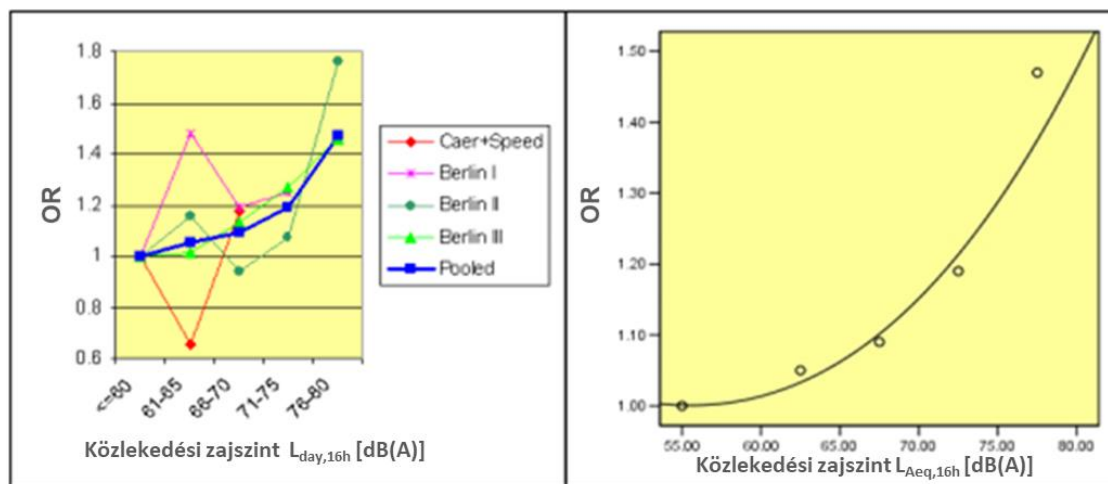
Mindez jelzi, hogy a légszennyezéssel összekapcsolt közlekedési eredetű zajra vonatkozó megállapításainkat óvatosan kell értelmezni. A homlokzaton mért és a közlekedési eredetű zajnak való beltéri kitettség jelentősen eltérhet. Az ablaktechnológia, a hálósobák utcákhoz viszonyított elhelyezkedése, a halláskárosodás és a személyes viselkedés, például a szellőztetési szokások vagy a füldugó használata a zajexpozíció téves besorolásához vezethet, ha az értékelés kizárólag a kültéri homlokzati értékeken alapul. Foraster és munkatársai azt találták, hogy a légszennyezés és a közlekedési zaj, valamint a prevalens magas vérnyomás és a szisztolés vérnyomás közötti összefüggések következetesebbek és kevésbé befolyásolták a kölcsönös kiigazítások, ha a zajexpozíciót beltéri zajszintként becsülték, figyelembe véve a lakhatási jellemzőket és a megküzdési stratégiákat. (*Foraster et al., 2014; Fuks et al., 2017*).

Egy tanulmány tett különbséget a napközbeni nappali szobát érő és éjszaka a hálósobát érő zajexpozíció között, arra jutva, hogy éjszaka, alvás közbeni zajexpozíció és alvászavar erősebb összefüggésben van a hipertenzió kialakulásának kockázatával (*Maschke et al., 2003*).

Ami az IHD-t illeti, tisztább a kép (*Babisch, 2006*). Öt tanulmányra alapozva, az összesített expozíció-válasz görbe azt m utatja, hogy nappal, 60 dB kültéri zajszint felett megnő a MI kockázata.

A nappali, kültéri zaj (az épület zajnak leginkább kitett oldala) és a miokardiális infarktus incidenciája közötti kapcsolatot vizsgálták Babish és munkatársai (*Babisch, 2008*); a vizsgálat eredményeit az 12. ábra foglalja össze (polinomiális illesztés: $OR=1,63-6,13 \times 10^{-4} \times L_{Aeq,16h}^2 + 7,36 \times 10^{-6} \times L_{Aeq,16h}^3$).

Ezt az előzetes görbét javasolták a környezeti zaj kvantitatív kockázatbecslésére (*Berry et Flindell, 2009; EEA, 2010; WHO, 2011*).



12. ábra A közlekedési zaj és a miokardiális infarktus összefüggése, expozíció-válasz függvény
(forrás: Babisch, 2008)

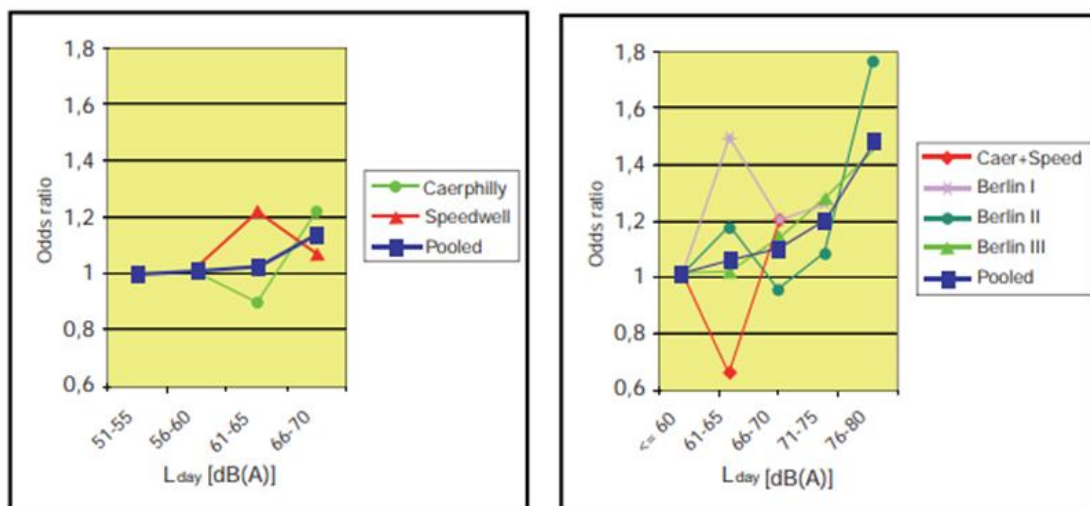
A metaregressziós analízis azt mutatta, hogy a relatív kockázat becsült értéke 5 dB zajszint emelkedésnél 8%-kal nő (OR=1,08 (95% CI:0,93-1,25), $L_{Aeq,16h}$, 57,5-77,5 dB).

Ez az összefüggés erősebb volt azoknál, akik minimum 10-15 éve éltek a lakásukban (OR=1,20 (CI:0,98-1,46)).

Ezt támasztja alá egy svéd tanulmány is, amely a közúti zaj és légszennyezés kombinált hatását vetette össze az MI incidenciájával a 45-70 éves korosztályban. Magasabb OR-t számoltak 50 dB felett ($L_{Aeq,24h}$) (Selander et al., 2009).

A legmagasabb zajszint kategóriában az OR=1,21 (CI:0,83-1,77) volt a referencia kategóriához viszonyítva (<50 dB) minden MI esetre a légszennyezésre való illesztés után. A tanulmány azt sugallja, hogy már 60 dB alatt is növekszik a kockázat. Ha az összes 50 dB feletti kategóriát egybevesszük, a korrigált OR=1,12 (CI:0,95-1,33) a referencia kategóriához viszonyítva. Amennyiben kizárták a nagyothallókat és az egyéb zajforrásnak való kitettséget, az érték magasabb lett (OR=1,38 (CI:1,11-1,71)).

Szintén ezzel a témával foglalkozott a Caerphillyben és Speedwellben lefolytatott két kohorsz vizsgálat (Babisch et al., 1999; Babisch, Ising, Gallacher, 2003), és a két nyugat-berlini eset-kontroll vizsgálat (Babisch et al., 1992; Babisch et al., 1994). Ezek eredményeiről ad tájékoztatást a 13. ábra és a 5. táblázat.



13. ábra Egyedi és összesített hatásbecslések (OR) a közúti zaj és a miokardiális infarktus prevalenciája (bal oldali grafikon) és incidenciája (jobb grafikon) közötti összefüggésről
(forrás: WHO, Night Noise Guidelines for Europe, 2009)

5. táblázat Egyedi és összesített hatásbecslések (OR) a közúti zaj (L_{day}) és a miokardiális infarktus incidenciája/prevalenciája közötti összefüggésről
(forrás: WHO, Night Noise Guidelines for Europe, 2009)

Közúti zajszint – L_{day} [dB(A)]						
Leíró tanulmányok	51-55	56-60	61-65	66-70		N
Caerphilly	1,00	1,00 (0,58-1,71),[13,29]	0,90 (0,56-1,44),[17,23]	1,22 (0,63-2,35),[8,98]		2 512
Speedwell	1,00	1,02 (0,57-1,83),[11,19]	1,22 (0,70-2,21),[12,62]	1,07 (0,59-1,94),[10,94]		2 348
Pooled	1,00	1,01 (0,68-1,50)	1,02 (0,72-1,47)	1,14 (0,73-1,76)		
Q-Test		p=0,96	p=0,41	p=0,77		
Elemző tanulmányok	60	61-65	66-70	71-75	76-80	N
Caerphilly + Speedwell	1,00	0,65 (0,27-1,57),[4,95]	1,18 (0,74-1,89),[17,48]	—	—	3 950
Berlin I	1,00	1,48 (0,57-3,85),[4,21]	1,19 (0,49-2,87),[4,94]	1,25 (0,41-3,81),[3,09]	1,76 (0,11-28,5),[0,50]	243
Berlin II	1,00	1,16 (0,82-1,65),[31,43]	0,94 (0,62-1,42),[22,76]	1,07 (0,68-1,68),[18,92]	1,46 (0,77-2,78),[9,27]	4 035
Berlin III	1,00	1,01 (0,77-1,32),[54,42]	1,13 (0,86-1,49),[50,87]	1,27 (0,88-1,84),[28,24]	—	4 115
Pooled	1,00	1,05 (0,86-1,29)	1,09 (0,90-1,34)	1,19 (0,90-1,57)	1,47 (0,79-2,76)	
Q-Test	1,00	p=0,57	p=0,87	p=0,84	p=0,90	

Odds Ratio, 95%-os confiança intervallum a ()-ben, súlyok a szögletes zárójelben [],
pooled = összevont elemzés (meta-analízis), p=a heterogenitásra vonatkozó Q-próba valószínűsége, N = esetszám

5.1.2 Repülőtéri közlekedésből eredő zaj

Főként keresztmetszeti tanulmányokban hasonlították össze a zajexpozíciónak kitett és nem kitett egyének csoportját. A zajexpozíció esetében magasabb átlagos vérnyomást mértek, emellett fokozottabb gyógyszer bevitelt, valamint a kardiovaszkuláris betegségek magasabb prevalenciáját találták (*Babisch, 2006*). Bár az egyes tanulmányokban megfigyelt összefüggések nem minden esetben voltak szignifikánsak, azt tendenciózusan mutatták, hogy a zajnak való kitettség összefügg a vérnyomás emelkedésével.

A Stockholm Arlanda repülőtér körüli 4 településen élő 2754 férfi kohorszát követték nyomon 1992-1994 és 2002-2004 között. A prospektív kohorsz tanulmányban azt vizsgálták, hogy a repülőgépek keltette zaj mennyiben van hatással a magas vérnyomás incidenciájára.

Az eredmények azt mutatták, hogy az 50 dB(A) feletti energiaátlagolt zajszintnek kitett személyek esetében a magas vérnyomás kialakulásának korrigált relatív kockázata közel 20%-kal volt magasabb volt a kontrollokhöz képest (RR=1,19 (95% CI:1,03-1,37)) a 10 éves megfigyelési periódus alatt. Az idősebb férfiak esetében kifejezettebb volt a hatás. Ha a regressziós modellben a zaj folyamatos változóként szerepelt, a kockázat növekedés 5 dB-ként 10% (CI:1,01-1,19) volt, ami azt mutatja, hogy a növekvő zajszinttel nő a kockázat is (*Eriksson et al., 2007*).

A HYENA (*Hypertension and Exposure to Noise near Airports*) vizsgálatban, ahol 6 európai repülőtér zajterhelését vizsgálták, kisebb szignifikáns kockázat növekedést figyeltek meg; az éjszakai (L_{night}) zajszint 10 dB-es növekedésével 14%-kal (CI:0,01-1,29) nőtt a magas vérnyomás kockázata (*Jarup et al., 2008*). A Schiphol (Amszterdam, Hollandia) repülőtér környékén korábban végzett vizsgálat során kisebb OR-t kaptak a súlyozott 24 órás zajindikátorra: (L_{den}) (OR=1,02 CI:0,98-1,06) 5 dB-enként (*Jarup et al., 2008, Haralabidis et al., 2008*).

Csak nagyon kevés olyan, felnőttekre vonatkozó epidemiológiai vizsgálat áll rendelkezésre, amelyben a repülőgépek okozta zaj és a szív- és érrendszeri betegségek klinikai állapotai közötti összefüggést vizsgálták. Babisch és van Kamp öt olyan tanulmányt azonosított a további metaanalíziséhez elfogadhatónak, ahol az expozíció és a kimenetel értékelésének érvényességére, valamint a zavaró tényezők statisztikai ellenőrzésére vonatkozó minimumkövetelmények teljesültek. Az expozíció-válasz függvény alapján az OR=1,06 (95% CI:1,00-1,13) a zajszint 5 dB-enkénti emelkedésekor (L_{dn} , 47,5-67,5 dB) (*Babisch et van Kamp, 2009*).

Az általános következtetés az, hogy elegendő bizonyíték van a repülőgépek zaja és a magas vérnyomás, valamint a szív- és érrendszeri gyógyszerek használata közötti pozitív kapcsolatra.

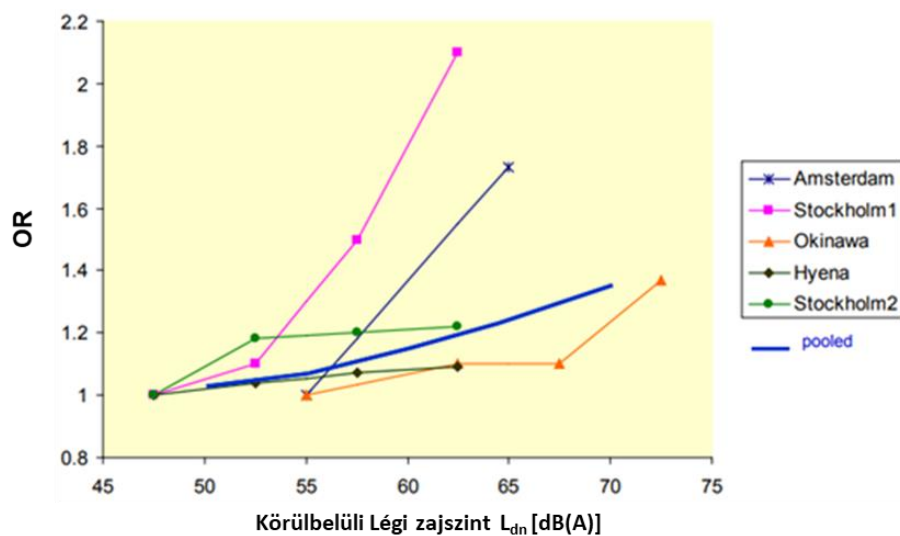
A tanulmányok közötti módszertani különbségek (zajértékelés, zajmutatók, a magas vérnyomás meghatározása), valamint a publikációkban szereplő folyamatos vagy fél-folyamatos (többkategóriás) zajadatok hiánya miatt még nem lehet egyetlen, általánosított és empirikusan alátámasztott expozíció-válasz összefüggést megállapítani a repülőgépek zaja és a szív- és érrendszeri kockázat közötti kapcsolatra vonatkozóan. Ugyanezen okból nem lehet választ adni a lehetséges hatásküszöbértékekre sem. E korlátozások ellenére azonban kísérletet tettünk egy „legjobb becslés” levezetésére, amely egyelőre, amíg több adat nem áll rendelkezésre, a

kvantitatív kockázatértékelés gyakorlati céljaira használható. A repülőgépek zajának 10 dB(A) nappali/éjszakai átlagos súlyozott hangnyomásszintjének 10 dB(A)-val történő növekedésére vonatkozó számított relatív kockázat („regressziós megközelítés”) a metaanalízis alapján $OR=1,13$ (95% CI:1,00-1,28, 45-70 dB(A)).

Az összesített becslés görbe látható a 8. ábrán. Mivel az összesített hatás becslése különböző tanulmányokon alapul különböző zajszint tartományokban, ezért nem lehet egyértelmű határvonalat meghúzni, ami felett a kockázat emelkedik.

Ezért vagy $L_{dn} \leq 50$ dB (lásd a 14. ábrán) vagy konzervatívabb megközelítés szerint $L_{dn} \leq 55$ dB értéket kell használni (RR=1) a mennyiségi kockázat számolásánál. Ez az előzetes görbe használható a mennyiségi kockázatbecslésnél (Berry et Flindell, 2009; EEA, 2010).

14. ábra A repülőtéri zaj és a hipertenzió összefüggése, expozíció-válasz függvény



(forrás: Babisch et van Kamp, 2009, EEA, 2010)

Egy olasz tanulmányban 6,4 (1,5-11,4) Hgmm-el magasabb szisztolés és 4,2 (1,0-7,3) Hgmm-el magasabb diasztolés napi átlagos vérnyomást mértek azoknál, akik 65 dB-nél ($L_{Aeq,24h}$) magasabb zajszintnek voltak kitéve (Ancona et al., 2010).

A Svájci Nemzeti Kohorsz öt éven át tartó követése (2000-2005) alapján azt találták, hogy a miokardiális infarktuszban (MI) elhalálozottak száma növekedett a repülőgépek okozta zaj szintjének és időtartamának növekedésével (L_{dn}). Akik 60 dB (A) feletti zajszintnek voltak kitéve, azoknál 30%-kal (HR=1,3 [95% CI:0,96-1,76]) volt magasabb a MI kockázata, mint a referencia kategóriában lévőkénél (<45 dB), miután korrigáltak légszennyezettségre és a főbb utaktól lévő távolságra. Azok esetében, akik legalább 15 éve voltak kitéve a 60 dB (A) feletti zajszintnek a kockázat már 50%-kal nőtt (HR=1,5 [95% CI:1,0-2,2]). Az expozíció szintje és időtartama dózis-válasz összefüggést mutatott (Huss et al., 2010).

Ezek az eredmények összességében arra utalnak, a repülőgépek okozta zajterhelés hosszú távon a magas vérnyomás és a MI kialakulásának fokozott kockázatával jár.

5.1.3. Következtetések

Az END-del összhangban a tagállamok jelenleg stratégiai zajtérképeket készítenek a környezeti zajterhelés becslésére. Az END (Annex III) javasolja a dózis-hatás összefüggések használatát a zaj lakosságot ért hatásainak becslésére. Elég bizonyíték áll rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy a környezeti zajnak való hosszútávú kitettség növeli a kardiovaszkuláris betegségek kockázatát. A kérdés most már az expozíció-válasz összefüggés nagyságrendje és kockázatnövekedés küszöbértéke (*WHO, 2018*).

Epidemiológiai zajvizsgálatok metaanalízisen alapuló előzetes expozíció-válasz görbét számoltak a közúti zaj és a MI incidenciája közti összefüggésből, másrészt a repülőgép keltette zaj és a magas vérnyomás közötti összefüggésből, melyek használhatóak a környezeti zaj szív-és érrendszerre gyakorolt hatásainak betegségteher becslésére (*EEA, 2010*).

Az Európai Bizottság a légi közlekedés ökológiai hatásainak – többek között a zajkibocsátásnak – kezelését célzó kezdeményezések kidolgozásán dolgozik, szinergiában az Európai Zöld Megállapodás (European Green Deal), a Fit for 55 csomag (Fit for 55 package), a Fenntartható és Intelligens Mobilitás Stratégia (Sustainable and Smart Mobility Strategy) és a Zéró Szennyezés Cselekvési Tervvel (Zero Pollution Action Plan).

Ennek megfelelően támogatja „A légi közlekedés zajhatásainak új megközelítési módon történő kezelése” (ANIMA) elnevezésű projektet, amelynek célja, hogy közvetlenül javítsa a repülési zaj által érintett emberek életkörülményeit (*Benz et al., 2022*).

A jövőbeni kutatásoknak a zaj tekintetében vizsgálniuk kell a nemek közti különbségeket, az egyes zajforrások kombinált hatását, valamint a zaj és a légszennyezés kombinált hatását. A vasúti zaj vonatkozásában is több ismeretre van szükség, főként a tehervonatok számának növekedése miatt, különös tekintettel az éjszakai időszakra (*Rüdisser et al., 2008*).

6. Kockázatbecslés

Egészségkimenetek kiválasztása

Az utóbbi években számos egészségkimenetet kapcsoltak össze a (főként közlekedési eredetű) zajterheléssel. A számszerűsíthető bizonyítékok, az eredmények összekapcsolása és a szakmai érvek meggyőzőek.

Jelenleg már számos részletes nemzetközi összefoglaló tanulmány és útmutató is elérhető a témakörben (*WHO, 2009b, the EEA, 2010, WHO, 2011, és EEA, 2020*).

A környezeti zajterhelés okozhat zavaró érzetet, bosszúságot, alvászavart, potenciálisan magas vérnyomáshoz, emellett ischémiás szívbetegséghez és a MI megnövekedett incidenciájához vezethet (*WHO, 2012; Babisch, 2006; Babisch, 2008; Miedema et Vos, 2007; EEA, 2020*). Összeköthető a fülzúgással, hatással van a kognitív képességekre és az általános mentális egészségre.

Az EBoDE projekt során az egészségkimenetek közé bevonták egyrészt a súlyos alvászavart, (HSD) általában a zajterhelés, másrészt az IHD-t (különös tekintettel a MI-ra) a közlekedési zajterhelés vonatkozásában (*Miedema et Vos, 2007; Hänninen et Knol, 2011; Babisch, 2006; Babisch, 2008*).

A repülőgépek keltette zajterhelés által okozott magas vérnyomást és szívbetegségeket nem vették figyelembe, mivel 2009-ben nem állt rendelkezésre szignifikáns vagy megerősített vizsgálat, sem metaanalízis. Meglepő módon, eddig nem fedeztek fel szignifikáns összefüggést a vasúti zajterhelés és a hipertenzió illetve az ischémiás szívbetegségek között.

Expozíció-válasz görbék

Jelenleg már alátámasztott expozíció-válasz függvények állnak rendelkezésre közlekedési zajterhelés okozta alvászavarra és zavaró érzetre.

Bár a legtöbb függvény L_{den} -ben vagy L_{night} -ban adja meg a kívánt értékeket, néhol még előfordul az L_{day} és az $L_{day,16h}$.

A MI tekintetében az expozíció-válasz becslése Babisch metaanalízisére támaszkodik (*Babisch, 2006; Babisch, 2008*). Az MI-re becsült OR alkalmazható minden típusú ischémiás szívbetegségekre (*Babisch, 2008*) a következő formula szerint (*Babisch, 200; Babisch, 2008*) (15. ábra):

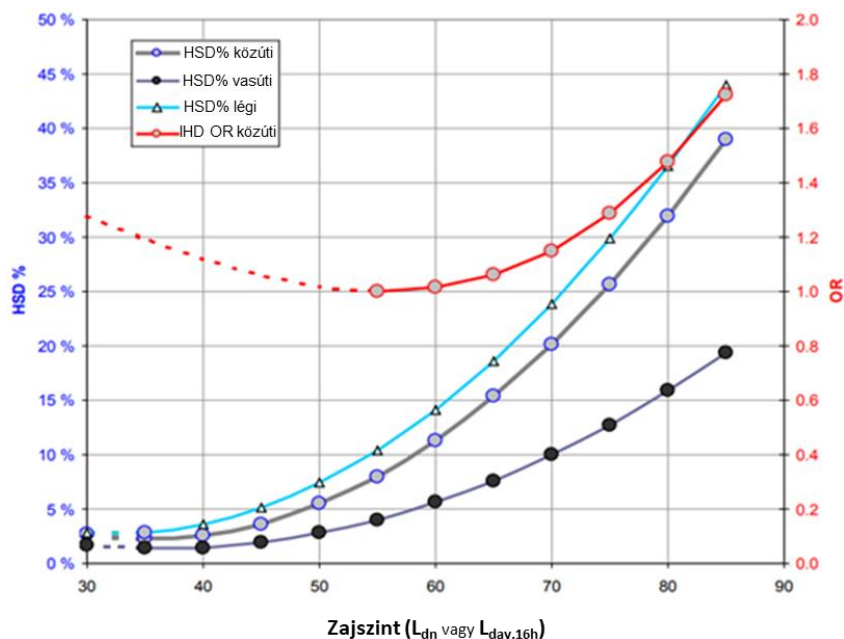
$$OR=1,63-0,000613 \times (L_{day,16h})^2 + 0,00000736 \times (L_{day,16h})^3$$

$$OR \text{ per } 10 \text{ dB} = 1,17; 95\% \text{ CI: } 0,87-1,57$$

A függvény érvényes az $L_{day,16h}$ zajszinteknél (07:00-23:00 óra) 55- 80 dB között.

Mivel az END jelentésben nincs rendelkezésreálló $L_{day,16h}$ adat, a következő képlettel lehet kiszámolni (*EEA, 2010; EC, 2006*):

$$L_{day,16h} = L_{den} - 2,5 \text{ dB}$$



Megjegyzés: A MI-ra számolt OR, az összes ischémiás szívbetegsége vonatkozik (piros görbe). A szaggatott vonal a görbén kívülre eső nem érvényes polinomiális értékeket mutatja.

Forrás: Hänninen és Knol

15. ábra HSD és IHD összefüggése a közlekedési zajjal, expozíció-válasz függvény

A közlekedési zajterhelés okozta HSD becslésére az alábbi képleteket használjuk. Az expozíció-válasz függvények Miedema és Vos metaanalízisére utalnak (Miedema et Vos, 2007). Az alvászavar súlyossága szerint három kategóriát különböztetnek meg.

Az alábbi képletek arra adnak becslést, hogy az emberek hány százaléka szenved súlyos alvászavartól az éjszakai zajterhelés függvényében.

$$\text{közúti zaj: } \% \text{HSD} = 20,8 - 1,05 L_{\text{night}} + 0,01486 (L_{\text{night}})^2$$

$$\text{vasúti zaj: } \% \text{HSD} = 11,3 - 0,55 L_{\text{night}} + 0,00759 (L_{\text{night}})^2$$

$$\text{repülőtéri zaj: } \% \text{HSD} = 18,147 - 0,956 L_{\text{night}} + 0,01482 (L_{\text{night}})^2$$

A képletek L_{night} 45-65 dB (maximum 70 dB)-nél érvényesek

Sajnos az END jelentésekből csak 50 dB feletti adatok állnak rendelkezésre.

Ország-specifikus zajtérképek expozíciós adatainak összesítése

Az expozíció mérőszáma és minimum értékei az END stratégiai zajtérképeiben:

- $L_{\text{den}} > 55$ dB, és
- $L_{\text{night}} > 50$ dB, külön becsülve közúti, vasúti, repülőtéri forgalomra.

A zajtérképek segítségével beazonosíthatóak a nagy forgalmú helyek, ami segíti a döntéshozókat a zajterhelés csökkentésében.

A 2007-ben teljesített első körben 5 dB-kénti adatok állnak rendelkezésre a legtöbb EU-s országból. Ezek a következőkre vonatkoznak:

- 250 000-nél nagyobb lélekszámú agglomerációkra (különböztve közúti, vasúti, repülőtéri forgalomra),
- Agglomeráción kívüli utak, évente több mint 6 millió járművel,
- Agglomeráción kívüli vasútvonalak, évente több mint 60 000 vonattal,
- Fontosabb repterek, évente 50 000-et meghaladó járattal (néhány külön az agglomeráción belül és kívül).

Ezek az adatok elérhetőek a Noise Observation and Information Service for Europe honlapján keresztül¹³, országra, régióra, városra és zajforrásra vonatkoztatva. Az adatok relatíve kis hányadát fedik le az EU lakosságának, mégis, mivel standardizált módon végezték, az adatok reprezentatívak a térképek hatókörében.

Mit tegyünk, ha a zajtérkép adatai hiányosak?

Az EBoDE projekt során az END jelentések teljesek voltak az L_{den} -re, de hiányosak az L_{night} -ra vonatkozóan. Ezt a következő képlettel lehet átalakítani:

$$L_{den}=L_{night}+7,5 \text{ dB}$$

Az L_{den} és az L_{night} bevezetése előtt egyéb mértékegységek is használatban voltak (L_{day} , $L_{day,16h}$, $L_{Aeq,24h}$). Ezek átváltására az Európai Bizottság munkacsoportja kidolgozta a „*Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure*” című útmutatót (EC, 2006).

A hiányzó adatok pótlására kidolgoztak számos módszert, ezekről a különböző módszertani WHO anyagok részletesen beszámolnak.

Egészségügyi adatok feldolgozása

Az expozíció mértékének becslése után szükség van kiválasztott egészségkimenetek szerinti egészségügyi adatokra. Ezek hozzáférhetőek a WHO adatbázisában, országok szerint: (*The global health observatory*)¹⁴. Itt megtalálhatóak az elveszített életévek (YLL), rokkantság miatt elveszített életévek (YLD), rokkantsággal korrigált életévek (DALY) mutatók.

Az EBD számításának lépései

Az EBD kiszámításakor arra törekszünk, hogy egy specifikus környezeti stresszorhoz egy betegségteher értéket rendeljünk. Jelen esetben ezt DALY-ban adjuk meg, melyet a YLD és az YLL összeadásával kapunk.

¹³ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/noise-observation-and-information-service>

¹⁴ <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/158>; WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019

A nem lineáris expozíció-válasz funkciók miatt minden expozíciós kategóriára külön kell meghatározni a relatív kockázatot. Mivel a zajszint általánosan 5 dB-es kategóriákban van megadva, a középértékek (az 5 dB kategóriákban pl. 50-54,9 dB-nél az 52,5 dB) beilleszthetők a nem-lineáris polinomok közé, egy lehetséges egyszerűsítésként. A számítás lépesei a következők. Az IHD betegségterhének meghatározásához első lépésben az OR-t (ami az RK jó megközelítése) kell meghatározni minden zajkategóriára. Második lépésben egy átlagos OR-t kell kiszámítani az OR-ek súlyozásával aszerint, hogy mekkora az exponált emberek száma. Végül az expozíció prevalenciával súlyozott átlag OR-t és az exponált populáció teljes részarányát (f) kell beilleszteni a régi formulába annak érdekében, hogy a populációnak tulajdonítható részarány is megjelenjen az EBD megközelítésben:

$$PAF = \frac{f \times (RR - 1)}{f \times (RR - 1) + 1}$$

És legvégül, az IHD-nak tulajdonítható EBD-t úgy kapjuk meg, hogy a PAF-ot szorozzuk a nemzeti statisztikákból nyert betegségteherrel:

$$EBD = \text{population-attributable fraction} \times \text{burden of disease.}$$

A HSD számolásakor először kiszámoljuk a HSD eseteket minden zajkategóriára, úgy, hogy az expozíció-válasz függvény középértékét vesszük minden expozíciós kategóriában, és megszorozzuk az expozíciós prevalenciával, így megkapjuk az az adott kategóriában exponált egyedek számát.

Összeadva az összes expozíciós kategóriát, megkapjuk az összes HSD-ben szenvedő számát.

Végül ezt a számot használjuk a YLD becslésénél, ahol a HSD-re számolt időtartam 1 év.

A DALY számításhoz, a betegségterhet így választottuk ki:

- Akut MI, mint az IHD helyettesítője (GBD kód U 107):
rokkantsági teher = 0,23 (CI:0,1-0,4)
- HSD:
rokkantsági teher = 0,07 (CI:0,04-0,10), a rokkantsági teher a *WHO Night Noise guidelines for Europe, 2009* alapján került meghatározásra.

A DALY számítás párhuzamos a legújabb WHO megközelítésekkel, leginkább a késés nélküli megközelítéssel, súlyozás nélkül vagy életkorra-súlyozással. A jobb összehasonlíthatóság érdekében a DALY-kat egymillió lakos/évben kell megadni. Az időbeli trendek nincsenek figyelembe véve a jelenlegi célokhoz.

Az eredmények kommunikációja

Az EBD modell nagy előnye, hogy a különböző környezeti stresszorokra és a különböző egészségkimenetekre egy számot jelöl meg, ami könnyebbé teszi az összehasonlítást. Ez nagyon hasznos lehet (feltéve, hogy a koncepciót megfelelően alkalmazva) a döntéshozatali és szakpolitikai folyamatokban, például a potenciális beavatkozások tekintetében. Másrészt, a modellnek van számos hátránya is, egyrészt az END-ből adódó expozíciós adatok hiányos volta, az egyes országok eltérő forgalom- és népsűrűsége, az egyes országok földrajzi elhelyezkedése (tranzíthatás) okozhat eltéréseket, másrészt eltérő módszereket alkalmaztak a

stratégiai zajtérképek megalkotásakor. Ezek az END és a „*Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure*” c. kiadványban bemutatásra kerültek (EC, 2006). Ezenfelül az END első fázisában szolgáltatott adatok csak nagy terhelésű ún. hotspotokat reprezentálnak, ahol nyilvánvalóan magasabb a zajterhelés.

Az egyes országok összehasonlítását nagyban befolyásolja a reprezentativitás, azaz a sűrűn lakott területekről több adat elérhető (nagyobb a lefedettség).

Eltekintve az END adatok ország-specifikus variációjától, az EBoDE projektben kiszámított DALY csaknem egészében (96%) a HSD-nek köszönhető megbetegedésből származik. A DALY ebben a tekintetben nagyon érzékeny a rokkantsági teherben megmutatkozó változásra, és kevésbé érzékeny az expozíciós szintben bekövetkező kisebb változásokra.

További bizonytalanságot eredményezett, hogy bizonyos közlekedési forrásokra (pl. a légi és vasúti forgalomra, amikor az IHD-t vizsgáljuk) és a lehetséges egészségügyi hatások más tüneteire, például a magas vérnyomásra vagy a bosszúságra vonatkozó expozíciós-hatás függvények hiányoztak vagy érvénytelenek voltak.

Összességében az így kiszámított DALY-k valószínűleg alábecsülik az egyes országokra nehezedő közlekedési zajterhelés okozta teljes betegségterhet. Másrészt, túl is becsülhetik az esetleges duplán számított esetek miatt (multikauzális hatások).

A számítás másik fajta korlátja abból adódik, hogy figyelmen kívül hagytak számos viselkedési és akusztikai tényezőt (a hálószobák helyzete, az ablaknyitási szokások, az ablakok szigetelése), ahogy a klimatikus viszonyok és a szocioökonómiai státuszt sem vizsgálják.

Végül, de nem utolsó sorban, ez a számítási módszer csak a közlekedési zajt veszi figyelembe, és nem foglalkozik pl. munkahelyi, vagy a szomszédból, diszkóból jövő zajjal, vagy fülhallgatóval történő zenehallgatással.

Következtetés és javaslatok

Az olyan professzionális hálózatok, mint a European Network on Noise and Health (ENNAH) és az International Commission on Biological Effects of Noise (ICBEN) szolgálhatnak platformként a környezeti zajterhelés kockázatbecsléséhez. Ezentúl, a Common Noise Assessment Methods (CNOSSOS-EU) foglalkozik még a stratégiai zajtérképek tökéletesítésével. (WHO, 2012; Classen, 2012).

7. Iránymutatás a zajterhelés egészséghatásának további kutatásához

A WHO által kidolgozott környezeti zajra vonatkozó iránymutatók (2018) kidolgozása nyilvánvalóvá tett néhány kulcsfontosságú tudásbeli hiányosságot, és kiemelte az ez irányban történő kutatások szükségességét. Ezeket az alábbiakban tárgyaljuk.

Iránymutatás a közlekedési zajterhelés egészséghatásának vizsgálatához

A közlekedési zajterhelés egészségre gyakorolt hatásának becsléséhez használt eddigiekben megvizsgált bizonyítékok rámutatnak arra, hogy a jövőbeni ajánlások pontos meghatározása miatt szükség van longitudinális vizsgálatokra, a jövőbeni ajánlások pontos meghatározásáért (6. táblázat).

6. táblázat Iránymutató a közlekedési zaj (közúti,vasúti,repülőtéri) egészségre gyakorolt hatásainak kutatásához

A jelenlegi bizonyítékok jellege	Korlátozott mértékben állnak rendelkezésre bizonyítékok a közlekedési zajterhelés egészségre gyakorolt hatásaival foglalkozó kohorsz és eset-kontroll tanulmányokból a zajexpozíció és az egészségkimenetek objektív mérésére vonatkozóan.
Vizsgálandó populáció	Kutatásokra van szükség a közlekedési zajterhelés gyermekekre és felnőttekre gyakorolt hatásait illetően.
Vizsgálandó expozíció	A közlekedési zajterhelés objektív mérésére vagy kiszámítására van szükség, leginkább a több, különböző zajforrásnak kitett kombinált zajexpozíciót vizsgáló tanulmányokból.
Összevetés	Az adatokat össze kellene hasonlítani az alacsonyabb szintű közlekedési zajterhelés hatásaival.
Egészségkimenetek	A következő egészségkimenetek mérése szükséges, objektíven becsülve és ahol lehet, harmonizálva pl. a közös protokollokkal: <ul style="list-style-type: none">– zavaró hatás,– alvásra gyakorolt hatások,– szív- és érrendszeri és anyagcsere hatások,– kognitív funkciók romlása,– mentális egészség, életminőség és jó közérzet,– halláskárosodás, fülzúgás,– egyéb releváns egészségkimenet.
Időintervallum	Az áttekintett irodalom 2014 októbere és 2016 decembere közti tanulmányokat ölelt fel.

Iránymutatás a zavaró érzet becsléséhez

Hogy meg tudjuk határozni az abszolút %HA értékét minden zajszinthez (és a megfelelő CI értékeket), szükség volna minden egyes tanulmány nyers adatainak átfogó analízisére. A bizonyítékok áttekintésekor ebben a tanulmányban másodlagos forrásokra hagyatkoztak, ezért nem helyettesíti az egyes adatok teljes metaanalízisét. Az általános expozíció-válasz kapcsolat kialakítása (az összes egyéni adatból származó metaanalízisből) javasolt, mint elsődleges kutatási irány (lásd 7. táblázat).

7. táblázat Javaslat az expozíció-válasz kapcsolat vizsgálatához

A jelenlegi bizonyítékok jellege	A zavaró érzetre vonatkozó bizonyítékok áttekintése nem nyújt általános expozíció-válasz függvényt, de rámutat szignifikáns különbségekre a régebbi görbékkel összehasonlítva. Megmutatja, hogy a meglévő expozíció-válasz függvényeket korrigálni kell, lehetőleg teljes metaanalízis során. Ez leginkább a repülőtéri és vasúti zajterhelésre vonatkozik, ami az eddigénél zavaróbbnak bizonyult az újabb adatok alapján.
Vizsgálandó populáció	Kutatásokra van szükség a repülőtéri, vasúti, közúti zajterhelés gyermekekre és felnőttekre gyakorolt hatásáról.
Vizsgálandó expozíció	A közlekedési zaj objektív mérésére van szükség.
Összevetés	Az adatokat össze kell hasonlítani alacsonyabb zajszintek hatásaival.
Egészségkimenet	Mérni kell az egészségkimeneteket, és a becsléseket a közös protokoll alapján kell elvégezni (mint pl. az ICBEN skála zavaró érzetre vonatkozó skálája).
Időintervallum	Az áttekintett irodalom 2014 októberéig készült tanulmányokat ölelt fel.

Iránymutatás a szélturbina keltette zaj egészséghatásának vizsgálatához

Ezen a területen további kutatások szükségesek, mivel a bizonyítékok vagy hiányosak, vagy alacsony, illetve nagyon alacsony megbízhatósági kategóriába sorolhatók. A kutatási irányra tett javaslatokat a 8. táblázat foglalja össze.

8. táblázat Iránymutatás a szélturbina keltette zaj egészségre gyakorolt hatásainak kutatásához

A jelenlegi bizonyítékok jellege	A rendelkezésre álló bizonyítékok minősége messze nem kielégítő, többnyire keresztmetszeti vizsgálatokból származnak. Szükség lenne átfogó longitudinális, nagy létszámú tanulmányokra a kvantitatív kockázatbecsléshez.
Vizsgálandó populáció	Gyermekek és felnőttek korcsoportjának elkülönítésén túl, akik szélturbinák közelében élnek, szükséges a fokozott érzékenységgű csoportok vizsgálata (különös tekintettel a gyermekekre, idősekre, és betegekre).
Vizsgálandó expozíció	A különböző zajszintnek és frekvenciának való kitettség (beleértve az alacsony frekvenciájú zajt) kül- és beltéri mért zajszintekkel (különös tekintettel az alvásra kifejtett hatásokra).
Összevetés	Az adatokat össze kell vetni hasonló területekkel (összehasonlítás kontroll csoporttal), ahol nincs szélturbina. A szélturbina építése előtt és után is vizsgálatokat kell folytatni.
Egészségkimenet	Mérni kell az egészséghatásokat, és objektíven becsülni a közös protokoll szerint (ICBEN). A vizsgálatok során figyelembe kell venni az egyéni zavaró faktorokat, mint a szélturbinával szembeni negatív attitűd, vizuális hatás, gazdasági nyereség, szocioökonómiai faktorok.
Időintervallum	Az áttekintett irodalom 2014 októbere (zavaró érzet) és 2016 decembere (kardiovaszkuláris hatások) közti tanulmányokat tartalmazott.

Általánosságban, az ipari zajterheléssel kapcsolatban átfogó kutatásokra van szükség.

Kívánatos lenne minden helyhez kötött forrás (beleértve a fűtő és klíma berendezéseket) egészségre gyakorolt hatásának vizsgálata. Továbbá, vizsgálandóak a rövid időtartamú, magas maximális hangszintű vagy magas impulzus szintű hangok.

Iránymutatás egyéb eredetű zajok egészséghatásának vizsgálatához

Ebbe a kategóriába tartoznak a szabadidős tevékenységből eredő zajok (fülhallgató, diszkó, koncert stb.). Itt a bizonyítékok vagy hiányosak voltak, vagy nagyon alacsony megbízhatósági kategóriába sorolhatók. Itt is longitudinális vizsgálatokra lenne szükség, objektív zajméréssel.

Precíz módszerekre van szükség a korai hallásromlás és más hallási rendellenesség felismeréséhez (lásd 9. táblázat).

9. táblázat Iránymutatás az egyéb eredetű zajok egészségre gyakorolt hatásainak kutatásához

A jelenlegi bizonyítékok jellege	Objektív mérésekkel alátámasztott átfogó kohorsz és eset-kontroll vizsgálatokból származó bizonyíték nem áll rendelkezésre.
Vizsgálandó populáció	Kutatásokra van szükség a különböző forrásokból eredő zaj gyermekekre és felnőttekre gyakorolt hatásáról.
Vizsgálandó expozíció	Az egyéb eredetű zajok objektív mérésére van szükség.
Összevetés	Az adatokat össze kell vetni olyanokkal, akik nem voltak kitéve ilyen jellegű zajnak.
Egészségkimenet	Elsődleges kimenetek: <ul style="list-style-type: none">– audiometriával mért hallásvesztés,– speciális küszöb analízis a kockázati szintek felmérésére a teljes hallásvesztés tekintetében,– pontos módszer a korai hallásromlás és más hallási rendellenesség felismeréséhez,– ideiglenes hallásküszöb módosulás, mint a permanens hallásküszöb módosulás előrejelzője,– a korral összefüggő hallásvesztés, függően a korai életkorban elszenvedett zajexpozíciótól (pl. hangos zene),– fülzúgás, objektíven mérve és szubjektíven vizsgálva.
Időintervallum	Az áttekintett irodalom 2015 júniusáig készült tanulmányokat ölelt fel.

Útmutató a lakosság egészségi állapotának javítását célzó zajcsökkentő intézkedések hatékonyságához

A legtöbb erre irányuló vizsgálat a közúti zajra vonatkozott (63%), ezt követte a repülőtéri zaj (13%) és a vasúti zaj (6%). A fennmaradó intézkedések az egyéb eredetű zajokat érintették (13%), valamint a kórházi létesítményekben fellépő zajt (4%). Szélturbinával illetve oktatási intézményekkel kapcsolatos beavatkozás nem történt.

Nincs világos bizonyíték a küszöbérték meghatározásához. Longitudinális vizsgálatokra lenne szükség, és indokolt egységes protokollok kidolgozása a jövőbeni kutatásokhoz (lásd 10. táblázat).

A kibocsátott zaj csökkentésén túl további egyéb lehetőségek is vannak arra, hogy a lakosság állapotát javítsuk, ezekben a zavaró hatás csökkentését célozzák meg.¹⁵

10. táblázat Iránymutatás a zajexpozíció csökkentését célzó beavatkozások hatékonyságának vizsgálatához

A jelenlegi bizonyítékok jellege	A jelenlegi beavatkozások hatékonysága kérdéses és változó minőségű.
Vizsgálandó populáció	Indokolt a környezeti zajnak kitett, meghatározott populációra irányuló beavatkozások hatásának vizsgálata.
Vizsgálandó expozíció	A beavatkozási lehetőségek mérlegelése számos ponton a zajforrás és az egészségkimenetek között.
Összevetés	Az adatokat össze kell vetni: <ul style="list-style-type: none"> – a steady-state kontroll csoporttal, hasonló területekről, különböző expozíciós grádienssel, – ugyanazon populáción végzett sorozatos vizsgálatokkal, a beavatkozás előtt és után lehetőleg többször ismételt utólagos mérésekkel.
Egészségkimenet	A jövőbeni beavatkozások értékelésére validált adatokat használjanak, és, ahol lehetséges, egységes expozíciós és egészségkimenet mérőszámokat, moderátorokat és zavaró tényezőket. A zajexpozíciót széles zajszint- és frekvenciatartományban (beleértve az alacsony frekvenciákat is) vizsgáló tanulmányokra van szükség, adatokkal a kül- és beltéri zajszintről (leginkább az alvásra gyakorolt hatásról). Az egészségkimenetekre is mérőszámokat kell megadni, a közös protokoll szerint: (pl. ICBEN skála a zavaró érzet becslésére) <ul style="list-style-type: none"> – zavaró érzet, – alvásra gyakorolt hatás, – érrendszeri és metabolikus hatások, – kedvezőtlen terhességi kimenet, – kognitív képességek romlása, – mentális egészség, jó életminőség és jól-lét, – hallásromlás és fülzúgás, – egyéb releváns egészségkimenet.
Időintervallum	Az áttekintett irodalom 2014 októberéig készült tanulmányokat ölelt fel.

¹⁵ Vö.: Herman Ottó Intézet: Segédlet a stratégiai zajtérképekre épülő intézkedési tervek készítéséhez, 3. sz. melléklete. MŰSZAKI HÁTTÉRDOKUMENTÁCIÓ a stratégiai zajtérképekre épülő intézkedési tervek készítéséhez, pp 146-154.
<http://www.hermanottointezet.hu/sites/default/files/003.pdf>

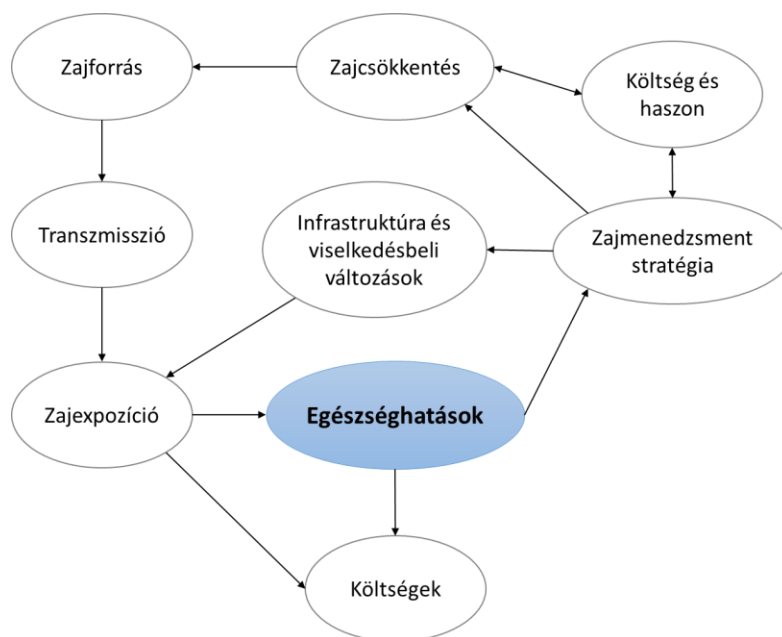
8. Zajcsökkentő intézkedések

Ahogy láttuk, a környezeti zajterhelés számos káros hatással bír az emberi egészségre. A végrehajtandó intézkedések prioritáslistájának kidolgozása érdekében célszerű költség-haszon elemzést végezni a lehetséges tevékenységekről.

A zaj menedzsment célja az alacsony zajexpozíció elérése és fenntartása, az emberi egészség és jólét érdekében. A konkrét célkitűzés a maximum zajexpozíciós szintek meghatározása, a zajbecslés elősegítése és ellenőrzése a környezet-egészségügyi programok részeként.

Az Egyesült Nemzetek Agenda 21 (UNCED, 1992), valamint az Európai Közlekedési, Környezetvédelmi és egészségügyi Charta (WHO Regional Office for Europe, 1999b) egyaránt számos olyan környezetvédelmi elvet támogatnak, amelyeken a kormányzati környezetvédelmi programok, ezen belül a zajcsökkentési programok is alapulhatnak. Ezek tartalmazzák:

1. Az elővigyázatosság elvét. A zajt minden esetben az adott helyzetben megvalósítható legalacsonyabb szintre kell csökkenteni. Amennyiben fennáll az egészségkárosító hatás lehetősége, intézkedéseket kell hozni a teljes tudományos bizonyíték híján is.
2. A „szennyező fizet” elvét. A zajterheléshez kapcsolódó összes költség (beleértve a megfigyelést, az irányítást, az alacsonyabb szinteket és a felügyeletet) a zajforrásért felelős személyeket terheli. Ugyanakkor a „szennyező fizet” elvét szükséges lenne kiegészíteni az „okozó fizet” elvvel (szükséges azt is megvizsgálni, hogy a kedvezőtlen állapot kialakulásáért ki a felelős).
3. A megelőzés elvét. Ahol lehetséges, intézkedéseket kell tenni a forrásnál keletkező zaj csökkentésére. A területrendezéskor figyelembe kell venni a zajterhelés és egyéb szennyezők egészségre gyakorolt káros hatásait. A zajcsökkentésre irányuló intézkedések egyes fázisait foglalja össze a 16. ábra.



16. ábra A zajcsökkentő stratégia kidolgozásának szakaszai
(forrás: WHO, 1999a. Guidelines for community noise)

A megfelelő jogszabályi környezet nélkül nehéz fenntartani egy aktív és sikeres zajmenedzselési programot. Ennek kapcsolódnia kell a közlekedési, energetikai, tervezési, fejlesztési és környezetvédelmi jogszabályokhoz. A célokat könnyebben el lehet érni, ha a különböző területeket érintő kapcsolódó jogszabályok összhangban vannak egymással.

Ezért szükséges lenne egy általános zajvédelmi stratégia, amely minden szektor számára elfogadott szempontokat és elveket tartalmazva kerül kidolgozásra. Ennek elfogadása után az egyes szektorok erre alapozva, ezzel összhangban alakítják saját szabályozásukat, akcióterveiket, működésüket, így biztosítható a koherencia az egyes területek között.

A környezeti zajterhelés káros hatásainak elkerülésére intézkedési tervet kell létrehozni. A zajcsökkentő intézkedések széles köre ismert, néhányuk nemzeti vagy regionális szinten szabályozható, mások helyileg. Ezekre sorol fel néhány példát a 11. táblázat.

11. táblázat Javasolt zajcsökkentő intézkedések (EEA, 1995)

Jogszabályi intézkedések	Példák
A zajkibocsátás szabályozása	A közúti és terepjáró járművek kibocsátási szabványai; építőipari gépek szabványai; kertészeti, erdő és mezőgazdasági gépek kibocsátási szabványai; Nemzeti rendeletek, EU irányelvek
A zaj transzmisszió szabályozása	Zajvédelmi intézkedési rendeletek
Zajtérképek készítése utak mentén, repülőterek, ipari létesítmények közelében	Monitorozó és modellező programok használatának kezdeményezése
Zaj immissziós szabályozás	Expozíciós határértékek, például a nemzeti immissziós normák, zajmonitorozás és modellezés; Az összetett zajhatásra vonatkozó előírások; A rekreációs zajra vonatkozó előírások
Sebesség- és forgalomkorlátozások	Lakóövezetek, kórházak, gyógyhelyek stb.
Rendeletek végrehajtása	Csendes övezet, fokozottan zajos övezet, végrehajtási terv
Akusztikai minimumkövetelmények az épületekre vonatkozóan	Építőipari jogszabálygyűjtemény az épületek hangszigetelésére vonatkozóan
Konstrukciós intézkedések	Példák
A kibocsátás működése a forrás módosítása által	Gumibroncs típusok, csendes aszfalt, motor tulajdonságainak módosítása
Új motortechnológia	Közúti járművek, repülőgépek, építőipari gépek
A transzmisszió csökkentése	Gépek zajszigetelése, zajfogó falak
Az épületek tájolása	Csendes zónák kialakítása
Forgalomszabályozás	A forgalom szabályozása elektronikus eszközökkel, sebesség- és forgalomkorlátozás
Passzív védelem	Épületek szigetelése, épületfront tervezése, nyílászárók cseréje
Területrendezés	Minimum távolságok forgalmas utak, ipari területek és lakóövezetek között, pihenőövezetek elhelyezkedése, elkerülő utak tervezése
Oktatás és információ	Példák
A nyilvánosság tájékoztatása, figyelemfelkeltés	A lakosság tájékoztatása a zaj egészségkárosító hatásairól; Végrehajtási intézkedések, zajszintek megállapítása, panaszok kivizsgálása, kezelése
Hangképek monitorozása és modellezése	Eredmények publikálása
Megfelelő számú zajszakértő	Oktatás, képzés, szakmai továbbképzések
Kutatás és fejlesztés	Tudományos kutatások finanszírozása

9. Ajánlások

9.1 Közúti zaj

Átlagos zajexpozíció esetén a WHO Irányelveket kidolgozó csoportja (Guideline Development Group, GDG) nyomatékosan ajánlja **53 dB L_{den}** alá csökkenteni a zajszintet, mert e szint felett egészségkárosító hatások jelentkeznek.

Éjszakai zajexpozíció esetén a GDG nyomatékosan ajánlja **45 dB** alá csökkenteni a zajszintet, mivel ennél magasabb zajszint káros hatással van az alvásra.

Az egyes egészségkimenetek esetében a referenciaszint (a releváns kockázat emelkedése az expozíció-válasz függvény viszonylatában) alkalmazásával megállapították az expozíciós szinteket. Közúti zaj esetében a nappali és éjszakai expozíciós szintek, illetve az ezekhez tartozó egészségkárosító hatások közötti összefüggését foglalja össze a 12-17. táblázat.

12. táblázat Átlagos expozíciós szintek (L_{den}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (közúti zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaszint	Bizonyíték osztályozása
Ischémiás szívbetegségek incidenciája 5%-os RR emelkedés 59,3 dB L _{den} -nél. A tanulmányokban mért legalacsonyabb zajszintek súlyozott átlaga 53 dB, a RR növekedés 10 dB-ként 8%	5% RR növekedés	jó minőségű
Hipertenzió incidenciája Egy tanulmány teljesítette a kritériumokat. Nem volt szignifikáns RR növekedés	10% RR növekedés	alacsony minőségű
A zaj zavaró hatásának erősen kitett populáció prevalenciája 10% AR=53,3 dB L _{den} -nél	10% AR növekedés	mérsékelt minőségű
Tartós halláskárosodás	nincs növekedés	nincs tanulmány
Olvasási képességek és hallás utáni szövegértés gyerekeknél	egy hónapos késés	nagyon alacsony minőségű

13. táblázat Éjszakai zajszintek (L_{night}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (közúti zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaszint	Bizonyíték osztályozása
Alvászavar A résztvevők 3%-nak volt alvászavara 45,4 dB-nél	3% AR	mérsékelt minőségű

14. táblázat Közúti zajexpozíció (L_{den}) egészségkárosító hatásainak összegzése

Mérőszám	Elsődleges egészség-kimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Kardiovaszkuláris betegségek</i>					
L_{den}	IHD incidencia	RR=1,08 (95% CI:1,01-1,15) 10 dB-enkénti növekedésnél	53 dB	67 224 (7)	magas minőségű
L_{den}	hipertenzió incidencia	RR=0,97 (95% CI:0,90-1,05) 10 dB-enkénti növekedésnél	N/A	32 635 (1)	alacsony minőségű
<i>Zaj zavaró hatása</i>					
L_{den}	erősen zavaró érzet (%HA)	OR=3,03 (95% CI:2,59-3,55) 10 dB-enkénti növekedésnél	40 dB	34 112 (25)	mérsékelt minőségű
<i>Kognitív képességek romlása</i>					
L_{den}	olvasás és hallás utáni szövegértés		N/A	2 844-nél több (1)	nagyon alacsony minőségű
<i>Hallásromlás és fülzúgás</i>					
L_{den}	tartós hallás-károsodás	–	–	–	–

15. táblázat Közúti zajexpozíció (L_{den}) és a zavaró érzet összefüggése (%HA)

L_{den} (dB)	Erősen zavaró érzet (%HA)
40	9,0
45	8,0
50	8,6
55	11,0
60	15,1
65	20,9
70	28,4
75	37,6
80	48,5

16. táblázat Közúti zajexpozíció (L_{night}) egészségkárosító hatásainak összegzése

Mérőszám	Elsődleges egészségkimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Alvásra gyakorolt hatás</i>					
L_{night}	%HSD	OR=2,13 (95% CI:1,82-2,48)	43 dB	20 120 (12)	mérsékelt minőségű

17. táblázat Közúti zajexpozíció (L_{night}) és az alvászavar közti összefüggés (%HSD)

L_{night} (dB)	%HSD	95% CI
40	2,0	0,9-3,15
45	2,9	1,40-4,44
50	4,2	2,14-6,27
55	6,0	3,19-8,84
60	8,5	4,64-12,43
65	12,0	6,59-17,36

9.2 Vasúti zaj

Átlagos zajexpozíció esetén a GDG nyomatékosan ajánlja **54 dB L_{den}** alá csökkenteni a zajszintet, mert e szint felett egészségkárosító hatások jelentkeznek.

Éjszakai zajexpozíció esetén a GDG nyomatékosan ajánlja **44 dB** alá csökkenteni a zajszintet, mivel ennél magasabb zajszint káros hatással van az alvásra.

A vasúti zajra vonatkozóan a nappali és éjszakai expozíciós szintek, illetve az ezekhez tartozó egészséghatások összefüggését foglalja össze a 18-22. táblázat.

18. táblázat Átlagos expozíciós szintek (L_{den}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (vasúti zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaszint	Bizonyítékok osztályozása
Ischémiás szívbetegségek incidenciája	5% RR emelkedés	nincs tanulmány
Hipertenzió incidenciája	10% RR emelkedés	alacsony minőségű
Erősen zavaró érzet prevalenciája (%HA)	10% AR	mérsékelt minőségű
Tartós halláskárosodás	nincs növekedés	nincs tanulmány
Olvasás és hallás utáni szövegértés	egy hónapos késés	nincs tanulmány

19. táblázat Éjszakai zajszintek (L_{night}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (vasúti zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaérték	Bizonyítékok osztályozása
Alvászavar 3%-a a résztvevőknek szenvedett súlyos alvászavartól $43,7L_{night}$ dB-nél	3% AR	mérsékelt minőségű

20. táblázat Vasút izajexpozíció (L_{den}) egészségkárosító hatásainak összegzése

Mérorszám	Elsődleges egészségkimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztvevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Kardiovaszkuláris betegségek</i>					
L_{den}	IHD incidencia	–	–	–	–
L_{den}	hipertenzió incidencia	RR=0,96 (95% CI:0,88-1,4)	N/A	7 249 (1)	
<i>Zavaró érzet</i>					
L_{den}	erősen zavaró érzet (%HA)	OR=3,53 (95% CI:2,83-4,39) 10 dB-enkénti növekedésnél	34	10 970 (10)	
<i>Kognitív képességek romlása</i>					
L_{den}	–	–	–	–	–
<i>Hallásromlás és fülzúgás</i>					
L_{den}	–	–	–	–	–

21. táblázat Vasúti zaj (L_{den}) és a zavaró érzet (%HA) közti összefüggés

L_{den} (dB)	Zavaró érzet (%HA)
40	1,5
45	3,4
50	6,6
55	11,3
60	17,4
65	25,0
70	33,9
75	44,3
80	56,1

22. táblázat Vasúti zajexpozíció (L_{night}) egészségkárosító hatásainak összegzése

Mérőszám	Elsődleges egészségkimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Alvásra gyakorolt hatás</i>					
L_{night}	%HSD	OR=3,06 (95% CI:2,38-3,93) 10 dB-enkénti növekedésnél	33 dB	7 133 (5)	mérsékelt minőségű

23. táblázat Vasúti zajexpozíció (L_{night}) és alvászavar (%HSD) összefüggése

L_{night} (dB)	Erősen zavarja az alvást	95% CI
40	2,1	0,79-3,48
45	3,7	1,63-5,71
50	6,3	3,12-9,37
55	10,4	5,61-15,26
60	17,0	9,48-24,3
65	26,3	15,20-37,33

9.3 Repülőtéri zaj

Átlagos zajexpozíció esetén a GDG nyomatékosan ajánlja **45 dB L_{den}** alá csökkenteni a zajszintet, mert e szint felett egészségkárosító hatások jelentkeznek.

Éjszakai zajexpozíció esetén a GDG nyomatékosan ajánlja **40 dB** alá csökkenteni a zajszintet, mivel ennél magasabb zajszint káros hatással van az alvásra.

A repülőtéri zajra vonatkozóan a nappali és éjszakai expozíciós szintek, illetve az ezekhez tartozó egészséghatások összefüggését foglalja össze a 24-29. táblázat.

24. táblázat Átlagos expozíciós szintek (L_{den}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (repülőtéri zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaérték	Bizonyítékok osztályozása
IHD incidencia	5% RR emelkedés	nagyon alacsony minőségű
Hipertenzió incidencia	10% RR emelkedés	alacsony minőségű
Erősen zavaró érzet prevalenciája (%HA)	10% AR	mérsékelt minőségű
Tartós halláskárosodás	nincs emelkedés	nincs tanulmány
Olvasás és hallás utáni szövegértés gyerekeknél	egy hónapos késés	mérsékelt minőségű

25. táblázat Éjszakai zajszintek (L_{night}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (repülőtéri zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaérték	Bizonyítékok osztályozása
Alvászavar	3% AR	mérsékelt minőségű
11%-nak volt súlyos alvászavara 40 dB-nél (L_{night})		

26. táblázat Repülőtéri zajexpozíció (L_{den}) egészségkárosító hatásainak összegzése

Mérőszám	Elsődleges egészségkimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Kardiovaszkuláris betegségek</i>					
L_{den}	IHD incidencia	RR=1,09 (95% CI:1,04-1,05) 10 dB-enkénti növekedésnél	47 dB	9 619 082 (2)	nagyon alacsony minőségű
L_{den}	hipertenzió incidencia	RR=1	N/A	4 712	alacsony minőségű
<i>Zavaró érzet</i>					
L_{den}	erősen zavaró érzet (%HA)	OR=4,78 (95% CI:2,27-10,05) 10 dB-enkénti növekedésnél	33 dB	17 094 (12)	mérsékelt minőségű
<i>Kognitív képességek romlása</i>					
L_{den}	olvasás és hallás utáni szövegértés	1-2 hónap késés 5 dB-enkénti növekedésnél	kb. 55 dB		mérsékelt minőségű
<i>Halláskárosodás és fülzúgás</i>					
L_{den}	tartós halláskárosodás	–	–	–	–

27. táblázat Repülőtéri zaj és a zavaró érzet közötti (%HA) összefüggés

L_{den} (dB)	Erősen zavaró érzet (%)
40	1,2
45	9,4
50	17,9
55	26,7
60	36,0
65	46,5
70	55,5

28. táblázat Repülőtéri zajexpozíció (L_{night}) egészséghatásainak összegzése

Mérőszám	Elsődleges egészség- kimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Alvásra gyakorolt hatás</i>					
L _{night}	%HSD	OR=1,94 (95% CI:1,61-2,33) 10 dB-enkénti emelkedésnél	35 dB	6 371 (6)	mérsékelt minőségű

29. táblázat A repülőtéri zaj expozíció (L_{night}) és az alvászavar (%HSD) közti összefüggés

L_{night} (dB)	%HSD	95% CI
40	11,3	4,72-17,81
45	15,0	6,95-23,08
50	19,7	9,87-29,60
55	25,5	13,57-37,41
60	32,3	18,15-46,36
65	40,0	23,65-56,05

9.4 Szélturbina keltette zaj

Átlagos zajexpozíció esetén a GDG feltételesen ajánlja **45 dB L_{den}** alá csökkenteni a zajszintet, mert e szint felett egészségkárosító hatások jelentkeznek.

Éjszakai zajexpozíció esetén a GDG feltételesen ajánlja az éjszakai szélturbina zajexpozíció csökkentését.

Ezen zajexpozícióval kapcsolatban még kevés a rendelkezésre álló irodalom.

A szélturbina keltette zajra vonatkozóan a nappali és éjszakai expozíciós szintek, illetve az ezekhez tartozó egészséghatások összefüggését foglalja össze a 30-32. táblázat.

30. táblázat Átlagos expozíciós szintek (L_{den}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (szélturbina keltette zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaérték	Bizonyítékok osztályozása
IHD incidencia	5% RR emelkedés	nincs tanulmány
Hipertenzió incidencia	10% RR emelkedés	nincs tanulmány
Erősen zavaró érzet prevalenciája (% HA)	10% AR	alacsony minőségű
Tartós halláskárosodás	nincs emelkedés	nincs tanulmány
Olvasás és hallás utáni szövegértés gyerekeknél	egy hónapos késés	nincs tanulmány

31. táblázat Éjszakai zajszintek (L_{night}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (szélturbina keltette zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaszint	Bizonyíték osztályozása
Alvászavar 6 tanulmány állt rendelkezésre	3% AR	alacsony minőségű

A bizonyítékok alacsony minősége és heterogenitása miatt a GDG nem tudott meghatározni ajánlást az éjszakai zajszintet illetően.

32. táblázat Szélturbina keltette zaj egészségkárosító hatásainak összegzése (L_{den})

Mérőszám	Elsődleges egészségkimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Zavaró érzet</i>					
L _{den}	%HA	nem lehetett összesíteni	30 dB	2 481 (4)	alacsony minőségű

9.5 Egyéb eredetű zaj

Átlagos zajexpozíció esetén az egyéb zajforrásokból eredő éves átlag csökkentését **70 dB** $L_{Aeq,24h}$ érték alá ajánlja feltételesen a GDG, mert e felett egészségkárosító hatások jelentkeznek.

Egyedi és intermittáló zajeseményeknél a GDG a meglévő útmutatókat feltételesen javasolja a halláskárosodás kockázatának csökkentésére.

Elővigyázatosságból a GDG szigorúan javasolja a törvényhozóknak, az útmutatóban előírt zajszint feletti zajexpozíció megakadályozását, mind az átlagos, mind az egyedi és intermittáló zajeseményekre.

Ezen kategóriába tartozó zajexpozíció esetében az expozíció-válasz függvény meghatározásához kevés adat áll rendelkezésre, erről tájékoztat a 33. táblázat. Megbecsülték az éjszakai zajexpozíció hatását az alvászavarra, ezt a 34. táblázat szemlélteti, az egészségkárosító hatásokat a 35. táblázat ismerteti.

33. táblázat Átlagos expozíciós szintek ($L_{Aeq,24}$) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaérték	Bizonyítékok osztályozása
IHD incidencia Hipertenzió incidencia Erősen zavaró érzet prevalenciája (%HA) Olvasás és hallás utáni szövegértés gyerekeknél		nincs bizonyíték
Tartós halláskárosodás	nincs növekedés	nagyon alacsony minőség/nincs bizonyíték

34. táblázat Éjszakai zajszintek (L_{night}) az elsődleges egészségkimenetek vonatkozásában (egyéb zaj)

Elsődleges egészségkimenetekre vonatkozó bizonyítékok	Referenciaérték	Bizonyítékok osztályozása
Alvászavar	3% abszolút kockázat	nincs bizonyíték

35. táblázat Egyéb eredetű zaj egészségkárosító hatásainak összegzése

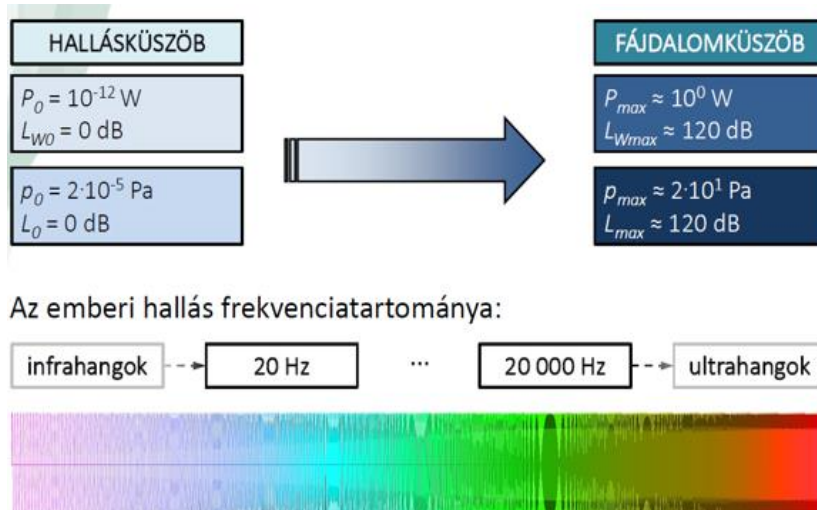
Mérőszám	Elsődleges egészségkimenet	Kvantitatív kockázat	Legalacsonyabb megfigyelt zajexpozíció	Résztevők száma (tanulmányok)	Bizonyítékok osztályozása
<i>Halláskárosodás és fülzúgás</i>					
$L_{Aeq,24}$	tartós halláskárosodás	nem becsült	–	484 (3)	nagyon alacsony minőségű

(WHO, 2018: Environmental Noise Guidelines for the European Region)

10. Az infrahang és az ultrahang

A hangfrekvenciás rezgéseket három nagy csoportba soroljuk: infrahangoknak a 20 Hz alatti, hallható hangoknak a 20 Hz-20 kHz-tartományba eső, míg ultrahangoknak a 20 kHz feletti frekvenciájú hanghullámokat nevezzük.

Mind az infrahang, mind az ultrahang az emberi fül hallástartományán kívül eső hang, így annak érzékelése fülünkkel nem lehetséges (17. ábra).



17. ábra Az emberi hallás dinamikatartománya
(forrás: Márkus, 2020)

Az infrahangok fontos tulajdonságai: egyrészt, hogy közegben (légkör, víz, talaj) kevésbé csillapodnak, ezáltal nagy távolságra (akár több száz kilométerre is) terjednek. Másrészt, az alacsony frekvenciának köszönhetően terjedését nagyon bonyolult meggátolni, könnyen át tud hatolni akár szilárd építmények falain is.

10.1 Az infrahang természetes forrásai

Az infrahang első tudományosan dokumentált észlelése a Krakatau tűzhányó 1883-as kitörésekor történt, amikor a barométerek a Föld sok pontján alacsony frekvenciás rezgéseket rögzítettek. Lényegében ez az esemény indította útjára a légköri infrahangok kutatását. Azóta ismert, hogy infrahang sokféle természeti jelenség, esemény során keletkezik. Viharos időjárás közben (tájfún, tornádó), a tenger hullámszakor, lavina, vulkánkitörés vagy földrengés során, vízesés közelében, jéghegy leomlásakor, villámláskor és sarki fényben (Garcés et al., 2004; Garcés et al., 2005).

Az infrahang-keletkezés ideje lehet rövid, impulzusszerű, vagy hosszantartó. A létrejövő infrahang frekvenciája a létrehozó test méretével fordítottan arányos, a nagyobb test alacsonyabb frekvenciájú infrahangot tud létrehozni. A legalacsonyabb frekvenciájú infrahang a hegyek fölött kialakuló légörvényes áramlásban jön létre, ez a frekvencia lehet akár 0,01 Hz is.

A kutatók arra gyanakszanak, hogy a madarak hallják a heves viharokhoz kapcsolható infrahangokat, melyeket az ember már nem képes érzékelni (20 Hz alatti frekvencia).

A tornádós szupercellák pedig erőteljes infrahangokat bocsátanak ki, melyeket akár több ezer kilométerről is érzékelni lehet. Ezek frekvenciája pedig pontosan megegyezik azzal a tartománnyal, ahol az énekesmadarak hallása a legérzékenyebb. Ráadásul az infrahangok intenzitását és Doppler-eltolódásait is képesek érzékelni, ezáltal a veszélyes időjárási rendszerek mozgási irányait is képesek nagy távolságból megállapítani.

Óceáni, nem lineáris felszíni hullámok és tenger alatti áramlások kölcsönhatásakor erős, 0,2 Hz körül frekvenciájú infrahangok keletkeznek, ezeket idegen szakszóval microbaromnak nevezik.

A bálnák, elefántok, vízilovak, rinocéroszok, zsiráfok, okapik és az aligátorok ismertek arról, hogy infrahangot bocsátanak ki nagy távolságú kommunikáció céljából (ez a bálnák esetében több száz km is lehet).

A biológusok feltételezik, hogy egyes vándorló madarak a tájékozódásukhoz felhasználják a természetben létrejövő infrahangokat, ilyen források például a hegyek környezetében létrejövő örvényes áramlások. Az elefántok által kibocsátott infrahang több száz km-re terjed a szilárd talajban, amit fajtársaik a lábukon keresztül érzékelnek. Ezeknek a hangoknak a frekvenciája a 15-35 Hz tartományban van, és elérhetik a 117 dB hangnyomást. Az infrahangokat a fajtársak mozgásának összehangolására és különösen a párválasztás időszakában használják.

10.2 Az infrahang humán forrásai

Az infrahang tehát a természetben széles körben elterjedt jelenség, amelyet számos módon, például a szél és a mennydörgés is előidézhethet. Ugyanakkor a modern társadalom nagymértékben megnövelte a keletkezését olyan mesterséges források révén, mint az ipari létesítmények, a zárt terekben lévő mechanikus berendezések rezgése (például a fűtési és szellőztetőrendszerek), a szélturbinák és a közlekedés, vagy egyéb munkahelyi források (Chaban *et al.*, 2021).

Infrahang elsősorban égési folyamatoknál és a járművek haladása során keletkezik.

Gyakran találkozhatunk ipari környezetben infrahanggal pl: égetők, nagyméretű gázégők, kazánok, hőerőművek égési lángfrontjánál, emellett az égéslevegő betáplálásánál is kialakulhat infrahang.

Ide tartoznak a visszhangos, kedvezőtlen akusztikájú betonépületekben áramló levegő, esetleg a nagyméretű tartályok töltésekor vagy ürítésekor keletkezett alacsony frekvenciájú áramlási rezgések, vibrációk által keltett hanghullámok.

Nemcsak munkahelyen kell számolni az infrahang egészségre gyakorolt hatásával, hanem a környezeti és otthoni zajterhelés is okozhat panaszokat. Infrahangot a nagysebességű vasúti és közúti közlekedés, a repülőgépek, szélenergia-berendezések, valamint szélturbinák is kelthetnek. Meteorológiai tényezők – pl. szél – is jelentős infrahang terhelést válthatnak ki, ami különösen érvényesül a magas épületek nagy ablakfelületein, így gyakran alakul ki infrahang toronyházak és a levegő turbulens áramlásának (erős szél) kölcsönhatásából. Szintén jellegzetes infrahangforrás a

különböző nagyméretű, lassú fordulatszámú üzemelő belsőégésű motorok pl. vasúti vagy vízi járművek, gázmotoros kiserőművek erőforrásaként. Jelentős az infrahang expozíció a hajózásban (folyami, tengeri személy és áruszállítás), mely érinti mind a hajószemélyzetet, mind az utasokat, nem utolsósorban pedig vízi ökoszisztémákat.

Kiemelt jelentőségű infrahangforrás a szélérőmű, a szélturbina. Az infrahangok a környezeti közegben (légtér, víz, talaj) kevésbé csillapodnak, ezáltal nagy távolságra terjednek. A hangnyomásszintje a tipikus szélérőmű aljától 50 méter távolságban 50-60 dB(A), ettől 500 méterre a hangnyomásszintje körülbelül 35 dB(A)-ra mérséklődik. A tíz szélturbinát magába foglaló szélérőműpark 500 méteres távolságban körülbelül 42 dB(A) hangnyomásszintet generál (Horváth G., 2005).

10.3 Az infrahang felhasználása

Az infrahangokat széles körben használják szeizmológiai, geofizikai és légköri kutatások során, kőolaj és földgáz felkutatásakor, földrengések, vulkánkitörések, cunami, tájfun stb. előrejelzésekor. Szintén használja az orvosdiagnosztika (Ballisztó-kardiológia és szeizmó-kardiológia).

10.4 Egészségügyi szempontok az infrahang vonatkozásában

Az emberi tevékenység következtében az infrahangnak való kitettség egyre növekszik (szélturbinák, közlekedés, munkahelyi expozíció, stb.).

Mint minden energia, az infrahangok és az ultrahangok is okozhatnak káros hatásokat akár a természeti környezetben, akár az élőlényekben. A károkozás mértéke minden esetben az élőlényt ért hangok intenzitásával, azaz a hangerővel arányos.

Az infrahang emberi szervezetre gyakorolt hatását elemezve – hasonlóan a hallható hangokhoz – meg kell különböztetni a zavaró, kellemetlen érzetet keltő intenzitás szinteket a primer egészségkárosító hatást kiváltó hangnyomásszintektől.

Az infrahang, főleg a természetes források esetében az arra érzékenyeknél időváltozást „előrejelző” fejfájást okozhat, míg mesterséges forrásai az alacsony frekvenciájú vibrációhoz hasonló tüneteket, azaz émelygést, szédülést, hányingert, erősebb hangok esetén szervek vibrációját okozhatják. Kellő erősségekben rosszullétet, emésztési zavarokat, pánikhangulatot is okozhat. Egyes állítások szerint különösen veszélyes a nagy teljesítményű, 7 Hz-es infrahang.

Az infrahangok – 16-20 Hz-nél – már **90 dB** hangnyomásszint esetén is hatnak az emberi szervezet működésére. Ez mérhető az alvászavarokban, a nehéz feladatok végrehajtásának hibáival, az autonóm idegrendszer funkcionális zavaaraival. Az infrahang hatásának tulajdonított tünetek közé tartozik többek között a fejfájás, a koncentrációs zavar, a hangulatváltozás, a depresszió, az alvászavarok, a pulzáció és a pánikbetegség, különösen azoknál az egyéneknél, akik krónikusan, foglalkozásból adódóan vagy az ipari források közelében lakva vannak kitéve a zajnak (Møller et Lydolf, 2002; Leventhall, 2004). E hatásokra vonatkozóan hazai egészségügyi határértékkel nem rendelkezünk. Irodalmi adatok alapján az egészséghatást kiváltó infrahang hangnyomásszinteket a 36. táblázatban foglaljuk össze..

36. táblázat Egészséghatást kiváltó infrahang hangnyomásszintek

<i>Zavaró hatást kiváltó infrahang hangnyomásszintek</i>				
Frekvencia (Hz)	1	5	10	20
Hangnyomásszint (dB)	120	118	103	90

A **120 dB-t** meghaladó infrahangok hangérzetet keltenek, nystagmust válthatnak ki, valamint egyensúlyzavarokat okozhatnak. Bizonyos esetekben légzési zavarok léphetnek fel.

Az egészségkárosodás megelőzése érdekében maximálisan megengedhető expozíciós értékeket – szintén irodalmi adatok alapján – a 37. táblázat tartalmazza.

37. táblázat Maximálisan megengedhető infrahang expozíciós értékek

<i>Maximálisan megengedhető infrahang expozíciós értékek</i>				
Frekvencia (Hz)	1	5	10	20
Hangnyomásszint (dB)/ 1 óra exp. idő	145	138	135	132
Hangnyomásszint (dB)/ 8 óra exp. idő	136	129	126	123
Hangnyomásszint (dB)/ 24 óra exp. idő	131	124	121	118

A hazai MSZ 13–132–1989. számú mérési szabványban szereplő G₁ szűrő súlyozása a közvetlen észlelést /hangérzet/, a G₂ szűrő súlyozása a nem specifikus /vegetatív idegrendszeri/ hatások értékelését szolgálja.

Bár a leírtak alapján szükséges lenne, jelenleg nem létezik az infrahangokra vonatkozó hatályos jogi szabályozás Magyarországon, így infrahangra vonatkozó hazai egészségügyi határértékkel sem rendelkezünk.

Az infrahangnak tehát, bár hangként nem észlelhető, van fiziológiai hatása az emberi szervezetre. Az a kérdés azonban, hogy az infrahang milyen mértékű veszélyt jelent a fizikai és mentális egészségre nézve, továbbra is sok szakmai vita tárgyát képezi. Évtizedek óta széles körben elterjedt nézet, hogy az infrahang frekvenciák túl alacsonyak ahhoz, hogy azt a hallószervünk feldolgozza, mivel az emberi hallási tartományának általában csak a 20-2 000 Hz közötti frekvenciákat tartják. Érzékelhető viszont az infrahang, ha a hangnyomás intenzív. Így 4 Hz esetén 107 dB, 10 és 20 Hz esetében pedig 97, ill. 79 dB intenzitás szükséges a hallható hangküszöb eléréséhez. Idősebbek (50-60 évesek) mintegy 7 dB értékkel kevésbé érzékenyek.

Vannak arra utaló jelek, hogy az épületre ható ritmikus nyomásimpulzusok zavaró érzetet, bosszúságot okozhatnak a beltérben lévő személyeknél (*van Kamp et van den Berg, 2018*). Az infrahang tartományban nagy hangnyomás esetén a testben keltett rezgést is lehet érezni. A legáltalánosabb tünet azonban az infrahang okozta zavaró érzet. Az infrahang ún. nem specifikus egészségproblémát okozhat (*Bárdos, 2008*). A kellemetlen (diszkomfort) érzés, mint

a teljesítményromlás, enyhe kognitív zavarok, emocionális labilitás, motiváció csökkenés, koncentráció zavar, viselkedésváltozás igen nehezen diagnosztizálható, nem jól definiált, kimenetükben is bizonytalan tünetekben nyilvánulhat meg.

Állatkísérletekben az infrahang expozíció 100 dB feletti intenzitása a belső fül károsodását okozza, szív- és érrendszeri, valamint idegrendszeri elváltozásokhoz vezetett, 140 dB felett pedig hallásvesztést okozott.

Az önkénteseken végzett rövid idejű (néhány perces) nagy intenzitású (100 dB feletti) infrahang vizsgálatok az azonnali hatás kimutatására irányultak. Mérsékelt (10-22 dB) átmeneti hangküszöb eltolódás volt megfigyelhető három percnyi 2-12 Hz-es 119-144 dB erősségű infrahang expozíció követően. A hangküszöb gyorsan és teljesen helyreállt az expozíció után.

Vizsgálatok során szív- és érrendszeri (pulzus, vérnyomás) valamint idegrendszeri elváltozásokat (kognitív funkciókra, az alvás-ébrenléti állapotra gyakorolt hatást) is kimutattak; 140 dB felett pedig hallászervi fájdalom tünetei mutatkoztak (*Health Protection Agency, London, 2010*).

Chaban és munkatársai a magas infrahangszintnek való kitettség hatását vizsgálták a szívizom összehúzódására. A laboratóriumi vizsgálat során – más vizsgálatokhoz hasonlóan – azt a következtetést vonták le, hogy a magas (100 dB-nél nagyobb) infrahangszintnek való kitettség már egy órával az expozíció követően csökkenti a szívizom összehúzódási képességét (*Chaban et al., 2021*).

A 2000 és 2015 között végzett epidemiológia vizsgálatok szisztematikus áttekintése (*Baliatsas et al., 2016*) megerősítette az összefüggést az alacsony frekvenciás zajexpozíció és az önbevalláson alapuló zavaró érzet és a különböző neurológiai tünetek (alvászavar, koncentrációs nehézségek és fejfájás) előfordulása között. A tanulmányok inkonzisztens jellege, a kis esetszámok nem tettek lehetővé további megalapozott következtetések levonását.

A 2009 és 2017 között publikált szisztematikus áttekintések, valamint új bizonyítékok alapján hasonló eredményre jutottak a szerzők. Eszerint a **szélturbinák** hangjának való kitettség nagyobb eséllyel okoz zavaró hatást vagy bosszúságot. Emellett, vagy ennek következtében, a szélturbina vagy szélérőműpark közelsége nem befolyásolja bizonyított módon negatívan a stresszreakciókat, az életminőséget, az alvásminőséget (szubjektív és objektív) vagy más egészségügyi panaszokat. Ennek tisztázására a jövőben ajánlott nagyobb léptékű, különböző körülmények között végzett, prospektív kohorsz vizsgálatok elvégzése. Ideális esetben a szubjektív adatokkal együtt a teljes frekvenciatartományban mért zajszinteket és a rutinszerűen gyűjtött egészségügyi nyilvántartásokban szereplő adatokat kellene használni (*van Kamp et van den Berg, 2018*).

10.5 Az ultrahang természetes forrásai

Az ultrahang az emberek számára ugyan nem, de többféle állat számára hallható; közismert, hogy a kutyák, madarak, tücskök és denevérek azok közé az élőlények közé tartoznak, amelyek az emberi fül hallástartományán feletti hangokat is képesek érzékelni hallószervükkel. Emellett a denevérek 50 és 100 kHz közötti ultrahangot használnak tájékozódási rendszerként.

A denevérek mellett a delfinek és a cetek maguk is állítanak elő ultrahangot, mely a tájékozódásukat teszi lehetővé kedvezőtlen látási körülmények között.

10.6 Az ultrahangok humán forrásai

Ezek rendkívül sokrétűek, jellemzően a magas fordulatszámon üzemelő ipari turbinák vagy villamos forgógépek tekinthetők elsődleges ultrahangforrásnak. Számos egyéb területen találkozhatunk humán eredetű ultrahanggal:

- orvosi diagnosztikai- és terápiás felhasználás,
- roncsolásmentes ipari anyagvizsgálat (hegesztési varrat, anyagvastagság),
- fogászati berendezések,
- laboratóriumi és ipari ultrahangos mosók, tisztítás,
- kisállat, rágcsáló és rovarriasztók,
- ultrahangos párasítás,
- műanyaghegesztés,
- sugárhajtású repülőgépeknél, helikoptereknél,
- vezeték nélküli kommunikáció.

10.7 Az ultrahang felhasználása

Az ultrahang, mint hullámmozgás, lényegében ugyanazokkal a fizikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a hanghullámok. Magasabb frekvenciájuk és rövidebb hullámhosszuk miatt azonban az ultrahanghullámok kevésbé törnek meg, mint a hallható hanghullámok, és gyorsabban elnyelődnek a levegőben; következésképpen az ultrahanghullámok nem terjednek túl nagy távolságokra.

Az ultrahangot felhasználják visszaverődésen alapuló mélység-, illetve távolságmérésre, víz alatti távközlésben (vezeték nélküli kommunikáció), repülőterek ködmentesítésére vagy éppen lakások levegőjének párasítására. Az ultrahang igen használhatónak bizonyult az orvosi, a műszaki gyakorlatban különböző roncsolásmentes vizsgálatok és képalkotási eljárások tekintetében.

Emellett a lakosság számos egyéb forrásból is ki lehet téve az ultrahangnak, beleértve a különböző fogyasztási cikket, (pl. ultrahangos tisztítóeszközök, kamerák távolságmérő eszközei, betöréssjelzők stb.), állatok riasztására használt eszközök, illetve a terápiás célokra túl a szépségipar is használja esztétikai célokra.

Passzív felhasználásnak nevezzük, amikor az alkalmazott ultrahang energiatartalma kicsi, nem okoz elváltozásokat a vizsgált anyagokban és az emberi szervezetet sem károsítja.

Ultrahangot jellemzően az inverz piezoelektromosság vagy a magnetrostrikció jelenségét felhasználva állíthatunk elő.

A diagnosztikai módszerek alapja, hogy amikor az ultrahang egyik közegből a másikba lép, úgy viselkedik, mint a többi hullám, az elnyelődés miatt az energiája csökken, a terjedés iránya megváltozik, azaz megtörik, esetleg visszaverődik. Ennek segítségével szilárd testekben

megbúvó üregeket deríthetünk fel, távolságokat mérhetünk a tenger felszíne alatt, a méhben elhelyezkedő magzatról, a vesében vagy az epében keletkezett kőről készíthetünk képet.

A nagy energiájú ultrahangot terápiás beavatkozásokra is használják. Az aktív felhasználás esetén nagyobb intenzitású, erősebb rezgéseket használnak arra, hogy kémiai reakciók létrejöttét segítsék, életfolyamatokat serkentsenek, illetve gátoljanak, baktériumszámot csökkentsenek és ezzel is tisztítsák vagy éppenséggel szétzúzzák a vese- vagy epekövet (ESWL).

A magas intenzitású fókuszált ultrahangot (HIFU), főként tumorok célzott hőkezelésére (elégetésére) alkalmazza az orvostudomány. Ezek az ultrahangos technológiák már szövetroncsolásra alkalmasak, így alkalmazásuk nagy körültekintést, szakértelmet igényel.

10.8 Egészségügyi szempontok az ultrahang vonatkozásában

Bizonyított tény, hogy az emberi szervezet elnyeli az ultrahanghullámok energiáját, és hogy az elnyelődés által kiváltott hatások az alkalmazás formájától és az elnyelt dózistól függően pozitívak vagy negatívak is lehetnek. Ugyanakkor nem ismertek az elnyelt ultrahang expozíció közép- és hosszú távú hatásai.

Állatkísérletek során a különböző ultrahangfrekvenciák hatására a belső szervek károsodtak (*Moyano et al., 2022*).

Az ultrahang emberi szervezetre gyakorolt negatív hatásairól szóló első beszámolók az 1940-es és 1950-es években jelentek meg.

Jelenleg az ultrahang expozíció hatásai közé a hallásra gyakorolt hatásokat, a hőhatásokat, a szubjektív tüneteket és a funkcionális zavarokat sorolják.

Az ultrahang expozíció hatására fülzúgás, szédülés, fejfájás és hányinger panaszát írták le foglalkozási expozíciónak kitétteknél (*Smagowska et Pawlaczyk-Luszczyńska, 2013*). Ribári és Kiss kimutatta, hogy ultrahang expozíció hatására a hallás a magas hangok tartományában – a jelenleg vizsgált 8 kHz felett – gyorsan romlik.

Jelentkezhetnek még tünetként a fokozott fáradtság érzet, egyensúlyzavarok is.

100 dB intenzitás szint felett – tekintettel arra, hogy a bőr abszorpciós koefficiense a 20 kHz-es rezgésekre 1% körül mozog, – enyhe lokális melegedés, melegség érzet is észlelhető (*Ribári, 1999*).

A 300 kHz-nél magasabb frekvenciájú hullámok terjedése a levegőben a közeg elnyelése miatt egy milliméterre korlátozódik. Így az e feletti frekvenciájú ultrahanghullám csak akkor fejthet ki hatást az emberi szövetekre, ha az ultrahangot kibocsátó eszköz és a testszövet között folyadék vagy szilárd anyag helyezkedik el. A szövetben keletkező melegedés a kezelendő szövet vastagságától, a szövet hővezető képességétől és a vérnyomás hatásától függ. A meszes csontok több ultrahanghullám energiáját nyelik el, így a szomszédos szövetek melegebbek lesznek. Az ultrahangot alkalmazó szövet felmelegedése csökkenhet, ha a beesési szöveget változtatjuk. Minél meredekebb szögben sugároz, annál kisebb lesz a szövetben a felmelegedés.

Nagyobb kitétség okozhat a sejtek anyagcsere és reprodukciós folyamataiban károsodást, sejt és szövetelhalást (*Moyano et al., 2022*).

A munkahelyeken – nyolc órás behatási időre vonatkoztatva – a megengedett hangnyomásszintek értékeit az MSZ 17312–85. számú szabvány tartalmazza.

A szabvány 1. pontja szerinti terhangnyomásszintek megengedett egyenértékeit a 38. táblázat tartalmazza.

38. táblázat MSZ 17312–85. számú szabvány 1. pontja szerinti terhangnyomásszintek megengedett egyenértékei

Tercsávok sávközépfrekvenciái (kHz)	Megengedett hangnyomásszintek (dB_{eq}) 8 órás expozíciós időre
20,0	100
25,0	105
31,5	110
40,0≥100,0	110

Magyarországon jelenleg nem létezik az ultrahangok tekintetében hatályos jogi szabályozás, így hazai egészségügyi határértékkel nem rendelkezünk.

Bár a fizioterápiában és a gyógyászatban alkalmazott ultrahang dóziséra és alkalmazási formájára léteznek ajánlások, ezek nem vonatkoznak az egyéb felhasználású ultrahang kibocsátó eszközökre (pl. az otthoni állatok elriasztására használt ultrahang-kibocsátó eszközökre vagy az interneten magánhasználatra ellenőrizetlenül árusított kozmetikai eszközökre).

Irodalomjegyzék

- Abe T, Komada Y, Asaoka S, Ozaki A, Inoue Y.:** *Questionnaire-based evidence of association between sleepiness while driving and motor vehicle crashes that are subjectively not caused by falling asleep.* Sleep Biol Rhythms. 2011, 9(3):134–43. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2011.00498.x>
- An R, Wang J, Ashrafi SA, Yang Y, Guan C.:** *Chronic Noise Exposure and Adiposity: A Systematic Review and Meta-analysis.* American Journal of Preventive Medicine, 2018, Vol. 55, Issue 3, Pg. 403-411. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2018.04.040>
- Ancona C, Forastiere F, Mataloni F, Badaloni C, Fabozzi T, Perucci C.:** *Aircraft noise exposure and blood pressure among people living near Ciampino airport in Rome.* 2010, Rivista Italiana Di Acustica, 34(3):11-13
- Anic GM, Titus-Ernstoff L, Newcomb PA. et al.:** *Sleep duration and obesity in a population-based study.* Sleep Med. 2010, 11:447-451. doi: 10.1016/j.sleep.2009.11.013
- Babák György:** *Méréstechnika.* Szent István Egyetem, 2011.
<http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/12543>
- Babisch W, Ising H, Gallacher JE, Sweetnam PM, Elwood PC.:** *Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, third phase--10-year follow up.* Arch Environ Health. 1999, May-Jun; 54(3):210-6. doi: 10.1080/00039899909602261. PMID: 10444043.
- Babisch W, Ising H, Gallacher JEJ.:** *Health status as a potential effect modifier of the relation between noise and incidence of ischaemic heart disease.* 2003, Occupational and Environmental Medicine, 60:739-745. doi: 10.1136/oem.60.10.739
- Babisch W, van Kamp I.:** *Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension.* Noise Health, 2009, 11(44):149-156 doi: 10.4103/1463-1741.53363
- Babisch W, Wolf K, Petz M, Heinrich J, Cyrus J, Peters A.:** *Associations between traffic noise, particulate air pollution, hypertension, and isolated systolic hypertension in adults: the KORA Study.* 2014. Environ Health Perspect 122:492-498; <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1306981>
- Babisch W. et al.:** *The incidence of myocardial infarction and its relation to road traffic noise – the Berlin case-control studies.* Environment International, 1994, 20:469-474.
[https://doi.org/10.1016/0160-4120\(94\)90195-3](https://doi.org/10.1016/0160-4120(94)90195-3).
- Babisch W. et al.:** *Verkehrslärm und Herzinfarkt, Ergebnisse zweier Fall-Kontroll-Studien in Berlin.* WaBoLu-Hefte 2/92, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Umweltbundesamt, Berlin, 1992.
- Babisch W.:** *Road traffic noise and cardiovascular risk.* Noise & Health. 2008, 10(38):27-33 doi: 10.4103/1463-1741.39005
- Babisch W.:** *Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise.* Noise & Health, 2003, 5(18):1-11.
- Babisch W.:** *The noise/stress concept, risk assessment and research needs.* Noise & Health, 2002, 4(16):1-11.
- Babisch W.:** *Transportation noise and cardiovascular risk: review and synthesis of epidemiological studies, exposure-response curve and risk estimation.* Dessau, Federal Environmental Agency, 2006. (WaBoLu-Hefte 01/06).
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2997.pdf>

Baliatsas C, van Kamp I, van Poll R, Yzermans J.: *Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: Is it time to listen? A systematic review of observational studies.* Sci Total Environ. 2016, Jul 1;557-558:163-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.065.

Bárdos György: *Nem-specifikus egészségproblémák háttere és lehetséges modelljei.* Akadémiai Doktori Értekezés. 2007-2008. <https://real-d.mtak.hu/323/1/Bardos.pdf>,

Barótfi István: *Környezettechnika.* Mezőgazda kiadó. Budapest, 2000, 135-154.

Barótfi István: *Környezettechnika.* Mezőgazda Kiadó, 2002.

Barregard L, Bonde E, Öhrström E.: *Risk of hypertension from exposure to road traffic noise in a population-based sample.* Occupational and Environmental Medicine, 2009, 66:410-415. doi: 10.1136/oem.2008.042804.

Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, Stansfeld S.: *Auditory and nonauditory effects of noise on health.* Lancet. 2014, 383(9925):1325-32. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X.

Baum F.: *Umweltschutz in der Praxis.* Oldenbourg Verlag. München, 1992, 12-15.

Benz S, Kuhlmann J, Jeram S, Bartels S, Ohlenforst B, Schreckenber D.: *Impact of Aircraft Noise on Health.* 2022. In: Leylekian, L., Covrig, A., Maximova, A. (eds) Aviation Noise Impact Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91194-2_7

Berndt M. és Bibók Zs.: *Közlekedjünk környezetkímélően.* Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. Budapest, 38-41 Szerzői jog © 2003.

Berndt Mihály: *Részletes háttér – információ a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről szóló 280/2004. Kormányrendelet végrehajtásához.* Budapest, Szerzői jog © 2007.

Berry B, Flindell IH.: *Estimating dose-response relationships between noise exposure and human health impacts in the UK.* 2009, London, Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Bilenko NKT, van Rossem L, Brunekreef B, Beelen R, Eeftens M, Hoek G, Houthuijs D, de Jongste JC, van Kempen E, Koppelman GH, Meliefste K, Oldenwening M, Smit HA, Wijga AH, Gehring U.: *Traffic-related air pollution and noise and children's blood pressure: results from the PIAMA birth cohort study.* European Journal of Preventive Cardiology, 2013, September 18, doi: 10.1177/2047487313505821.

Bioulac S, Chaufton C, Taillard J. et al.: *Excessive daytime sleepiness in adult patients with ADHD as measured by the Maintenance of Wakefulness Test, an electrophysiologic measure.* J Clin Psychiatry. 2015; 76(7):943-948. doi: 10.4088/JCP.14m09087.

Bioulac S, Micoulaud-Franchi JA, Arnaud M, Sagaspe P, Moore N, Salvo F, Philip P.: *Risk of Motor Vehicle Accidents Related to Sleepiness at the Wheel: A Systematic Review and Meta-Analysis.* Sleep. 2017; Vol. 40 (10). doi: 10.1093/sleep/zsx134.

Bistrup M, Hygge S, Keiding L, Passchier-Vermeer W, Figueiredo E.: *Health effects of noise on children – and perception of risk of noise.* National Institute of Public Health, Copenhagen. 2001.

Björntorp P.: *Body fat distribution, insulin resistance, and metabolic diseases.* Nutrition, 1997; 13(9):795-803. doi: 10.1016/s0899-9007(97)00191-3.

Bluhm GL. et al.: *Road traffic noise and hypertension.* Occupational and Environmental Medicine, 2007, 64:122-126. doi: 10.1136/oem.2005.025866.

- Brink M.:** *A review of potential mechanisms in the genesis of long-term health effects due to noise-induced sleep disturbances.* Proceedings of INTER-NOISE 2012, New York City, New York, USA
- Bronzaft AL.:** *The effect of a noise abatement program on reading ability.* J Environ Psychol. 1981, 1:215-22. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(81\)80040-0](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(81)80040-0)
- Buxton OM, Marcelli E.:** *Short and long sleep are positively associated with obesity, diabetes, hypertension, and cardiovascular disease among adults in the United States.* Soc Sci Med. 2010, 71:1027-1036. doi: 10.1016/j.socscimed.2010.05.041.
- Cappuccio FP, D'Elia L, Strazzullo P, Miller MA.:** *Quantity and quality of sleep and incidence of type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis.* Diabetes Care. 2010, Feb 33(2):414-20. doi: 10.2337/dc09-1124.
- Carter N, Henderson R, Lal S, Hart M, Booth S, Hunyor S.:** *Cardiovascular and autonomic response to environmental noise during sleep in night shift workers.* 2002, Sleep, 25(4):444-51. <https://doi.org/10.1093/sleep/25.4.444>
- Chaban R, Ghazy A, Georgiade E, Stumpf N, Vahl CF.:** *Negative effect of high-level infrasound on human myocardial contractility: In-vitro controlled experiment.* Noise Health. 2021 Apr-Jun;23(109):57-66. doi: 10.4103/nah.NAH_28_19. PMID: 34213448; PMCID: PMC8411947.
- Classen T.:** *Calculating DALYs for cardiovascular diseases and sleep disturbance related to environmental noise using strategic noise maps. Step-by-step hand-on guidance.* In: Hellmuth T, Claßen T, Kim R, Kephelopoulos S, eds. *Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise.* Copenhagen: World Health Organization; 2012, 19-29, <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/110744/Methodological-guidance-for-estimating-the-burden-of-disease-from-environmental-noise-ver-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chang TY, Liu CS, Hsieh HH, Bao BY, Lai JS.:** *Effects of environmental noise exposure on 24-h ambulatory vascular properties in adults.* Environ Res. 2012, Oct 118:112-7. doi: 10.1016/j.envres.2012.06.008.
- Clark C, Paunovic K.:** *WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health.* Int J Environ Res Public Health. 2018, Oct 29;15(11):2400. doi: 10.3390/ijerph15112400. PMID: 30380665; PMCID: PMC6266190.
- Cohen S, Evans GW, Krantz DS, Stokols D.:** *Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children: moving from the laboratory to the field.* Am Psychol. 1980, 35(3):231-43. doi: 10.1037//0003-066x.35.3.231.
- Cohen S, Krantz D, Evans G, Stokol D, Kelly S.:** *Aircraft noise and children: Longitudinal and cross-sectional evidence on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement.* 1981. Journal of Personality and Social Psychology. 40. 331-345. doi: 10.1037/0022-3514.40.2.331.
- Connor J, Norton R, Ameratunga S. et al.:** *Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study.* BMJ. 2002, 324(7346):1125. doi: 10.1136/bmj.324.7346.1125.
- Damjanovich S, Fidy J, Szöllösi J.:** *Orvosi biofizika.* 2007, Medicina Könyvkiadó Zrt.
- Di Nisi J, Muzet A, Ehrhart J, Libert JP.:** *Comparison of cardiovascular responses to noise during waking and sleeping in humans.* Sleep. 1990, 13(2):108-20. doi: 10.1093/sleep/13.2.108.
- Domokos E, Horváth B.:** *Zaj és rezgésvédelem.* 13. kötet Környezetmérnöki Tudástár, 2011.

Eberhardt JL, Stråle LO, Berlin MH.: *The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep.* 1987, Journal of Sound and Vibration 116(3):445-464

Eberhardt JL.: *The influence of road traffic noise on sleep.* Journal of Sound and Vibration, Volume 127, Issue 3, 22 December 1988, Pages 449-455

Eberhardt JL, Akselsson KR.: *The disturbance by road traffic noise of the sleep of young male adults as recorded in the home.* Journal of Sound and Vibration, Volume 114, Issue 3, 1987, Pages 417-434, [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(87\)80014-7](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(87)80014-7)

EEA Technical Report: *Good practice guide on noise exposure and potential health effects.* 2010. doi:10.2800/54080.

EEA: *Environmental noise in Europe — 2020.* European Environment Agency 2020, doi:10.2800/686249.

EEA: *Europe's Environment. The Dobbris Assessment.* D. Stanners, P. Bourdeau (Eds.), European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. 1995.

EEA: *Noise in Europe.* European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. 2014. doi:10.2800/763331.

EEA: *Quiet areas in Europe - The environment unaffected by noise pollution.* EEA report, 2016. doi:10.2800/7586.

Egészségkalauz: *Selye János, a stresszelmélet atyja.* 2015 <https://www.egeszsegkalauz.hu/betegsegek/psziches-betegsegek/selye-janos-a-stresszelmelet-atyja/s7v29c6>

Eriksson C, Hilding A, Pyko A, Bluhm G, Pershagen G, Östenson CG.: *Long-term aircraft noise exposure and body mass index, waist circumference, and type 2 diabetes: a prospective study.* Environ Health Perspect. 2014, 122(7):687-94. doi: 10.1289/ehp.1307115.

Eriksson C, Pershagen G, Nilsson M.: *Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise.* World Health Organization Regional Office for Europe. 2018. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/346548>

Eriksson C, Rosenlund M, Pershagen G, Hilding A, Ostenson CG, Bluhm G.: *Aircraft noise and incidence of hypertension.* Epidemiology. 2007, Nov 18(6):716-721. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181567e77.

Európai Bizottság: *A Bizottság jelentése az Európai Parlamentnek és a Tanácsnak a 2002/49/EK irányelv 11. cikkével összhangban a környezeti zajról szóló irányelv végrehajtásáról.* European Commission, Brussels, Belgium, 2017.

European Commission: *Position paper on dose-effect relationships for night time noise.* 2004. <https://www.bruitparif.fr/elements%20communs/2004-11-11%20-%20Position%20paper%20on%20dose-effect%20relationships%20for%20night%20time%20noise%20-%20European%20Commission.pdf>

European Commission: *Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure.* 2006. <https://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Good-Practice-Guide-for-Strategic-Noise-Mapping.pdf>

- Evans GW, Bullinger M, Hygge S.:** *Chronic noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress.* Psychological Science 1998, 9(1):75-77. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00014>
- Evans GW, Lepore SJ.:** *Nonauditory effects of noise on children: a critical review.* Children's Environments, 1993, 10 (1):31-51 <https://www.jstor.org/stable/41515250>
- Evans GW, Lercher P, Meis M, Ising H, Kofler WW.:** Community noise exposure and stress in children. Journal of the Acoustical Society of America, 2001, 109(3):1023-7. doi: 10.1121/1.1340642.
- Federal Aviation Administration:** *Fundamentals of Noise and Sound.* 2022. https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/basics
- Foraster M, Künzli N, Aguilera I, Rivera M, Agis D, Vila J, Bouso L, Deltell A, Marrugat J, Ramos R, Sunyer J, Elosua R, Basagaña X.:** *High blood pressure and long-term exposure to indoor noise and air pollution from road traffic.* Environ Health Perspect 2014, 122:1193-1200
- Fuks KB. et al.:** *Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE).* 2017. European Heart Journal, Volume 38, Issue 13, 1 April 2017, Pages 983-990, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw413>
- Garcés M, Caron P, Hetzer C, Le Pichon A, Bass H, Drob D, Bhattacharyya J.:** *Deep infrasound radiated by the Sumatra earthquake and tsunami.* EOS, 2005, 86(35):317-320 <https://doi.org/10.1029/2005EO350002>
- Garcés M, Willis M, Hetzer C, Le Pichon A, Drob D.:** *On using ocean swells for continuous infrasonic measurements of winds and temperature in the lower, middle and upper atmosphere.* Geophysical Research Letters, Vol. 31, L19304, 2004. doi: 10.1029/2004GL020696.
- Gatschnegg W.:** *Lärm macht krank.* 2003, Verkehr und Umwelt, Heft 2003/3-4. 38-40 Szerzői jog ©
- Gillman MW, Cook NR, Rosner B, Evans DA, Keough ME, Taylor JO, Hennekens CH.:** *Assessing the validity of childhood blood pressure screening: unbiased estimates of sensitivity, specificity, and predictive values.* Epidemiology, 1992, 3:40-46 doi: 10.1097/00001648-199201000-00008.
- Griefahn B, Bröde P, Marks A, Basner M.:** *Autonomic arousals related to traffic noise during sleep.* Sleep. 2008, 31(4):569-77. doi: 10.1093/sleep/31.4.569.
- Griefahn B, Robens S.:** *Experimental studies on the effects of nocturnal noise on cortisol awakening response.* Noise and Health, 2010, 12(47):129-136. doi: 10.4103/1463-1741.63215. PMID: 20472958.
- Gyulai István:** *Környezeti informatika.* Egyetemi jegyzet 2011.
- Hahad O, Kröller-Schön S, Daiber A, Münzel T.:** *The Cardiovascular Effects of Noise.* Dtsch Arztebl Int. 2019, 5; 116(14):245-250. doi: 10.3238/arztebl.2019.0245. PMID: 31092312; PMCID: PMC6541745.
- Haines MM, Stansfeld SA, Brentnall S, Head J, Berry B, Jiggins M, Hygge S.:** *The West London Schools Study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health.* 2001, Psychological Medicine, 2001, 31(8):1385-1396 doi: 10.1017/s003329170100469x. PMID: 11722153.
- Hänninen O, Knol A.:** *European perspectives on environmental burden of disease: estimates for nine stressors in six countries.* Helsinki, National Institute for Health and Welfare, 2011. (THL Reports 1/2011) <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/79910/b75f6999-e7c4-4550-a939-3bccb19e41c1.pdf>

Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim TA, Conrad A, Rappolder M, Carrer P, Fanetti AC, Kim R, Buekers J, Torfs R, Iavarone I, Classen T, Hornberg C, Mekel OC, EBoDE Working Group.: *Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries.* Environ Health Perspect. 2014; 122(5):439-46. doi: 10.1289/ehp.1206154.

Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L; HYENA Consortium.: *Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports.* 2008, European Heart Journal, 2008, 29: 658-664. doi: 10.1093/eurheartj/ehn013. Epub 2008 Feb 12. PMID: 18270210.

Health Protection Agency, London: *Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound.* 2010. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/335014/RCE-14_for_web_with_security.pdf

Horne J, Reyner L.: *Vehicle accidents related to sleep: a review.* 1999, Occup Environ Med. 56(5):289-294. doi: 10.1136/oem.56.5.289. PMID: 10472301; PMCID: PMC1757738.

Horváth András: *Hangtan I.* Szécsenyi István Egyetem, Győr, 2006.

Horváth Gábor: *Szélparkok tervezése környezetvédelmi szempontok alapján.* Magyar Tudomány, 2005/11. 1406 <http://www.matud.iif.hu/05nov/12.html>

Horváth Róbert.: *Zajvédelmi alapok.* In: Domokos E., Horváth B: *Zaj és rezgésvédelem.* 13. kötet Környezetmérnöki Tudástár, 2011.

Huss A, Spoerri A, Egger M, Röösli M, Swiss National Cohort Study Group: *Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction.* Epidemiology. 2010, 21(6):829-36. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181f4e634. PMID: 20881600.

Hygge S, Evans GW, Bullinger M.: *A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren.* 2002, Psychol Sci. 2002, 13:469-474 doi: 10.1111/1467-9280.00483. PMID: 12219816.

Ising H, Braun C.: *Acute and chronic endocrine effects of noise: Review of the research conducted at the Institute for Water, Soil and Air Hygiene.* Noise Health, 2000, 2(7):7-24.

Ising H, Kruppa B.: *Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years.* Noise Health. 2004, Jan-Mar 6(22):5-13. <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2004/6/22/5/31678> PMID: 15070524.

Jakovljević B, Belojević G, Paunović K, Stojanov V.: *Road traffic noise and sleep disturbances in an urban population: cross-sectional study.* Croat Med J. 2006. Feb; 47(1):125-33. PMID: 16489705; PMCID: PMC2080382.

Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seiffert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglianti F; HYENA study team.: *Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study.* Environ Health Perspect. 2008, 116(3):329-33. doi: 10.1289/ehp.10775.

Kälsch H. et al.: (Heinz Nixdorf Recall Study Investigative Group 2014): *Are air pollution and traffic noise independently associated with atherosclerosis: the Heinz Nixdorf Recall Study.* 2014, European Heart Journal, 35(13):853-60 <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh426>

Kiss Ádám és Tasnádi Péter: *Környezetfizika.* Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, 2012.

Kyrou I, Tsigos C.: *Chronic stress, visceral obesity and gonadal dysfunction.* Hormones (Athens), 2008, 7(4):287-93. doi: 10.14310/horm.2002.1209.

Leventhall G.: *Low frequency noise and annoyance.* Noise Health. 2004;6:59. PMID: 15273024.

Liu C, Fuertes E, Tiesler CM, Birk M, Babisch W, Bauer CP, Koletzko S, von Berg A, Hoffmann B, Heinrich J; GINIplus and LISApplus Study Groups: *The associations between traffic-related air pollution and noise with blood pressure in children: results from the GINIplus and LISApplus studies.* Int J Hyg Environ Health. 2014, 217(4-5):499-505. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.09.008.

Liu GF, Han S, Liang DH, Wang FZ, Shi XZ, Yu J, Wu ZL.: *Driver sleepiness and risk of car crashes in Shenyang, a Chinese northeastern city: population-based case-control study.* Biomed Environ Sci. 2003; 16(3):219-226.

Lundberg U.: *Coping with stress: neuroendocrine reactions and implications for health.* Noise Health, 1999, 1(4):67-74.

Márkus Miklós: *Zaj és rezgésvédelem.* Munkavédelmi szakmérnök előadások. 2020. https://www.fonor.hu/images/publication/FMV_2_Alapfogalmak.pdf2015

Maschke C, Wolf U, Leitmann T.: *Epidemiological examinations of the influence of noise stress on the immune system and the emergence of arteriosclerosis.* Dessau, Federal Environment Agency, 2003. (WaBoLu-Hefte 01/03, Report 298 62 515, in German, executive summary in English). <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-I/2256.pdf>

Meisinger C, Heier M, Loewel H; MONICA/KORA Augsburg Cohort Study: *Sleep disturbance as a predictor of type 2 diabetes mellitus in men and women from the general population.* Diabetologia. 2005, 48(2):235-41. doi: 10.1007/s00125-004-1634-x. PMID: 15645205.

Miedema HM, Passchier-Vermeer W, Vos H.: *Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance.* 2003, TNO Inro, Delft, 2002-2059.

Miedema HM, Vos H.: *Associations between self-reported sleep disturbance and transport noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies.* Behavioural Sleep Medicine, 2007, 5(1):1-20. doi: 10.1207/s15402010bsm0501_1. PMID: 17313321.

Møller H, Lydolf M. *A questionnaire survey of complaints of infrasound and low-frequency noise.* J Low Freq Noise Vib. 2002;21:53-63. doi:10.1260/026309202761019507

Moyano DB, Paraiso DA, González-Lezcano RA.: *Possible Effects on Health of Ultrasound Exposure, Risk Factors in the Work Environment and Occupational Safety Review.* Healthcare (Basel). 2022, 10(3):423. doi: 10.3390/healthcare10030423.

Nabi H, Gueguen A, Chiron M, Lafont S, Zins M, Lagarde E.: *Awareness of driving while sleepy and road traffic accidents: prospective study in GAZEL cohort.* BMJ: 2006; 333(7558):75. doi: 10.1136/bmj.38863.638194.

Naganuma S, Kawada T, Aoki S, and Suzuki S.: *Instantaneous Effects of Road Traffic Noise on Sleep Assessed by Computerized Polygraphy.* Proceedings of Internoise 1991, 91, p. 851

Ndrepepa A, Twardella D.: *Relationship between noise annoyance from road traffic noise and cardiovascular diseases: a meta-analysis.* Noise and Health, 2011, 13(52):251. doi: 10.4103/1463-1741.80163.

- Nedeltcheva AV, Kilkus JM, Imperial J, Schoeller DA, Penev PD.:** *Insufficient sleep undermines dietary efforts to reduce adiposity.* Ann Intern Med. 2010, 153:435-441. doi: 10.7326/0003-4819-153-7-201010050-00006. PMID: 20921542; PMCID: PMC2951287.
- Nedeltcheva AV, Scheer FA.:** *Metabolic effects of sleep disruption, links to obesity and diabetes.* Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes. 2014, 21:293-298. doi: 10.1097/MED.0000000000000082.
- Ohrström E, Björkman M, Rylander R.:** *Effects of noise during sleep with reference to noise sensitivity and habituation.* Environment International, Volume 16, Issues 4-6,1990, Pages 477-482, ISSN: 0160-4120, [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(90\)90016-Y](https://doi.org/10.1016/0160-4120(90)90016-Y).
- Ohrstrom et Rylander:** *Sleep disturbance effects of traffic noise-A laboratory study on after effects.* 1982, Journal of Sound and Vibration 84(1):87-103. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(82\)90434-5](https://doi.org/10.1016/0022-460X(82)90434-5)
- Ohrstrom E.:** *Effects of low levels of road traffic noise during the night: a laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity.* 1995, Journal of Sound and Vibration 179(4):603-615 <https://doi.org/10.1006/jsvi.1995.0040>
- Okokon EO, Yli-Tuomi T, Turunen AW, Tiittanen P, Juutilainen J, Lanki T.:** *Traffic noise, noise annoyance and psychotropic medication use.* 2018. Environment international. 119:287-294. doi: 10.1016/j.envint.2018.06.034.
- Oláh Attila:** *Pszichológiai alapismeretek.* Bölcsész Konzorcium, 2006.
- Ollerhead et al.:** *Report on a field study of aircraft noise and sleep disturbance.* Department of Transport, London, 1992.
- Ouis D.:** *Exposure to Nocturnal Road Traffic Noise: Sleep Disturbance its After Effects.* Noise Health. 1999, 1(4):11-36. PMID: 12689487. <https://www.noiseandhealth.org/text.asp?1999/1/4/11/31726>
- Passchier-Vermeer W, Passchier WF.:** *Noise exposure and public health.* Environmental Health Perspectives, 2000, 108 (suppl. 1):123-131. doi: 10.1289/ehp.00108s1123.
- Philip P, Chaufton C, Orriols L, Lagarde E, Amoros E, Laumon B, Akerstedt T, Taillard J, Sagaspeal P.:** *Complaints of Poor Sleep and Risk of Traffic Accidents: A Population-Based Case-Control Study.* PLoS One. 2014, 9(12):e114102. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114102>
- Póta, Gy.-né:** *Zajosak vagyunk.* Szerzői jog © 2006. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. Budapest. 23-25.
- Ribári O.:** *Fül-orr-gégészet - Fej-nyak sebészet.* 1999. Medicina
- Rosmond R, Björntorp P.:** *The hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity as a predictor of cardiovascular disease, type 2 diabetes and stroke.* Journal of internal medicine. 2000, 247:188-97. doi: 10.1046/j.1365-2796.2000.00603.x.
- Rosmond R.:** *Role of stress in the pathogenesis of the metabolic syndrome.* Psychoneuroendocrinology, 2005, 30(1):1-10. doi: 10.1016/j.psyneuen.2004.05.007.
- Rosmond R.:** *Stress induced disturbances of the HPA axis: a pathway to Type 2 diabetes?* Medical Science Monitor, 2003, 9(2):35-39.
- Rüdisser J, Lercher P, Heller A.:** *Traffic exposure and medication - a GIS based study on prescription of medicines in the Tyrolean Wipptal.* Italian Journal of Public Health, 2008, 5(4):261-267
- Sagaspe, P., Taillard, J., Chaumet, G., Moore, N., Bioulac, B. and Philip, P.:** *Aging and nocturnal driving: better with coffee or a nap? A randomized study.* Sleep, 2007, 30:1808-13. doi: 10.1093/sleep/30.12.1808.

- Sagaspe P, Taillard J, Bayon V, Lagarde E, Moore N, Boussuge J, Chaumet G, Bioulac B, Philip P.:** *Sleepiness, near-misses and driving accidents among a representative population of French drivers.* J Sleep Res. 2010, 19(4):578-584. doi: 10.1111/j.1365-2869.2009.00818.x. PMID: 20408921.
- Sawada Y.:** *Reproducible increases in blood pressure during intermittent noise exposure: underlying haemodynamic mechanisms specific to passive coping.* Eur J Appl Physiol 67, 367-374 (1993). <https://doi.org/10.1007/BF00357637>
- Selander J, Nilsson ME, Bluhm G, Rosenlund M, Lindqvist M, Nise G, Pershagen G, Selander J.:** *Long-term exposure to road traffic noise and myocardial infarction.* Epidemiology, 2009, 20(2):272-279. doi: 10.1097/EDE.0b013e31819463bd.
- Sinha R, Jastreboff AM.:** *Stress as a common risk factor for obesity and addiction.* Biol Psychiatry. 2013, May 1;73(9):827-35. doi: 10.1016/j.biopsych.2013.01.032.
- Smagowska B, Pawlaczyk-Luszczynska M.:** *Effects of Ultrasonic Noise on the Human Body-A Bibliographic Review.* International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2013, Vol. 19, No. 2, 195-202. doi: 10.1080/10803548.2013.11076978.
- Sominsky L, Spencer SJ.:** *Eating behavior and stress: a pathway to obesity.* Front Psychol. 2014; 5:434. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00434.
- Sørensen M, Andersen ZJ, Nordsborg RB, Becker T, Tjønneland A, Overvad K, Raaschou-Nielsen O.:** *Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incident Diabetes: A Cohort Study.* Environmental Health Perspectives, 2013, 121:217-222. doi: 10.1289/ehp.1205503.
- Spiegel K, Tasali E, Leproult R, Van Cauter E.:** *Effects of poor and short sleep on glucose metabolism and obesity risk.* Nat Rev Endocrinol. 2009, 5:253-261. doi: 10.1038/nrendo.2009.23.
- Spreng M.:** *Central nervous system activation by noise.* Noise Health, 2000, 2(7):49-58
- Stutts JC, Wilkins JW, Scott Osberg J, Vaughn BV.:** *Driver risk factors for sleep-related crashes.* Accid Anal Prev. 2003, 35(3):321-331. doi: 10.1016/s0001-4575(02)00007-6.
- Szirmai Imre:** *Neurológia, Egyetemi Tankönyv,* 2011.
- Tate RB, Manfreda J, Krahn AD, Cuddy TE.:** *Tracking of blood pressure over a 40-year period in the University of Manitoba follow-up study, 1948-1988.* American Journal of Epidemiology, 1995, 142:946-954. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a117742.
- Tefft BC.:** *Prevalence of motor vehicle crashes involving drowsy drivers, United States, 1999-2008.* Accid Anal Prev. 2012, 45:180-186. doi: 10.1016/j.aap.2011.05.028.
- Thiessen GJ.:** *Disturbance of sleep by noise.* The Journal of the Acoustical Society of America 64, 216, 1978. doi: 10.1121/1.381964.
- Thiessen GJ, Lapointe AC.:** *Effect of Intermittent Truck Noise on Percentage of Deep Sleep.* 1978, Journal of the Acoustical Society of America 64(4):1078-80. doi: 10.1121/1.382066.
- Tulen JHM, Kumar A, and Jurriens AA.:** *Psychophysiological Acoustics of Indoor Sound due to Traffic Noise During Sleep.* Journal of Sound and Vibration. 110, p. 110, 1986. doi: 10.1016/S0022-460X(86)80080-3.
- Ulrich-Lai YM, Fulton S, Wilson M, Petrovich G, Rinaman L.:** *Stress Exposure, Food Intake, and Emotional State.* Stress. 2015, 18(4):381-399. doi: 10.3109/10253890.2015.1062981.

United Nations Sustainable Development: Agenda 21. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Conches, Switzerland, 1992.

<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

Vallet M, Gagneux JM, Clairet JM, Laurens JF, Letisserand D.: *Heart rate reactivity to aircraft noise after a long term exposure.* Noise as a public health problem. Rossi G., ed Centro Ricerche E Studi Amplifon, Milano, pp965–971., 1983.

van Kamp I, van den Berg F.: *Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound.* 2018, *Acoust Aust* 46, 31-57 <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0115-6>

van Kempen E, Babisch W.: *The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis.* *Journal of Hypertension*, 2012, 30:1075–1086. doi: 10.1097/HJH.0b013e328352ac54. PMID: 22473017.

van Kempen E, van Kamp I, Fischer P, Davies H, Houthuijs D, Stellato R, Clark C, Stansfeld S.: *Noise exposure and children's blood pressure and heart rate: the RANCH project.* *Occupational and Environmental Medicine*, 2006, 63: 632–39. doi: 10.1136/oem.2006.026831.

van Kempen E Kruize H, Boshuizen HC, Ameling CB, Staatsen BA, de Hollander AE.: *The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis.* *Environ Health Perspect.* 2002, Mar 110(3):307–17. doi: 10.1289/ehp.02110307. PMID: 11882483; PMCID: PMC1240772.

Vitaliano PP, Scanlan JM, Zhang J, Savage MV, Hirsch IB, Siegler IC.: *A path model of chronic stress, the metabolic syndrome, and coronary heart disease.* *Psychosom Med.* 2002, May-Jun 64(3):418-35 doi: 10.1097/00006842-200205000-00006.

Vos J.: *On the relevance of shooting-noise-induced sleep disturbance to noise zoning.* IC BEN-proceedings 2003, Schiedam.

Watanabe M, Kikuchi H, Tanaka K, Takahashi M.: *Association of short sleep duration with weight gain and obesity at 1-year follow-up: a large-scale prospective study.* *Sleep.* 2010, 33:161-167. doi: 10.1093/sleep/33.2.161.

World Health Organization, Regional Office for Europe: *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe.* 2011. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326424>

World Health Organization, Regional Office for Europe: *Environmental Noise Guidelines for the European Region.* 2018, <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>

World Health Organization, Regional Office for Europe: *European status report on road safety: towards safer roads and healthier transport choices.* World Health Organization. Regional Office for Europe. 2009a. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107266>

World Health Organization, Regional Office for Europe: *Night noise guidelines for Europe.* World Health Organization. Regional Office for Europe. 2009b, <https://iris.who.int/handle/10665/326486>

World Health Organization, Regional Office for Europe: *Parma Declaration on Environment and Health.* Fifth Ministerial Conference on Environment and Health, Parma, Italy, 10-12 March 2010. https://who-sandbox.squiz.cloud/_data/assets/pdf_file/0011/78608/E93618.pdf

World Health Organization: *Charter on Transport, Environment and Health.* 1999b, World Health Organization, Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/347408>

World Health Organization: *Global Plan for the Decade of Action for road Safety 2011-2020*. Geneva: WHO, 2004. <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>

World Health Organization: *Guidelines for Community Noise*. 1999a, ed. by: Berglund B, Lindvall T, Schwela D. 1999. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>

World Health Organization: *Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise*. 2012. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/110744/Methodological-guidance-for-estimating-the-burden-of-disease-from-environmental-noise-ver-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yong LC, Kuller LH, Rutan G, Bunker C.: *Longitudinal study of blood pressure. Changes and determinants from adolescence to middle age. The Dormont High School follow-up study, 1957/1963 to 1989/1990*. American Journal of Epidemiology, 1993, 138:973-983.
doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a116817.

Zare Sakhvidi MJ, Zare Sakhvidi F, Mehrparvar AH, Foraster M, Dadvand P.: *Association between noise exposure and diabetes: A systematic review and meta-analysis*. Environmental Research, Vol. October 2018, 647–657. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.011>

