

Vasúti közlekedés során keletkező zajok okainak és hatásainak elemzése

Absztrakt. A vasúti közlekedésből származó zajemisszió jelentős társadalmi és környezeti probléma, amely közvetlen hatást gyakorol az emberek egészségére, életminőségére, valamint a városi környezet fenntarthatóságára. A zajszennyezés fő forrásai közé tartoznak a vasúti járművek és az infrastruktúra elemei, mint például a pálya, a kerék-sín kapcsolat, a fékrendszerek és a vontatási technológiák. A zajhatások mértékét számos tényező befolyásolja, többek között a vonatok sebessége, a pálya műszaki állapota, a használt technológiai megoldások, valamint az alkalmazott zajcsökkentő intézkedések hatékonysága. A zajterhelés hosszú távú negatív következményei közé sorolható az alvászavar, a fokozott stressz, valamint a mentális egészség romlása, amelyek különösen érzékenyen érintik a városi lakosságot. Emellett a zajszennyezés hozzájárul az ingatlanértékek csökkenéséhez és a lakókörnyezet általános komfortérzetének romlásához. A zajemisszió mérséklése elengedhetetlen a városi életminőség javítása és az egészségesebb lakókörnyezet kialakítása érdekében. Ennek megvalósításához elengedhetetlen a korszerű zajcsökkentő technológiák alkalmazása, az infrastruktúra folyamatos fejlesztése, valamint a zajvédelmi intézkedések szakszerű és hatékony végrehajtása. A közlekedési hatóságoknak, vasúti társaságoknak és önkormányzatoknak szoros együttműködésre van szükségük annak érdekében, hogy egy csendesebb, környezetbarátabb vasúti közlekedési rendszer jöhessen létre. Az ilyen irányú fejlesztések nemcsak az egyéni jólétet szolgálják, hanem hozzájárulnak a városi térségek hosszú távú fenntarthatóságához és élhetőségéhez is.

Kulcsszavak: vasúti zaj, mesterséges intelligencia, akusztika, zajemisszió

1. Bevezetés

Az akusztikus zaj és a vasúti jármű állapota között szoros összefüggés van. A vasúti járművek zajszintje nemcsak a közvetlen környezetre, hanem a járművek saját működési állapotára is utalhat. A zajszint változása, növekedése vagy változatossága gyakran utalhat a jármű állapotára és esetleges problémákra.

Az alábbiakban néhány példa látható arra, hogy milyen módon kapcsolódhat az akusztikus zaj a jármű állapotához:

- **Karbantartási hiányosságok:** Ha egy vasúti jármű üzemeltetése során nem megfelelő a karbantartása, akkor az idővel kopás és sérülések következtében növelheti a zajszintet. Például kopott kerekek, súrlódó alkatrészek vagy sérült csapágyak több zajt eredményezhetnek.
- **Csillapítás hiánya:** A zajcsillapító anyagok elhasználódása vagy hiánya növelheti a jármű által keltett zajt. Amennyiben a járművön lévő zajcsökkentő anyagok nem működnek valamilyen okból nem elég hatékonyak, akkor a zaj kiszivárog a jármű belsejéből, és az utasok számára is zavaró lehet.

- Motor- és erőátviteli rendszer problémák: A zajos motor vagy az erőátviteli rendszer szokatlan zajt jelezhet, ami arra utalhat, hogy problémák vannak a jármű hajtásával vagy működésével.
- Sínek és vasúti infrastruktúra állapota: Az elhasználódott vagy rosszul karbantartott sínek és más infrastrukturális elemek szintén zajt okozhatnak a járművek áthaladása közben. A nem megfelelően rögzített sínek, az elhasználódott csapágyak és a kapcsolódó infrastrukturális problémák zajos közlekedéshez vezethetnek.
- Fékek és forgóvázak állapota: A járművek fékrendszereinek és forgóvázainak állapota befolyásolhatja a zajszintet, különösen a fékek csikorgása vagy a kerekek csattogása esetén.

Az akusztikus zaj alapján az ellenőrök és mérnökök gyakran képesek felismerni a járművekben rejlő lehetséges problémákat és időben intézkedni a megfelelő karbantartás vagy javítás érdekében. Ennek eredményeként az akusztikus zaj mérése és elemzése fontos szerepet játszik a vasúti járművek biztonságos és hatékony működésének fenntartásában.

2. Akusztikus zaj és a vasúti pálya összefüggései

Az akusztikus zaj és a vasúti pálya állapota között szoros összefüggés van. A vasúti pálya állapota jelentős hatással van a járművek által keltett zajszintre, és a pálya állapotából származó zaj jelentős lehet a környező területeken élő emberek számára is [1].

Az alábbiakban néhány példa arra, hogy milyen módon kapcsolódhat az akusztikus zaj a vasúti pálya állapotához:

- Kopott sínek: Az elhasználódott, kopott sínek rendkívül zajos közlekedést eredményezhetnek. A járművek kerekei és a sínek közötti kapcsolat nem lesz tökéletes, így növekszik a zajszint.
- Sínek hibái: Ha a síneket káros hatás érte, például sérült vagy repedtek a sínek, akkor a járművek áthaladásakor hangosabb zaj keletkezhet.
- Sínen és alátámasztás karbantartása: A rosszul karbantartott sínrendszer, beleértve az alátámasztást is, növelheti a járművek által okozott zajt.
- Pályatörzs és sínek összekapcsolása: A pályatörzs és a sínek összekapcsolása, például csavarok és rögzítőelemek állapota befolyásolja a sínek stabilitását és rezgéseit, ami zajt eredményezhet.
- Keresztaljak állapota: A keresztaljak szerepe az alváz szilárd rögzítése és a pálya stabilitásának fenntartása. Az elhasználódott, sérült vagy rosszul rögzített keresztaljak zajos közlekedést okozhatnak.

- Pályatest kopása: A pályatest kopása is befolyásolhatja a zajszintet. Az elhasználódott pályatestek nem képesek elnyelni a rezgéseket és ütéseket úgy, mint az újabbak, így a járművek áthaladásakor zaj keletkezik.

A zajos vasúti pályák zavarhatják a környékbeliek nyugalmát és egészségét. Emiatt a pálya karbantartása, időszakos ellenőrzése és szükség esetén felújítása nagyon fontos. Az alapos karbantartás és az időben történő javítások hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a vasúti pályák állapota jobb legyen, és csökkenthetik a járművek által okozott zajszintet, ami hosszú távon előnyös mind a közlekedési hatékonyság, mind a környezetvédelem szempontjából.

A mesterséges intelligencia (MI) számos lehetőséget kínál a sínek hibáiból, kopásából és alátámasztásából eredő zajok csökkentésére a vasúti közlekedési rendszerekben. Az MI alkalmazása ezen a területen többféle módon járulhat hozzá a zajcsökkentéshez és az infrastruktúra karbantartásához. Az előrejelző karbantartás (Predictive Maintenance) során a mesterséges intelligencia algoritmusok képesek monitorozni és elemezni a sínrendszer állapotát, az érzékelők és más adatforrások segítségével. Az előrejelző karbantartásnak köszönhetően a rendszer időben észlelheti a lehetséges problémákat, például kopást vagy sérüléseket a síneken. Ezzel csökkenthetők a hirtelen meghibásodások, amelyek zajokat okozhatnak. Továbbá a strukturált adatgyűjtés és elemzés során az MI segíthet a nagy adathalmazok elemzésében, amelyeket érzékelők és más monitorozó eszközök generálnak. A strukturált adatgyűjtés és elemzés révén hatékonyabban azonosíthatók a sínek hibáiból és kopásából adódó zajok okai.

3. A vasúti közlekedésből származó zaj emberi egészségre gyakorolt hatása

A vasúti közlekedés okozta zajkibocsátásnak komoly hatása lehet az emberek egészségére és jólétére. A zaj általános egészségkárosító hatásai közé tartozik a hallásromlás, az alvászavar, a stressz, a szív- és érrendszeri problémák, valamint a mentális egészség problémái [2]. Az alábbiakban részletesen ismertetem ezeket a hatásokat:

Hallásromlás: A hosszú távú, nagy zajszintnek való kitettség károsíthatja a hallást. A zaj különösen veszélyes lehet a vasutasokra, akik rendszeresen vannak kitéve a vonatok zajának. De a zajos vasúti infrastruktúra közelében élők, munkálkodók vagy gyakori utasok is ki vannak téve a hallásromlás kockázatának.

Alvászavar: A vasúti zaj, különösen éjszaka, alvászavarokat okozhat. A szünet nélküli, magas zajszintű környezet zavarja az alvást, ami hosszú távon negatívan befolyásolhatja az emberek pihenését és életminőségét.

Stressz és szorongás: A folyamatos zajhatás stresszforrássá válhat az emberek számára. A zajos környezetben élők hajlamosabbak lehetnek krónikus stresszre és szorongásra, amely negatívan befolyásolhatja az egészséget és az életminőséget.

Szív- és érrendszeri problémák: A hosszú távú zajhatás kapcsolatban állhat a szív- és érrendszeri megbetegedésekkel, például magas vérnyomással és szívbetegségekkel. Az állandóan zajos környezet fokozza a stressz szintjét, ami hozzájárulhat az érrendszeri problémák kialakulásához.

Mentális egészség: A zajos környezetben élők hajlamosabbak lehetnek a mentális egészségi problémáira, például depresszióra és szorongásra. A zaj folyamatos jelenléte kimerítő és kellemetlen lehet, és negatív hatással lehet az emberek hangulatára és érzelmi jólétére.

A zajkibocsátás egészségügyi hatásainak mértéke a zaj intenzitásától, az expozíció időtartamától, a zaj gyakoriságától, jellegétől (szakaszos, vagy folyamatos) és az egyéni érzékenységtől is függ. Az érzékenyebb emberek, például a gyermekek, az idősek és azok, akik más egészségügyi problémákkal küzdenek, nagyobb veszélynek vannak kitéve a zajból eredő egészségügyi problémákra.

Az egészségre gyakorolt negatív hatások csökkentése érdekében fontosak a zajcsökkentő intézkedések és a megfelelő zajvédelmi intézkedések a vasúti közlekedés területén. Ez magában foglalhatja a zajcsillapító falak és akadályok telepítését a zajforrások és az emberek között, a járművek és infrastruktúra karbantartását, a zajcsökkentő anyagok használatát a járműveken és a zajos területeken élők védelmét a megfelelő építészeti tervezéssel. Az ilyen intézkedések hozzájárulhatnak a zajszint csökkentéséhez és a vasúti közlekedés okozta egészségügyi hatások enyhítéséhez.

Az MI segíthet az átfogó egészségügyi értékelésekben, amelyek vizsgálják a környezeti zajok és az emberi egészség közötti összefüggéseket. Az ilyen értékelések alapján hatékonyabb zajcsökkentő stratégiákat lehet kidolgozni a vasúti közlekedési rendszerek környezetbarátabbá tételére.

4. Rezgések okozta zaj

A rezgések és a mérhető akusztikus zaj között szoros összefüggés van a vasúti közlekedés esetén. Mindkettő a vasúti járművek és az infrastruktúra működésével és állapotával kapcsolatos. A zaj és a rezgések együttesen határozzák meg a vasúti közlekedés zajterhelését és környezeti hatásait.

A következőkben bemutatom, hogyan kapcsolódnak egymáshoz a rezgések és az akusztikus zaj a vasúti közlekedés során:

Rezgések okozhatnak zajt: A rezgő alkatrészek, mint például a motorok, fékek, kerekek és vonat kerekei, zajt generálhatnak az infrastruktúrával való érintkezéskor. Például a rezgő kerék és a sín érintkezése zajt okozhat, amely az akusztikus zaj egyik forrása lehet.

Rezgések és infrastruktúra állapota: Az infrastruktúra állapota, például a sínek, pályatörzs, keresztaljak és alátámasztás állapota befolyásolja a rezgések mértékét és terjedését. Ha az

infrastruktúra rossz állapotban van, akkor a járművek áthaladásakor nagyobb rezgéseket és így több zajt okozhatnak.

Rezgések hatása az akusztikus zajra: A járművek rezgései befolyásolják az akusztikus zaj spektrumát és jellemzőit. Például a kerekek egyenetlen kopása vagy az alvázban lévő rezgések különböző frekvenciájú hangokat hoznak létre, amelyek kihatással vannak az általuk generált zaj jellegére.

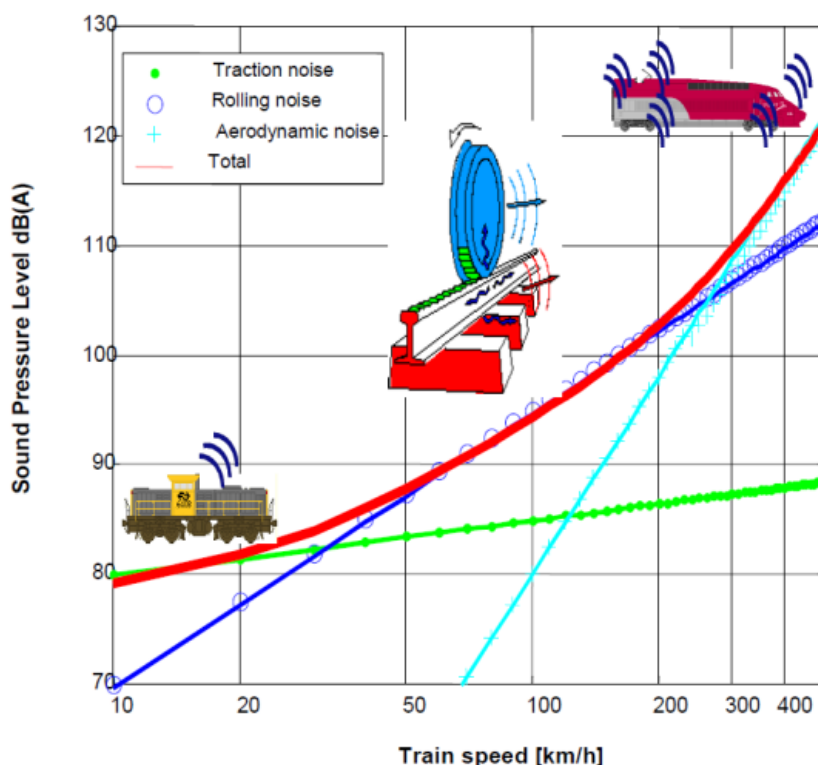
Rezgésvédelmi intézkedések zajcsökkentésre: A rezgések csökkentése vagy elnyelése jelentős hatással lehet az akusztikus zaj csökkentésére is. Például zajcsillapító anyagok alkalmazása a járműveken és az infrastruktúrán, valamint rezgéscsökkentő intézkedések, mint például rezgéselnyelő pályabetétek, hozzájárulhatnak a zajterhelés csökkentéséhez.

Fontos hangsúlyozni, hogy a rezgések és az akusztikus zaj összefüggése összetett és több tényezőtől függ. A hatékony zajcsökkentés érdekében átfogó megközelítés szükséges, amely figyelembe veszi a járművek, infrastruktúra és környezet rezgési tulajdonságait, valamint az ezekből adódó akusztikus zajt. Az ilyen intézkedések segíthetnek a vasúti közlekedés zajterhelésének csökkentésében és a környezetbarátabb, csendesebb közlekedés előmozdításában.

5. Sebesség hatása a zaj mértékére

A vasúti közlekedés esetén a sebesség és a zajkibocsátás között szoros összefüggés van, és ugyanez igaz a kocsik terhelése és a zajkibocsátás között is. A sebesség és a kocsik terhelése mindkettő közvetlenül befolyásolja a zajkibocsátást, ami hatással van a vasúti közlekedés zajterhelésére és környezeti hatásaira. Az alábbiakban részletesen ismertetem ezeket az összefüggéseket:

Sebesség és zajkibocsátás: Általánosságban elmondható, hogy a nagyobb sebességgel közlekedő járművek általában nagyobb zajt generálnak. A nagyobb sebességgel mozgó járművek szélzajjal járnak, ami a mozgó járművek és a környező levegő közötti súrlódásból származik [3]. Emellett a magasabb sebesség miatt a kerekek és a sínek közötti érintkezési pontok gyakoribbak lesznek, ami növeli a zajkibocsátást. Ezért a nagysebességű vonatok általában zajosabbak, mint a lassabb sebességgel közlekedő vonatok.



1. ábra: Zajforrások a sebesség függvényében [4]

Kocsik terhelése és zajkibocsátás: A vonaton lévő utasok száma és a kocsik terhelése is jelentősen befolyásolhatja a zajkibocsátást. A teljes terhelésű vonatok általában nagyobb zajt generálnak, mint a kevésbé terhelt vonatok. Ez azért van, mert a nagy terhelés miatt a motoroknak és a fékrendszereknek keményebben kell dolgozniuk, ami zajt eredményez.

Fontos megjegyezni, hogy a zajkibocsátás mellett a sebesség és a kocsik terhelése más hatásokkal is járhatnak. Például a nagyobb sebességű vonatok általában magasabb energiafogyasztással járnak, ami jelentősebb környezeti hatásokat is eredményezhet. Ugyanígy a nagyobb terhelésű vonatok nagyobb üzemanyagfogyasztással közlekednek, ami szintén növeli a környezeti terhelést.

A zajkibocsátás csökkentése érdekében a vasúti közlekedésben olyan intézkedéseket lehet alkalmazni, mint például a járművek és infrastruktúra zajcsillapítása, a járművek karbantartása és modernizálása, az infrastruktúra állapotának javítása, az útvonal optimalizálása, és az alacsony zajszintű járművek és technológiák használata. A fenntartható és környezetbarát vasúti közlekedés céljából fontos a zajkibocsátás minimalizálása és a zajcsökkentésre irányuló intézkedések hatékony alkalmazása.

6. A vasúti közlekedés zajterhelésének csökkentési lehetőségei

A vasúti közlekedés zajterhelésének csökkentése érdekében számos módszer és eljárás áll rendelkezésre. Ezek az intézkedések lehetnek a járműveken, az infrastruktúrában és a közvetlen környezetben történő változtatások, valamint olyan technológiai fejlesztések, amelyek célja a zajkibocsátás minimalizálása. Néhány gyakoribb zajcsökkentési eljárást láthatunk az alábbiakban:

Zajcsillapító anyagok használata: A járműveken és az infrastruktúrán zajcsillapító anyagok alkalmazása segít csökkenteni a zajkibocsátást. A zajcsillapító anyagok csökkentik a rezonancia és az átvitt zaj hatását, így csökkenthetik a zajterhelést. A Tata steel Silent Track elnevezésű csillapító rendszer esetén a sín mindkét oldalán elhelyezett gumi betétek 3-7 dB zajcsillapítást eredményeznek [5], [6].

Rezgéscsillapító intézkedések: A rezgéscsillapító intézkedések, mint például rezgéselnyelő pályabetétek vagy rezgéscsillapító alkatrészek a járműveken, csökkentik a rezgéseket, amelyek zajkeltéshez vezethetnek.

Járművek karbantartása és modernizálása: A járművek rendszeres karbantartása és a régi, zajos alkatrészek cseréje modernebb, csendesebb verziókra [7] hozzájárul a zajkibocsátás csökkentéséhez.

Pálya és infrastruktúra karbantartása: Az infrastruktúra állapotának javítása, például a sínek cseréje, keresztaljak javítása és a pályatörzs karbantartása csökkentheti a rezgéseket és a zajszintet.

Sebesség és menetrendszerűség módosítása: A járművek sebességének csökkentése vagy a menetrend optimalizálása olyan területeken, ahol a zajterhelés különösen jelentős, csökkentheti a zajkibocsátást [8].

Zajvédő falak és akadályok: A zajvédő falak és akadályok telepítése a pálya mentén csökkentheti a vasúti zaj terjedését a környező területekre.

Innovatív technológiai fejlesztések: Az innovatív technológiai megoldások, mint például elektromos meghajtású vonatok vagy zajszűrő berendezések használata, jelentős mértékben csökkentheti a zajkibocsátást.

Fontos megjegyezni, hogy a zajcsökkentési intézkedéseket átfogóan és az egyedi körülményekre szabva kell végrehajtani. Az egyes vasútvonalak, infrastruktúra és járműtípusok eltérő zajkibocsátási tulajdonságokkal rendelkezhetnek, így a hatékony zajcsökkentés érdekében alapos elemzés és tervezés szükséges. A zajcsökkentő intézkedések eredményeként csendesebb és környezetbarátabb vasúti közlekedés valósítható meg, ami javítja az emberek életminőségét és az élhetőbb városi környezetet teremti.

7. A zajcsillapítás költségei

A vasúti zajterhelés csökkentésére számos megoldás lehetséges, amelyek közé tartoznak a zajcsillapítás, infrastruktúra fejlesztése, járművek modernizálása és az üzemeltetés optimalizálása. A

költségigényük változó lehet, és függ az alkalmazott intézkedés típusától, az infrastruktúra és járművek állapotától, valamint az adott vasútvonal jellemzőitől [2]. Az alábbiakban bemutatom néhány lehetséges zajcsökkentési megoldást és azok várható költségigényét [9]:

Zajcsillapító anyagok használata: A járműveken és az infrastruktúrán zajcsillapító anyagok (ásvány gyapot, STERED) alkalmazása hatékony módszer a zajterhelés csökkentésére [10]. A zajcsillapító burkolatok, bevonatok és anyagok segíthetnek csökkenteni a zajkibocsátást. A költségigényük változó lehet, és függ az alkalmazott anyagok típusától és a kezelt területek nagyságától. Az ilyen típusú intézkedések általában viszonylag alacsonyabb költségűek lehetnek, különösen akkor, ha csak a kritikus zajforrásokra alkalmazzák. További hatékony megoldást eredményezhetnek a zajelnyelésre optimalizált szendvicsszerkezetek alkalmazása [11].

Rezgéscsillapító intézkedések: Reggéscsillapító intézkedések alkalmazása, például rezgéselnyelő pályabetétek, rezgéscsillapító alkatrészek a járműveken, jelentősen csökkentheti a rezgéseket és ezzel együtt a zajkibocsátást is. A költségigényük függ az alkalmazott technológiától és az infrastruktúra méretétől, de általában mérsékelten magas lehet.

Infrastruktúra fejlesztése és karbantartása: Az infrastruktúra állapotának javítása, például a sínek cseréje, keresztaljak javítása és a pályatorzs karbantartása hatékonyan csökkentheti a zajkibocsátást [12], [13]. A költségigény ezekben az esetekben általában magasabb lehet, különösen ha nagy területekre és hosszú vasútvonalakra terjednek ki a fejlesztések.

Járművek modernizálása: A régi, zajos járművek modernizálása csendesebb, alacsony zajszintű verziókra történő cserével jelentősen csökkentheti a zajterhelést. A járművek modernizálása általában jelentős költségekkel járhat, de hosszú távon hatékony és fenntartható megoldás lehet.

Üzemeltetés optimalizálása: A vonatok ütemezésének és sebességének optimalizálása, például a zajérzékeny területeken lassítva a vonatokat, segíthet csökkenteni a zajterhelést. Az üzemeltetési optimalizálás költségei változóak lehetnek, de általában mérsékeltek és rövid távon hatékonyak lehetnek [33].

A zajcsökkentési intézkedések költségigénye az adott helyzettől és az alkalmazott intézkedésektől függ.

A vasutak világszerte jelentős pénzügyi forrásokat fordítottak a vasút okozta zajszennyezés csökkentésére vagy mérséklésére. A német DB vasút hosszú távú céljai között szerepel a kibocsátott zajszint felére csökkentése. Ennek teljes költsége 2,3 milliárd euró, beleértve a dupla - üvegezésű ablakokat is. Franciaország 193 millió eurót fektet be zajvédő falakba és sintonpítókba [14], [15]. A zajcsökkentés költségei az európai GDP kb. 0,1 és 0,5 százalékát teszik ki [16]. Európában évente körülbelül 150-200 millió eurót költenek zajvédő falakra és ablakszigetelésre [17].

Fontos megjegyezni, hogy bár néhány intézkedés jelentős költségekkel jár, hosszú távon jelentős előnyökkel járhat a zajkibocsátás csökkentése, például az emberek egészségének és életminőségének

javítása, a környezeti terhelés csökkentése, valamint a közlekedés fenntarthatóságának és hatékonyságának javítása. Ezért a zajcsökkentési megoldások kidolgozásakor és végrehajtásakor fontos átfogóan értékelni az intézkedések hatásait és a hosszú távú előnyöket figyelembe venni.

8. A vasút és a közút összehasonlítása zajkibocsátás szempontjából

A zajterhelés szempontjából a vasúti és a közúti közlekedés jelentősen különbözik. Mindkét közlekedési forma zajforrásokat jelent, és a zajterhelés mértéke függ a közlekedési eszközöktől, az infrastruktúrától és az üzemeltetési feltételektől. Az alábbiakban bemutatom a vasúti és a közúti közlekedés zajterhelésének összehasonlítását néhány meghatározó területen [18]:

8.1. Zajforrások:

Vasúti közlekedés: A vasúti közlekedés zajforrásai közé tartoznak a vonatok kerekei és tengelyei, motorjai, fékei, valamint a sínekkel és infrastruktúrával való érintkezés során keletkező zajok. A vonatok áthaladása során a sínekkel való súrlódás, a kerék-sín érintkezés és a mozgó levegő is jelentős zajforrások lehetnek. Továbbá a közlekedésbiztonsághoz szorosan hozzátartozó hangjelzések is jelentős zajforrást jelenthetnek.[14], [19]

Az egyes összetevők hatását mutatja a sebesség függvényében az 1. ábra.

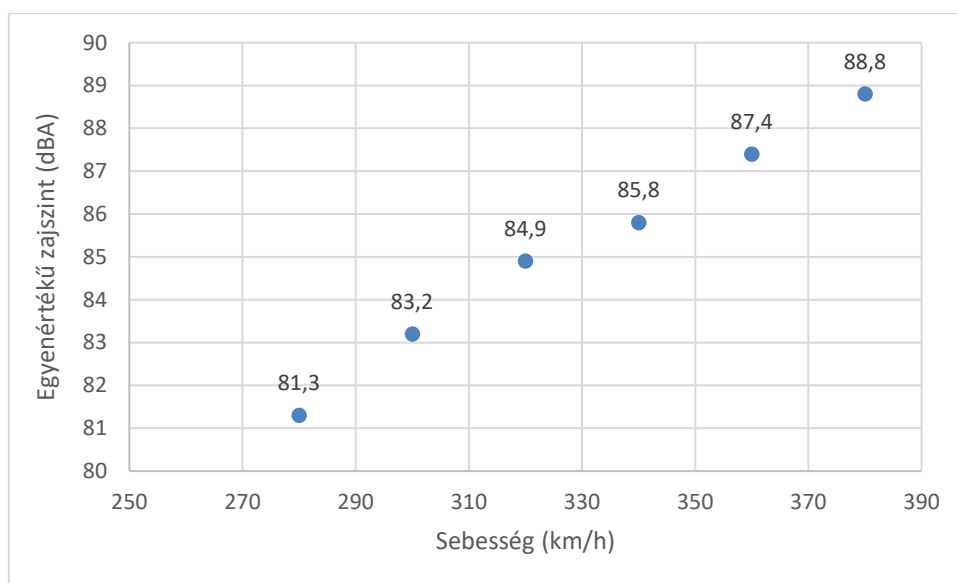
Közúti közlekedés: A közúti közlekedés zajforrásai közé tartoznak a járművek motorjai, kerekei és fékei, valamint az aszfalttal való érintkezésből származó zajok. A közúti közlekedés során a járművek áthaladása, a gumiabroncsok és az útburkolat érintkezése, valamint a közúti forgalom is zajterhelést okozhat. Ezen tényezők gyakorlati fontossága kiemelkedő, mivel a közúti zajterhelés komoly hatással lehet a lakókörnyezet minőségére és az emberek életminőségére. Az állandó zajkibocsátás kellemetlenséget és stresszt okozhat, ami hozzájárulhat az alvászavarokhoz, a mentális fáradtsághoz és az egészségügyi problémákhoz. Ráadásul a hosszú távú zajkitettség számos egészségügyi kockázattal jár, beleértve a halláskárosodást és a szív- és érrendszeri betegségeket. Ennek következtében a közúti zajforrások kezelése és csökkentése kiemelt fontosságú válik a fenntartható és élhető városi környezet kialakításában. A közlekedési ágazatok közül a legnagyobb területre kiterjedő és a legtöbb embert érintő zajforrás a közúti közlekedés [20], amelynek zajkibocsátását befolyásolja a forgalom nagysága és összetétele, az útburkolat fajtája és minősége, valamint a gépjárművek állapota [21], [22]).

8.2. Zajintenzitás:

Vasúti közlekedés: A vasúti közlekedés zajterhelése általában magasabb, különösen azokon a szakaszokon, ahol nagy sebességű vagy nehéz teherrel közlekedő vonatok közlekednek. Az infrastruktúra állapota, a vonatok típusa és a sebesség jelentős hatással van a zajkibocsátásra. a vasúti

közlekedés a közútnál lényegesen kisebb területre terjed ki, periodikus, rövid lefolyású és sokkal kevesebb embert érint, az okozott zaj (a háttérzajból sok esetben jobban kiemelkedő) jellege lényegesen kellemetlenebbnek minősíthető. Az ágazaton belül a teherszállítás, különösen az éjszaka, a lakóterületek közelében elhaladó szerelvények, illetve hangjelzések miatt jelentkeznek a megengedettnél magasabb zajterhelési szintek. Az elhaladási zajszint-maximumot elsődlegesen a pillanatnyi járműsebesség, másodlagosan a pálya-jármű (pályatípus, járműtípus) kombinációja határozza meg [23]. A települések lakott részén áthaladó vasútvonalak mellett nappal 70–72 dBA egyenértékű szint is mérhető, és a zaj éjszaka sem csökken 68–70 dBA alá [24].

A nagysebességű vasútnál mért zajszint a 2. ábrán bemutatott módon növekszik a sebesség növekedésének hatására.



2. ábra: Zajszint növekedése a sebesség függvényében [25]

Közúti közlekedés: A közúti közlekedés zajterhelése változó lehet, és függ a közlekedési eszközök típusától, sebességétől és a közlekedési környezettől. A városi területeken és zsúfolt utakon általában magasabb zajterhelés jellemző. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy a tehergépjárművek, nehézgépjárművek, tömegközlekedési eszközök, valamint a motorkerékpárok zajosabbak a személygépjárműveknél. Magyarország lakosságának mintegy 50 %-a a közúti közlekedésből eredő zajjal terhelt. Különösen a városi főútvonalak mentén a határértékek egészséget veszélyeztető mértékű túllépése figyelhető meg [26]. A városi főforgalmú utak mentén a nappali értékek 75–82 dBA, az éjszakaiak 68–77 dBA közötti sávban jelentkeznek [27].

8.3. Távolság és terjedés:

A hang „erőssége” a hangintenzitással, azaz a hang terjedési irányára merőleges, egységnyi felületen áthaladó hangteljesítménnyel (W/m^2) jellemezhető [28]. A gyakorlatban a hangintenzitás helyett a dB-ben vagy dBA-értékben kifejezett hangintenzitás-szinttel, illetve méréstechnikai okokból az ezzel

FICZERE-BORBÁS: Vasúti közlekedés során keletkező zajok okainak és hatásainak elemzése, 2025

arányos hangnyomásszinttel dolgozunk. Az egyenértékű zajszint meghatározásának különösen a zaj károsító hatásának megítélésénél van fontos szerepe, mivel benne nemcsak a zaj erőssége, hanem a behatás időtartam is azonos súllyal szerepel. A hangteljesítmény-szint ismeretének jelentősége pedig különösen a tervezés kapcsán domborodik ki. A várható hangteljesítmény-szint előzetes ismerete ugyanis segíthet annak megítélésében, hogy milyen zajcsökkentő berendezést kell tervezni, illetve zajcsökkentő intézkedést kell meghozni [29]. A hangforrás (olyan rugalmas test vagy közeg, amely a vele közölt energiát hangenergiává alakítja [30]. A közeg rezgése hosszirányú (longitudinális) hanghullámok alakjában terjed [31]. A rezgés terjedése a közvetítő közeg fizikai állapotának (nyomásának, részecskesebességének, elmozdulásának) egy adott egyensúlyi helyzet körül térben és időben való ingadozásával történik. A hang hullámhosszát a hang terjedési sebességének és a vizsgált jel frekvenciájának viszonya adja meg [30].

Egy Debrecenben végzett vizsgálat során a zajforrástól (74,87 dB) 5 m távolságban 2,52 dB, míg 20 m távolságban 6,57 dB csökkenést mértek [32].

Vasúti közlekedés: A vasúti zaj általában jelentősen távolabb terjed, mint a közúti zaj. A vonatok általában az infrastruktúra kijelölt útvonalain haladnak, és a zaj jelentős távolságra hallható lehet, különösen a nagy sebességű vonatoknál.

Közúti közlekedés: A közúti zaj terjedése korlátozottabb, mivel a járművek a közutakon haladnak. A zaj általában az utak közelében jelentkezik és csökken a távolsággal.

8.4. Zajterhelés hatása:

Mindkét közlekedési forma zajterhelése negatív hatással lehet az emberek egészségére, jólétére és a környezeti minőségre. A zajterhelés hallásromlást, alvászavarokat, stresszt és szív-érrendszeri problémákat okozhat.

Összességében mind a vasúti, mind a közúti közlekedés zajforrásokat jelent és zajterhelést okozhat. Azonban a zajintenzitás, a terjedés és a hatások terén jelentős különbségek vannak a két közlekedési forma között. A zajterhelés csökkentése érdekében mindkét területen zajcsökkentő intézkedések és technológiák alkalmazása fontos, hogy a közlekedés fenntarthatóbb és környezetbarátabb legyen.

8.5. Zajterhelés megengedett mértéke

A különböző országokban eltérőek lehetnek a vasút által generált zajok megengedett értékei lakóövezetek mentén. Franciaországban nappal 60 dBA, míg éjjel 55 dBA, Olaszországban nappal 65 dBA, éjjel 55 dBA, Kínában nappal 60 dBA, éjjel 50 dBA, az USA területén éjjel és nappal is 65 dBA, Németországban pedig nappal 59 dBA, éjjel 49 dBA a megengedett egyenértékű zajszint [25].

9. A közlekedési zajterhelések gazdasági hatásai

A közlekedési zajterhelés jelentős gazdasági hatásokkal jár, amelyek különböző területeken érintik a társadalmat, az üzleti szektort és az infrastruktúrát. A zajterhelés gazdasági hatásai közé tartoznak:

Egészségügyi költségek: A zajterhelésnek negatív hatása lehet az emberek egészségére, például hallásromlás, alvászavarok, stressz és szív-érrendszeri problémák formájában. Ez kihatással lehet az egészségügyi rendszerekre, és növelheti az egészségügyi ellátás költségeit, például a kezelések, vizsgálatok és rehabilitációk költségeit.

Ingatlan értéke: A zajos közlekedési környezetekben lévő ingatlanok értéke általában alacsonyabb lehet, mivel a zajterhelés csökkenti az ingatlanok vonzerejét a vevők és bérlők számára. Ez kihatással van az ingatlanpiacra, és az érintett területeken csökkenhet az ingatlanok értéke és piaci kereslete.

Turizmus és vendéglátás: A zajterhelés negatívan befolyásolhatja a turizmus és vendéglátás szektorát. A zajos közlekedési környezetek kevésbé vonzóvá tehetik az adott területeket a turisták és látogatók számára, így csökkentve a turizmus bevételeit és a vendéglátóipari szolgáltatások iránti keresletet.

Életminőség és munkateljesítmény: A zajterhelés rosszabb életminőséget eredményezhet a zajos területeken élők számára. Az emberek állandó zaj közötti élése stresszel és fáradtsággal járhat, ami kihatással van a munkateljesítményre és a munkahelyi hatékonyságra.

Közlekedési infrastruktúra fejlesztése: A zajterhelés csökkentése érdekében zajcsökkentő intézkedésekre és technológiákra van szükség, ami költséges lehet. A közlekedési infrastruktúra modernizálása és zajcsillapítása pénzügyi forrásokat igényel az államtól és az önkormányzatoktól.

Zajszennyezésből adódó környezeti károk: A zajterhelés szennyezés formájában hatással lehet a környezetre, például az élővilágra és az ökoszisztémákra. Ez hosszú távon pénzügyi terhet jelenthet a környezetvédelmi intézkedésekre és a károk helyreállítására.

Az állandó zajterhelés csökkentése érdekében a fenntartható és környezetbarát közlekedési megoldások kidolgozása és alkalmazása, valamint a zajcsökkentő intézkedések hatékony bevezetése kulcsfontosságú. Ez hozzájárulhat a zajterhelés csökkentéséhez, az emberek életminőségének javításához és a környezeti fenntarthatóság előmozdításához.

10. Összegzés

A vasúti közlekedés során számos zajforrás azonosítható, amelyek a különböző járművek, infrastruktúra és a közlekedési folyamatok részét képezik. A korábbiakban bemutatottakon túl azonosítható más zajforrás is. : A vágánykereszteződések, jelzők és egyéb közlekedési jelek működése is zajforrás lehet a vasúti közlekedés során. Továbbá a vasúti átjárókon alkalmazott csengők és jelzők a közlekedésbiztonság érdekében szintén zajt generálnak.

A mesterséges intelligencia (MI) alkalmazása a zajok analizálására és problémák azonosítására a vasúti közlekedésben rendkívül hasznos lehet. A vasúti közlekedés egy bonyolult rendszer, ahol számos kritikus elem van jelen, és a zajok által hordozott információk felhasználása segíthet az üzemzavarok korai észlelésében, a karbantartás hatékonyságának növelésében és a biztonság javításában.

Hivatkozások

- [1] Tulipánt, G., "A közúti és vasúti áruszállítás zajkibocsátásának elemzése és a zajterhelés csökkentési lehetőségeinek vizsgálata" (2007)., Doktori disszertáció
- [2] Markovits-Somogyi, R., Török, Á., "HEATCO kutatási jelentés a Magyarországon végzett zajjal kapcsolatos fizetési hajlandóságról", *MŰSZAKI INFORMÁCIÓ KÖRNYEZETVÉDELME*, 17, 99-107. (2006)
- [3] Madshus, C. 5., & Kaynia, A. M., „High-speed railway lines on soft ground: dynamic behaviour at critical train speed”, *Journal of Sound and Vibration*, 231(3), 689-701., (2000), <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2647>
- [4] Brian Hemsworth - Noise Consultant LLP: „Environmental Noise Directive, Development of Action Plans for Railways”, prepared for International Union of Railways (UIC), (2008)
- [5] Hemsworth 2006, Brian Hemsworth: Noise Reduction at Source - EU Funded Projects, presentation held on conference RailNoise 2006; Pisa, 9-10 November 2006.
- [6] Thompson and Gautier 2006, D J Thompson (University of Southampton) and P-E, Gautier (SNCF): „Review of research into wheel/rail rolling noise reduction” JRRT79, *IMechE* 2006JRRT79 IMechE 2006., DOI: 10.1243/0954409JRRT79
- [7] Demus, T., Tokaji, K., Szigetvári, M., Varga, A., "Vasúti légszárító zajterhelésének csökkentése szimuláció segítségével", http://vasutgepeszet.hu/wp-content/uploads/vasutgepeszet_2021_2_belivek-1015-03-demus.pdf
- [8] Blumberger, R., Schmelz, T., "A hazai vasúti csendes folyosók várható hatása a zajterhelés alakulására". *KÖZLEKEDÉS ÉS MOBILITÁS: KÖZLEKEDÉS-ÉS JÁRMŰTUDOMÁNYI FOLYÓIRAT*, 2(1), 5-13. (2023).
- [9] Watson, I., Ali, A., & Bayyati, A.: „Noise Mitigation and Related Factors of High Speed Railways” *European Journal of Sustainable Development*, 7(3), 11., (2018), <https://doi.org/10.14207/ejsd.2018.v7n3p11>
- [10] Zvolenský, P., Pultnerová, A., & Grenčík, J.: „Analysis of the efficiency of low noise barrier using STERED material”, In MATEC Web of Conferences (Vol. 196, p. 04076). *EDP Sciences*, (2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604076>

- [11] Kim, S.-H., Lee, H.-J., & Kim, J.-T.: „Sound Insulation Strategy for the Tunnel Noise in a High Speed Train”, *Journal of the Korean society for railway*, Korean Society for Railway, . (2012, August 31), <https://doi.org/10.7782/jksr.2012.15.4.315>
- [12] Frolova, O., Salaiová, B., Olexa, T., & Mandula, J. “Using crumb rubber from waste tires to reduce road traffic noise” In MATEC Web of Conferences (Vol. 73, p. 04022). *EDP Sciences*, (2016), <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167304022>
- [13] Pultznerová A, Šimo J, Grenčík J.: „Possibilities of Evaluating the Effectiveness of Noise Barriers in Slovakia”, *Applied Sciences*, 2021; 11(21):10206. <https://doi.org/10.3390/app112110206>
- [14] Clausen, U., Doll, C., Franklin, F., Franklin, G., Heinrichmeyer, H., Kochsier, J., Rothengatter, W. and Sieber, N. „Reducing Railway Noise Pollution” [online], <http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/IPOL>, (2012).
- [15] Reducing Railway Noise Pollution,. [online] <http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/IPOL>
- [16] Banister, D. „European transport policy and sustainable mobility”, London: Spon Press, p.78, (2000). <https://doi.org/10.4324/9780203857816>,
- [17] Oertli, J. and Hubner, P.: „Railway Noise in Europe a 2010 report on the state of the art”, Paris: UIC, p.12, https://uic.org/IMG/pdf/uic_railway_noise_the_state_of_the_art_2010.pdf
- [18] Tánzos, K., Markovits-Somogyi, R., Török, Ádám “Noise annoyance, willingness to pay of inhabitants exposed to transport noise”, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 35(1-2), pp. 75–84., (2007)
- [19] Talotte, C., Gautier, P. E., Thompson, D. J., & Hanson, C.: “Identification, modelling and reduction potential of railway noise sources: a critical survey”, *Journal of Sound and Vibration*, 267(3), 447-468, (2003), DOI: [10.1016/S0022-460X\(03\)00707-7](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00707-7)
- [20] Szász G.-Tőkei L. (szerk.): „Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek” – Mezőgazda Kiadó, pp. 697-703. (1997)
- [21] El-Fadel, M.-Shazbak, S.-Hadi Baaj, M.-Saliby, E.: „Parametric sensitivity analysis of noise impact of multihighways in urban areas”, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 22, pp. 145-162, (2002), DOI: [10.1016/S0195-9255\(01\)00101-9](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(01)00101-9)
- [22] Fodor I.: „Környezetvédelem és regionalitás Magyarországon”, Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, pp. 224-235., (2001)
- [23] Bite P.-né-Hajdú S.-Mészárosné Kis Á.-Bognár G.-Szőke J.-Reményi J.-né): „A kötőtpályás közlekedés zajhatás értékelésének elvi módszere”, Közlekedéstudományi Intézet, Budapest, 16p., (1997)
- [24] Oktatási Minisztérium: „A természeti és épített környezet védelme és fejlesztése”, *Technológiai Előrejelzési Program, Munkacsoport jelentés*. Oktatási Minisztérium, Kutatás-fejlesztési Helyettes Államtitkárság, Budapest, 56 p., (2000)

- [25] Ivanov, N. I., Boiko, I. S., & Shashurin, A. E. "The problem of high-speed railway noise prediction and reduction", *Procedia Engineering*, 189, 539-546., (2017)., <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.086>
- [26] Bulla, M.: „Környezetvédelmi kulcsproblémák”, *Magyarország településkörnyezete* (Key problems of environmental protection). Budapest: Magyar Tudományos Akadémia, 187-236., (2000).
- [27] Havas, A., Szlávik, J., & Füle, M.: „A természeti és épített környezet védelme és fejlesztése”, munkacsoport jelentés= The Hungarian Technology Foresight Programme: Report by the Steering Group., (2000).
- [28] Nagy A.: „Zaj- és rezgésvédelem II. (Zajvédelem)”, Széchenyi István Főiskola Közlekedésgépészeti Intézet, Győr, Kézirat, 81 p., (1992)
- [29] Moser M-Pálmai Gy.: „A környezetvédelem alapjai”, Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 245-301., (1984)
- [30] Smetana, C.: „Zaj- és rezgésmérés” Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 222 p, (1975)
- [31] Czelnai R.: „Bevezetés a meteorológiába I.: Légköri alapismeretek”, Nemzeti Tankönyvkiadó, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Kézirat, pp. 220-228., (1993)
- [32] Baros, Z. A városi zaj környezeti és társadalmi hatásainak vizsgálata Debrecen városában. doktori disszertáció (2012)
- [33] Török, Á., „A zajszennyezéssel kapcsolatos fizetési hajlandóság meghatározása kérdőíves felmérés segítségével”, *Közlekedéstudományi Szemle*, 56, 222-224. (2006).