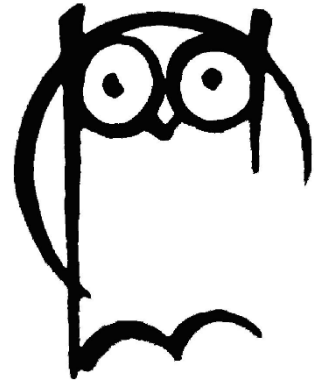


Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



Közúti zajterhelés vizsgálata a 471-es főút Debrecen belterületi szakaszán

Szerzők: Fazekas Csanád Alex, Nagy Márton Péter,
Szűcs Attila, Vajda Marcell István 10. osztályos tanulók

Témavezető: Dr. Kocsis Dénes
Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes

Debrecen
2024. 11. 06.

Tartalomjegyzék

1. Szakirodalmi áttekintés [1]	3
1.1 Mechanikai rezgések	3
1.2 Harmonikus rezgőmozgás kinematikai leírása	3
1.3 Rezgési energia.....	6
1.4 Mechanikai hullámok	8
1.5 Az Európai Unió irányelve	9
1.5.1 Európai Unió szabályozás a környezeti zajszennyezéssel kapcsolatban	9
1.5.2 Zajszennyezés az EU-ban.....	9
1.5.3 Európai Unió zero szennyezési akció terv	10
2. Anyag- és módszertan	11
2.1 Mérési helyszín:.....	11
2.2 Közúti zajmérés	11
2.2.1 Forgalom számlás	13
2.2.2 Zajmérő eszköz.....	14
2.3 Zajtérképezés	14
3. Eredmények és értékelésük	16
3.1 Közúti zajmérés eredményei	16
3.2 Mérési adatok korrekciója	17
3.2.1 Akusztikai jármű-kategóriákhoz tartozó évi óraforgalom kiszámítása	17
3.2.2 Mértékadó sebesség kiszámítása	18
3.2.3 LAeq (7,5), i kiszámítása	18
3.2.3.1 Kt, i kiszámítása	18
3.2.3.2 KD kiszámítása	19
3.2.4 LAeqm és LAeqM kiszámítása	19
3.2.5 Korrekciós érték számítása	20
3.2.6 LAM,kő számítása.....	21
3.3 Zajtérképezés folyamata	22
3.3.1 Improtálás:	22
3.3.2 Kiegészítő háttérkép beillesztése az épületek megrajzolásához.....	22
3.3.3 Épületek megrajzolása	22
3.3.4 Épületek adatainak megadása.....	23
3.3.5 Számítások és zajtérkép	23
3.4 Eredmények értékelése	24
Összegzés	25
Források, hivatkozások	27

Bevezetés

Az ember a hétköznapi életben majdnem mindenhol találkozhat zajjal, például egy forgalmas út vagy autópálya mellett, építkezések közelében vagy akár a munkahelyén is. De egy hangosan működő berendezés is okozhat egészségügyi problémákat, ilyen lehet az éjszakai rossz alvás, nagy stressz, komolyabb esetekben akár szív- és érrendszeri megbetegedések és anyagcserezavarok is.

Az Európai Unióban minden ötödik ember szenved valamilyen mértékű zajszennyezéstől, a legfőbb szennyező forrás a közúti zaj, de a vasút és repülőgépek által keltett zaj sem elhanyagolható, viszont ezek a források kevesebb embert érintenek. Ezért az EU nagyobb figyelmet fordít ennek a problémának a kezelésére, ilyen például a *Zero Pollution Action Plan*.

Ez a téma minekünk is felkeltette az érdeklődésünket. Kerestünk mi is ilyen problémás útszakaszokat, ahol nagy a forgalom és annak zaja, végül a Debrecen belterületén lévő 471-es számú főútra, ismertebb nevén a Sámsoni útra esett a választásunk ezt az utat 2x1 sávról 2x2 sávra bővítik a rajta áthaladó forgalom nagysága miatt. Ez után méréseket végeztünk és ezen mérések segítségével zajtérképet csináltunk és következtetéseket vontunk le az útszakasz közelében jelentkező zajterhelésre vonatkozóan

1. Szakirodalmi áttekintés [1]

1.1 Mechanikai rezgések

Azt a mozgást, amelynek során egy tömegpont valamely helykoordinátája vagy koordinátái időben periodikusan változnak, mechanikai rezgésnek nevezzük. Az egyensúlyi helyzettől a tömegpont pillanatnyi helyéig húzott vektor a kitérés vektor. Ennek a jele a $y^{\rightarrow}$ és a mértékegysége méter (m) lesz. Egyensúlyi helyzetben a kitérés értéke nullával egyenlő.

Szélső helyzetekben a test sebessége irányt vált, ezt a két végpontot fordulópontnak nevezzük. Itt 0 lesz egy pillanatra a sebessége a testnek. Az egyik szélső helyzethez tartozó kitérést amplitúdónak nevezzük. Ennek a jele: A, mértékegysége méter (m). Ez egy vektormennyiség. A mozgás fordulópontjában a kitérés:

$$y^{\rightarrow}=+, -A$$

Egy teljes rezgés megtételéhez szükséges időt periódusidőnek vagy rezgésidőnek nevezzük. Ez egy skaláris mennyiség. Jele a T és a mértékegysége a másodperc (s). Másik mérhető mennyisége a rezgés szaporaságának a frekvencia vagy rezgésszám. A rezgés során megtett rezgése k száma és az eltelt t idő hányadosa a frekvencia. Jele az f.

$$f = \text{rezgések száma/eltelt idő} = k / t$$

A frekvencia számérték az 1 másodperc alatt megtett teljes rezgések számát adja. Mértékegysége 1/s vagy Hz és ez egy skaláris mennyiség.

$$f = \text{rezgések száma/eltelt idő}, f = 1 / T$$

1.2 Harmonikus rezgőmozgás kinematikai leírása

A harmonikus rezgést végző test mozgása ismétlődő szakaszokból áll időben, ezért a test kitérése, sebessége és gyorsulása időben periodikus mennyiség. Minden harmonikus rezgőmozgáshoz hozzárendelhető egy egyenletes körmozgás, mert az egyenletes körmozgást végző testnek a kör valamely átmérőjére eső vetülete

harmonikus rezgőmozgást végez, ha a körpálya sugara és a rezgés amplitúdója egyenlő, valamint a két mozgás periódus ideje legyen azonos. Az így kapott körmozgást a vizsgált harmonikus rezgőmozgást referencia körmozgásának nevezzük.

Fázisnak nevezzük a rezgés pillanatnyi állapotát. A rezgést fázisát a test pillanatnyi helye és sebessége adja meg. Ha a vizsgált rezgőmozgás egyensúlyi helyzetből indul és t idő eltelte után a referencia körmozgást végző test szögelfordulása φ . Ez a φ szög a rezgés fázisát is jellemzi, amit fázisszögnek nevezzük. A fázisszög megmutatja, hogy a rezgő test melyik résznél van a teljes rezgésnek. Két rezgés azonos fázisban van, ha a fáziskülönbségük a teljesszög egész számszorosa:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = k \cdot 2\pi, k \in \mathbb{Z}$$

Ha két test a rezgőmozgás egyensúlyi helyzetének magasságában van és t idő múlva a rezgő test kitérése y , akkor a referencia körmozgást végző test szögelfordulása φ , ami egyben a harmonikus rezgőmozgás fázisszöge.

$$\begin{aligned}\sin \varphi &= y / A \\ y &= A * \sin \varphi = R * \sin \varphi\end{aligned}$$

Az egyenletes körmozgás során az eltelt idő egyenesen arányos a szögelfordulással.

$$\begin{aligned}\varphi &= \omega * t \\ y(t) &= A * \sin(\omega * t)\end{aligned}$$

Az ω -t körmozgásnál szögsebességnek, rezgőmozgásnál körfrekvenciának nevezzük.

$$\omega = 2\pi / T = 2\pi * f$$

A harmonikus rezgőmozgást végző test kitérése az időnek szinuszos függvénye.

$$\vec{y}(t) = A * \sin(\omega * t)$$

A rezgőmozgást végző test sebessége az egyensúlyi helyzet környezetében a legnagyobb. A szélső helyzetekben a mozgásnak fordulópontjai vannak és itt a sebesség irányt vált, ezért a nagysága egy-egy pillanatra 0. Az egyenletes körmozgást végző test kerületi sebessége állandó nagyságú.

$$v_k = r * \omega = A * \omega$$

A sebesség és a harmonikus rezgőmozgást végző test pillanatnyi sebessége az y tengelyre eső merőleges vetülete minden pillanatban megegyezik.

$$\begin{aligned}\cos \varphi &= v / v_k \\ v(t) &= v_k * \cos \varphi \\ v(t) &= A * \omega * \cos(\omega * t)\end{aligned}$$

A harmonikus rezgőmozgást végző test sebessége az időnek koszinuszos függvénye.

A test rezgőmozgásának gyorsulása is időben periodikusan változik. Az egyensúlyi helyzetben való áthaladáskor a testre ható eredőerő nulla, ami miatt a gyorsulásnak is nullának kell lennie. A szélső helyzetekben a legnagyobb az eredőerő, ezért a gyorsulásnak is itt van a maximuma. Az egyenletes körmozgást végző test gyorsulása mindig a kör középpontja felé mutat, és nagysága

$$a_{cp} = R * \omega^2$$

A referencia körmozgás centripetális gyorsulásának függőleges komponense minden pillanatban megegyezik a harmonikus rezgőmozgás gyorsulásával.

$$a(t) = a_{cp} * \sin \varphi = -A * \omega^2 * \sin(\omega * t)$$

A harmonikus rezgőmozgást végző test gyorsulása az időnek mínusz szinuszos függvénye.

A test gyorsulása a szélső helyzetekben a legnagyobb:

$$a_{\max} = A \cdot \omega^2$$

Megadhatjuk a kitérés függvényében is a gyorsulást:

$$a = -\omega^2 \cdot y$$

A harmonikus rezgőmozgás gyorsulásának nagysága egyenesen arányos a kitéréssel, vele ellentétes irányú.

1.3 Rezgési energia

Rezgési energiáról akkor beszélhetünk, amikor egy rendszer vagy egy test valamilyen formában rezeg, vagyis periodikus mozgást végez. Ilyen például a rugók, hanghullámok és a molekulák is. A rezgési energia a mozgásból származik, és a rendszer tömegétől függ.

A rezgési energia több területen is előfordul. Például a mechanikai rezgés az, amikor egy rugó és egy tömeg rendszerében a rugó feszültsége és a tömeg mozgása rezgési energiát tárol. A hanggenerálás az, hogy a hanghullámok létrejötte során a levegő molekulái rezegnek, ami hangenergiát eredményez. A molekuláris rezgés a kémiai kötések rezgése során a molekulák rezgési energiát hordoznak, ami hatással van a hőmérsékletre és a kémiai reakciókra.

Zárt rendszerben állandó:

$$E_{\text{rezgési}} = E_{\text{mozgási}} + E_{\text{rugalmas}} = \text{állandó}$$

Szélső helyzetben:

$$E_{\text{rugalmas}} = \text{maximális és } E_{\text{mozgási}} = 0$$

$$y = A$$

Egyensúlyi helyzetben:

$$E_{\text{rugalmas}} = 0 \text{ és } E_{\text{mozgási}} = \text{maximális}$$

$$y = 0$$

azaz:

$$E_{\text{rezgési}} = \frac{1}{2} m * v^2(t) + \frac{1}{2} D * y^2(t)$$

$$t = \text{adott időpillanat}$$

$$E_{\text{rezgési}} = \frac{1}{2} m * v_{\text{max}}^2 = \frac{1}{2} D * A^2$$

A szabad rezgés zárt rendszerben a rezgést csillapító hatása igen kicsi.

A rezgőképes rendszert kétféleképpen juttathatjuk energiához. Vagy elmozdítjuk a rendszert egyensúlyi helyzetből, vagy a testet pillanatszerűen sebességhez juttatjuk. Ezt a mozgást szabadrezgésnek, sajátrezgésnek vagy csillapítatlan rezgésnek nevezzük.

$$E_{\text{rezgési}} = \text{állandó, illetve}$$

$$E_{\text{rezgési}} = E_{\text{mozgási}} + E_{\text{rugalmas}}$$

Csillapított rezgőmozgásnál bármely rezgőképes rendszer kölcsönhatásban van a környezetével. A rezgési energia nem állandó ezért folyamatosan csökken. A rendszernek adott energia szétszóródik a környezetbe. Közben a rezgés frekvenciája nem változik, de amplitúdója nullára csökken. Ennek két fajtája van. Egyik típus a közegellenállással csillapított rezgőmozgás, ennek amplitúdója időben négyzetesen csökken, a másik pedig súrlódással csillapított rezgőmozgás, ennek amplitúdója időben lineárisan csökken.

1.4 Mechanikai hullámok

A mechanikai hullámokat a fizikában a legegyszerűbb hullámoknak tartjuk. Ezek általában kiterjedt testeknél lépnek fel. Például a hangvilla szárai több száz teljes rezgést végeznek másodpercenként. Mivel a levegő összenyomható, ezért kitölti a teret és így a rezgő hangvillaszárak könnyedén tudnak sűrűsödést és ritkulást létrehozni. A rugalmas, kiterjedt közeg egy pontján keltett sűrűségváltozás tovább vonulását hangnak nevezzük.

A hordozó közeg dimenziószáma alapján több csoportosítása van a hullámoknak. A vonal menti az 1-dimenziós, a felületi a 2-dimenziós a térbeli a 3-dimenziós hullámokat jelenti. A hullámtér tömegpontjai helyhez kötött rezgést végeznek, ezért a részecskék rezgésállapota terjed. A hullámterjedés során a közeg újabb és újabb pontjai jönnek rezgésbe és a rezgés fázisával együtt a rezgés energiája is terjed. Ha a hullámforrás harmonikus rezgést végez, akkor a környezetében harmonikus hullámok jelennek meg.

A hullámoknak két fajtája van energiaterjedés szempontjából. Az első a transzverzális hullám. Ezek azok a hullámok, melyben a közeg részecskéi rezgéseiket az energiaterjedés irányára merőlegesen végzik. Ekkor a hullámnak hullámvölgyei, illetve hullámhegyei lesznek. A hullámhegyben a rezgő részecske kitérése $+A$, a hullámvölgyben $-A$. Ha a közeg minden részecskéje azonos irányban végzi rezgését, akkor az így előálló hullámot lineárisan vagy síkban poláris hullámnak nevezzük. A másik típus a longitudinális hullám, melyben a közeg részecskéi rezgéseiket az energiaterjedés irányában végzik. Ezért nincs más kitüntetett irány a terjedési irányon kívül.

A hullámok lehetnek cirkulárisan vagy elliptikusan polárisak. Ezeknél a mozgásoknál a test ellipszis vagy körkörös mozgást fog végezni, mivel a hullám elektromos és mágneses terének iránya folyamatosan változik. Ezt a jelenséget hullámpolarizációnak nevezzük.

A harmonikus hullámban a közeg minden egyes pontja harmonikus rezgést végez. Azt a sebességet, amellyel a hullám fázisa terjed, a hullám terjedési sebességének nevezzük és ez egy vektormennyiség.

A mechanikai hullámok terjedési sebessége függ a közeg anyagi minőségétől, tulajdonságaitól. A hullámtér minden egyes pontja harmonikus rezgőmozgást végez ugyanakkora T periódusidővel, mint a hullám forrása, csak fáziskéséssel. Két legközelebbi azonos fázisban rezgő pont távolságát hullámhossznak (λ)nevezzük és ez

egy skaláris mennyiség. A transzverzális hullámban 1 hullámhossz a két szomszédos hullámhegy vagy hullámvölgy távolsága. Longitudinális hullámban két szomszédos sűrűsödés vagy ritkulás közepének távolsága pontosan egy hullámhossz. A hullám terjedési sebességét úgy fejezzük ki, hogy:

$$v = f \cdot \lambda, \text{ illetve } v = T\lambda$$

[1]

1.5 Az Európai Unió irányelve

1.5.1 Európai Uniós szabályozás a környezeti zajszennyezéssel kapcsolatban

Az Európai Unió 2002/49/EC irányelve vizsgálja a zajszennyezésnek kitett területeket, annak egészségkárosító hatásait, illetve próbálja azt csökkenteni és fenntartani az alacsony zajszennyezést.

Ezentúl minden EU tagállamnak zajtérképezési és zajkezelési tervet kell készítenie az alábbi esetekben:

- 100'000 lakosnál nagyobb agglomeráció
- évi 3 millió járműnél nagyobb forgalmú közút
- évi 30'000 vonatonál nagyobb forgalmú vasút
- évi 50'000 le- vagy felszállásnál nagyobb forgalmú repülőtér

továbbá a tervről tájékoztatnia kell az adott tagországnak a lakosait. Ezek a tervek megtalálhatóak az Európai Bizottság hivatalos oldalán.

Az uniós irányelv nem ad meg korlátozásokat vagy célértékeket a környezeti zajra, hanem ezt rábízta a tagországokra. [2]

1.5.2 Zajszennyezés az EU-ban

Minden ötödik uniós állampolgár szenved olyan mértékű zajszennyezéstől, amely károsítja az egészségét. Ilyen tünetek például a zaj által okozott stressz, alvászavar, szív- és érrendszeri problémák, anyagcsere problémák, illetve hatással van a gyerekek kognitív képességeire is.

Sok városban egy átlagos nap alatt a lakosságnak több mint felét éri a WHO (World Health Organisation) által előírt értékeknél nagyobb közúti zaj. Egyes embereket még a vasút vagy repülő által keltett zaj is éri, amelyek nem érintenek annyi embert, mégis nagy hatással vannak a közvetlen környezetükre, ezért a zaj nagy veszéllyel lehet a lakosságra. A zajszennyezés nem csak az embereket érinti, hanem

hatással van a vadvilágra is: viselkedési problémákat válthat ki, illetve növeli az őket érő stresszt. [3]

1.5.3 Európai Unió zéró szennyezési akció terv

Az úgynevezett *Zero Pollution Action Plan* az Európai Unió által létrehozott terv, amelynek célja, hogy csökkentse 2050-re a környezetszennyezést, többek között a zajszennyezést is. [5] A zajszennyezést tekintve a terv pontos célja az, hogy csökkentse 30%-kal az olyan emberek számát, akiket hosszútávon káros mértékű közlekedési zajterhelés ér, továbbá arra fókuszál, hogy a zajt a forrásánál csökkentse. [4]

2. Anyag- és módszertan

2.1 Mérési helyszín:

A közúti zajmérést Debrecen városban, a 471-es számú főúton végeztük. A 471-es főút Debrecen belterületi szakasza a Sámsoni út egy nagy forgalmat lebonyolító útvonal, amelyen rengeteg tehergépjármű, illetve hétköznapiakon reggel és este nagy mennyiségű személygépjármű közlekedik. Sok ingázó ember használja, aki Debrecenben dolgozik és Hajdúsámsonban él (1.ábra) és dugókat hoznak létre. Ezért az Építési és Közlekedési Minisztérium a főút városi szakaszát 2x1 sávról 2x2 sávra tervezi növelni, hogy megelőzze a reggeli és esti dugókat, növelje a közlekedésbiztonságot védett gyalogátkelőkkel és lámpás keresztezésekkel, illetve gyorsítsa a forgalmat.

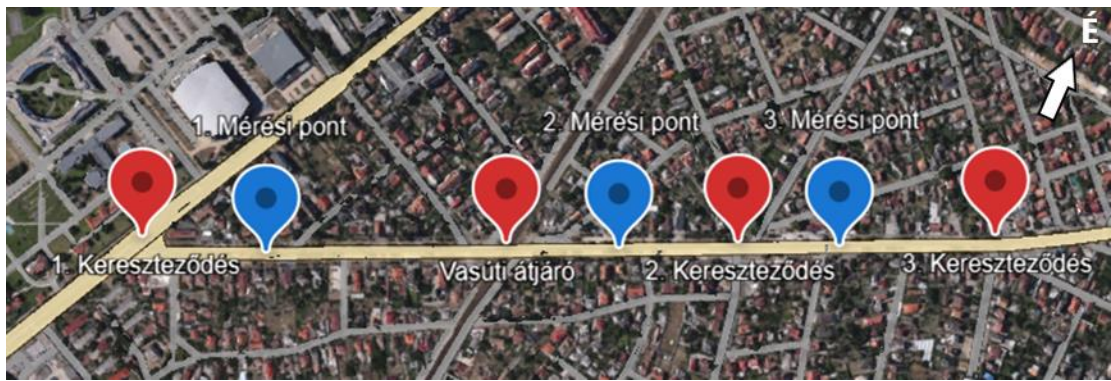


1. ábra: A 471-es főút Debrecen – Hajdúsámson közötti szakasza

Forrás: Google Earth-ről készült képernyőfotó [6]

2.2 Közúti zajmérés

A közúti zajmérést három pontban végeztük, ezeket a pontokat úgy választottuk ki, hogy az minél távolabb legyen nagyobb kereszteződéstől vagy vasúti átjárótól, hogy egyenletesen áramoljon a forgalom és ne zavarjuk a gyalogos és kerékpáros forgalmat, így pontosabb mérési eredményeket kapjunk a közúti forgalom tényleges sebességéről, illetve zajjáról.



2. ábra: Mérési pontok

Forrás: Google Earth alapján, saját szerkesztés [6]

1. Kereszteződés: 4-es számú főút és a 471-es számú főút kereszteződése
2. Kereszteződés: 471-es számú főút és a Mátyás Király utca kereszteződése
3. Kereszteződés: 471-es számú főút és a Budai Nagy Antal utca kereszteződés



**1.Kép: 1. Mérési pont,
saját készítésű kép**



**2.Kép: 2. Mérési pont,
saját készítésű kép**



**3.Kép: 3. Mérési pont,
saját készítésű kép**

A méréseket a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet [7] alapján a meghatározott vonatkoztatási pontokban végeztük, amelyek a szélső forgalmi sáv középvonalától 7,5 méter távolságban és 1,5 méter magasságban kerültek kijelölésre.

2.2.1 Forgalom számlálás

A 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet [7] a forgalom számlálását is leírja. A forgalmat 3 akusztikai jármű-kategória (továbbiakban akusztikai jármű-kategória/ jármű-kategória) lehet sorolni.

1.Táblázat: Akusztikai jármű-kategóriák

Forrás: 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet [7] - 5.számú melléklet 4.2

	A	B	C	D	E
1.	Jelölés: k=	Járműkategória megnevezése (ÚT 2-1.109)	Akusztikai jármű- kategória	Járművek főbb jellemzői	Jel
2.	1.	személy- és kisteher- gépkocsi	I.	személygépkocsi vontatmánnyal vagy anélkül, kis autóbusz 16 férőhely alatt, tehergépkocsi, amelynek megengedett legnagyobb összömege kisebb 3500 kg-nál (kb. 1500 kg-nál kisebb hasznos teherbírású)	szgk
3.	2.	szóló autóbusz	II.	a közúti közlekedés szabályairól szóló 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet (a továbbiakban: KRESZ) szerint meghatározott (kivéve a 16 férőhely alattiakat)	busz
4.	3.	csuklós autóbusz	III.	KRESZ szerint meghatározott	cs-busz
5.	4.	könnyű tehergépkocsi	II.	tehergépkocsi, 3500-7000 kg összömegű (kb. 1500-3000 kg hasznos teherbírású)	ktgk
6.	5.	szóló nehéz tehergépkocsi	III.	tehergépkocsi pótkocsi vagy vontatmány nélkül, 7000 kg-nál nagyobb összömegű (kb. 30000 kg-nál nagyobb hasznos teherbírású)	ntgk
7.	6.	tehergépkocsi szerelvény	III.	tehergépkocsi pótkocsival, nyergesvontató	tgk-szer
8.	7.	motorkerékpár és segédmotoros kerékpár	II.	KRESZ szerint meghatározott	mkp

A számolásokat a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet [7] alapján végeztük, a pontos számolások az Eredmények és értékelésük fejezetben találhatóak meg.

2.2.2 Zajmérő eszköz

A közúti zajméréshez egy Svantek 971 zajszintmérőt (1. kép) használtunk. A műszert egy kamera állványra rögzítettük. Az eszköz úgy volt beállítva, hogy negyedórás időtartamokat és az egyenértékű A-hangnyomásszintet mérjen. Mérés előtt a műszert kalibráltuk egy olyan eszközzel (2.kép), amely folyamatosan hangot ad ki állandó hangerősséggel és frekvencián. Ebben az esetben 94 dB hangerősséggel és 1000 Hz frekvencián



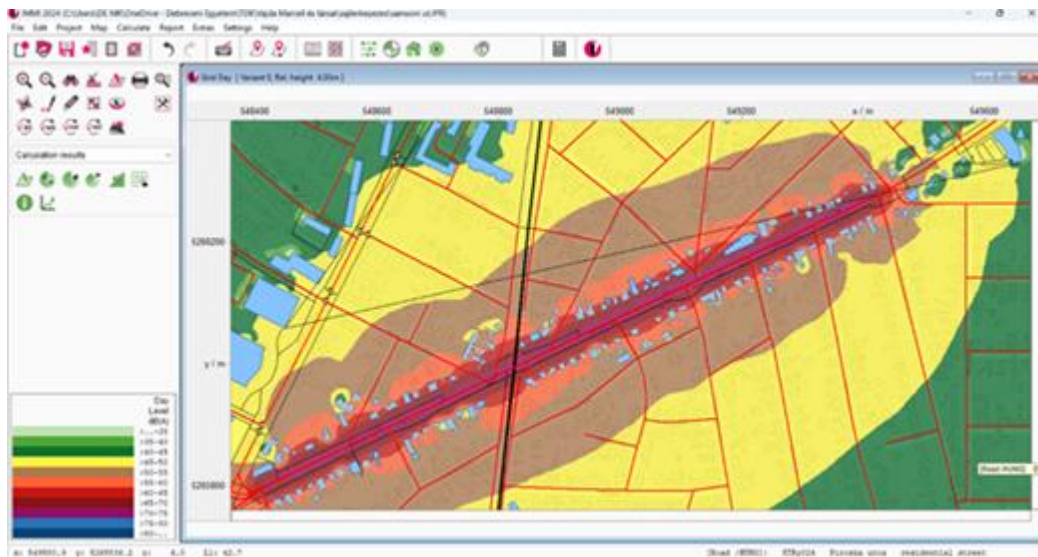
3.ábra Svantek 971 zajszintmérő műszer (balra) [8], kalibrátor (jobbra) [9]

2.3 Zajtérképezés

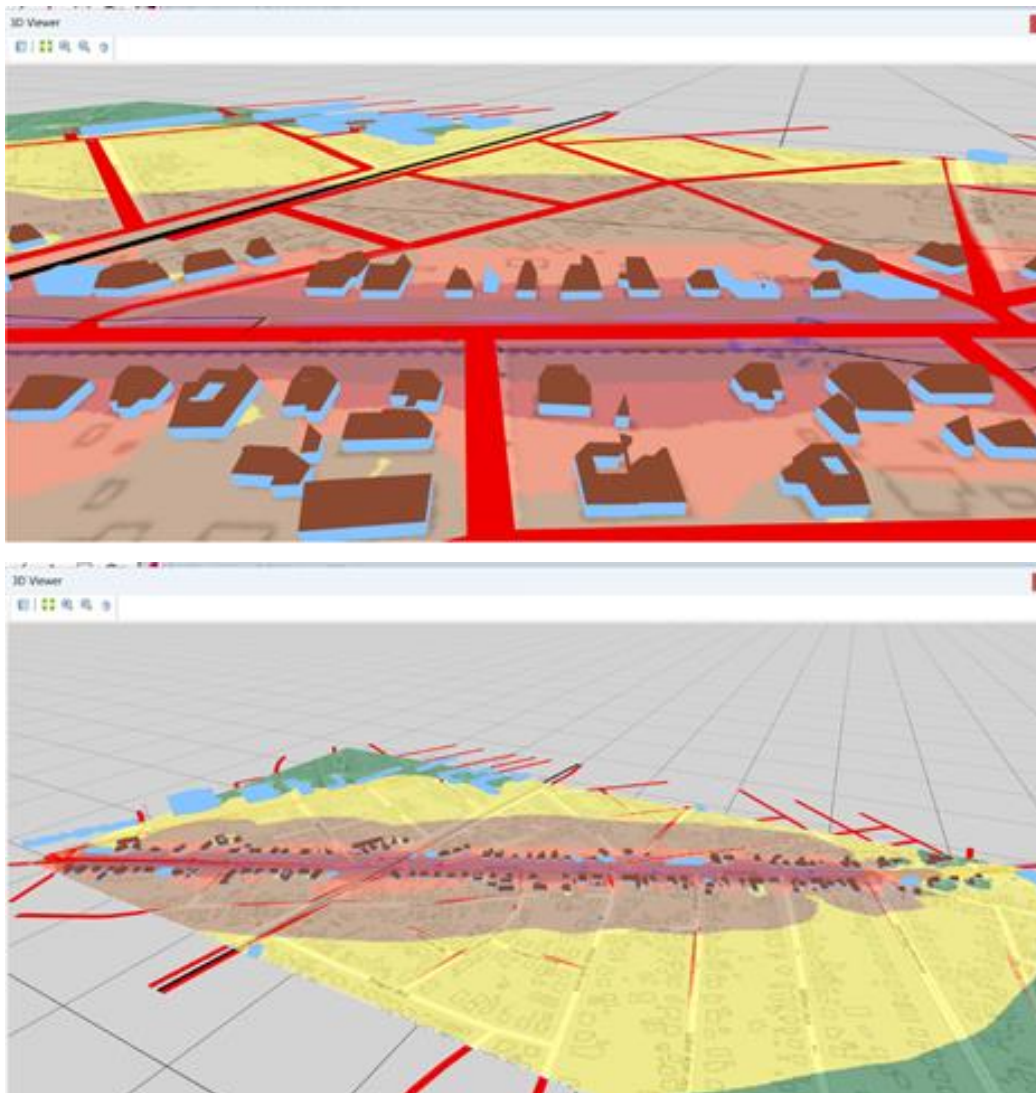
A zajtérképezés célja, hogy a különböző zajforrások által okozott környezeti zajszinteket mérje, modellezze és térképi formában jelenítse meg. Ezt a módszert városi és ipari környezetekben alkalmazzák, ahol a zajterhelés befolyásolja az életminőséget és a környezetet.

A zajtérképezés során méréseket végeznek, majd a kapott adatokat modellező szoftverek segítségével térképre viszik, hogy azonosítani lehessen a kritikus zajterhelésű területeket. Az eredmények alapján zajcsökkentési intézkedéseket, például zajvédő falak telepítését lehet kezdeményezni, hozzájárulva a fenntartható várostervezéshez.

A zajtérképet az *IMMI* nevezetű programmal készítettük.



4. kép Az *IMMI* zajtérképező program kezelő felülete



5. és 6. kép 3D-s zajtérkép, Forrás: *IMMI* zajtérképező program

3. Eredmények és értékelésük

3.1 Közúti zajmérés eredményei

A méréseket 2024. augusztus 30-án, pénteken végeztük, délután 4 és 6 között, mert ekkor van a délután csúcsforgalom a 471-es számú főúton, ekkor a legnagyobb a zaj. Mérések során több dolgot is megfigyeltünk, hogy miért vannak ekkora dugók csúcsforgalomban:

- A 471-es sz. főúton keresztül menő vasút megállítja a forgalmat egy-egy vonat érkezésekor.
- A kis utcákról vagy azokba történő kanyarodó járművek megzavarja a forgalom haladását és így csökkenti annak sebességét.
- Az útfelbontások és az út menti közművek építése szűkíti a forgalmi sávok szélességét ezáltal lassítja a forgalmat, illetve megnehezíti a nagyobb járművek közlekedését is.

Három pontban mértünk, mindegyik mérési ponton 15 percet, emellett felírtuk a mérési pontok GPS koordinátáját és az időjárási adatokat.

2. Táblázat: A 15 perces mérések eredményei, saját készítésű táblázat

15 perces mérések eredménye	1. Pont		2. Pont		3. Pont	
GPS	47,5441721		47,5459978		47,5464409	
	21,6449101		21,6507278		21,6522553	
Hőmérséklet	33°		33°		33°	
Páratartalom	26%		28%		28%	
Szél	ÉK 14 km/h		ÉK 13 km/h		ÉK 14 km/h	
	A	B	A	B	A	B
1-es típus [j/h]	504	452	604	436	616	460
2-es típus [j/h]	60	64	52	44	56	24
3-as típus [j/h]	24	12	12	12	8	32
Átlag sebesség [km/h] (becsült)	40		42		45	
Átlag hangerő [dB]	65,2		64		65,3	

- A: Városból érkező forgalom

- B: Városba tartó forgalom

Mérések során nem volt műszerünk a sebesség mérésére, ezért megbecsültük a járművek átlagsebességét a maximális sebesség (jelen esetben 50 km/h) és a megfigyeléseink alapján, például, hogy egy torlódás miatt vagy egy kanyarodó autó miatt, hogy változik az autók sebessége.

3.2 Mérési adatok korrekciója

Ezek a mérési adatok egy kicsi időtartamhoz tartoznak és a forgalom is változhat, ezért nem adnak feltétlenül valós értékeket. Szóval ezeket az adatokat korrigálni kell az út átlag forgalmi adataival, hogy megkapjuk a tényleges zaj hangerősségét. Ezeket a számolásokat a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet [7] alapján végeztük.

A korrekcióhoz felhasznált hivatalos forgalmi adatokat a 471-es sz. főút kezelője a Magyar Közút Nonprofit Zrt. készíti.

3. Táblázat: adatok a 471-es sz. főútról, utolsó sorban zöld színnel kiemelve a vizsgált szakasz, Forrás: Magyar Közút Nonprofit Zrt. [10]

Személy- gépkocsi	Kis teher- gépkocsi	Autóbusz		Tehergépkocsi					Motor- kerékpár	Kerékpár	Kerékpár- út	Lassú jármű
		egyes	csuklós	közepes nehéz	nehéz	pótkocsi	nyerges	speciális				
[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]	[j/nap]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(12)
6877	836	139	29	67	52	18	62	4	82	29	6	6
478	881	13	1	314	27	295	863	8	6	4	5	5
2759	719	33	1	80	119	266	567	2	47	9	7	7
3938	1093	81	4	75	133	103	245	2	40	16	13	13
3628	995	68	3	76	129	146	330	2	42	14	11	11
3938	1093	81	4	75	133	103	245	2	40	16	13	13
3522	1165	88	1	215	47	170	274	0	83	117	55	55
2000	666	17	1	152	26	170	243	0	18	9	24	24
1981	998	17	4	178	34	203	326	0	21	2	39	39
6155	1276	138	3	143	66	69	235	3	59	3	38	38
2663	402	19	1	88	65	96	205	0	22	6	63	63
2199	820	19	0	105	84	156	197	1	18	5	33	33
3808	896	68	2	117	75	108	235	1	39	14	38	38
3750	928	68	3	104	93	120	266	2	40	14	29	29
2108	685	49	11	81	29	35	94	0	86	0	18	18
4030	1037	75	46	84	46	44	104	0	338	1	7	7
5644	1382	74	52	52	69	65	88	3	274	261	19	19
7077	1743	93	57	104	84	63	68	12	307	193	14	14
4124	1082	67	37	74	51	49	93	2	228	99	15	15
24989	3844	345	157	657	214	96	288	2	508	1345	20	20

3.2.1 Akusztikai jármű-kategóriákhoz tartozó évi óraforgalom kiszámítása

1-es jármű kategória: $Q1, \text{napköz} = A1, \text{napköz} * \dot{A}NF1/12$

2-es jármű-kategória: $Q_{2,napköz} = A_{2,napköz} * (\dot{A}NF_2 + \dot{A}NF_4 + \dot{A}NF_7)/12$

3-as jármű-kategória: $Q_{3,napköz} = A_{3,napköz} * (\dot{A}NF_3 + \dot{A}NF_5 + \dot{A}NF_6)/12$

ahol:

- $\dot{A}NF_x$: az 1. Táblázat alapján megadott jármű-kategóriák évi átlagforgalma
- A_x : Az adott útszakaszhoz tartozó átlagforgalmat korrigáló tényező

3.2.2 Mértékadó sebesség kiszámítása

$$V_x = \frac{V_{megengedett}}{1 + \left(\frac{Q_{sáv,x}}{A \cdot V_{megengedett}} \right)^2}$$

Általános képlet a mértékadó sebesség kiszámítására

Ahol:

- X : nappali
- $V_{megengedett}$: sebességhatár az adott útszakaszon
- $Q_{sáv,x}$: az adott sáv évi átlagos óraforgalma
 - $Q_{sáv,x} = (Q_1 + Q_2 + Q_3)/FS$, (FS: sávok száma)
- $A = 0,07 V_{megengedett} + 20$

3.2.3 LAeq (7,5), i kiszámítása

$$LA_{eq}(7,5), i = [K_t + K_D], i$$

3.2.3.1 K_t, i kiszámítása

$$[K_t]_{g,s,t,j,i} = 10 \cdot \lg \left[10^{A_i + [K]_{g,s,t,j,i} + B_i \log(v)_{g,s,t,j,i}} + 10^{C_i + D_i \log(v)_{g,s,t,j,i}} + 10^{E_i + F_i \log(1 + p_{g,s,t,j,i})} \right]$$

Ahol:

- $p=0$
- v : mértékadó sebesség (3.2.2)

**4. Táblázat: $A_i B_i C_i D_i E_i F_i$ állandók,
a 93/2007. (XII. 18.) KvVM [7] rendelet alapján**

	A	B	C	D	E	F
i =	Ai	Bi	Ci	Di	Ei	Fi
1	2	2,92	3,03	2	2,62	3,92
2	2,4	2,92	3,17	2,10	3,15	3,79
3	2,7	2,92	3,9	1,86	5,07	2,53

3.2.3.2 KD kiszámítása

$$[K_D]_{g,s,t,j,i} = 10 \lg(Q_{g,s,t,j,i} / v_{g,s,t,j,i})^{\sim} - 16,3$$

Ahol:

- v: mértékadó sebesség
- Q: az adott járműkategóriához tartozó forgalmi adat (j/h)

3.2.4 LAeqM és LAeqM kiszámítása

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{\sum t_i} \sum_i (t_i 10^{0,1 L_{Aeq,i}}) \right] + K$$

Ahol:

- LAeq: LAeqM vagy LAeqm
- K=0 dB
- LAeq,i: az adott járműkategóriához tartozó LAeq (7,5) értéke

5. Táblázat: Feldolgozott forgalmi adatok a Magyar Közút Nonprofit Zrt adatbázisából, mértékadó sebesség és LAeqM, saját készítésű táblázat

számolt értékek a Sámsoni út esetén	
1-es típus [j/h]	1200
2-es típus [j/h]	63
3-as típus [j/h]	32
v _n (km/h) mértékadó sebesség	38,3
LAeqM(7,5) [dB]	71,6

6. Táblázat: Mért adatok alapján számolt értékek, mértékadó sebesség és LAeqm, saját készítésű táblázat

számolt értékek	1. Pont		2. Pont		3. Pont	
	A	B	A	B	A	B
1-es típus [j/h]	504	452	604	436	616	460
2-es típus [j/h]	60	64	52	44	56	24
3-as típus [j/h]	24	12	12	12	8	32
	Összesen		Összesen		Összesen	
1-es típus [j/h]	956		1040		1076	
2-es típus [j/h]	124		96		80	
3-as típus [j/h]	36		24		40	
v_n (km/h) mértékadó sebesség	40,8		40,2		38,2	
$L_{Aeqm}(7,5)$ [dB]	71,55		71,3		70,4	

3.2.5 Korrekciós érték számítása

Az érték, amellyel korrigáljuk az L_{Aeq} értéket, ha ez az érték negatív, akkor arra lehet következtetni, hogy a forgalom nagyobb volt a mérés idején, mint általában. Ellentétes esetben, mikor a korrekciós érték pozitív, akkor a forgalom kisebb volt, mint általában

$K_f = L_{AeqM} - L_{Aeqm}$

7. Táblázat: Korrekciós érték számítása

saját készítésű táblázat

Eltérések		LAeqM (Hivatalos forgalmi adatok alapján számolt érték)	Laeqm (Megfigyelt forgalmi adatok alapján számolt érték)	Kf (Korrektíós érték)
1. Pont	LAeq(7,5) [dB]	71,6	71,55	0,05
2. Pont	LAeq(7,5) [dB]	71,6	71,3	0,3
3. Pont	LAeq(7,5) [dB]	71,6	70,4	1,2

Ahol:

- Kf: Korrektíós érték

3.2.6 LAM,kő számítása

Azaz „A közúti közlekedéstől származó zajterhelés e melléklet szerint mért egyenértékű A-hangnyomásszintből az 5. pont szerint – a mérés idején tapasztalt, illetve a mértékadó forgalmat alapul véve – meghatározott értéke.” [7] (6. számú melléklet 1.1)

$$L_{AM,kő} = L_{Aeq} + K_f$$

8. Táblázat: LAM,kő kiszámítása

Mérési pontok	LAeq (átlag hangerő) [dB]		Kf(korrektíós érték)	LAM,kö [dB]
1.	65,2	-	0,05	65,25
2.	64	-	0,3	64,3
3.	65,3	-	1,2	66,5

3.3 Zajtérképezés folyamata

3.3.1 Importálás:

- 1. Háttér importálása, a zajtérkép alapja
- 2. Elérhető elemek importálása

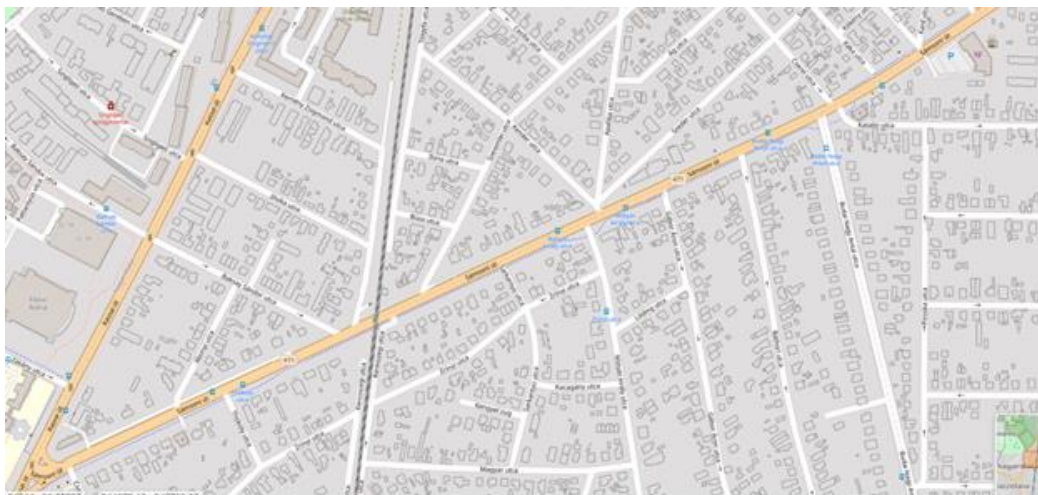
A háttér importálásával, néhány már előre megrajzolt épületet sikerült felhasználnunk. Sajnos a nekünk szükséges épületekből szinte egyet se tudott beolvasni a rendszer, így azokat nekünk kellett megrajzolni.

3.3.2 Kiegészítő háttérkép beillesztése az épületek megrajzolásához

A kiegészítő háttérképet az *Envimap*[11] oldaláról szereztük be, amelyet referenciapontokkal láttunk el (≈ 1 m pontossággal), így pontosan be tudtuk illeszteni. Ez a segédlet következő folyamat során fog segítséget biztosítani.

3.3.3 Épületek megrajzolása

A folyamat legidőigényesebb része a megrajzolás volt. Itt az előzőleg említett képen találhatóak a házak körvonalai, amelyeket egyesével kellett körbe rajzolni.



3. Ábra: A házak megrajzolásához használt térkép

Forrás: Google Earth [6]

3.3.4 Épületek adatainak megadása

Az épületek megrajzolása során adatokat kellett megadni, amelyet a térképek vagy a Google Earth segítségével szereztünk meg. Adatok alatt a ház tetőformáját, magasságát, emeletek számát, feltételezett lakosok számát és felhasználását (lakóépület, bolt, stb.) értjük.

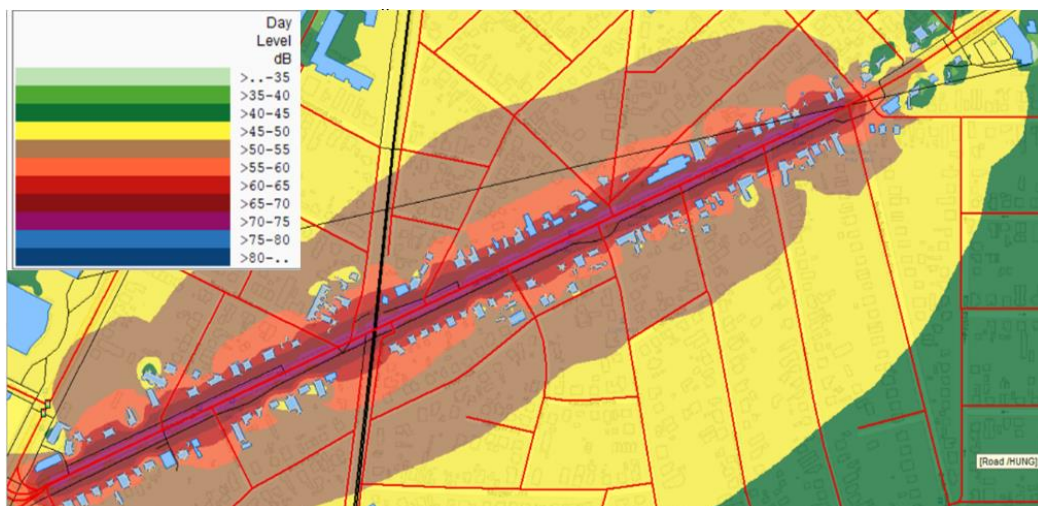
3.3.5 Számítások és zajtérkép

Összesen 2 fajta számítást hajtottunk végre, név szerint egy homlokzat és egy rácsszámítást. A homlokzatszámítás az épületek minden homlokzatát érő zaj erősséget mutatja meg, míg a rácsszámítás egy szín kódolt térképet generál, melyben kiszámítja minden rácstra, hogy mekkora zajszennyezés éri azt.



Homlokzatszámítás térképe

Forrás: IMMI zajtérkép készítő program



Rácsszámítás térképe

Forrás: IMMI zajtérkép készítő program

3.4 Eredmények értékelése

9-11. Táblázat: Becslések a 471-es sz. főút közelében élő embereket érő zajterhelésről a zajtérkép alapján

Forrás: IMMI zajtérkép készítő program

Nappal													
A: Minden lakó a legmagasabb homlokzati szinten /END 2002/49/EG).													
Kategóriák	Össz.	n.b.	>...-35	>35-40	>40-45	>45-50	>50-55	>55-60	>60-65	>65-70	>70-75	>75-80	>80-..
			dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Lakosok	301	0	0	2	0	8	16	52	151	71	0	0	0
... csendes homlokzattal	41	0	0	0	0	0	0	0	22	19	0	0	0
Lakhely	143	0	0	1	0	4	8	25	72	34	0	0	0
Nappal													
B: Lakók elosztása az összes homlokzati szintre (VBEB)													
Kategóriák	Össz.	n.b.	>...-35	>35-40	>40-45	>45-50	>50-55	>55-60	>60-65	>65-70	>70-75	>75-80	>80-..
			dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Lakosok	301	0	3	6	13	51	60	70	80	18	0	0	0
... csendes homlokzattal	41	0	0	0	3	7	3	11	12	5	0	0	0
Lakhely	143	0	1	3	6	24	28	33	38	9	0	0	0
Nappal													
C: Lakók elosztása a homlokzati szintek mediánjának felső felére (BEB, EU-szabályozás 2021(1226, CNOSSOS-EU).													
Kategóriák	Össz.	n.b.	>...-35	>35-40	>40-45	>45-50	>50-55	>55-60	>60-65	>65-70	>70-75	>75-80	>80-..
			dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Lakosok	301	0	0	3	2	7	41	68	143	38	0	0	0
... csendes homlokzattal	41	0	0	0	0	0	0	9	22	10	0	0	0
Lakhely	143	0	0	1	1	3	19	32	68	18	0	0	0

Összegzés

A program által végzett számításokból következő lakosokat érő hatásokra való becslés. (9-11. táblázat) Az összes metódus alapján az ott élők legnagyobb százaléka a >60-65 dB-es zónába esik. A 12. táblázat alapján az értékek a határérték közelében vannak.

12. Táblázat: határértékek a zajterhelésre vonatkozóan,
a piros karikával jelzet érték érvényes a 471-es sz. főút

Debrecen belterületi szakaszára [12]

Sor-szám	Zajtól védendő terület	Határérték (L_{TH}) az $L_{AM,k0}$ megítélési szintre* (dB)					
		kiszolgáló úttól, lakóúttól származó zajra		az országos közúthálózatba tartozó mellékutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő gyűjtőutaktól és külterületi közutaktól, vasúti mellékvonaltól és pályaudvarától, a repülőtértől, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyektől** származó zajra		az országos közúthálózatba tartozó gyorsforgalmi utaktól és főutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő belterületi gyorsforgalmi utaktól, belterületi elsőrendű főutaktól és belterületi másodrendű főutaktól, az autóbusz-pályaudvartól, a vasúti fővonalról és pályaudvarától, a repülőtértől, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyektől*** származó zajra	
		nappal 6-22 óra	éjjel 22-6 óra	nappal 6-22 óra	éjjel 22-6 óra	nappal 6-22 óra	éjjel 22-6 óra
1.	Üdülőtérlet, különleges területek közül az egészségügyi terület	50	40	55	45	60	50
2.	Lakóterület (kisvárosias-, kertvárosias-, falusias-, telepszerű beépítésű), különleges területek közül az oktatási létesítmények területei, a temetők, a zöldterület	55	45	60	50	65	55
3.	Lakóterület (nagyvárosias beépítésű), vegyes terület	60	50	65	55	65	55
4.	Gazdasági terület	65	55	65	55	65	55

Ebből arra lehet következtetni, hogy a 471-es sz. főút Debrecen belterületi szakaszának 2x1-ről 2x2 sávra való bővítése valószínűleg átfogja lépni ezt a határértéket, ha semmilyen zajkezelési intézkedés nem fog történni.

Javaslatok

Az útfelújítás végeztével egy átfogóbb mérést javaslunk, hogy megvizsgáljuk az útszakasz zajterhelését és ennek segítségével egy zajkezelési terv létrehozását javasoljuk.

Ilyen zajkezelési megoldások lehetnek például:

- Az útszakasz mentén zajárnyékoló falak vagy sűrű növényzet telepítése
- Az útburkolat minőségének javítása, zajtompító aszfalt alkalmazása
- Zajszigetelt nyílászáró-csereprogram a környező lakosoknak

- Elektromos járművek használatának támogatása

Illetve javaslunk egy évi általános mérést az útszakaszon, mivel használattal és idővel az útburkolat minősége és más zajcsökkentő elemek hatékonysága is romlik.

Források, hivatkozások

- [1] Dégen Csaba - Elblinger Ferenc - Simon Péter: Fizika 11-12. Oktatási Hivatal, 2015
- [2] Európai Unió 2002/49/EC irányelvről szóló cikk:
https://environment.ec.europa.eu/topics/noise/environmental-noise-directive_en
(2024. 10. 28.)
- [3] Európai zajszennyezésről szóló cikk:
<https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/noise?activeTab=07e50b68-8bf2-4641-ba6b-eda1afd544be> (2024. 10. 28.)
- [4] European Commission: Zero Pollution Action Plan tervről szóló cikk:
https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en#:~:text=The%20zero%20pollution%20vision%20for,creating%20a%20toxic%2Dfree%20environment (2024. 10. 28.)
- [5] European Commission: Zero Pollution Action Plan
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0400&qid=1623311742827>
(2024. 10. 28.)
- [6] <https://earth.google.com>
- [7] 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet
a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgésekibocsátás ellenőrzésének módjáról
- [8] <https://cdn.svantek.com/wp-content/uploads/2021/06/971a-620x770-1.jpg> (2024.10.30)
- [9] https://svantek.com/wp-content/uploads/2021/09/SV36_620x770_2.jpg (2024.10.30)
- [10] <https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagok-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/>
az országos közutak 2022. évre vonatkozó keresztmetszeti forgalma (2024. 11.09)
- [11] <https://debrecen-megyei-jogu-varos-szabalyozasi-terv.envimap.hu/hu/Admin/GeoForte/GeoEdit> (2024.11.10)
- [12] https://www.mmkkornyezetvedelem.hu/images/A_K%C3%96ZLEKED%C3%89SI_ZAJ_FI_GYELEMBEV%C3%89TEL%C3%89NEK_SZAB%C3%81LYAI_SZ%C3%81M%C3%8DT%C3%81SA_%C3%89S.pdf (2024.11.10)