

Növénytársulások hangcsillapító hatása

Sound absorption of plant communities

NYIRKOS BÉLA

okleveles zaj- és rezgésvédelmi szakértő

info@pairform.hu

Beérkezett: 2008.07.13., elfogadva: 2008.08.19.

Kivonat – A hang terjedését a szabadban számos tényező befolyásolja. Ismert, hogy a növényzetnek van hangnyomásszint-csökkentő hatása. (A szabványban egyszerű képlettel számítják a hangcsillapítás mértékét.) A számítási szabvány a csillapító hatást egyszerű képlettel számítja, és nem tesz különbséget a különböző növénytársulási formák között. Vizsgálatom célja a különféle növényi társulások összehasonlítása a két vegetációs időszakban, nyáron és télen. A cikk a lombhullató és örökzöld fás társulások hangcsillapító hatásának vizsgálatáról és mérési eredmények közléséről szól.

Abstract – Several factors influence outdoor noise propagation. Reduction/reductive effect of sound pressure level of vegetation is well known. Sound attenuation is calculated by simple formula, which does not make a distinction among different kinds of plant communities. The aim of my research was to compare different plant communities in two growth seasons, in summer and winter. The article discusses research results on the measurement of the sound pressure absorption level of deciduous and indeciduous plant communities.

1. Bevezetés

A zajkibocsátás visszaszorítása a megengedett határértékre általában komoly anyagi ráfordítással jár. A közutadat szerint a zöld parkoknak és cserjesoroknak érdemleges zajcsökkentő hatása van. A zajvédelemre kötelezett ipari cégek részben a növénytelepítés tervezésével próbálkoznak a csökkentés első lépéseként.

Az üzemi zajok kellemetlenségeit szenvedő lakosok kifogásolják, hogy az üzemi telephely köré nincs növényzet telepítve. Érzelmileg ragaszkodnak a zöld felületekhez, és a probléma megoldásának vélik.

A mindennapi életben a növénykultúra hangcsillapító hatásának igen sokféle megítélése tapasztalható, a csekély csillapító hatástól a nagy hangcsökkentő hatásig.

A hozzáférhető irodalom áttekintése során, első pillanatra ugyanezt a kettősséget tapasztaltam. Egyes szerzők jelentős hangterjedést gátló hatást tulajdonítanak a zöld felületeknek, mások számításba sem veszik, oly jelentéktelennek tartják azt. A mérési eredmények is széles tartományban mozognak. Felmerül a kérdés, hogy a hangcsillapítás mértékének ilyen nagy szórását mi okozza. Talán a növénytársulások faji összetétele, ezzel szoros összefüggésben a sűrűsége.

Vizsgálataim megkezdése előtt a növényzet jelentős hangcsillapítására számítottam.

A dolgozat célja, hogy kapcsolatot keressek a hangcsillapítás mértéke és a különböző faji összetételű növénytársulások között. Hogyan befolyásolja a hangnyomásszint csökkenését a növénykultúra faji összetétele, sokrétűsége. Mi okozhatja az egyes szerzők, cikkek által közölt mérési eredmények széles skáláját [1, 2, 3].

2. Irodalmi áttekintés

A zajterjedési útvonalon lévő növényzet (bokrok és fák) hatására hangszóródás jön létre. A szóródás miatt megnövekszik a hangterjedés útja, így erősödik a földhatás és a molekuláris elnyelésből adódó csökkenés. A hang levelekkel való találkozásakor részben elnyelődik, másrészt visszaverődik. A növényzettel elérhető csillapítás nagysága függ a növényzet fajtájától, a telepítéstől, az évszaktól, a zajspektrumtól és egyéb tényezőktől [4].

A szóródás miatti zajszint csökkenés az erdősáv szélességével arányosnak tekinthető [5]:

$$K_m = 1,5z + a_n \sum_{q=1}^z s_{nq} \quad (1)$$

ahol K_m a zajszint-csökkenés mértéke dB-ben, z az erdősávok száma, a_n a növényzet zajcsillapítási tényezője, s_{nq} pedig a q -adik erdősáv szélessége m-ben. *F. J. Meister* és *W. Ruhrberg* zajcsillapítási tényezőre vonatkozó méréseinek eredményét az 1. táblázat foglalja össze.

A növénytársulások hangcsökkentő hatása csak az alábbi feltételekkel vehető számításba [6]:

- Az erdőnek minimálisan 30 m szélesnek kell lennie.
- Döntő fontosságú az aljnövényzet jelenléte és sűrűsége.
- A növényzetnek olyan sűrűnek kell lennie, hogy 15 méternél ne lehessen mélyebbre látni.
- Célszerű a növényzetet sávokban telepíteni, a zajforrás felé eső oldalon egyre sűrűbben ültetett elrendezésben.

1. táblázat: Meister és Ruhrberg a_n zajcsillapítási tényezőre vonatkozó mérési eredményei

| Növényzet | A növényzet a_n zajcsillapítási tényezője [dB/m] | | | | | Átlag |
|---------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Frekvencia [Hz] | | | | | |
| | 200–400 | 400–800 | 800–1600 | 1600–3200 | 3200–6400 | |
| Erdei fenyőerdő (Pinus sylvestris) | 0,08–0,11 | 0,13–0,15 | 0,14–0,15 | 0,16 | 0,19–0,2 | 0,15 |
| Erdei fenyőültetés (Pinus sylvestris) | 0,1–0,11 | 0,1 | 0,1–0,15 | 0,16 | 0,14–0,2 | 0,15 |
| Lucfenyő erdő (Picea abies) | 0,1–0,12 | 0,14–0,17 | 0,18 | 0,14–0,17 | 0,23–0,3 | 0,18 |
| Lombhullató rudas erdő | 0,05 | 0,05–0,07 | 0,08–0,1 | 0,11–0,15 | 0,17–0,2 | 0,12–0,17 |
| Sűrű növény | 0,13–0,15 | 0,17–0,25 | 0,18–0,35 | 0,2–0,4 | 0,3–0,5 | 0,25–0,35 |

- A zajforrás felé eső oldalon célszerű a növényzetet ernyősen egymásba hajló növényzetből kialakítani.

A fenti feltételek teljesülése esetén [7] a zajszint-csökkenés mértéke az alábbi módon becsülhető:

$$K_m = a_n s_n \quad (2)$$

ahol az a_n együttható értékére a 2. táblázat ad eligazítást.

Különbféle erdőfajták közepes fajlagos terjedési csillapításának számítására az MSZ 15036:1999 szabvány [8] az alábbi tájékoztatást adja:

$$K_m(f) \approx 0,01 s_n \sqrt[3]{f}, \quad a_n(f) \approx 0,006 \sqrt[3]{f} \quad (3)$$

ahol f a hang frekvenciája Hz-ben.

A növényzet hangcsillapító hatásának mértékére rendkívül eltérő, és a két végét felé hajló véleményeket is lehet találni. Vannak szerzők, akik túlbecsülik a vegetáció hatását (Fischer 1958, Dittmann 1958, Sedowsky és Wodinski 1959, Brugger 1962), mások épp ellenkezőleg, elhanyagolhatónak ítélik (Rieckenberg 1958, Hess 1961) [9].

Nézzünk néhány példát az optimista szemléletmódra:

Moser és Pálmai szerint egy 30 m zöld erdősáv 3–10 dB-lel is csökkent a zajszintet, az ideális háromlépcsős (függőlegesen az alsó légyszárú növényzetre, a középső cserjeszintre és a 3–5 m feletti faállományra tagozódó) sáv 15–20 dB-t csillapít, mely lombhullás után 6–8 dB-re csökken [10].

„1974-ben a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Ipargazdaságtani Tanszéke (Susánszky és mtsi) Budapest különböző pontjain végzett méréseket az úttest szélén és a fasor „védtett” oldalán, meghatározott távolságokban. A mért eredmények 8–12 dB-lel alacsonyabb zajszintet mutattak ki a zajforrástól 20 m távolságban. A zajforrástól 5 m-re háromszintes növényfal (gyep-, cserje- és lombkoronaszint) 12 dB-lel nagyobb zajcsökkenést eredményezett, mint az ugyanilyen távolságban lévő cserjefelület. A mérések meglepő eredményeként azt kapták, hogy a növények zajcsökkentő hatása nagyobb, mint egy téglából rakott falé, ami csak 10 dB-lel mérsékelte a zajt. A zajszintet a sűrű, 6 m magas sövény mérsékelte a legjobban. Hátrányként figyelték meg, hogy mögötte bizonyos távolság után a zajszint ismét erősödött.” [11]

A zajcsillapítás arányban áll az erdősáv szélességével. Ozimek és Kobek [12] megállapítása szerint 15 dB értékű hangnyomásszint csökkenéshez aljnövényzet nélküli erdő esetén 25 m, sűrű állású fiatal erdő esetében 14 m, sűrű aljnövényzetű erdőből 15 m széles sáv szükséges.

Sadowsky és Wodzinsky szerint [12] 50 m széles kerti növény-sáv hangtompítása 20–30 dB. Három sor juhar 22 m széles sávja 10 dB-lel, négy sor hárs 8,4 m széles sávja 7 dB-lel csökkenti a zajt.

Érdekesek azok a megállapítások, amelyek a hangtompítás mértékének frekvenciafüggőségére utalnak. A kutatók azt állapították meg, hogy a növényzet zajcsökkentő hatása a közép- és a felső frekvenciatartományban jelentősebb. Ozimek és Kobek mérési adatai (lásd a 3. táblázatban) szemléltetik ezt az összefüggést.

Nézzünk néhány példát a nem optimista szemléletmódra:

F. J. Meister és Ruhrberg [13] az úttal párhuzamos tömör faállomány hangelnyelő képességét mérték. A növényzeten merőlegesen áthaladó hang esetén méterenként 0,1–0,4 dB zajcsökkenést tapasztaltak. Magas törzsű, sűrű növésű állomány hangelnyelő képessége méterenként 0,16 dB, míg a cserjecsoport és a park csillapítása 0,06 dB/m körül mozog.

A spanyolországi Alicante egyetemi városában egy 5 m magas, 50 m széles és 800 m hosszú, az autópályával párhuzamos zöldsáv az autópálya zaját 80 dB-ről 65–70 dB-re csökkentette. A növényzet elsősorban őshonos fa- és cserjefajok alkották (Jimenez, A) [14].

Az Egyesült Államokban végzett mérések szerint [11] közvetlenül az autópálya mellé telepített leander vagy ezzel egyenértékű cserje, mely legalább 2,4 m magas és 4,5–5 m széles, 1–3 dB-es zajcsökkentést eredményez. Leander és fenyő kombinációjával, úgy, hogy a fenyők 9 m-re állnak egymástól az egy sorban lévő leanderek között, már csak 0–1 dB zajcsökkenés volt tapasztalható, bár ebben az esetben a zajforrástól (autópálya) távolabb helyezkedtek el a növények.

Gabler szerint [12] a hangerősség csökkenésének mértéke 75 m széles erdősáv esetén annyi, mint a 150 m távolságú szabad terület hangelnyelő képessége. Ez a távolság azonban csak arra elég, hogy a közlekedési zaj szintjét a huzamosan elviselhető hangerősség határáig csökkentse.

Bullen és Fricke vizsgálatai [15] szerint a zajcsillapítás mértéke nagyban frekvenciafüggő, 1000 Hz alatti tartományban a növényzet szerepe elhanyagolható. Jelentős eredmény eléréséhez minimálisan 60 m szélességű növény-sáv szükséges, továbbá a talaj akusztikai tulajdonsága jelentősen befolyásolja a csillapítás mértékét.

Kragh 10–25 m növény-sáv-szélesség esetében tapasztalt számottevő zajcsillapítást. A csillapítás mértékének frekvencia-függőségét ő is kiemeli.

2. táblázat: Az a_n együttható közelítő értékei különböző növénytársulások esetére

| Növénytársulás jellege | a_n [dBA/m] |
|------------------------|---------------|
| sűrű cserjés bozótos | 0,15–0,17 |
| sűrű fenyőerdő | 0,1–0,15 |
| sűrű lombos erdő | 0,08–0,1 |

Reethof eredményei szerint egy 30 m szélességű fákat és cserjéket egyaránt tartalmazó ültetett növényssávvval 5–8 dB zajcsökkenés érhető el. Míg hasonló szélességű, de természetes úton kifejlődött növényssáv csak 3–5 dB csillapításra képes.

Tóth Sándor mérései alapján azt állapította meg, hogy a növényfajtól függő zajcsökkentő képesség emelkedése függ:

- a levélnagyság növekedésétől,
- a hang irányára merőlegesen elhelyezkedő levélállástól,
- a különlegesen sűrű lombozattól, a lombkorona belső részén lévő elhalt ágak számától.

A kísérletek szerint az állományok áttörtsége, átlátszó-sága hallómagasságban (1,2–2,3 m) általában nagy. Emiatt a zajcsökkentő képesség csökken. Ha a mérés során a hangnyomásszint-mérőt magasabbra emelték vagy alacsonyabbra helyezték, nőtt a hangtompítás mértéke a koronák és a cserjék zajméréséklő hatása következtében. Eből adódik, hogy a sűrűbb lombozatú, földig lombos fajok, cserjés aljnövényzetű sávok hangtompító képessége nagyobb [11].

„Nyilvánvaló, hogy a távolság növekedésével a hang erőssége csökken. Ha a hangforrást magát nem látjuk, bizonyos hangerőig lelkileg is elszigetelődünk tőle, a zaj kevésbé jut a tudatunkba. Ha a közvetlen környezetünkben az alapzaj szintje alacsonyabb, mint a távoli hangforrásé, akkor erről egy bizonyos szintig nem is szerzünk tudomást. A fák, az erdő hangvédelmi hatásának értékelésekor ezeket a tényezőket is figyelembe kell venni.” [11]

A fák észmei értékelési módszere alapján – melyet Radó Dezső dolgozott ki – egy 50 éves tölgyfa zajvédelme 32 m² zajvédő fallal lehet elméletileg egyenértékű.

Összefoglalva megállapítható, hogy jól kimutatható nagyságú (5–10 dB) zajcsillapítást legalább 30 m széles tömör, sűrű lombozatú, aljnövényzettel is rendelkező erdősávval lehet elérni. A csillapítás mértéke nagymértékben frekvenciafüggő, magasabb frekvencia tartományban nagyobb, míg alacsonyabb tartományokban jelentősen kisebb a csillapítás.

3. Vizsgálat

3.1. Hangforrások

A vizsgálatokhoz közúti (személygépjármű, teherautók) és vasúti (M43-as típusú diesel mozdony) közlekedési járművek zajkibocsátását használtam hangforrásnak. A

3. táblázat: A zajcsökkentés értéke dB-ben 30 m mélyen (Ozimek és Kobek alapján)

| | Aljnövényzet nélküli áll. | Fiatall állomány | Aljnövényzettel borított áll. |
|---------|---------------------------|------------------|-------------------------------|
| 50 Hz | 12 | 24 | 15 |
| 500 Hz | 15 | 25 | 25 |
| 1500 Hz | 15 | 25 | 25 |
| 6000 Hz | 22 | 30 | 27 |

hangforrások átlagos frekvenciamenetét az 1. ábra szemlélteti.

3.2. A mérés kivitelezésének oldalnézeti vázlat

Elsősorban olyan területeket kerestem, ahol elegendően széles növényssáv és kaszált terület, esetleg tarló helyezkedik el egymás szomszédságában. A növényssávok forrással ellentétes oldalán a sávától $D_m = 5$ m-es távolságra mérőfelületet állítottam.

A mérés helyszínrajzát a 2. ábra mutatja. Két mikrofon segítségével mértem a növényssáv mögött és a mellette elterülő referenciaterületen, a forrás haladási vonalától d méterre lévő, az út vonalával párhuzamos mérőfelületen, a talajszint felett $M_m = 1,5$ m-es magasságban, az egyenértékű A-hangnyomásszinteket. Méréseket csak egyedi járműelhaladáskor végeztem.

3.3. A vizsgált növényssávok

A mérések során hét különböző helyszínen, hét növénytársulás zajcsillapítását vizsgáltam. Az egyes vizsgált növénytársulások és kódszámaik:

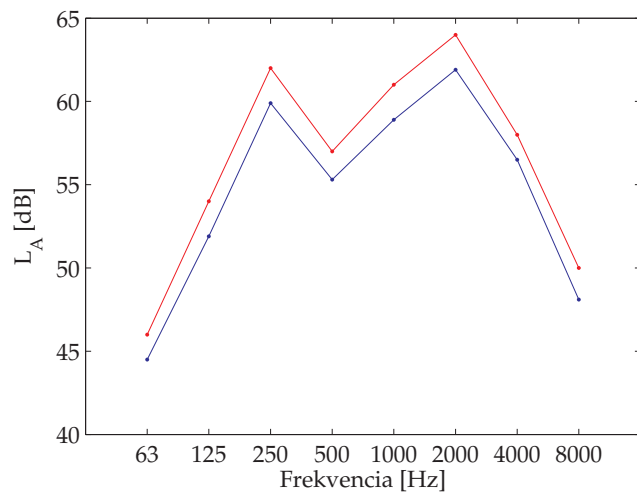
1. Akácós erdő. 11V
2. Kocsányos tölgyerdő telepítés. 21V
3. Az Arborétum örökzöld borókása. 31K
4. Örökzöld, erdeifenyő-erdő telepítés. 41K
5. Akácós mezővédő erdősáv. 12K
6. Juharfajokból álló mezővédő erdősáv. 51K
7. Akácós sűrű. 13K

Az egyes növénytársulásokhoz tartozó mérési helyszíneket és a mérések geometriai paramétereit a 4. táblázat tartalmazza. A különböző növénytársulásokról vegetációs időszakban és télen készült fényképeket, valamint a társulások összetételét a 3-9. ábrák mutatják.

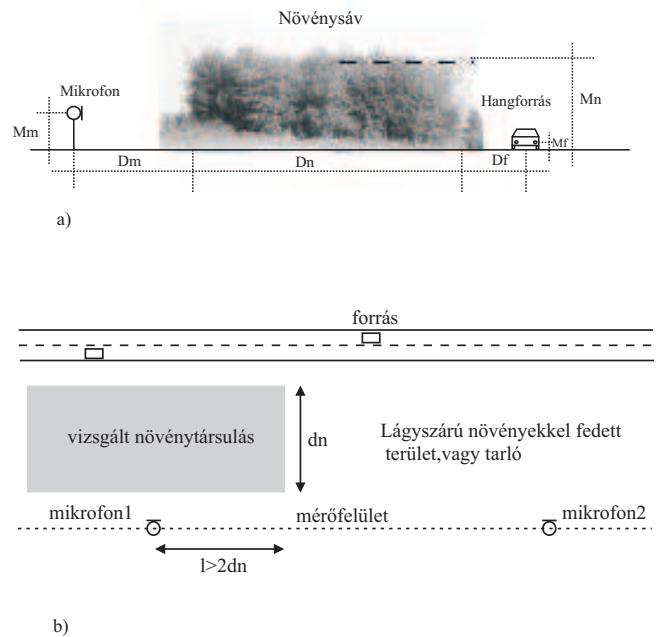
3.4. A mérést befolyásoló tényezők hatásának figyelembevétele

A hangforrás esetében

A háttérzajokból jól kiemelkedő hangnyomásszintű járműelhaladásokat kell választani ahhoz, hogy a háttérzaj kevésbé zavarja a mérés eredményét. A zajforrás lesugárzott hangteljesítményszintjének időbeli változatlanságának biztosításához szükséges, hogy a jármű sebessége állandó maradjon, ne gyorsítson vagy lassítson; az útbur-



1. ábra: Átlagos A-hangnyomásszint közötti gépjárműforgalom esetén a forrástól 30 m (kék), valamint az M43-as diesel típusú mozdony-szerelvények esetén 100 m (piros) távolságra



2. ábra: (a) Mérési elrendezés függőleges metszete. (b) Helyszínrajz.

4. táblázat: Jelölések: M_m : a mikrofon magassága a talajfelszíntől, M_f : a hangforrás magassága az útburkolattól, vasúti pályától, M_n : a növényzsáv becsült magassága, D_m : a mikrofon távolsága a növényzsáv szélétől, D_n : a növényzsáv szélessége, D_f : a hangforrás távolsága a növényzsáv szélétől.

| Kódszám | Helyszín | M_m [m] | D_m [m] | M_n [m] | D_n [m] | M_f [m] | D_f [m] |
|---------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 11V | Debrecen-Apafa (Debrecen-Fehérgyarmat vasútvonal) | 1,5 | 10 | 6–8 | 84 | 0,5 | 5 |
| 21V | Debrecen-Haláp (Debrecen-Vámospércs vasútvonal) | 1,5 | 5 | 5–6 | 34 | 0,5 | 10 |
| 31K | Debrecen-Erdőpusztai Tájház Arborétuma | 1,5 | 5 | 4–5 | 13 | 0,5 | 2 |
| 41K | Debrecen-Fancsika Panoráma út | 1,5 | 3 | 4 | 65,5 | 0,5 | 3 |
| 12K | Debrecen M33-as főút | 1,5 | 3 | 6 | 27,2 | 0,5 | 10 |
| 51K | Debrecen M33-as főút | 1,5/2,3 | 5 | 6–8 | 41 | 0,5 | 3 |
| 13K | Debrecen-Józsa M35-ös főút | 1,5 | 5 | 6 | 34 | 7 | 0,5 |



A társulás összetétele

Robinia pseudoacacia (Fehér akác)
Sambucus nigra (Fekete bodza)
Padus serotina (Kései meggy)
Gleditsia Tiacantos (Lepényfa)

Megjegyzés

fő faállomány, feltisztult törzessel
elvéve található
meghatározó, sűrűnek mondható cserjeállománya
széleken 1-1 db

3. ábra: 11V kódszámú akácos erdő vegetációs és téli időszakban



| A társulás összetétele | Megjegyzés |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Quercus robur (Kocsányos tölgy) | 100%-ban |
| Robinia pseudoacacia (Fehér akác) | 16m széles sáv, ritka állomány |

4. ábra: 21V kódszámú kocsányos tölgyerdő telepítés vegetációs és téli időszakban



| A társulás összetétele | Megjegyzés |
|---|--------------------|
| Juniperus communis (közönséges boróka) | vegyesen telepítve |
| Juniperus virginiana (Virginiai boróka) | |

5. ábra: 31K kódszámú örökzöld borókás vegetációs és téli időszakban



| A társulás összetétele | Megjegyzés |
|-------------------------------|------------|
| Pinus sylvestris (Erdeifenyő) | 100% |

6. ábra: 41K kódszámú örökzöld, erdeifenyő-erdő telepítés vegetációs és téli időszakban

**A társulás összetétele**

Robinia pseudoacacia (Fehér akác)
Acer platanoides (Korai juhar)
Sambucus nigra (Fekete bodza)

Megjegyzés

fő fafaj
elvértve 1-1 fa, elegyfa
a széleken tömegesen és sűrűn

7. ábra: 12K kódszámú akácos mezővédő erdőszáv vegetációs és téli időszakban

**A társulás összetétele**

Acer platanoides (Korai juhar)
Acer negundo (Zöld juhar)
Padus serotina (Kései meggy)
Sambucus nigra (Fekete bodza)

Megjegyzés

fő faállománya (50%)
fő faállománya (50%)
elvértve, elegyfaaként
tömegesen és sűrűn, de csoportokat alkotva

8. ábra: 51K kódszámú, juharfajokból álló mezővédő erdőszáv vegetációs és téli időszakban

**A társulás összetétele**

Robinia pseudoacacia (Fehér akác)
Sambucus nigra (Fekete bodza)
Ulmus pumila (Turkesztáni szil)
Celtis occidentális (Nyugati ostorfa)
Acer pseudoplatanus (Korai juhar)

Megjegyzés

fő fafaj, faállomány
tömegesen, sűrűn található cserje
jelentős mennyiségű bokrok
elszórtnan 1-1 db
szórványosan található

9. ábra: 13K kódszámú akácos sűrű vegetációs és téli időszakban

kolat minősége ne változzon (repedések, kátyúk, sínek illesztése), illetve az út emelkedési szöge konstans legyen.

A mérések során figyeltem a járművek elhaladását, valamint kontrollméréseket végeztem saját gépjármű felhasználásával is. Nagyobb forgalom esetén figyelni kell a szél és hőmérsékleti gradiens okozta inverzió háttérzaj-növelő hatására is.

A közúti járművek elhaladási zajának mérését erősen befolyásolta a többi jármű járulékos zaja. Értékeléskor becsült alapzajjal korrigálást hajtottam végre. A járműelhaladás előtti és utáni minimális egyenértékű A-hangnyomásszint leolvasásával határoztam meg. A korrekciós hibák csökkentése érdekében a nagy hangnyomásszinttel elhaladó járműveket vizsgáltam.

A helyszín és a növénytársulás megfelelő kiválasztása

A nem megfelelő akusztikai környezet kiválasztása az egyik legjelentősebb hibaforrás lehet. Több geometriai tényezőnek és zajforrás tulajdonságnak egyeznie kell a két mérési pont környezetében. Egyrésztől teljesülniük kell a 3.2 és 3.4 pontok alatt részletezett követelményeknek, másrésztől olyan helyszínt kell keresni, ahol megfelelő szélességű, hosszúságú és sűrűségű fás szárú növény-sáv áll rendelkezésre oly módon, hogy mellette elegendően nagy szabad terület (referencia terület) helyezkedik el. Ideális az lenne, ahol még a két mérési pont talajfelszínének tengerszint feletti magassága és a lágyszárú növénytársulása is megegyezne.

Meteorológiai tényezők a vizsgálatok alatt

Méréseket szélcsendes időszakban végeztem.

| Dátum | 2001. jún.-szept. | 2001. dec. |
|--------------|-------------------|-------------|
| légnomás | 996–1006 mbar | 1020 mbar |
| hőmérséklet | 18–25 °C | -3,5–2,3 °C |
| páratartalom | 45–78% | 52,5–68,9% |
| szélesség | 0–0,5 m/s | 0–2m/s |

A szél sebességének a függvényében egy hangforrás hangnyomásszintje jelentős mértékben változik.

Az idősebb akácerdőnél (11V kódszámú) végzett mérések esetén, amikor a referencia területen a zajforrás felől fújó 2–4 m/s-os szélesség volt mérhető, a 84 m széles erdő-sáv mögött mért egyenértékű A-hangnyomásszint 7,3 dBA-val volt alacsonyabb értékű, mint a referenciatereületen kapott szintérték. Szélcsend idején csak 3,6 dBA volt. Tehát a szél jelentősen befolyásolta a hang terjedését. Az erdő gátolja a szél áramlását, mögötte szélcsend alakul ki. Ebben az esetben a növényzet szélfogó tulajdonságát is figyelembe véve kedvezőbb hatással vesz részt a hangcsillapításban.

Talaj hatása

A talaj hatását, természetesen a rajta élő vegetációval együtt, nem lehet kiszűrni. Ráadásul a zajvédő cserjesor, vagy fasor talajfelszíne és a mellette lévő referencia terület felszíne sokszor nem is azonos típusú. Erdősült terület növénytársulása, talajszerkezete teljesen más, mint

egy mezőgazdasági növénykultúrával rendelkező mező. A talajfelszín különbözőségéből adódó hiba a mérésekből nem küszöbölhető ki. Jelentős befolyásoló szerepe van a talajfelszín zajforrás és a mérési pont között lévő domborzatok különbözőségének, valamint a mérési pontok tengerszint feletti magasságkülönbségnek.

Távolságmérés

Ez a feladat tűnt a munkám legkönnyebben elvégezhető részének, de az áthatolhatatlan sűrűségek kellőképpen megnehezítették a mérőszalagos mérést. Többször megismételt mérések alapján megállapítottam, hogy a távolságmérések hibája 1–2 m.

Ez a tény a zajszint mérésénél 0,2–0,5 dBA hibát eredményezhet.

Mérőműszerek hangnyomásszint-mérés eredményének eltérése

A B&K2231-es típusú hangnyomásszint-mérő 0,2–0,6 dBA-val magasabb szinteket mutatott ($t > 1$ min megítélési idő esetén). Ennek oka egyrészt a kalibrálásnál felmerülő pontatlanságok, hiszen a B&K2231-es típus mechanikusan hitelesíthető, másrészt a környezet instabilitása. Ezt a jelenséget a mérések kiértékelésekor $K = -0,4$ dBA korrekcióval vettem figyelembe.

3.5. A mérés kiértékelése

A növény-sáv mögött és a referenciatereületen, a közlekedési úttól azonos távolságra, 1 másodperces L_{Aeq} értékeket mértem folyamatos mentéssel. A hangnyomásszint mérőből áttöltött adatokat Excel formátumba konvertáltam. A függvénysorokat egymásra illesztettem, a két mikrofon között létrejövő jármű-elhaladási időkülönbségeket figyelembe véve. Az adatokra grafikont illesztve, megkerestem a zavarmentes jó elhaladásokat, és meghatároztam az elhaladás előtti és utáni szakaszokra jellemző alapzajokat. Az alapzaj korrekciókat az MSZ 18150-1:1998 „A környezeti zaj vizsgálata és értékelése” című szabvány [16] szerint végeztem el.

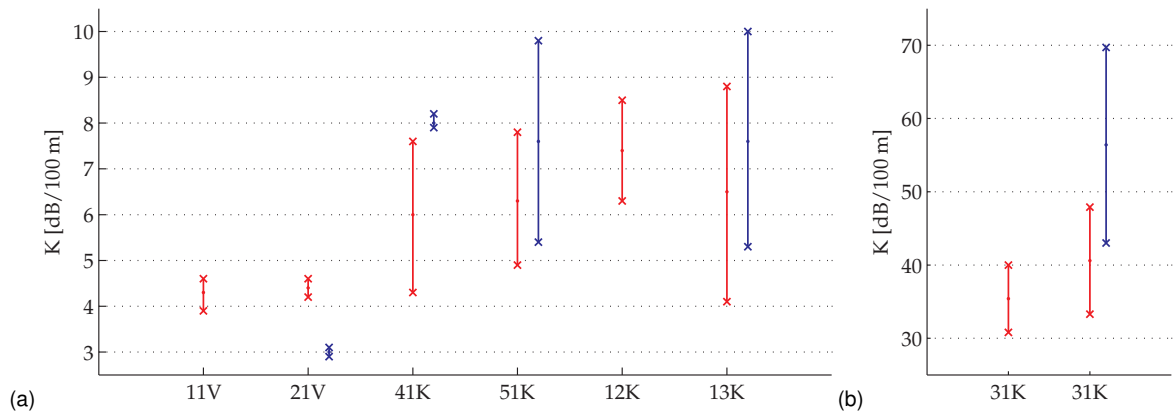
A mérési eredményeket az 5. táblázat és a 10. ábra mutatja.

4. Az eredmények értékelése és összefoglalás

Dolgozatom szerves részeként 2001 júniusától decembereig folyamatosan végeztem méréseket vegyes faji összetételű fás szárú növénytársulások mögött és mellett. Különböző erdőfélék zajcsökkentő szerepét vizsgáltam. Zajforrásnak a közlekedési eszközöket (diesel vasúti szerelvények; közúti járművek) használtam. A szélsőséges meteorológiai viszonyokat [9] kerültem. Eredményeim szélcsendes állapotra vonatkoznak. A mérés eredményei átlagosan 20%-os szórást mutattak.

5. táblázat: Különböző növénytársulások zajcsillapítási értékei. D_n a növénytársulás szélességét, ΔL a D_n szélességű növénytársulás mért hangcsillapítását, a_n : a növényzet zajcsillapító tényezőjét, K_n pedig a 100 m széles növénytársulás hangcsillapítását jelöli. Az átlagos értékeket $\langle \rangle$, a szórást pedig a Δ szimbólum jelöli.

| Kódszám, megnevezés | D_n [m] | $\langle \Delta L_{vegetáció} \rangle$ [dB] | $\Delta \Delta L_{vegetáció}$ [dB] | hiba [%] | $\langle \Delta L_{télien} \rangle$ [dB] | $\Delta \Delta L_{télien}$ [dB] | hiba [%] | a_n vegetáció [dBA/m] | Δa_n vegetáció [dBA/m] | a_n télen [dBA/m] | Δa_n télen [dBA/m] | K_{min} vegetáció | $K_{átlag}$ vegetáció | K_{max} vegetáció | K_{min} télen | $K_{átlag}$ télen | K_{max} télen |
|--------------------------------|-----------|---|------------------------------------|----------|--|---------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 11V Idősebb akácérdő | 84 | 3,6 | 0,3 | 8,3 | – | – | – | 0,043 | 0,004 | – | – | 3,9 | 4,3 | 4,6 | – | – | – |
| 21V Kocsányos tölgytelepítés | 50 | 2,2 | 0,1 | 4,5 | 1,48 | 0,05 | 3,4 | 0,044 | 0,002 | 0,030 | 0,001 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 2,9 | 3,0 | 3,1 |
| 31K örökzöld borókás | 13 | 4,6 | 0,6 | 13,0 | – | – | – | 0,354 | 0,046 | – | – | 30,8 | 35,4 | 40,0 | – | – | – |
| 31K örökzöld borókás | 16,5 | 6,7 | 1,2 | 17,9 | 9,3 | 2,2 | 23,7 | 0,406 | 0,073 | 0,564 | 0,133 | 33,3 | 40,6 | 47,9 | 43,0 | 56,4 | 69,7 |
| 41K Erdei fenyves | 65,5 | 3,9 | 1,1 | 28,2 | 5,27 | 0,11 | 2,1 | 0,060 | 0,017 | 0,080 | 0,002 | 4,3 | 6,0 | 7,6 | 7,9 | 8,0 | 8,2 |
| 51K Juharos erdősáv | 41 | 2,6 | 0,6 | 23,1 | 3,1 | 0,9 | 29,0 | 0,063 | 0,015 | 0,076 | 0,022 | 4,9 | 6,3 | 7,8 | 5,4 | 7,6 | 9,8 |
| 12K Fiatal akác-sűrű | 27,2 | 2 | 0,3 | 15,0 | 0,48 | 0,79 | 164,6 | 0,074 | 0,011 | 0,018 | 0,029 | 6,3 | 7,4 | 8,5 | – | – | – |
| 13K Fiatal akác-sűrű | 34 | 2,2 | 0,8 | 36,4 | 2,6 | 0,8 | 30,8 | 0,065 | 0,024 | 0,076 | 0,024 | 4,1 | 6,5 | 8,8 | 5,3 | 7,6 | 10,0 |
| Összesítve (Kivéve a borókást) | – | – | – | 19,3 | – | – | 16,3 | 0,058 | 0,012 | 0,056 | 0,015 | – | 5,8 | – | – | 5,2 | – |



10. ábra: A különböző növénytársulások hangcsillapító hatása. Az ábra a vegetációs (piros) és téli (kék) időszakra számított minimum, maximum és átlagos értékeket mutatja.

6. táblázat: A növénytársulások osztályozása a mért zajcsökkentő hatás alapján

| 1. csoport | | 2. csoport | 3. csoport | | |
|---|--|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|--|
| 11V Idősebb akácérdő | 21V Fiatal kocsányos tölgyerdő telepítés | 31K Borókafajokból álló társulás | 41K Fiatal erdei fenyőerdő | 51K Juhar vegyes erdő | 12K–13K Fiatal elegyes akácérdő I |
| Vegetációs időszakban | | | | | |
| 3–5 dB/100 m | | 40–45 dB/100 m | 5–8 dB/100 m | | |
| Télien, 8 cm vastag hóborítottság esetén | | | | | |
| 2–4 dB/100 m | | 43–69 dB/100 m | 6–9 dB/100 m | | Kivéve 13K esetét, ahol \approx 0 dB/100 m |
| Télien, 8cm vastag hóborítottság esetén a vegetációs időszakhoz viszonyítva a csillapítás | | | | | |
| csökken 75%-ára | | emelkedik 147%-ára | emelkedik 117%-ára | | Eltűnik a 13K esetében |

Az eredmények alapján a növénytársulásokat zajcsökkentő hatásuk alapján három csoportba sorolom. A besorolást és az egyes csoportok zajcsillapítási tényezőit a 6. táblázat tartalmazza.

Gyakorlati szempontból a zajcsökkentő hatást alulról becsülő, a nyári, zöld vegetációs időszakban jól használható eredmény adható a következő módon:

- Sűrű (emberi áthatolás nagyon nehézkes, lehetetlen), dús cserjeszinttel rendelkező fás szárú lombhullató erdők esetén: $a_n = 0,04 - 0,05$ dB/m.
- Sűrű, áthatolhatatlan, talajszintig zöld lombos (nem csak a széleken, hanem a belsejében is) tuja és ciprusfélék esetében $a_n = 0,3$ dB/m.
- Sűrű, talajfelszínig lombos (nem feltisztult) fiatal erdei fenyő ültetés esetén $a_n = 0,05$ dB/m.

A 6. táblázat besorolásának első csoportjába tartoznak a fás szárú lombhullató erdők közül a következő szerkezetűek:

- Idősebb társulás esetén azok, melyek sűrű cserjeállománnyal rendelkeznek. A lombkorona méterekkel a talajszint felett van. A cserjeállomány sűrűségére jellemző, hogy az ember csak nehezen, bujkálva tud áthatolni az erdősávon. A növényesávba nem lehet néhány méternél mélyebbre belátni.
- Fiatal monokultúrás telepítés esetén a lombkorona szint 0,5–0,7m átlagos magasságban kezdődik. Az áthatolás a sávon csak a lombkorona szint alatt lehetséges.
- A sűrűség, ha nehezen is, de bujkálva átjárható.

A második csoportba sorolhatók az örökzöld növények közül a ciprus és valószínűleg a tujafélék. A ciprusfélék tulajdonsága a talajszinttől kiinduló nagyon sűrű és tömör koronaszerkezet. Jellegzetesen egyedi levélszerkezettel és levélállással rendelkeznek. Ha nincs túl sűrűn egymás mellé ültetve, azaz a fény bejut az állományba a sorok között, akkor a tujafélék nem tisztulnak fel. A társulás talajszintig zöld lombos, és a sorokat keresztezve átjárhatatlan.

A harmadik csoportba tartoznak az első csoportnál sűrűbb, lombhullató vegyes, elegyes erdők, valamint a fiatal, talajszintig lombos örökzöld erdei fenyőerdő. A növényesáv belseje vegetációs időszakban megközelíthetetlen. Változatos fa és cserjefajokból álló sűrű életközösségek.

Meglepő, hogy épp ebbe a csoportba esett bele az erdei fenyő is. Úgy tűnt, hogy a tujákkal kellene egy csoportban lennie. De az eredmény az ellenkezőjét mutatja, meg sem közelíti a ciprusfélék csillapító hatását. Egy osztályba sorolnánk a fenyőt és a ciprusféléket, mert örökzöldek. Szerkezetükben és levézetükben azonban lényegesen különböznek. A fenyőfélék merev, szúrós kis keresztmetszetű, hosszú tűlevelekkel, a ciprusfélék puha, lapos nagy felületű, vízszintes, vagy függőlegesen rendezett levélpikkelyekből álló hajtásokkal rendelkeznek. Ez lényeges különbség akusztikai szempontból. Feltételezem, hogy a tűlevél, merevségét és geometriai alakját figyelembe véve, jóval kisebb elnyeléssel és visszaverő tulajdonsággal rendelkezik, mint a tuják, vagy a lombhullató

fák levelei. Talán ez a magyarázata annak, hogy az erdei fenyő nagy sűrűsége ellenére csak szerényebb hangcsillapításra képes. Az eredmény jó összhangban van F.J. Meister és W. Ruhrberg méréseinek eredményével.

Az első és a harmadik csoport hangcsillapító hatása között nincs jelentős különbség. Az eltérést részben a sűrűség különbségek, másrészt a vasúti- illetve a közúti járművek kibocsátott zajspektrum eltérése okozhatja. A probléma eldöntésére nem volt lehetőség, személygépjármű elhaladásokra alkalmatlan volt a vizsgált terület.

Mindhárom csoportra jellemző, hogy a társulás javíthatóságának tervezése nélkül alakult ki, az erdőművelés, erdőrendezés [17, 18] elvei alapján.

A 6. táblázatban megfigyelhető a télen, 8 cm vastag hóborítottság esetén a vegetációs időszakhoz viszonyított csillapításváltozás is.

A fiatal kocsányos tölgyerdő viselkedése logikusnak tűnik, hiszen ez a tölgyfaj nem hullatja le a levelét télen, a fán maradnak majdnem tavaszig. Következésképpen, várható valamennyi maradék hangcsillapító hatás.

A boróka zajcsökkentő hatására a téli időszakban is számítottam, de az emelkedésére nem. Véleményem szerint ezt a hó elnyelése okozza. A tujafélék leveleiken sokáig magukon tartják a lehullott havat. A hópárna megváltoztatta mind a növényesáv, mind a referenciatertület akusztikai jellemzőit.

A harmadik csoport tagjainak viselkedése érdekes. Az erdei fenyő esete a borókéval analóg módon értelmezhető, ellenben a lombhullató erdő kettős viselkedése elgondolkodtató. Miért emelkedik a csillapítás mértéke teljes lombhullást követően az egyik esetben, és miért szűnik meg egy másik, de hasonló társuláznál? Erre a választ akkor tudjuk megadni, ha megkeressük a két társulás közötti különbségeket.

A 12K és a 51K kódszámú területeken az erdősávot 60–130 cm magas gazzal felvert terület határolja. A 13K akácerdőt 20 cm magas kaszált fű övezi. A választott referenciatertületek minden esetben rendezettek, gyomnövények nélküli rét, tarló és kaszált lucernás. Következésképpen tehát az eredményeket befolyásolja a vizsgálandó növénykultúra mellett élő egyéb lágyszárú társulás. Havazás után a hó alatt enyhén összeroskadt gaz jó elnyelőként viselkedik. Véleményem szerint ez télen többletelnyelést okoz. A 13K kódszámú akácos erdő esetén teljesült is a csillapító hatás csökkenése, „megszűnése” (a mért érték a műszer hibatarományába esik).

A dolgozat készítése során felmerült problémák és kérdések, melyek további vizsgálatokat igényelnek:

- A végeredmények relatív értékek, ugyanis a referencia területekhez viszonyítva adja meg a csillapítás mértékét. Különböznek-e a terjedési viszonyok a referencia területeken?
- Hogyan változik a földhatás az erdősávokban a referencia területhez képest?
- Mekkora az erdősávot szegélyező gázos terület csillapító hatása?
- Mekkora a hó többletcsillapítása? Mekkora a hó alatt összeroskadt gaz hangelnyelése?

- Hogyan változik a növénytársulás elnyelése, ha a sűrűségét csökkentjük úgy, hogy a fény jobban bejusson a belsejébe, ezáltal a cserjeszintje sűrűbb és zöldebb lesz. (A gondolat abból az észrevételből adódik, hogy egy sűrű lombhullató erdő gyorsan felnyurgul és a lombkoronaszintje zárul, fényhiány alakul ki a cserjeszinten, a fák feltisztulnak, bennük gyér lombzatú, árnyéktűrő növények élnek meg.) A boróka meglepően magas hangcsillapítási tulajdonságát nem csak a faj határozza meg, hanem a telepítés struktúrája is. Véleményem szerint, egy hasonlóan ritka, de egyenletesen sűrű zöld cserjesor hasonló csillapítással rendelkezik.
- Milyen telepítési szerkezetre törekedünk?
- Hogyan alakul a csillapítás mértéke a társulás fejlődésével, öregedésével?
- Milyen módszerekkel lehet javítani egy növénytársulás zajcsökkentő hatását?
- Hogyan alakul a csillapítás a mikrofon talajszint feletti magassága függvényében?

Eredményeim összhangban vannak az MSZ 15036:2001 szabvány által javasolt értékekkel. Enyhe szomorúsággal állapítom meg, hogy a lombhullató erdő szerény zajcsillapító hatással rendelkezik. Többre számítottam. A ciprusféléknél elért magasabb csillapítás viszont reménnyel tölt el, annál is inkább, mert a városokban közkedvelt parkfa. Jó lombszerkezete van, bírja a nyírást, szép, esztétikus. Alkalmazható kombináltan zajvédő fallal együtt.

A célt, melyet magam elé tűztem, csak részben sikerült elérnem. A környezeti hangterjedés bonyolult és nehezen megfogható törvényei újabb kérdéseket hoztak elő. Alkalmazkodnom kellett a rendelkezésre álló eszközökhöz és a lakóhelyemhez közel lévő növénykultúrákhoz. További mérések végzése szükséges, így a jelen dolgozat a teljesség igénye nélkül csak részeredményeket közöl. Kiindulópontnak tekinthető a további kísérletek számára. Remélem, a jövőben modernebb műszerek és több idő áll majd a rendelkezésemre a téma folytatásához.

Hivatkozások

- [1] F. Kragh. Road traffic noise attenuation by belts of trees. *Journal of Sound and Vibration*, 74(2):235–242, 1981.
- [2] G. Beck. Immissionsschutzpflanzungen. *Neue Landschaft*, 4, 1969.
- [3] P. Vykoupil. Anmerkungen zur Bestimmung des Bewuchsdämpfungsmaßes bei Schallausbreitungsprognosen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 29:179–181, 1982.
- [4] B. Buna. *A közlekedési zaj csökkentése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [5] F.J. Meister and W. Ruhrberg. Die Dämmung von Verkehrsgeräuschen durch Grünanlagen. *VDI-Z*, 13(1), 1959.
- [6] L. Tóth, editor. *Zajvédelem*. Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [7] L. Palotás. *Mérnöki kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [8] MSZ 15036:1999 Hangterjedés a szabadban. Technical report, 1999.
- [9] Haupt. Beitrag zum Problem der Lärminderung durch Waldbestände. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*, 13(4), 1973.
- [10] M. Moser and Gy. Pálmai. *A környezetvédelem alapjai*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- [11] K. Zentai and P. Schád. *A zajterhelés mint környezetszennyezés és a növényzet szerepe a zaj csökkentésében*. Független Ökológiai Központ, Budapest, 2001.
- [12] S. Tóth. A zajártalom kiküszöbölésére létesítendő fásítások tervezési irányelvei (zaj, robbanás, tűz elleni védelem). In T. Dobos, editor, *Erdészeti tájrendezés és környezetvédelem*, Sopron, 1972.
- [13] L. Ákos and L. Ghimessy. *Az ezerarcú, ezerhasznú erdő*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1969.
- [14] A. Jimenez. Pantalla vegetal acustica para amortiguar el ruido del trafico. (acoustic plant screens as a buffer against traffic noise). *Arquitectura-del Paisaje*, (40):20–21, 1997.
- [15] R. Bullen and F. Fricke. Sound propagation through vegetation. *Journal of Sound and Vibration*, 80(1):11–23, 1982.
- [16] MSZ 18150-1:1998: A környezeti zaj vizsgálata és értékelése. Technical report, 1998.
- [17] T. Barna. *Erdőműveléstan*. Erdészeti És Faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, 1994. Egyetemi jegyzet.
- [18] D. Bartha. *Dendrológia*. Erdészeti És Faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Vadgazda Üzemmérnöki Szak, Sopron, 1993. Egyetemi jegyzet.