



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Út- és Vasútépítési Tanszék

A zaj, a zajvédő falak széles skálájának bemutatása, majd azok alkalmazása hazai példákon



Tudományos Diákköri Konferencia, 2013

Készítette:

Tancsik Gábor (ARACIG)

Konzulens:

Hunyadi Dóra, BME Út és Vasútépítési Tanszék

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	7
2.	Általánosságban a zajról	8
2.2.	Mi a zaj?.....	8
2.3.	A közlekedési zaj.....	12
2.4.	Közlekedési zaj - Védekezési megoldások.....	14
3.	A zajvédő falak globális vizsgálata	21
3.1.	A zajvédelmi falakról általánosan	21
3.2.	Elérhető zajscökkentést meghatározó tényezők	23
3.2.1.	A hossz és a folytonosság.....	24
3.2.2.	Elhelyezkedése a forrás és a védendő objektum között	25
3.2.3.	Optimális magasság	26
3.2.4.	A fal tetejének alakja.....	26
3.2.5.	Felület, visszaverés.....	27
3.2.6.	Anyag	28
3.2.7.	Növényzet hatása.....	29
3.2.8.	Szél hatása	29
3.3.	Igények – Tervezési szempontok	30
3.3.1.	Műszaki követelmények.....	31
3.3.2.	Biztonsági szempontok	34
3.3.3.	Környezetvédelmi – tájba illesztés.....	36
3.3.4.	Fenntarthatóság.....	38
3.3.5.	Gazdaságosság	40
3.4.	A zajvédő falak fő anyagai.....	40
3.4.1.	Földanyagú gátak	41
3.4.2.	Beton.....	42
3.4.3.	Fa.....	43
3.4.4.	Átlátszó panelek.....	44
3.4.5.	Fémlemezek	47
3.4.6.	Tégla és egyéb épített falak	48
3.4.7.	„BIO” falak.....	49
3.5.	Fejlődési irány (a jövő)	49
4.	A zajvédő falak helyzete Magyarországon.....	52
4.1.	Szabályozás	52
4.2.	Hazai gyakorlat.....	55

4.3. Különböző hazai példák	56
5. Összefoglalás, konklúzió	69
Irodalomjegyzék, források	71

Ábrajegyzék

1. ábra - Zajskála, a különböző források értéke dB-ben [29]	8
2. ábra - Az intenzitás és a frekvencia szerinti hangtartományok [15]	9
3. ábra - Fletcher-Munson féle izophon görbék [15]	9
4. ábra - Budapest egyik kiemelt forgalmú közlekedési folyosója, a kiskörút [29]	12
5. ábra - A forgalmi utak zajkibocsátási szintjei csúcsgforgalmi időszakban [13]	13
6. ábra - A zaj terjedésének 3 fő fázisa [29]	15
7. ábra - Zajvédelmi függöny, Budapest [29]	18
8. ábra - Budapest Közúti zajtérképe – nappal [25]	20
9. ábra - Budapest Közúti zajtérképe – éjszaka [25]	20
10. ábra - Modern jellegű fabeton típusú zajvédelmi fal [28].....	21
11. ábra - A hanghullámok terjedésének irányai zajvédő fal nélkül (felül) és zajvédő fallal (alul) [7] ..	22
12. ábra - A zajvédő fal megfelelő takarásának bemutatása [7]	24
13. ábra - A tervezés során számolni kell a felületekről visszaverődő hangsugarakkal [17]	24
14. ábra - A zajvédő falak átlapolásának megfelelő kialakítása [7].....	25
15. ábra - Különböző faltető kialakítási módok [7]	26
16. ábra - Elnyelő felületű zajvédő fal, Püspökladány.....	27
17. ábra - Elnyelő típusú fabeton felület közelről.....	28
18. ábra - Kiváló példa a zajvédő fal és a növényzet kombinációjára (Wellington, NZ) [7]	29
19. ábra - A tervezés során a fal "túlsó" oldaláról sem szabad megfeledkezni (Auckland NZ) [7]	30
20. ábra - A fal tetejének a legkritikusabb elem a tájba illesztés szempontjából [7]	31
21. ábra - Különböző lehetőségek a magassági vonalvezetésbeli változások követésére [7]	32
22. ábra - A zajvédelmi fal egyik fő ellensége a vandalizmus [7]	33
23. ábra - Az átlátszó panelek alkalmazása növeli a tájékozódást és a közbiztonságot [7]	34
24. ábra - A tervezés során kerülni kell a kevésbé biztonságos kialakításokat, Budapest [29]	35
25. ábra - A megfelelő vizuális vonalvezetés megkönnyíti a tájba illesztést [7]	36
26. ábra - Egy esztétikus zajvédő fal az ingatlanok közvetlen közelében is jól mutat [7]	37
27. ábra - A jól ismert madárbecsapódás ellen védő piktogram [7]	38
28. ábra - Átlátszó üvegpánél esetén figyelembe kell venni a panelelem fokozott sérülékenységét [7]	38
29. ábra - A zajvédő fal és a növényzet kombinációja	39
30. ábra - Földanyagú gát, Rolleston (NZ) [7]	41
31. ábra - Speciális beton anyagú zajvédő fal, mely egyben az út biztonsági elemét is képezi (Auckland, NZ) [7]	42
32. ábra - Fonott faanyagú zajvédő fal – műtárgyon [29].....	43
33. ábra - Átlátszó panelekből álló zajvédő fal (Auckland, NZ) [17].....	44
34. ábra - Fém alapanyagú zajvédelmi létesítmény [17]	47
35. ábra - A Gabion zajfogó kialakítása [27].....	48
36. ábra - Magán jellegű kőből épített zajvédő fal, Tweet Heads kórház [6].....	48
37. ábra - Máglyafal (Auckland, NZ) [17]	49
38. ábra - Fotovoltaikus zajvédő fal (Freising, Németország, A92) [29].....	50
39. ábra - Fabeton elemekből álló zajvédelmi létesítmény építése [28]	52
40. ábra - A színes mintázatú falak könnyen a tájba illeszthetőek [28]	55
41. ábra - Leier Durisol egyik jellegzetes típusa [28].....	56

Táblázatjegyzék

- 1. táblázat - Különböző zajterhelések dB-ben mért értéke és hatásuk..... 10
- 2. táblázat - A különböző hangosság szintek emberre gyakorolt hatásai 11

Összefoglaló

Cím: A zajvédő falak széles skálájának bemutatása, és azok alkalmazása hazai példákon

A közúti közlekedés napjainkban – az elmúlt évtizedekhez hasonlóan – növekvő tendenciát mutat. A megnövekedett gépjárműforgalommal párhuzamosan egyre több a keletkezett zaj is. Az autópályák, autóutak környezetében élők számára rövid időn belül szinte elviselhetetlenné vált a zajterhelés, mely manapság már a nagyobb közlekedési folyosók környezetében is komoly problémákat okoz. Ennek megoldására szinte azonnal megjelentek a különféle jobbnál jobb megoldások, melyek a maguk módján próbálták csökkenteni a zajterhelést. A geometriai tervezési fortélyoktól kezdve a különböző zajfogyó létesítményekig megszámlálhatatlan többé – kevésbé hasznos megoldás született.

A zajcsökkentés egyik főtípusát a zajvédő falak képviselik. Ma már számtalan formában léteznek: Különböző anyagok, más és más formák, eltérő alkalmazási szabályok, melyek természetesen országról országra is változnak. Jelenleg az egyik legnagyobb hátrányuk az, hogy a sokszínűségük miatt sehol nincs egy olyan katalógus, mely az összes lehetséges műszaki megoldást tartalmazná azok jellemzésével együtt.

A dolgozatomban ismertettem a kibocsátási forrásokat és a zajelnyelés alapvető működését. Több hazai kiemelt fontosságú helyszíni példán keresztül megvizsgáltam a Magyarországon alkalmazott legelterjedtebb rendszerek működését, azok hatékonyságát és a környezeti összképüket is. Ezen felül feldolgoztam több ismert hazai szakirodalmat és tervezési szabványt is. A magyar útmutatókon és példákon túl tanulmányoztam más országok tervezési útmutatóját és a legismertebb módszereiket is.

A kutatómunkám eredményeképpen meghatároztam a zajvédő falak legismertebb csoportjait, azok főbb típusait, kiemeltem a fő előnyöket és a hátrányokat, majd végezetül megvizsgáltam a legfrissebb tervezési megoldásokat, azok hatékonyságát a jövőre nézve.

A különböző zajvédelmi megoldások együttes figyelembevételével újra megvizsgáltam a hazai példákat, és ha létezik az adott területre összességében hatékonyabb megoldás, akkor ott javaslatot tettem az esetleges átépítésre.

1. Bevezetés

Az a hang, amelyiket az egyik ember kellemesnek ítéli meg, mások számára rendkívül zavaró lehet. Ha egy hang sokak számára kellemetlen érzést kelt, akkor zajról beszélünk. A zaj korántsem egy új dolog, mindenütt jelen van. A fejlődő világgal párhuzamosan a zajterhelés mértéke és az érintettek száma folyamatosan nő. Növekszik a népsűrűség, a mobilitás hatására folyamatosan gyarapodik a forgalom, a nagyobb városok ökológiai lábnyoma pedig csak nő és nő. Egyre több eszköz és szolgáltatás könnyíti meg a mindennapi életet, így az általános életkörülményekhez való elvárások is egyre magasabbak. A zaj környezetterhelő hatása napról napra fokozódik, ami főként a fejlett és a fejlődő országokban van jelen, ahol a közlekedés és az ipar a gazdaság meghatározó része. Az itt élő lakosok nagy része a fejlődés velejárójaként keletkező zajt az életminőség rosszabbodásaként érzékeli, ennek megfelelően a környezetvédelem szempontjából rendkívül fontos a zaj elleni megfelelő védekezés.

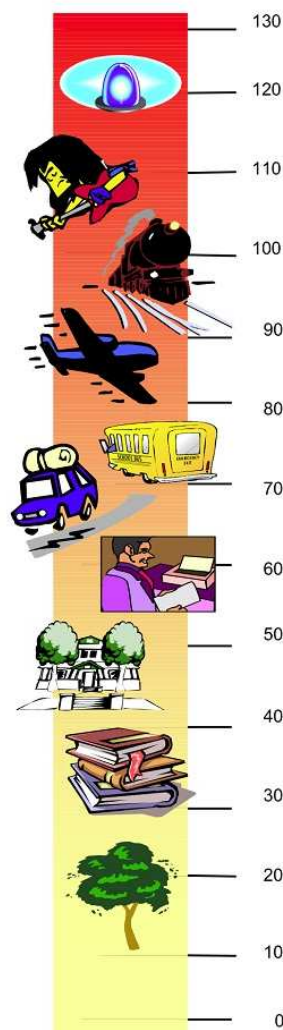
Ahhoz, hogy a növekvő zajterhelés ellen megfelelően tudjunk védekezni, ismerni kell magát a folyamatot, a működését és az összes tulajdonságát is. Mára már a védekezés területén is léteznek eléggé kiforrott szabványok.

A TDK dolgozatom célja az, hogy egy átfogó képet kapjunk a zajvédő falakról. Mivel a folyamatot egészében célszerű vizsgálni, így ide tartozik a zajterhelés és az ellene irányuló védekezés különböző külföldi és hazai szakirodalmak alapján történő vizsgálata is. Először összefoglaltam a zaj általános jellemzését, majd kiemelten foglalkoztam a közlekedési zajjal és a különböző hatékonyságú védekezési módokkal. Ezt követően külön kitértem a zajvédelmi létesítményekre. Összegyűjtöttem a velük szemben támasztott igényeket és elvárásokat, majd részleteztem a különféle típusokat. A nemzetközi szakirodalom tanulmányozása után megismerkedtem a hazai szabályozási rendszerrel, majd jellemeztem a legtöbbit alkalmazott technológiákat is. Végezetül pedig megvizsgáltam több hazai zajvédő falat is, melyeknek kiértékeltem a műszaki megoldását és különböző alternatívákat ajánlottam rájuk.

2. Általánosságban a zajról

2.2. Mi a zaj?

A hang a levegő egyensúlyi helyzetének mechanikai értelemben vett megzavarásának hatására létrejövő – forrásból kiinduló – légnyomás-ingadozások hullámmozgásának sorozata, melyet képes érzékelni a fülünk. A hullámhossztól függően lehet mély dörgés vagy akár magas csipogás is. Érzékelés szempontjából megkülönböztetünk kellemes és kellemetlen hangokat. Zajnak a kellemetlen, zavaró hangot nevezzük, mely egyidejűleg lehet fizikai és pszichológiai jelenség is. A zaj az emberi tevékenység egyik nem kézzel fogható mellékterméke, amelynek a hatása az energia természete ellenére csak rövid ideig érzékelhető a környezetében. Számtalan csoportja és megnyilvánulása van: egy rosszul megtervezett nagy forgalmú autópálya szinte minden közelben lakót zavar, ám ugyanilyen zavaró hatása lehet egy nem megfelelően megszervezett és elhelyezett fesztiválnak is, nem beszélve a mezőgazdasági gépekről vagy a szomszéd esetleg zajos fűnyírójáról.

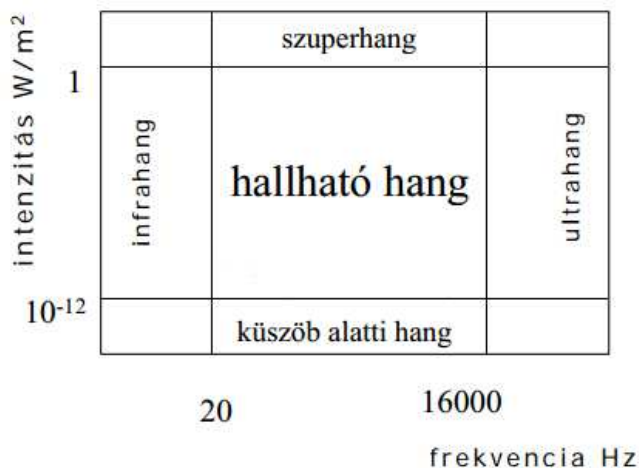


1. ábra - Zajskála, a különböző források értéke dB-ben [29]

Azt a területet, melyet a zajhatás érint, hatásterületnek nevezzük, amely tehát az a lehatárolható terület, amelyen az adott tevékenység következtében mérhető változás áll be a környezet állapotában, és amely területen meg szeretnénk vizsgálni a zajváltozásokat. Az a tér, ahol megfigyelhető a hanghullámok terjedése a hangtér. Ez rendszerint egy nagyobb terület.

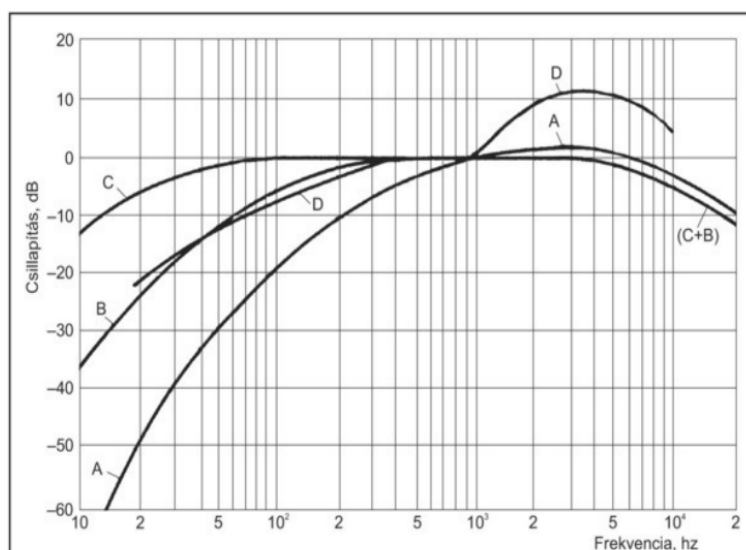
A hanghullámok sokféleségét igazolja az a tény is, hogy több tulajdonsággal is jellemezhetjük. Ilyen például az intenzitás és a teljesítmény. Az intenzitás a hangnyomás és a részecskesebesség időbeli átlaga, míg a hang teljesítményén a hangforrás intenzitásának és az azt körülvevő felület nagyságának a szorzatát értjük. A csoportosításukra négy különböző módszer létezik az időbeli és a fizikai jellemzésének megfelelően. Csoportba sorolhatjuk őket időtartam, időbeli lefolyás, frekvencia és intenzitás szerint. Időtartam szerint

megkülönböztetünk pár pillanatig tartó hanglökéseket, rövid idejű hangokat és tartós hangokat. Időbeli lefolyás szerint pedig beszélhetünk állandó jellegű vagy változó hangról. Az emberek számára érzékelhető hangot hallgató hangnak nevezzük, ám mind a frekvencia szerint, mind pedig az intenzitás szerint is vannak olyan hangok, melyeket nem hallunk. Frekvencia szerint a hallásküszöb alatti hangokat infrahangnak, a fölötte lévőket ultrahangnak nevezzük, míg intenzitás szerint a hallható hangokon túl megkülönböztetünk küszöb alatti hangokat és szuperhangokat.



2. ábra - Az intenzitás és a frekvencia szerinti hangtartományok [15]

A különböző hangok erősségérzete rendkívül szubjektív dolog. A tényleges hangosság nagyban függ a frekvenciától és az intenzitástól is. A fizikailag mérhető adat a hangnyomás. Ezzel a jelenséggel elsők között Fletcher és Munson foglalkozott, és 1933-ban megalkották az izophon görbéket, melyek megteremtették a kapcsolatot az azonos hangosságérzethez kapcsolódó intenzitás és frekvencia között. A nem logaritmikus változásnak megfelelően a vízszintes tengelyen logaritmikusan szerepelnek a frekvencia értékek, míg a függőleges tengelyen a különböző intenzitásértékekhez hozzárendelt dB (decibel) értékek görbeserege található.



3. ábra - Fletcher-Munson féle izophon görbék [15]

A dB tehát egy két energiaszintű mennyiség (teljesítmény vagy intenzitás) logaritmikus viszonyzáma. 1 dB változás szinte fel sem tűnik, 6 dB növekedés közel négyszeres emelkedést jelent, 10 dB emelkedés viszont kétszeres hangosságérzetet jelent, tehát a 60 dB erősségű zaj kétszer olyan erős, mint az 50 dB.

A zajterhelések mértékének meghatározására a zajmérő szolgál. Az emberre gyakorolt zajhatást az izophon görbék közül az „A” hangnyomásszintűvel jellemezhetjük, ennek megfelelően a hangnyomásmérőkről az A-szűrővel mért hangnyomásszint a későbbi átszámítás szüksége nélkül azonnal leolvasható.

1. táblázat - Különböző zajterhelések dB-ben mért értéke és hatásuk

Mi okozza?	Milyen hangos? dB	Milyen károsodást okoz?
Falevelek rezdülése	10	ártalmatlan
Halk sűgás	20	
Suttogás, óraketyegés 1 m-ről, zenei stűdió	30	
Csendes környezet, városi lakás éjjel	40	pszichés
Halk társalgás, csendes utca, csendes iroda, átlagos otthon	50	
Normális társalgás, halk rádiózene, iroda ügyfelekkel, trolibusz távolról	60	
Forgalmas utca, zajos étterem, autóbusz, személyautó, motorkerékpár távolról, porszívó	70	
Hangos éneklés, zajos utca, villamos, metró, motorkerékpár, mozgó vonat	80	vegetatív
Kiabálás, Niagara vízesés, teherautó, sportkocsi, vonatfűtű, benzinmotoros fűnyíró	90	
Autókűrt, szövöde, teherautó, légalapács 1 m-ről	100	hallás
Ordítás közléről, traktor, sugárhajtású repűlőgép távolról	110	
Mennydörgés, turbógenerátor, repűlőgép	120	
Igen zajos űzem, szegecselés, lövés közléről	130	mechanikus
Sziréna közléről, sugárhajtású repűlőgép	140	

A zajterhelés rendkívl nagy hatással van a környezetére, ugyanis ez egy olyan szennyezés, melynek a hatása bekövetkezhet azonnal is, de az esetek nagy részében csak késleltetve jelentkeznek a tünetek. Utóbbiak közé sorolhatóak a halkabb, hallás szempontjából kockázatmentes zajok, amelyek hosszabb távon zavarhatják az alvást vagy a mindennapi tevékenységet. Az alvás megzavarása azért is kiemelendő, mert az elsődleges hatásai – a felszínesebb alvás és a többszöri felébredés – egyből felléphetnek, ám a következő napon jelennek meg a másodlagos hatások, mint például a fáradtságérzet és az ingerlékenység.

A vizsgálatok tanúsága szerint a kielégítő éjszakai alváshoz az állandó háttérzaj szintje nem haladhatja meg a 30 dB-t, a 45 dB szintet is meghaladó hangerejű egyedi hangesemények pedig kifejezetten kerülendőek. Természetesen nem szabad megfélekezni az erősebb zajokról sem, amelyek a halkabb zajoktól főként abban térnek el, hogy a következményük jóval intenzívebb és általában egyből lehet is érezni a káros hatásukat. Az erős hang halláskárosodást okozhat, mely az intenzitástól függően lehet részleges, de akár visszafordíthatatlan is. A rendszeresen ismétlődő erős zaj károsíthatja az idegrendszert. Azoknál, akik az életük nagy részében szenvednek a zajterheléstől, különböző komolyabb átmeneti vagy állandó jellegű élettani hatások is kialakulhatnak, mint például a különböző mentális betegségek, vagy a jelentősebb szellemi teljesítmény csökkenés. A különböző egészségügyi hatásokat a 2. Táblázat foglalja össze.

2. táblázat - A különböző hangosság szintek emberre gyakorolt hatásai

Hatás	dB
Alvászavarás	20-30
Pszichés terhelés	25-40
Beszéd érthetőség romlása	40-50
Vegetatív hatások	60-65
Halláskárosodás	85+

A zajhatásnak további különlegessége a szubjektivitás. Az emberek és a különböző korosztályok (a magzattól kezdve az idős emberekig) teljesen máshogy reagálhatnak az őket érő zajterhelésre. A fiatalokat, az időseket és a beteg embereket sokkal jobban megviselheti akár egy kevésbé erős zaj is. Éppen ezért a zajvédelmi szabályozásban különös tekintettel kell lenni a különböző óvodákra, iskolákra és a kórházakra. A zaj zavaró hatásának megítélése egyénenként is igen eltérő lehet. Vannak, akik bármiféle probléma nélkül tudnak aludni egy repülőtér mellett, de vannak olyanok is, akik egy közel fekvő főút hatására sem tudják megfelelően kipihenni magukat.

Az embereket érintő hatásokon túl természetesen nem szabad megfélekezni az élővilágról sem. Igaz, hogy a növényzetet főként zajfogónak alkalmazzák, de a nagyobb mértékű zajterhelés ugyanúgy káros az emberigésre, mint az állatvilágra, különös tekintettel a nagy forgalommal rendelkező közlekedési folyosók környezetében vadon élő állatokra és a madarakra.

A különböző zajforrásokat a hely szerint egyszerűen csoportosíthatjuk. Típus szerint megkülönböztetjük a közúti közlekedésből származó zajokat, a vasúti közlekedés hatásait, a légi közlekedését és a repülőterek közelében mérhető jelentős zajtöbbletet, a vízi közlekedés hatásait, az ipari üzemek hangszennyezését, és végezetül a különböző szabadidős

létesítmények és sportesemények környezetterhelését. Ezek közül a két legjelentősebb zajforrás a közúti- és a vasúti közlekedés. A közúton folyó közlekedés okozta zajterhelés a lakosság közel a 70%-át érinti, ám ez a szám az urbanizáció fokozódásával még tovább nőhet. A vasúti közlekedés a közúthoz képest lényegesen kevesebb embert érint, ők viszont egy sokkal rövidebb lefolyású, ám rendszeresen ismétlődő hangjelenségtől szenvednek. A légi közlekedés még kevesebb embert érint, ám a repülőterek környékén szinte mindenhol ugrásszerűen megnövekszik a zajterhelés.

2.3. A közlekedési zaj

A lakosság nagy része szenved állandó mértékű zajtól. Különösen terhelt területeknek számítanak a városi főútvonalak mentén élők és a nagyvárosok lakói, ugyanis ezeken a helyeken az átlagnál jóval nagyobb a zajterhelés. Ezen felül a városi főútvonalak környezetében elhelyezkedő területeken általában nagyobb a népsűrűség is, így a közlekedési folyosó jelentősebb zajterhelése több embert is érint.



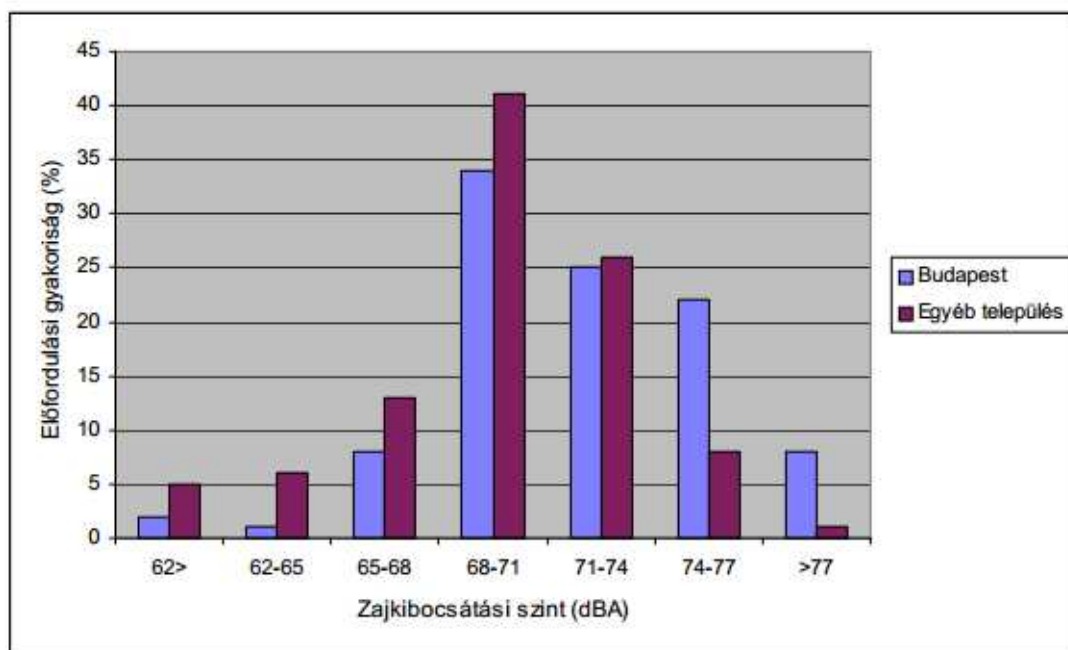
4. ábra - Budapest egyik kiemelt forgalmú közlekedési folyosója, a kiskörút [29]

Ehhez jön még hozzá a globalizációs fejlődés is, mely tovább fokozza a zaj elleni megfelelő védekezés fontosságát. Az ENSZ adatai szerint a civilizációs zajterhelés évtizedenként 1 dB-lel növekszik, és a nagyvárosi zaj ma harmincszor akkora, mint a 30-as években volt” Ennek megfelelően globális méretű problémáról beszélünk, melyet minden országban kiemelten kezelnek.

A zaj forrása általában a nem megfelelő alaposágú tervezés, vagy a szükséges hosszútávú előrebecslések hiánya. Mivel a városok szerkezetén és az azokat összekötő közút- és vasúthálózaton már csak nagyon minimálisan lehet javítani, így célszerű sokkal mélyebben

megvizsgálni a zajforrások tulajdonságait, hogy azok ismeretében egyszerűbb legyen egy mindenki számára megfelelő és hatékony megoldás találása.

A jelentősebb forgalmú utakon a közúti közlekedés intenzitása általában eléri a 75 dB nagyságú zajszenyvezést is.



Forrás: KGI Környezetvédelmi Igazgatóság

5. ábra - A forgalmi utak zajkibocsátási szintjei csúcsforgalmi időszakban [13]

A közúti zaj sokkal folyamatosabb és monotonabb, mint a vasút. Ettől függetlenül számtalan összetevője van, mely jelentősen függ a környezetétől is. A zajterhelés nagyságát főként a hangforrás közelsége befolyásolja, ugyanis minél közelebb van az út, annál hangosabb is. A zaj konkrét okozója a közlekedő jármű, mely egyszerre három különböző zajforrásként is viselkedik, ezek a jármű motorjának a hangja, a jármű kerekének a talajjal való érintkezése, és a sebesség hatására történő levegővel való érintkezés. A zajhatás természetesen függ a járművek és a pálya tulajdonságaitól is. A motor megfelelő zajszigetelésének köszönhetően az újabb járművek már lényegesen halkabbak, mint a régebbi típusok. Mivel a zajhatást nem egy jármű okozza, így a zajterhelés nagyban függ a forgalom nagyságtól, a forgalom időbeli megoszlásától és az összetételétől is. Az éjszakai közlekedő nagy mennyiségű teherautó közlekedés sokkal zavaróbb lehet, mint a nappali átlagos gépjárműforgalom, ugyanis a tehergépjárműveknek nagyobb a zajterhelése, ráadásul éjszaka az emberek sokkal érzékenyebben reagálnak a különböző zajokra. A járműveken túl a másik fontos befolyásoló paraméter maga az útpálya, azon belül is az útvonal geometriai kialakítása és az aktuális

állapot. Sokkal nagyobb többletterhelést okoz egy kátyús út és a piros lámpák véget nem érő sorozata, mintha a forgalom zöldhullám mellett egy sima, hibátlan felületű útpályán haladna.

A közúti közlekedés után a második legnagyobb zajforrást a vasúthálózat okozza. Ugyan jóval kevesebb embert érint, mint a közúti közlekedés, a hatása viszont sokkal zavaróbb. A nagyobb hangnyomásszint intenzívebb zajterhelést eredményez, ezek mellett pedig igen jelentősek a dinamikai rezgések is. A zajhatás mértékét befolyásoló tényezők nagy része hasonlít a közúthoz, ám attól egy összetettebb rendszerről van szó. A pályaszerkezet, és azon belül is a felépítmény típusa ebben az esetben sokkal nagyobb szerepet kap. A zajforrások száma is gyarapodik. Külön kell választani a vontató jármű zaját, a vontatott szerelvények keltette hanghatásokat, a gördülési-, fékezési- és aerodinamikai zajt is. Ezen felül kiemelt zajforrásként kell tekinteni az állomások és a pályaudvarok zajára is, ugyanis ott gyakoribbak a közlekedő szerelvények.

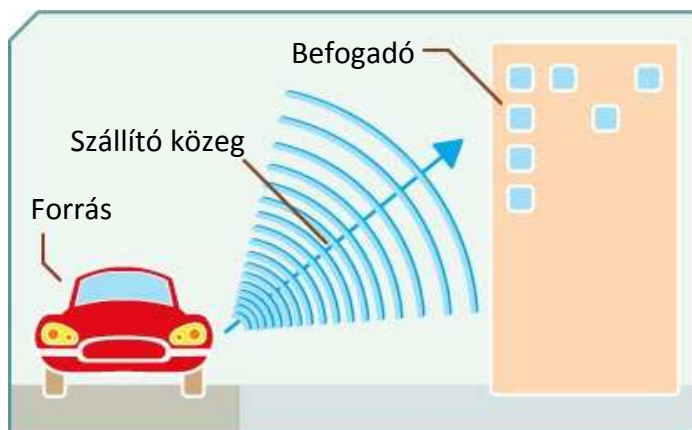
Az érintett lakossági arányok tekintetében a vasúti zaj után a polgári repülés zaja következik, ugyanis ennek a zajforrásnak a terhelésétől még kevesebb ember szenved. A repülési magasságon haladó gépek jóformán senkit sem zavarnak. Kivételt képeznek ez alól a sugárhajtású repülőgépek vagy a helikopterek, ugyanis az utóbbiaknak jóval nagyobb a zajterhelése. A hangnyomás nagysága a repülőterek közelében szintén megnő, mely az éjszaka közepén még elviselhetetlenebb. Sorrendben a légi közlekedést a vízi közlekedés követi. A vízi és légi forgalom tekintetben Magyarország szerencsésnek mondható, ugyanis az európai államokhoz képest jóval csekélyebb a légi közlekedés és a hajózás részaránya a többi közlekedési formához képest, ennek megfelelően a zajterhelésük is jóval alacsonyabb.

2.4. Közlekedési zaj - Védekezési megoldások

A különböző zajvédekezések legfőbb célja a különböző káros hatású zajterhelés csökkentése, ezáltal az életminőség javítása. A leghatásosabb védelemnek a megelőzés tűnik, azon az alapon, hogy ami kevesebb zajt bocsát ki, az kevésbé szennyezi a környezetét. A probléma megoldása természetesen nem egyszerű, ugyanis a zajkibocsátást lehet csökkenteni, de ez közel sem elegendő az életminőség javításához. A hatékony megoldásához nehéz egyénenként védekezni, ugyanis a zajterhelést az adott terület egészén meg kell szüntetni. Minden eset más és más. Mások a környezeti körülmények és különbözőek a zajt kibocsátó források. A kisebb területet érintő zajforrások megszüntetésére általában helyi megoldás születik, míg az egész emberiséget érintő zajterhelés esetén célszerű globális

méretekben tervezni. A sikeres megoldáshoz először mindenképp meg kell ismerni a zaj terjedésének folyamatát. A nagyobb zajterhelésnek kitett területek ma már jóval egyszerűbben meghatározhatóak a különböző részletességű zajtérképek segítségével, ugyanis ez a forma mutatja meg a legjobban a környezeti zajforrásokat és az általuk érintett területeket.

A terjedési folyamat 3 fő fázisra bontható, a kibocsátásra, a zaj terjedésére, és magára a zajterhelésre. A kibocsátás az a pont, ahol a zaj keletkezik. Számtalan különböző zajforrás létezik, a típusán és a hangnyomásán túl az észlelőtől mérhető távolság is egy fontos adat.



6. ábra - A zaj terjedésének 3 fő fázisa [29]

A második fázis minden esetben a

zaj terjedése. Itt az esetek nagy részében a levegő a szállító közeg, de a különböző szilárd anyagok is jól tudják vezetni a hangot. A terjedés úgymond egy összekötő folyamat, ugyanis ennek során jut el a zaj a forrástól a harmadik fázisig, ahol is a vevő elszenvedi a káros hatást. A folyamatot nagyon jól szemlélteti a 6. ábra.

A védekezési módszerek kettébonthatóak aktív, illetve passzív védelmi mechanizmusra, ám sokkal célszerűbb a zajemisszióknak megfelelő csoportosításmód, azaz a különböző fázisban történő beavatkozások különböző csoportba sorolhatók. Az aktív védekezési megoldások a zajforrások kibocsátásának csökkentését célozzák meg, míg a passzív védelmek két csoportra bonthatóak, attól függően, hogy megnehezítik a terjedési folyamatot, vagy pedig közvetlenül a befogadót érő terhelést csökkentik.

Az aktív zaj és rezgéscsökkentési megoldások főként globális méretűek. Ide tartoznak a különféle műszaki, területrendezési és közlekedésszervezési megoldások. A zajcsillapítások fő célja a zajforrásnál történő közvetlen zajscsökkentés.

A különböző berendezések hangjainak csökkentése és a megfelelő zajszigetelés mára szinte elengedhetetlen része a globalizált világnak, így ma már kötelező jelleggel alkalmazzák az újabbnál újabb megoldásokat a közlekedésben és az iparban egyaránt. A probléma

felismerésétől kezdően idővel annyira lecsökkent a jármű motorja keltette zajhatás, hogy manapság nagyobb utazósebességnél a gépjármű kerekének az aszfalttal való érintkezése hangosabb, mint a magas fordulatszámú működő motor. A fizikai beavatkozásokon túl fontos szerepük van a különböző szervezési módszereknek is, mint például a közlekedésszervezésnek, vagy a megfelelően megtervezett területrendezésnek is. A közlekedési zaj nem is igazán a jármű zajterhelésétől függ, hanem inkább magától a forgalomtól. A zajterhelés nagyságának meghatározásában fontos szerepe van a forgalomnagyságnak, a forgalom összetételének, a forgalmi lefolyás folytonosságának és természetesen a nagyobb forgalmú időszakok meghatározásának is. A megfelelő helyen és megfelelő módon történő beavatkozás jelentősebb befektetés nélkül csökkentheti a káros hatásokat. A nagyobb forgalmú főútvonalakon célszerű az egyenleges forgalomáramlás, azaz a zöld hullám alkalmazása, szükség esetén pedig alkalmazható időszakos forgalomelterelés, sebességkorlátozás, parkolás szabályozás és a nehézgépjárművek közlekedésének korlátozása is. Legradikálisabb esetben bizonyos városrészekből könnyedén ki is tiltható az egész forgalom.

Az hosszú időre történő területrendezés is számos későbbi zajemissziós problémát küszöbölhet ki. Célszerű már az új utak, épületek tervezésekor figyelembe venni a zajvédelmi szempontot is, mégpedig úgy, hogy a különböző funkciót szolgáló területek a lehető legkevésbé zavarják a környezetet, tehát az intenzívebb zajforrások kevésbé érzékeny területen helyezkedjenek el. A fenntartható fejlődés egyik fő alappilléreinek tekinthető logikusan történő előre gondolkozás és tervezés folyamata, amely kifizetődő lesz a későbbiek folyamán. Ezek a beavatkozások jóval kedvezőbb hatással lesznek az egész környezetre és gazdaságosságuk sem egy elhanyagolható tényező.

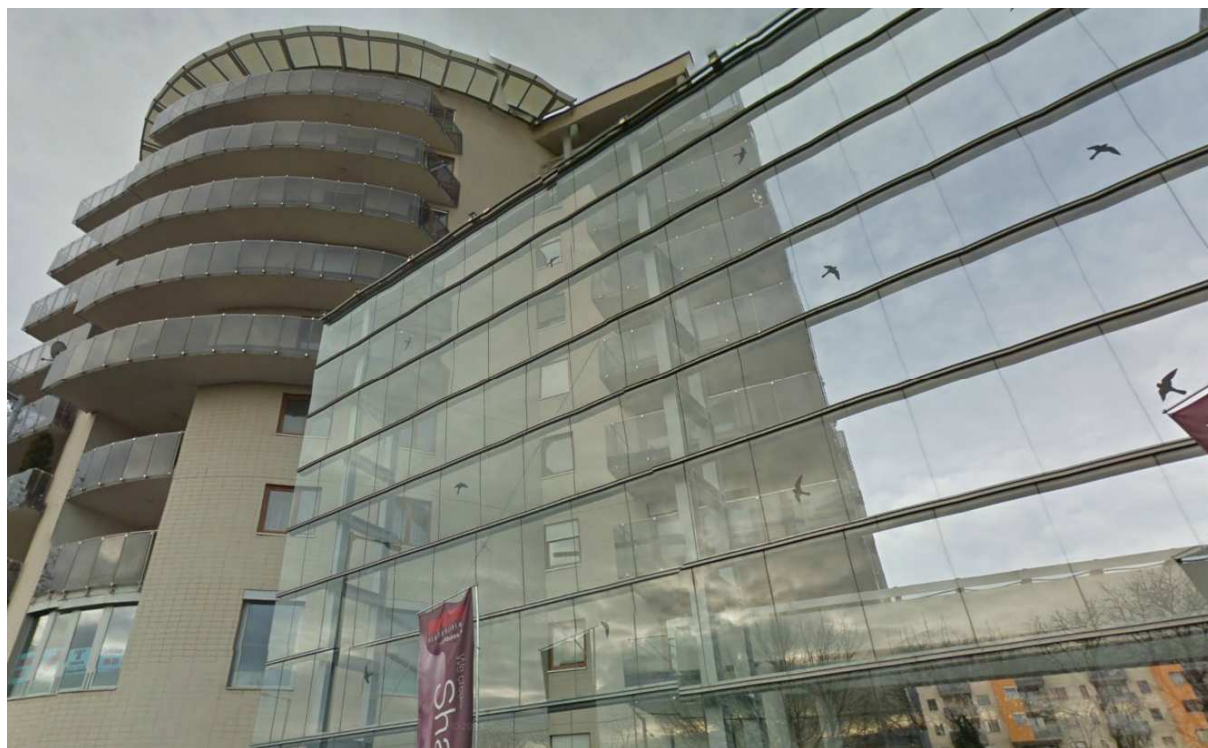
Természetesen tényleges építési beavatkozásokkal is csökkenthető a zaj. A már elkészült és működő infrastruktúra mellett a nagyobb forgalommal rendelkező utak átpakolása szinte lehetetlen, így csak egy bizonyos szintű módosítás lehetséges. A különböző hangelnyelő burkolatok kialakítása, vagy a főként tranzitforgalmat érintő elkerülők építése egy rendkívül hatásos csillapító eszköznek bizonyul, ugyanis a várost elkerülő út már kellően nagy távolságra helyezkedik el a zajforrástól ahhoz, hogy a zaj el se érje a védendő területet. Itt következik a második nagyobb védekezési mechanizmus csoport, a transzmissziós beavatkozás.

A transzmissziós beavatkozások – ahogy arra a nevük is utal – a transzmisszió során próbálják csökkenteni, vagy jobb esetben teljes egészében kiküszöbölni a zaj káros hatásait. Ennek a legegyszerűbb módja a szükséges védőtávolságok betartása. A levegő is csillapítja a hangot, ám ez az elnyelő képessége rendkívül gyenge, ráadásul a mély hangokat kevésbé fogja vissza, mint a magasakat. A zaj teljes felfogási távolsága egy megfelelő szélességű erdősáv telepítésével lényegesen leeredukálható, ám még viszonylag így is nagy a területigénye. A transzmissziós szakasz hossza különböző töltésekkel és semleges funkciójú épületekkel tovább redukálható. 10 dB nagyságú zajcsökkentés eléréséhez legalább 50 m széles erdősáv szükséges. Ez a távolság a forgalomnagysággal nő, tehát autópályánál akár a 75 métert is meghaladhatja. Rendkívül környezetbarát megoldás, melynek a tájba illesztése is egyszerű feladat, azonban figyelembe kell venni, hogy a Magyarországon honos nagyrészt lombhullató növényzet zajvédelmi szerepköre télen szinte megszűnik. Másik nagy hátránya az a tény, hogy a problémák többségében nem áll rendelkezésre ekkora terület, így egy ugyanilyen hatékonyságú, ám sokkal keskenyebb helyet igénylő zajcsökkentő szakasz szükséges, ezek pedig a különböző zajárnyékoló létesítmények. Ezen műszaki megoldásoknak kicsi a helyigényük, így a sűrűn beépített környezetben is lehet őket alkalmazni.

A zaj terjedésének megakadályozásában a leghatásosabb védelmet a zajárnyékoló létesítmények képviselik. Ide tartoznak a különböző, az erdősávoknál lényegesen kisebb helyigényű, ám viszonylag még mindig nagyméretű zajvédelmi töltések és bevágások, a zajfogó akadályként is kiválóan használható garázssorok, kiszolgáló létesítmények, és természetesen a zajvédő falak is. Az legelterjedtebb zajvédő fal egy vékony, oszlopok között elhelyezkedő, általában panelekből álló fal, amely ha megfelelően lett méretezve, akkor a védendő objektum az „árnyékában” van. A centiméterekben mérhető szélességnek köszönhetően a zajárnyékoló falak rendkívül kis alapterülettel rendelkeznek, ezáltal akár töltés-kiegészítésként is remekül funkcionálnak.

A közlekedési zaj elleni védekezés harmadik legnagyobb csoportján a vevőnél közvetlenül alkalmazandó imissziócsökkentő passzív megoldásokat értjük. Globális értelemben minden, ami a vevőnél csökkenti a zajterhelést, tehát a zajvédő sisakok, a hallásvédő fül dugók, de ide tartoznak a közlekedési szempontból fontos nyílászárók cseréje és a falak hatékony zajszigetelése is. Különleges esetekben az épületek előtt is elhelyezhető egy speciális

magassággal rendelkező hanggátló üvegfüggöny, mely az egész házat leárnyékolja a zajforrás elől.



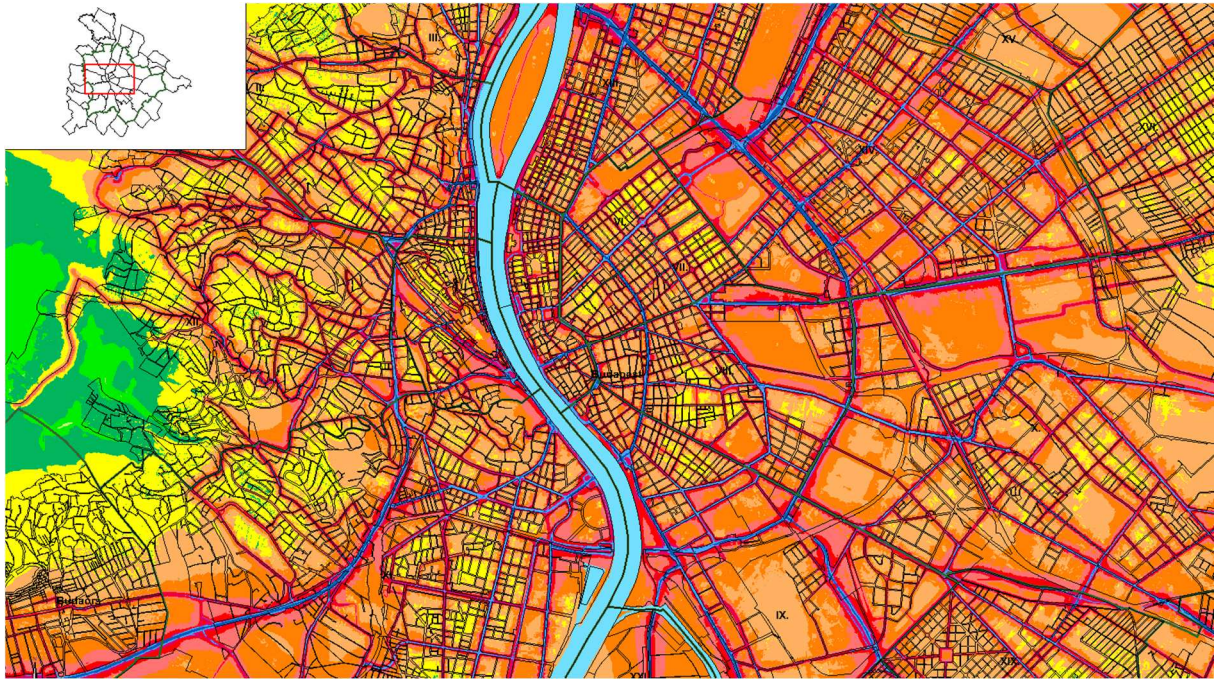
7. ábra - Zajvédelmi függöny, Budapest [29]

A védekezési módokról összességében megállapítható, hogy minden eset más és más. A legjobb megoldás meghatározásához egy rendkívül részletes zajtérkép-készítő, igényfelmérő és összehasonlító elemzést kell végezni, olykor pedig – ha szükséges – célszerű bevonni egy zajvédelmi szakértőt is. A megfelelő zajmérés reprezentálása érdekében össze kell vetni az eltérő időpontban készült zajméréseket is, és az összes tükrében kell megállapítani a tényleges zajszennyezési értékeket. Ezt követően az első lépés minden esetben a megfelelő zajcsökkentő technológia kiválasztása.

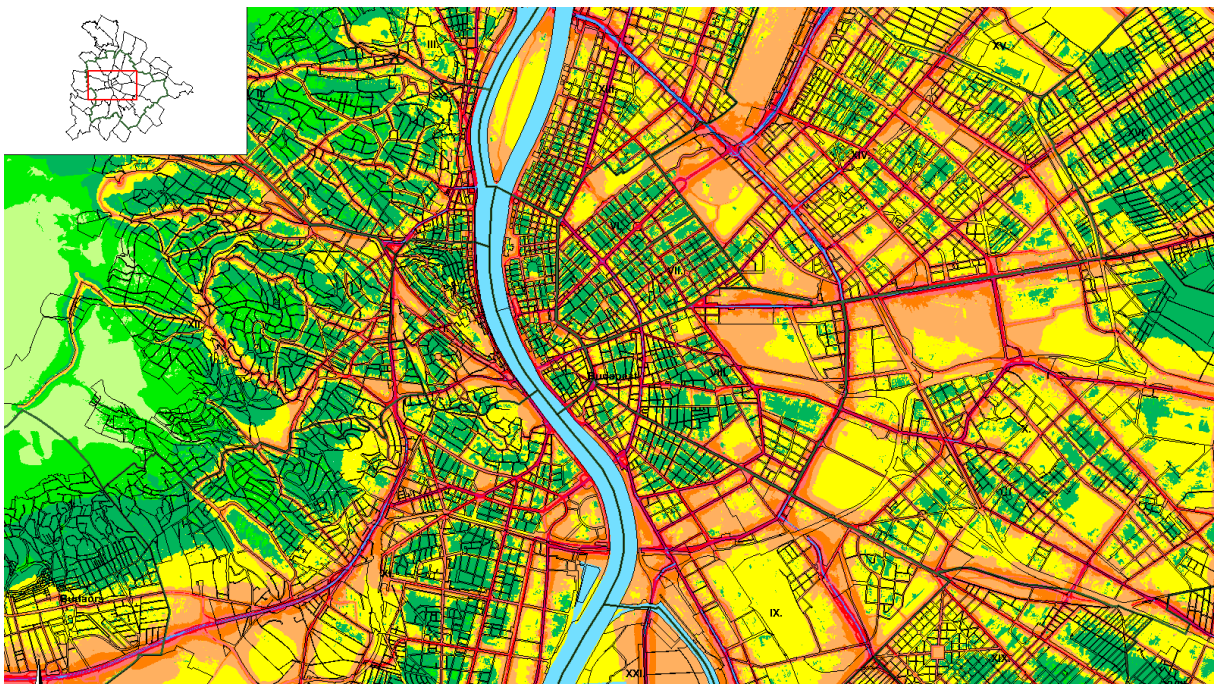
A zajszennyezés hatékony és globális méretű visszaszorításának érdekében az Európai Unió elkészítette a saját zajvédelmi politikáját, melynek az általános jellegű irányelvek mellett kiemelt részét képezik a különböző zajvédelmi intézkedések. Az egységes szabályozás érdekében irányelveket adnak ki a tagországoknak. Elsőként meg kell határozni a zajjal szennyezett területeket. Ehhez nyílt hozzáférésű, állandó jellegű, megbízható és naprakész adatbázisrendszerre van szükség. Az adatbázis bizonyos mértékű feldolgozását a stratégiai zajtérképek mutatják be grafikus formában. A térképekről a zajforrások közvetlenül nem határolhatóak be, ám szemléletes módon adják vissza az adott terület zajszennyezettségi

értékét. Az Európai Unió külön előírja, hogy minden jelentősebb forgalmat lebonyolító közlekedési folyosóra és természetesen a nagyvárosokra külön-külön el kell készíteni egy ilyen – helyi szintű – stratégiai zajtérképet, mely egyértelműen meghatározza a zajvédelmi szempontból kritikus területeket. Budapest zajvédelmi térképei a 8. és 9. ábrákon láthatóak.

A szennyezés globális méretei miatt a helyi szabályozáson túl nagy hangsúlyt kell fektetni az átfogó zajvédelmi politikára. Az egyik alappillére az a tény, hogy zajt a forrásnál már a lehető legjobban le kell csökkenteni. Összességében olyan szabályozási formát kellene bevezetni, mely egyidejűleg tartalmazza a szabályozás jogi, műszaki és gazdasági hátterét, ezen felül megfelelő hangsúlyt fektet a környezettudatos szemléletformálásra, az oktatásra, és a megfelelő szintű tájékoztatásra.



8. ábra - Budapest Közúti zajtérképe – nappal [25]



9. ábra - Budapest Közúti zajtérképe – éjszaka [25]

3. A zajvédő falak globális vizsgálata

Az első zajvédő falat 1968-ban építették egy szövetségi autópálya mentén az Amerikai Egyesült Államokbeli Kalifornia államban. A beavatkozás rendkívül sikeres volt, a híre hamar elterjedt és a világ fejlettebb országaiban sorra kezdték el a zajvédő falak alkalmazását. Manapság a vonalas közlekedési létesítményhez tartozó zajvédelem megtervezése már a kötelező részét képezi a mérnöki tervezési folyamatnak. A falak rendkívül látványos befolyásoló elemei az útpályának.

A technikai fejlődés ma is tart, sőt egyre nagyobb léptékben halad előre. Egyre nehezebb megmondani, hogy a sok lehetőség közül melyik fal bizonyul a legsikeresebbnek. Már több országban kiadták a saját tervezési útmutatójukat a zajvédő falakról. Ide tartozik többek között Ausztrália, Németország, Új-Zéland, de még Hongkongnak is van saját, bárki számára hozzáférhető útmutatója a zajvédő falakhoz. Ezen leírások rendkívüli részletességgel, sokatmondó ábrák segítségével több nézőponton keresztül mutatják be a zajvédelmi falakkal történő védekezést.

3.1.A zajvédelmi falakról általánosan

A zajvédelmi falon az út mellé telepített zajvédelmi funkciókat kiszolgáló akusztikailag szigorúan méretezett, megtervezett, majd megépített falat értjük. A zajárnyékoló falak meggátolják, hogy a zaj közvetlenül eljusson a befogadóhoz. A megfelelően megtervezett, jól elhelyezett és gondosan kiépített fal esetén a befogadó a zajárnyékoló



10. ábra - Modern jellegű fabeton típusú zajvédelmi fal [28]

falnak az akusztikai értelemben vett árnyékában van, azaz a fal takarásában helyezkedik el. A védendő objektumhoz a zaj csak hullámelhajlás útján, vagy a zajárnyékoló fal felső élét, illetve az oldalsó széleit megkerülve jut el.

A zajárnyékoló fal csillapító hatásán azt a hangnyomásszint-különbséget értjük, mely az észlelési pontban fallal mért értékek, illetve a fal hatása nélkül mért értékek között található. A zajredukálási fok mérését pedig a léghangszigetelésként definiálhatjuk.

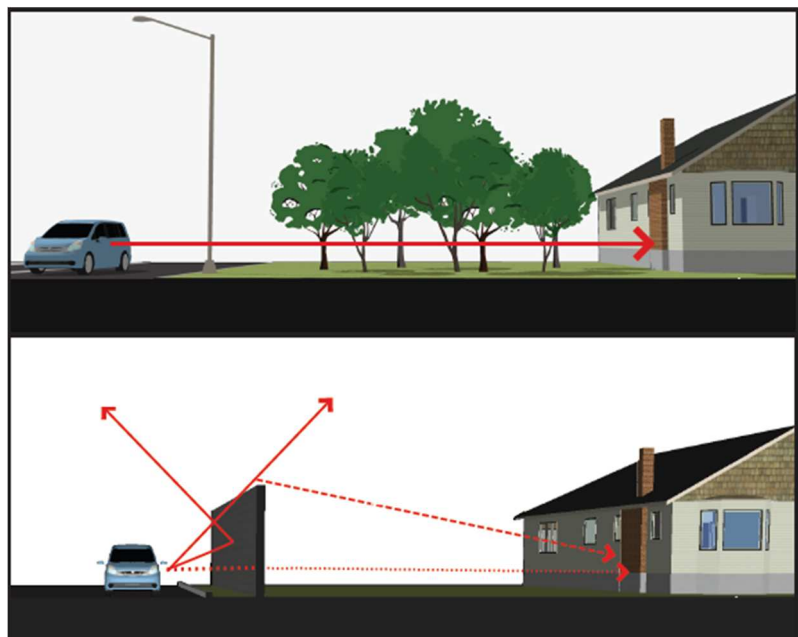
Alkalmazható meglévő út mellett, átépítéseknél és új építésnél egyaránt. Akkor célszerű az alkalmazása, ha jelentősen csökkenti a zajt. Az új utaknál már kötelező jellegű a megfelelő zajvédelem megtervezése, de az utólagos építése is igen népszerű, ugyanis a jelenlegi utaknak is meg kell felelnie a különböző zajterhelési határértékeknek.

A zajvédelmi falak általában különböző modulokból épülnek fel, melynek részei a következők:

- Alaptestek
- Oszlopok
- Lábazati elemek / küszöbgerendák
- Szervizajtók, menekülőkapuk
- Falelemek (modulok)

Az alaptestek biztosítják a megfelelő állékonyságot és stabilitást, a belőlük kiinduló – általában függőleges oszlopok a falelemek stabil rögzítésével növelik a kifordulás elleni védelmet. A különböző lábazati elemek, küszöbgerendák a zajvédelmi falnak főleg a mechanikai hatásokkal szembeni ellenállását biztosítják. A tervezési előírások szerint

adott szakaszonként biztosítani kell úgynevezett menekülési útvonalakat is, melyek szerepét a szervizajtók és a menekülőkapuk töltik be. A tervezésnél ezekre a részekre fokozottan oda



11. ábra - A hanghullámok terjedésének irányjai zajvédő fal nélkül (felül) és zajvédő fallal (alul) [7]

kell figyelni, ugyanis a keletkezendő hézag ellenére itt is biztosítani kell a megfelelő hangvédelmet. A tervezés további kritériumai, szabályai a 3.3. Fejezetben találhatóak.

A zajvédő falakat akusztikai szempontból két nagy csoportra bonthatjuk, a léghanggátlókra és a hangelnyelőkre. Az megfelelő zajvédelmet a visszaverő csoport úgy éri el, hogy a főként sima felületük segítségével megtöri vagy visszaveri a hanghullámokat, míg az elnyelő típusok a porózus felületük segítségével részben vagy teljes egészében elnyelik a hanghullámokat. Az utóbbiak felülete általában üveggyapot, kőzetgyapot, valamint poliuretán. Az esetek többségében a léghanggátló típusokat alkalmazzák, ám vannak olyan helyzetek is, mikor kötelező a hangelnyelő falak alkalmazása. A középen lévő elválasztó sávban és az egymástól független közutak mentén csak a hangelnyelő típusokat lehet alkalmazni.

A típusoktól függően a zajvédő falak számtalan általános érvényességű előnnyel rendelkeznek. A nagy hanggátlási képességük ellenére viszonylag egyszerű felépítésű elemei a közútnak. Az előre gyártott elemeket alkalmazó technikáknak köszönhetően a megépítése nem bonyolult, könnyen biztosítható, a terepadottságtól független, gyors és egyszerű összeszerelésük, ráadásul utólag is elhelyezhetőek. A kiépítését tovább segíti az a tény, hogy a különböző munkafolyamatok jól előkészíthetőek, és a tényleges megvalósításuk kevés élők munkát igényel. Az elemekből állóságnak köszönhetően rendkívül egyszerűen megoldható a sérült részek cseréje is. A kinézetükben akár a szomszédos panelek is eltérhetnek egymástól, így szinte bármilyen felületi mintázat elképzelhető, ezáltal a tájba illesztésük is egyszerű.

A tervezés során a megfelelő hanggátláson túl számtalan kritériumnak kell megfelelnie, melyek között szerepel a gazdaságosság, a lehető legkisebb karbantartási igény és a hosszútávú ellenálló képesség a különböző hatások ellen. A zajvédő falakkal szemben támasztott követelményeket és magát a zajvédelmet befolyásoló tényezőket a következő fejezetek tartalmazzák.

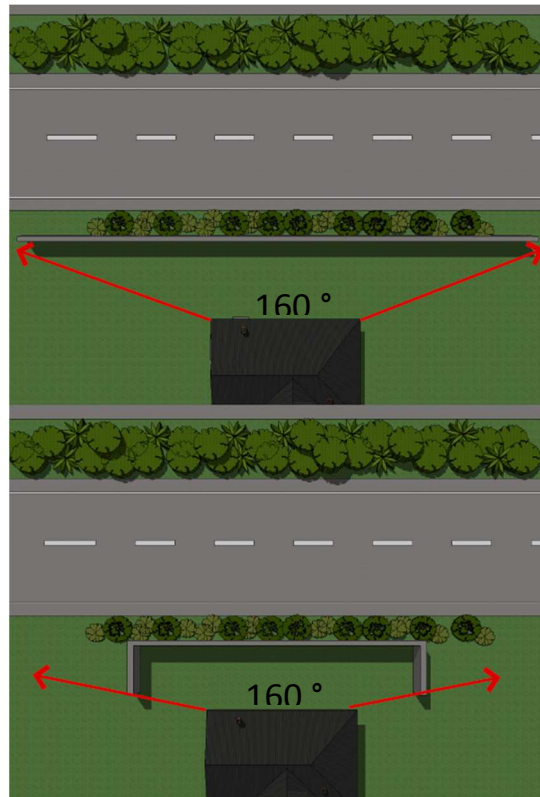
3.2. Elérhető zajcsökkentést meghatározó tényezők

Minden eset más, egyedi beavatkozást igényel. Ennek megfelelően a zajvédő falak zajcsökkentése is sok tervezési és környezeti tényezőtől függ. A hatékonyságot legjobban befolyásoló tényezők a főbb geometriai adatok, a fal optimális elhelyezése és a formája. A befolyásoló tényezők nagyon különbözőek, ám általánosságban mindegyikről

megállapíthatóak különféle összefüggések, tapasztalatok, melyek helyes alkalmazása sokat javít a fal hanggátlásán. Ezeket a tényezőket a következő alfejezetek tartalmazzák.

3.2.1. A hossz és a folytonosság

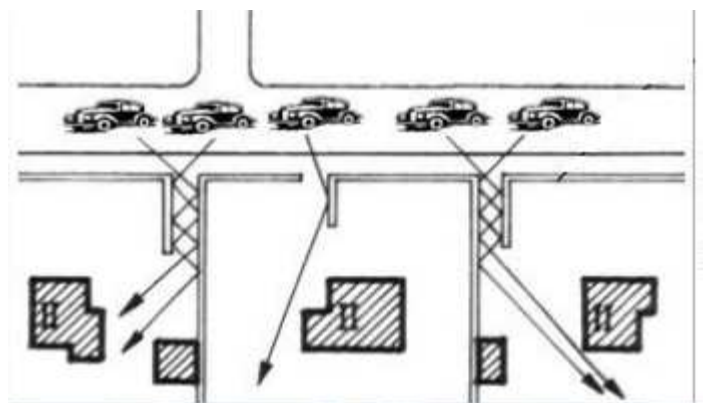
A helyszínrajzi vonalvezetés közel sem a legfontosabb zajvédelmi hatékonyságot befolyásoló paraméter, ám több szempontból is kiemelendő. A két legfontosabb szabály a megfelelő árnyékolás elérése és a folytonosság biztosítása. Akkor megfelelő a vonalvezetés, ha követi az út vonalát. Figyelembe kell venni, hogy a zajvédő fal tetején és az oldalsó szélein a hanghullámok megtörnek, és nem megfelelően megtervezett esetekben könnyedén elérhetik a védendő objektumot. Ahhoz, hogy ez a probléma ne fordulhasson elő, a zajvédő falnak mozgó forrás esetén 160° -os szögnél jobban kell takarnia a védendő létesítményt. Helyhiány esetén megtört vonalú, esetleg az eredetihez merőlegesen



12. ábra - A zajvédő fal megfelelő takarásának bemutatása [7]

csatlakozó falakkal ez a minimális hossz jelentősen csökkenthető. A két kialakítási megoldást szemlélteti a 12. ábra is. A 13-as ábrán pedig az látható, hogy a megfelelő árnyékolásnál számolni kell a falakról, és a szomszéd épületekről visszaverődő hangsugarakkal is.

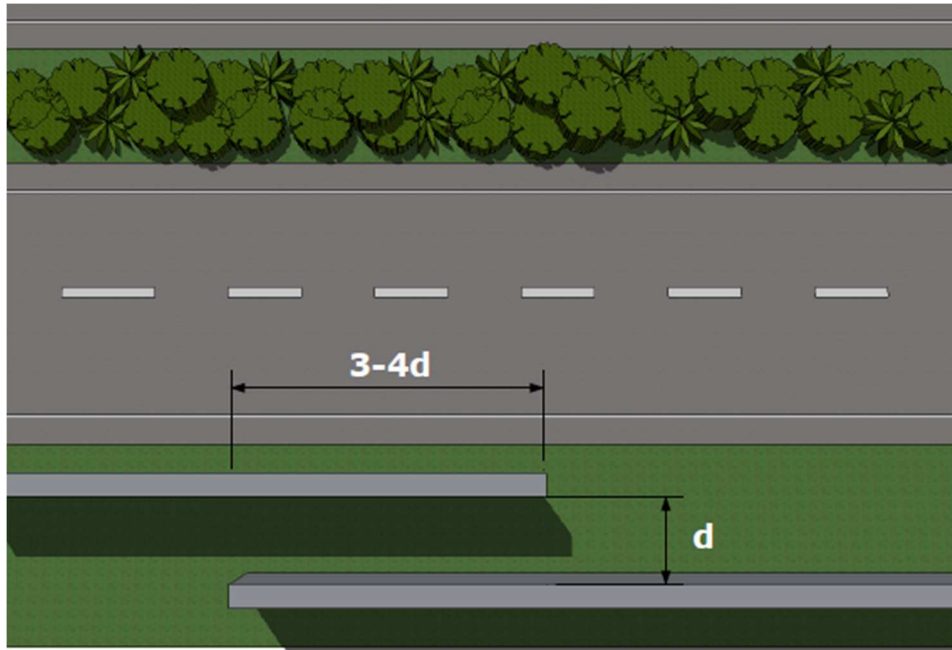
A fal tervezése során figyelembe kell venni a különböző gyalogos- és kerékpáros útvonalakat és azt, hogy vészhelyzet esetén se legyen akadályozva a megkülönböztető jelzést használó járművek mozgása,



13. ábra - A tervezés során számolni kell a felületekről visszaverődő hangsugarakkal [17]

éppen ezért a fal teljes folytonossága nem megoldható. A csatlakozó utaknál és a kihajtóknál fokozottan kell figyelni a megszakításokra, ugyanis nem megfelelő folytonosság esetén a fal

könnyen elvesztheti a funkcióját. Különböző típusú falak összekapcsolásánál, esetleges gyalogos átvezetéseknel vagy egyéb megszakítások esetén, rövidtávon célszerű az egymás melletti párhuzamosan futó falak alkalmazása. A megfelelő átfedéses kialakítás mellett nem következik be érdemi hatékonyság-csökkenés. A kellő hosszúságú átfedést tartalmazza 14. ábra.



14. ábra - A zajvédő falak átlapolásának megfelelő kialakítása [7]

3.2.2. Elhelyezkedése a forrás és a védendő objektum között

A falnak a zajforrás és a védendő objektum közötti megfelelő elhelyezése legalább annyira fontos, mint a folytonosság. Az elhelyezésnek számtalan módszere van, melyben a forrásnak és a vevőnek feltétlenül egy magasságban kell lennie. Az az általános tulajdonság megállapítható, hogy a zajvédő fal annál hatékonyabb, minél közelebb van a zaj forrásához, az útpályához. Kivételt képez ez alól az a helyzet, mikor az útpálya bevágásban halad, ugyanis ekkor sokkal jobb hatást érünk el, ha a falat a bevágás tetején helyezzük el. Természetesen nagyon ritka az olyan eset, amikor a zajvédő fal a lehető legközelebb kerüljön a közúthoz, így különböző kompromisszumokat kell kötni a tervezés során, melyben továbbra is törekedni kell a lehető legjobb tulajdonságok elérésére.

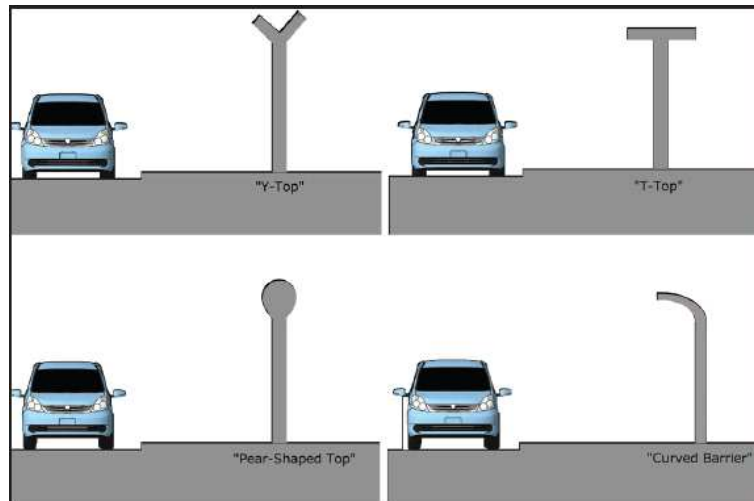
3.2.3. Optimális magasság

A magasság a zajvédő fal tervezésének és megfelelő hatékonyságának a kulcsa. Habár itt is igaz az a feltevés, hogy minél magasabb, annál jobb, egy idő után mind esztétikailag, mind pedig gazdaságossággal problémás lesz a további magasságnövelés. A magassági korláthoz hasonlóan definiálható egy minimális magasság is. A zajvédő fal legalább olyan magas legyen, hogy a jármű motorjából kiinduló egyenes vonalú zajhullámok terjedése kerülje el a védendő objektumot. A fal magassága természetesen függ a forgalom nagyságától és az útpálya aktuális sávszámától is. A magasság meghatározása során mindig a faltól legtávolabbra eső sávban mozgó jármű zajkibocsátását kell a mértékadónak tekinteni.

További előnynek tekinthető a zajvédő falaknak az a tulajdonsága, hogy nem kötelező a konstans magasság megtartása. Kevésbé érzékeny terület esetén vagy alacsonyabb házaknál akár rövidebb szakaszokon csökkenthetünk a fal magasságából. Ugyanez igaz a többi körülményes épületek zajvédelmére is. Nyugodtan növelhetünk a falszakasz magasságán, feltéve, ha figyelembe vesszük a fal hosszáról szóló fejezetben megfogalmazott 160°-nál nagyobb szögben történő lefedettségi kritérium teljesülését is.

3.2.4. A fal tetejének alakja

Az előző fejezetben látható volt, hogy a fal magasságának növelése egy bizonyos érték elérése után már nem gazdaságos. Ilyen esetekben alkalmazható a tető alakjának a megváltoztatása. Egyes kifinomultabb fejalakra vonatkozó technikák alkalmazása során a zajcsökkentés a fal



15. ábra - Különböző faltető kialakítási módok [7]

magasságának vagy a fal felületének módosítása nélkül is több dB értékkel növelhető. Sok, egymástól különböző alak létezik, például a T-forma, vagy az ívesítés. Extrémabb zajgátlási esetekben akár komplett hanggát vagy alagút is kialakítható. Néhány példát közülük be is mutat 15. ábra.

Ugyanez az elv alkalmazató természetesen a falak alapvető magasságának csökkentésére is, mivel ennek a technológiának a segítségével ugyanaz a zajcsökkentés kisebb magasságok mellett is elérhető.

Az alkalmazása természetesen nem kötelező, többek között azért sem, mert az alkalmazása még irreálisan nagy többletköltségekkel jár. Ott célszerű használni, ahol rendkívül nagy a környezet beépítettsége és a megfelelő tájba illeszthetőség és láthatóság biztosításának érdekében minden plusz cm számít a zajvédelmi fal magasságát illetően.

3.2.5. Felület, visszaverés

A magassági kialakítás után a zajvédelem mértékét a felületi tulajdonságok határozzák meg a legjobban. A lakott területen kívüli esetek többségében, amikor a kedvező terepi adottságoknak és az ehhez jól illeszkedő vonalvezetési viszonyoknak köszönhetően elegendő csak az út egyik oldalán a zaj ellen védekezni, ott célszerű az általában sima felületű, visszaverő típusú falak alkalmazása. Lakott területen belül ez többnyire nem valósítható meg, ugyanis az egymással párhuzamos falak esetében minden esetben számolni kell a többszörös



16. ábra - Elnyelő felületű zajvédő fal, Püspökladány

visszaverődéssel, mely csökkenti a hatékonyságot. Ugyanez igaz akkor is, ha a fal közelében sok magas és egyben nagy oldalfelülettel rendelkező jármű halad el. A külföldi tapasztalatok alapján a két párhuzamos fal akkor lesz hatékony, ha az egymástól mért távolságuk az átlagos magasságuknak legalább a tízszerese. Ha ez nincs meg, akkor nagyobb mértékben is, több dB-t nőhet a zajszennyezés mértéke. Az elnyelő falnak általában durva pórusokkal van tele a felülete, hogy minél jobban elterelje a hanghullámokat.

Alkalmaznak további – a felülettől kevésbé függő – alternatívákat is a zajvédelem fokozására. Ilyen megoldás például a fal függőleges értelemben vett kis szögű megdőntése. Az

elemek folyamatos, pár fokkal kifelé történő megdöntésével jelentős zajcsökkentést érhetünk el.

Léteznek olyan speciális esetek is, ahol csak elnyelő fal alkalmazható. Ilyen helyzet a forgalmi sávok között elhelyezett közbenső zajvédő fal esete, de a vasút mentén például kötelező jelleggel csak az elnyelő típusú zajvédő falak alkalmazhatóak.

3.2.6. Anyag

A falnak és a felületének az összképét, továbbá a zajvédelmi hatékonyságát nagyban meghatározza az, hogy milyen anyagot alkalmaznak a fal készítése során. A különböző alapanyagok felhasználásával, esetleg azok kombinálásával teljesen más tulajdonságokat érhetünk el. A felhasználás fontosságában a 10 dB körüli érték a vízválasztó. Ha ennél kevesebb zajcsökkentésre van szükség, akkor a környezetvédelem, az üzemeltetés és az esztétika sokkal fontosabb, mint maga az anyaghasználat, míg 10 dB értékűnél nagyobb zajcsökkentés esetén már jóval nagyobb szerepe van annak, hogy pontosan milyen tulajdonságokkal rendelkező elemekből építjük fel a falat.

Sokféle különböző anyagot alkalmazunk a zajszigetelésre, melyeknek természetesen közel sem egyforma a hanggátló képessége. Mindegyiknek más és más az előnye, illetve a hátránya. Abban azonban megegyeznek, hogy a teljes felületüknek hézagmentes kialakításúnak kell lennie. A fő típusok közé tartoznak a fából, betonból, fémből, műanyagból és üvegből készült elemek. A részletes felsorolásuk és elemzésük a 3.4. fejezetben található.



17. ábra - Elnyelő típusú fabeton felület közelről

3.2.7. Növényzet hatása



18. ábra - Kiváló példa a zajvédő fal és a növényzet kombinációjára (Wellington, NZ) [7]

Az önmagában alkalmazott zajvédő erdősáv is lehet zajfogó, de a hatékonysága meg sem közelíti a nála nagyságrendekkel keskenyebb zajvédő falakét. A zajvédelmi funkcióként magában alkalmazott növényesáv inkább pszichológiai értelemben csökkenti a zajt, azaz „ha nem látszik a forgalom, akkor az halkabb is”. Ugyanez igaz a fordított esetre is. A kivágott fáknek látványa jobban növeli az érzékelt zajterhelést, mint amilyenek azok valójában. Fontos tényező a növényzet lombhullatása is. Egy örökzöld növényekből álló erdősáv az év minden napján, évszaktól függetlenül

képes ugyanazt a csillapítási szintet garantálni, ugyanakkor a lombhullató társaik télen szinte csillapítatlanul engedik át a zajhullámokat.

A növényzetnek a zajvédő falak szempontjából az a legjobb tulajdonsága, hogy a kettő együtt rendkívül jól kombinálható. A hatásuk nemcsak a zajvédelem szempontjából kedvező, de egy kis növényzet alkalmazásával már sokkal egyszerűbb a környezetbe illeszthetőség is.

Nem elhanyagolható tényező a telepített növényzet megfelelő ápolása és gondozása sem, erre a fenntarthatósági és gazdaságossági elemzés során mindenképp oda kell figyelni.

3.2.8. Szél hatása

Ahhoz, hogy a geometriailag és felületileg megfelelően megtervezett zajvédő fal megfelelően is működjön, nem szabad elhanyagolni a szél hatását sem. A kis sebességű szél is nagymértékben meg tudja hajlítani a zaj útvonalát, ezáltal a védendő objektum hiába van továbbra is a zajvédő fal árnyékában, mégis terhelhetik további zajhatások. Az erősebb szélhatások figyelembe vételét már a tervezés során meg kell tenni. A méretezése komplikáltabb, ugyanis a szél tulajdonságai a domborzattól függően változnak. A markánsabb domborzati elemek megnövelhetik a sebességet, míg a jóval lankásabb, erdőkkel beépített, esetleg lakott területek lecsökkenthetik a sebességet.

A szél hatását befolyásolhatja még a járművek mozgása. A járművek sebességének és oldalfelületének növelésével, és a falhoz való közelség csökkentésével jelentősen megnövekedhet a természetes szélből számított szélteher nagysága, ezáltal jóval nagyobb az esélye a kifordulásnak is. A túlzott falközelség esetén a zajvédő fal nagyobb szél esetén vissza is hathat a járművekre. Erre a hatásra főként a nagy felületű oldal járművek, és a kicsinek számító motorosok a legérzékenyebbek.

3.3. Igények – Tervezési szempontok

A zajvédő falakat a tér egyik meghatározó, 3 dimenziós kiterjedésű elemének kell tekinteni. A fő funkciója ugyan a zaj elleni védekezés, de a megépítése semmiképp nem izolálhatja el a különböző területeket, és semmiképp sem károsíthatja a környezet sem.



19. ábra - A tervezés során a fal "túlsó" oldaláról sem szabad megfeledkezni (Auckland NZ) [7]

A számtalan variálható tulajdonság, a sok elvárás és követelmény következményeképpen folyamatosan kompromisszumot kell kötni a tervezés folyamán. A megfelelő kialakításnak meg kell felelnie a műszaki, a környezeti, a gazdaságossági, a fenntarthatósági követelményeknek, de semmiképp sem szabad megfeledkezni a lehető legbiztonságosabb kialakítási mód eléréséről sem. A különböző tervezési szempontcsoportok részletezés tanulmányozása a következő alfejezetekben található.

3.3.1. Műszaki követelmények

A zajvédő falak tervezésekor törekedni kell arra, hogy a tervezési élettartam minél hosszabb legyen, és ezen időszak alatt a fenntartási beavatkozások száma a lehető legkevesebb legyen. Az elsődleges funkció természetesen a hanggátlás, ám a környezetébe történő beillesztésére is nagy



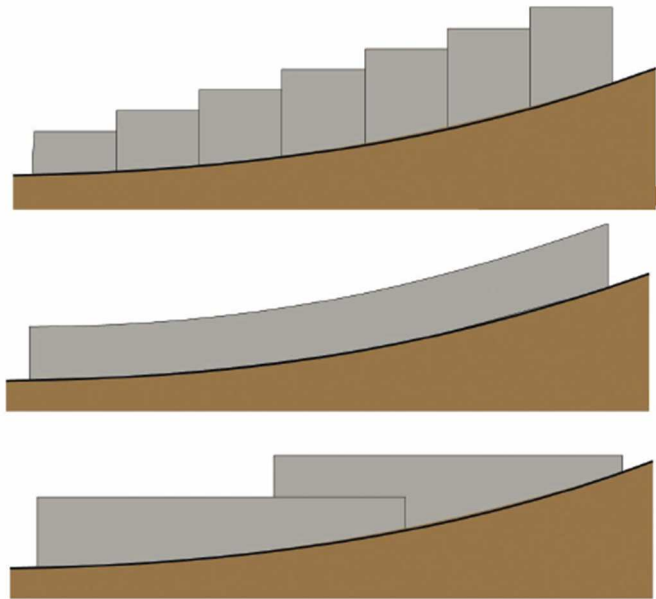
20. ábra - A fal tetejének a legkritikusabb elem a tájba illesztés szempontjából [7]

hangsúlyt kell fektetni. Egyszerre több hatás is érheti a falat, melynek akkor is be kell töltenie a zajvédelmi funkcióját. Figyelembe kell venni a közlekedő eszközök dinamikus terhelésének hatását, azaz a járművek mozgását és az egyéb úttal járó hatásokat. Ha a fal túl közel van az útpályához, az elhaladó járművek aerodinamikai hatása visszahathat magára a járművekre. Számolni kell az esetleges szeizmikus hatásokkal, a hóterhelésekkel. Az időjárási hatásoknak megfelelően bizonyos anyagoknak megváltozhat a nedvességtartalma, így az ilyen esetekben külön beszélhetünk száraz, illetve nedves térfogatsúlyról. Minden esetben törekedni kell a kivitelezhetőség egyszerűségére, úgy célszerű a kialakítást megtervezni, hogy ne legyen túl bonyolult a későbbi átalakítás, bővítés megtervezése sem.

A következő fontos szempont az úrszelvények megfelelő betartása. A különböző típusú útszakaszokra más-más úrszelvényi méretkövetelmények vannak, de ettől függetlenül mindenhol meg kell tartani a biztonságos közlekedéshez és a szükséges fenntartások elvégzéséhez elengedhetetlen nagyságú területet. Figyelembe kell venni a különböző műtárgyakat és az útelemekeket. A lámpatestek vagy a különböző táblatartó oszlopok miatt nem szabad megszakítani a fal folytonosságát.

A fal vizuális értemben vett környezetbe való elhelyezésénél törekedni kell az optimális körülmények kialakítására. A fal leglátványosabb eleme az esetek többségében a teteje, ugyanis az látható a legjobban, és az van a legközelebb a túloldalt lévő környezetében lévő látómezőhöz is. Meg kell találni az egyensúlyt a fal két oldalán megjelenő különböző igények

között, azaz figyelni kell a túlárnékolásra és az alagúthatásra. Elsődleges cél a nyitottság érzet és a biztonságérezet fokozása. A védendő objektum túlárnékolása esetén saját kis mikroklíma alakulhat ki, mely a fény és szellőzés csökkentéséhez vezet. A másik véglét az alagúthatás. A teljes, függőleges és vízszintes értelemben vett szimmetria nagyban korlátozhatja a nézőpontokat, ráadásul nagyobb falmagassággal kombinálva a helyi környezetet valamint teljesen el is



21. ábra - Különböző lehetőségek a magassági vonalvezetésbeli változások követésére [7]

szigetelheti. A hosszú monoton útszakaszokon is fent kell tartani a járművezetők figyelmét, tehát kerülni kell a párhuzamosan vezetett egyhangú falszakaszokat.

A magasság optimalizálásánál is kompromisszumot kell kötni a fal két oldalát használók között, azaz meg kell találni a zajnak és a vizuális hatásoknak az egyensúlyát. A magasabb fal ugyan jobb hanggátlási tulajdonságokkal rendelkezik, de ez a hatás az érintett lakosság számára kedvezőtlen is lehet. A különböző magassági változtatásoknál pedig minden esetben be kell tartani az előző fejezetben ismertetett átfedések kialakítására vonatkozó előírásokat.

A közutat használóknak és a fal túloldalán élőknek, vagy a járdán közlekedőknek a zajvédő fal hanggátlásán túl rendkívül nagy szerepe van a homlokzati kialakításnak, a különböző mintáknak és dizájnelemek alkalmazásának. Itt fokozottan figyelembe kell venni, hogy a fal két oldalának különböző funkciói vannak. A fal belső oldalán a járművek nagy sebességgel közlekednek, így a figyelem fenntartása érdekében célszerű a hosszú, elnyújtott színes mintázatok alkalmazása. Kerülendőek a túl monoton textúrák és a részletesen kidolgozott mintázatú falfelületek is, mert mindkét eset befolyásolja a vezetők figyelmét. A túlzott monotonitású falak hatására lankadhat a figyelem, míg az érdekes vagy szép mintázatok elvonhatják a gépjárművezető figyelmét az útpályáról.

Természetesen a fal másik oldala sem hanyagolható el. A zajvédő fal városi alkalmazása esetén nem szabad túlságosan korlátozni a gyalogosok látómezejét és a környező épületeknél

sem szabad az elszigeteltség érzetét kelteni. Itt már jóval több színes, dizájnos motívum alkalmazható, de figyelni kell a megfelelő környezetbe illeszthetőségre is. Nagy szerepet kaphatnak mindkét oldalt a különböző növények is, ugyanis sokkal élhetőbbé varázsolják a környezetet.

A vandalizmus miatt komolyabb grafikákat nem célszerű készíteni, mivel a megrongálódott díszes mintázatú panelelemek pótlása sokkal körülményesebb, mint az egyszerűké. Fontos szempont az is, hogy a bonyolultabb dizájnelemek alkalmazása jelentős többletköltséget jelent, éppen ezért a nagyobb méretű és olcsóbb elemek alkalmazása az ajánlott.



22. ábra - A zajvédelmi fal egyik fő ellensége a vandalizmus [7]

A túlzott átláthatóságot lehetőleg kerülni kell, ám speciális esetekben biztosítani kell a megfelelő átláthatóságot. Ilyen esetek lehetnek például a különböző utcák, a nevezetes épületek, a csomópontok, vagy az átkelőhelyek környezete.

Az elemek színvilága rugalmasan kombinálható. Az emelek anyaga, formája és színe a hossz mentén tetszőlegesen variálható. Az egymástól eltérő vastagságú elemek sorozatos alkalmazása a térhatásérzetet fokozza.

A különböző anyagok kialakításánál is figyelembe kell venni bizonyos szempontokat. Meg kell felelnie az esztétikai követelményeknek, a részletes felületének nem szabad a környezetbe illesztés kárára menni, ugyanakkor a különböző időjárási viszonyok tűrése mellett a karbantartási beavatkozások számát minimalizálni kell. Bizonyos anyagoknál, például a fánál különösen figyelni kell arra, hogy csak megfelelően utókezelt faanyagot alkalmazzunk. Az esetlegesen kialakulható bomlási folyamatok megelőzése érdekében minden esetben meg kell akadályozni, hogy a faelem közvetlenül érintkezzen a talajjal.

3.3.2. Biztonsági szempontok

A maximális biztonságra törekvő tervezés rendkívül fontos, ugyanis a kiváló zajárnyékolási tulajdonságokkal rendelkező fal sem ér semmit, ha sok balesetet okoz.

Első és legfontosabb szempont a közlekedők védelme, a balesetek elkerülése. A zajvédő falnak a megfelelő látási viszonyokat nem szabad gátolnia, és a különböző látótávolságok minimális értékét sem szabad csökkentenie. Az úrszelvények betartása kötelező jellegű, kisebb hely, például műtárgy esetén célszerű további biztonsági



23. ábra - Az átlátszó panelek alkalmazása növeli a tájékozódást és a közbiztonságot [7]

elemeket alkalmazni. Járműtípustól függetlenül járhatónak kell lenni az adott útnak, azaz a zajvédelmi elemek nem lóghatnak bele a nagyobb méretekkel rendelkező járművek kanyarodási üldözőgörbéjébe sem.

Kerülni kel a vezetőt zavaró fényreflektiókat. Ide tartozik a napfény, de akár a fényszórók fényének visszaverése is. Javasolt a kevésbé tükröződő anyagok használata, de másodlagos megoldás lehet a falpanelek pár fokkal megdőntése, vagy a matt felület képzése is. A zajvédő fal közút felőli felületének a megtervezése viszonylag egyszerű, ugyanis az nem zavarja túlságosan a gépjárművek vezetőit. A monotonitás és a túlságos stilizálás kerülendő ugyan, de célszerű az egyszerű, ám mintákat tartalmazó falelemek alkalmazása. A növényzet megfelelő alkalmazása tovább javíthat a helyzeten. A zajvédő falak megfelelő elhelyezésénél a közúti kivilágítást, a vízelvezetést és a biztonsági korlátokat is figyelembe kell venni. Ha a biztonsági körülmények igénylik, célszerű a fal betonnal történő megerősítése is, ez esetben a biztonságosság és a zajvédelmi funkció kombinálásával egy költséghatékony megoldást érhetünk el.

A közlekedők védelmét szolgáló biztonsági tervezésen túl ide tartozik a fal megfelelő védelme is. Védekezni kell a szerkezeti elemek eltulajdonítása ellen. Fontos szempont a vandalizmus elkerülése is. Ide tartoznak a különböző graffitik és a rongálások is. Utóbbi esetben különösen oda kell figyelni az üvegből készült



24. ábra - A tervezés során kerülni kell a kevésbé biztonságos kialakításokat, Budapest [29]

zajvédelmi falakra. Számolni kell továbbá a járművek okozta kavicsfelverődéssel, és nem szabad megfeledkezni az esetleges tűz okozta problémákról sem. Fokozott tűzveszélyes területeken, vagy ahol gyakoriak a melegebb nappalok, különös odafigyeléssel alkalmazhatóak csak a gyúlékony anyagok. Ettől függetlenül villámlás hatására vagy balesetből bárhol keletkezhet tűz, ilyen esetekben tűzfogó megszakítók alkalmazandóak. Figyelni kell még a különböző műtárgyakon történő balesetekre, hogy az ilyen esetekben megrongálódott falról se eshessen le semmi a másik útra.

A teljes körű biztonságossághoz tartozik még a megfelelő biztonságérzet keltése is. A nagy hosszúságú, folyamatos falaknál bizonyos távolságokban kötelező kijáratokat, úgynevezett kapukat létesíteni, hogy a sürgős esetekben se szigetelje el a fal a két oldalt egymástól. A csomóponti csatlakozások esetén a zajvédelmi funkciók megőrzése mellett be kell tartani a láthatósági követelményeket is, így ilyenkor előnyös, ha átlátszó paneleket alkalmazunk.

Maximalizálni kell a közbiztonságot is. Biztosítani kell a hozzáférhetőséget és a jó láthatóságot. A közlekedők biztonságos mozgását a csomópontban különösen ki kell emelni. A bűnmegelőzést a kitakart területek és szűk keresztmetszetű folyosók minimalizálásával lehet fokozni. Szükséges az elemek világos és logikus elhelyezése, a figyelem fenntartása. Ahol kell, további biztonsági elemeket, egyes esetekben térfigyelő kamerákat kell alkalmazni.

3.3.3. Környezetvédelmi – tájba illesztés

A zajvédelmi funkciók kielégítésén és a megfelelő biztonságon túl fontos szerepe van a fal tájba illesztésének. A zajvédelmi létesítménynek összhangban kell lennie magával az úttal és a vonalvezetésével, a körülötte lévő tájjal és a környező elemekkel egyaránt. Itt is fontos szerepe van annak a megállapításnak, hogy a falnak két – különböző funkcióval és tulajdonságokkal rendelkező – oldala van, a közút felőli és a környezet felőli. Az út mellett lévő környezetet is több csoportra lehet bontani, azaz különbséget kell tenni a topográfiai értelemben vett környezet, a hegységek, folyók, és az ember által épített környezet, azaz a hidak, tornyok, jellegzetes épületek között. Külön csoportba sorolhatóak még az ugyan emberi erővel épített, ám a környezet javulását szolgáló területek is, mint például az erdők és a kisebb-nagyobb parkok.

A közlekedő szempontjából a falnak a megfelelő vizuális hatást kell keltenie, azaz a lehető legjobb átmenetet kell képeznie a fal két oldala között. A durva, hirtelen sarkok alkalmazása kerülendő, továbbá a hosszú, mindkét oldalt vezetendő falak alkalmazása sem túl célszerű.



25. ábra - A megfelelő vizuális vonalvezetés megkönnyíti a tájba illesztést [7]

A tájba illesztés egyik legjobb módszere a különböző növényzettel való kombinálás. A módszer természetesen nem olyan egyszerű ugyanis a megfelelő zajvédelmi, esztétikai és fenntartási tulajdonságok elérése érdekében számtalan kritérium létezik a megfelelő csemeték kiválasztásához. A növényzetet legalább 20 évre előre meg kell tervezni. Nagy ellenálló képességgel kell rendelkezni a faggyal és az esetleges árnyékolással szemben. Ajánlott a gyorsan nöövő, alacsony gondozási igényeket kielégítő, lehetőleg önszaporodó növényzet alkalmazása. A növényzet mindaddig korlátlanul alkalmazható, míg nem megy a műszaki paraméterek, a biztonságosság vagy az esztétikai hatások rovására.

Rendkívül nehéz megmondani, hogy az adott esetben mi a jó. Az aprólékos, részletezett kidolgozás nagyon fontos. Megfelelő környezetbe illesztésnél a fal lehet az épület közvetlen közelében is, egyáltalán nem lesz zavaró hatású.



A környezetszemléletű tervezés következményeképpen további szabályok alkalmazása

26. ábra - Egy esztétikus zajvédő fal az ingatlanok közvetlen közelében is jól mutat [7]

indokolt. Elsődleges szempont az élhető, kellemes környezet megteremtése. Javasolt a helyi anyagok, helyi termékek és az őshonos növények alkalmazása. A fal építéséhez az anyagokat mindenképp a teljes élettartamra válasszuk meg, és részesítsük előnyben a környezetbarát, újrahasznosított anyagokat, mind például az újrahasznosított műanyagokat, vagy a cementőrleményt. A falelemeken túl a különböző festékek és bevonatok is legyenek környezetbarátok.

Rendkívül előnyös az olyan megoldások alkalmazása, melynek az utólagos fenntartási munkái és azok költségei lehetőleg minimálisak. Célszerű továbbá olyan falakat létrehozni, melynek folyamatos üzemeltetésével megtérülhetnek a beruházás költségei. Ilyenek például a fotovoltaiikus anyagok vagy a szennyező anyagok terjedését megakadályozó technológiák is. Ezek a technológiák ma még nagyon drágák és ritkák, de a jövő minden bizonnyal ezekben van. A technológiák részletes leírása a 3.4. fejezetben található.

A környezetvédelemhez tartozik az élőlények védelme is. A városok zajcsökkentésén túl kiemelt figyelmet kell fordítani a közlekedési folyosók környezetében élő növény- és állatvilágra is. Különböző kísérletek azt igazolják, hogy bizonyos helyi állatfajokat, és főként madarakat különösen zavarja a zaj. Az emberhez képest a vadon élő állatoknak jóval érzékenyebb a hallásuk. A zajvédő falak építésével sem sérülhet a biodiverzitás. A jobb környezetbe illesztés érdekében sokkal esztétikusabb megoldást képviselnek az átlátszó

panelek, ám főként külterületen számolni kell a madárbecsapódással is. A legjobb védekezési módszer a panelekre felragasztott fekete madár piktogram. Külterületen, ahol a közlekedési folyosó nyomvonala keresztüljel egy élőhelyet, ott bizonyos távolságoként biztosítani kell a közúton történő átkelést az élőlények számára. Ezek az átjutást biztosító műtárgyak a vadátjárók vagy az alagutak. Fontos tervezési szempont, hogy a megfelelő zajcsökkentést itt is biztosítani kell.



27. ábra - A jól ismert madárbecsapódás ellen védő piktogram [7]

A zajterhelésen túl a környezet- és légszennyezettség is nagy probléma. Ennek a hatásnak a legnagyobb elszennvedője maga a zajvédő fal. A szennyezés mértéke a forgalomnagysággal arányos. Azokban az esetekben, amikor a fal túl közel van a közúthoz, a járművek és a fal között kialakuló turbulens légörvények felkeverhetik a port is, ezáltal lassítják a lerakódást és szétszórják a szennyeződést. A légszennyezettség szempontjából leginkább érzékeny közlekedésben résztvevők a gyalogosok és a kerékpárosok. A megfelelő védelmükre különösen oda kell figyelni.

3.3.4. Fenntarthatóság

A fenntarthatóságnál egyszerre több különböző szempontot is együttesen figyelembe kell venni, ezeket tartalmazza ez a fejezet. A cél összességében az, hogy a beruházás elkészülte után a tervezési élettartam alatt a szerkezet karbantartása, fenntartása a lehető legkevesebb időt, élőmunkát és költséget igényeljen. Az előre gyártott elemekből történő összeállítás tovább segíti az egyszerű fenntarthatóságot, ugyanis egy rész meghibásodása esetén a cseréje a



28. ábra - Átlátszó üvegpanel esetén figyelembe kell venni a panelelem fokozott sérülékenységét [7]

környező elemek érintése nélkül megtörténhet. A modulcserénél a cél a minél gyorsabb és olcsóbb beavatkozási, javítási lehetőség.

A fenntartósági kérdésének már az anyagok kiválasztásánál fontos szerepe van, ugyanis a különböző anyagok teljesen más tartóssági tulajdonságokkal rendelkeznek. A betonnak minimális a karbantartásigénye, míg a fa elemeken a megfelelő utókezelés ellenére is jóval többször kell karbantartást végezni.

A minőségi kialakításnál fontos szerepe van, hogy a fal mindkét oldalán hozzáférhető legyen. Az esetek nagy részében kötelező biztosítani, ám ahol – általában külterületen, a külső oldalon – mégis nehezebb megközelíteni a falat, ott ajánlott tartósabb kivitelben elkészíteni azt. A könnyebb hozzáférhetőséget sűrűbb ajtókiosztással lehet növelni.

A megfelelő tisztíthatóság kérdése is fontos része a fenntartásnak. A sima felületek tisztításának nagy részét az intenzívebb csapadékok elvégzik. Ezt a hatást fokozhatjuk, ha a panelelemeket az előző fejezetben említett paneldöntési technikával pár fokban kifelé megdöntjük. A durvább felületek tisztítása általában egyszerű magasnyomású vízzel történik. Rozsdásodásra hajlamos elemeknél különösen oda kell figyelni a korrózió kialakulásának elkerülésére.

Ha a zajvédő fal növényzettel van kombinálva, akkor a fenntartás szempontjából a növényzet igényli a legtöbb gondozást. Ezen igény csökkentésének céljából célszerű azon alacsony gondozást igénylő növénycsoportokat alkalmazni, melyek szárazság- és árnyéktűrőek, gyors növekedésre képesek, és az önszaporító képességük magas.

A zajvédelmi falnak, mint nagy felületnek az legnagyobb ellensége a graffiti. A vandálok által összefirkált fal világszerte nagy problémát jelent.



29. ábra - A zajvédő fal és a növényzet kombinációja

A teljes megszüntetésére még nincs hatékony beavatkozás, így a hangsúly a megelőzésen és a takarítás hatékonyságán és gazdaságosságán van. A legegyszerűbb védekezési megoldások többek között a sűrű növényzettel való kombinálás és a különféle speciális védőfóliákkal való bevonás. Az utóbbinak ugyan viszonylag nagy a hatékonysága, ám a kialakítása jelentős többletköltségekkel jár, így hazánkban minimális népszerűségnek örvend. Külföldi kutatások kimutatták azt is, hogy azokat a falfelületeket ritkábban rongálták meg, amelyek kevésbé publikusak. Lehetséges védekezési megoldást biztosít még az előre megtervezett graffitik elkészítése is, ám ezek alkalmazása könnyen elvonhatja a járművezetők figyelmét az útpályáról.

3.3.5. Gazdaságosság

A gazdaságos kialakítás rendkívül fontos része a tervezésnek. Az azonos zajvédelmi, biztonsági és tájba illeszthetőségi tulajdonságokkal rendelkező különböző megoldási típusok közül célszerű az olcsóbbat választani. A választott típus viszont semmiképp nem mehet a biztonság és a zajvédelem rovására. A költségek fontos részét képezik a különböző védelmi kialakítások többletköltségei, de a fenntartás során felmerülő költségekkel is számolni kell.

3.4. A zajvédő falak fő anyagai

A zajvédő falak tervezését, megépítését és fenntartását egyaránt meghatározza az a tulajdonság, hogy milyen anyagból készülnek. Az anyagok tulajdonságai befolyásolják az akusztikai tulajdonságokat, a tájba illesztési kérdéseket, a fenntarthatóságot és a költségeket is. Az alábbi fejezetben összegyűjtöttem és jellemeztem a különféle nemzetközi szinten alkalmazott anyagokat és az abból fakadó tulajdonságokat. A különböző anyagokról a következő alfejezetekben külön-külön található egy általános jellemzés, összegyűjtöttem a fő pozitív és negatív tulajdonságokat, végezetül pedig egy jellemző külföldi és ahol van, ott egy magyarországi példa is szerepel.

3.4.1. Földanyagú gátak

A földanyagú gátak, ahogy a nevük is mutatja, nem tartoznak közvetlenül a zajvédő falak közé, ám fontos megemlíteni őket, ugyanis szorosan kapcsolódnak a zajvédő falakhoz. Zajfogó gátakat önmagában akkor célszerű alkalmazni, ha a megépítésükhöz elegendő hely áll rendelkezésre. A rendkívül nagy területigényt nem számítva többnyire pozitív



30. ábra - Földanyagú gát, Rolleston (NZ) [7]

tulajdonságokkal rendelkeznek, mely vidéken sokkal előnyösebb megoldás lehet. Kisebb építési magasságokkal is lehetnek annyira hatásosak, mint a zajvédő falak. A töltés beépíthető növényzettel, mely természetesnek hat, ezáltal a tájba történő vizuális beillesztése is sokkal egyszerűbbé válik. Megépítése sokkal olcsóbb, ha a megfelelő mennyiségű és minőségű töltésanyag a helyszínen rendelkezésre is áll. A jó növényzet kiválasztása esetén a fenntartás is minimalizálható, olykor pedig egyáltalán nem is szükséges. Bizonyos esetekben a töltés tetején létesített kerékpárút közösségi szempontból is csupa pozitív hatásokat vált ki.

A nagyobb városok bevezető szakaszain alkalmazható esetleg a zajvédő fal és töltés kombinációja, de a sűrűn lakott területeken már csak a zajvédő falak alkalmazhatóak.

Előnyök:

- ⊕ Az útépítés során keletkező fölösleges talajtömeget nem szükséges elszállítani, ugyanis a töltésépítés során könnyedén felhasználható
- ⊕ Akusztikailag és vizuális értelemben véve is sokkal kellemesebb hatásúak, mint a többi zajvédő fal
- ⊕ A vandalizmussal egyáltalán nem kell foglalkozni (rongálás, graffiti, stb.)
- ⊕ A gát rézsúí egyszerűen burkolhatóak a növényzettel, míg a gáttető igény szerint tovább is fejleszthető (kerékpárút, hófogó erdősáv, stb.)

Hátrányok:

- ➖ Lényegesen nagyobb a helyigényük, mint a többi zajvédő falnak, így az alkalmazásuk az esetek többségében csak külterületen lehetséges
- ➖ Figyelembe kell venni a különböző töltéstípusok állékonyságát, így az bizonyos esetekben jelentősen megnövelheti a töltések eredeti szélességét
- ➖ Fűtés vagy esetlegesen helytelenül megtervezett és/vagy végrehajtott beültetés esetén jóval nagyobb a fenntartási munka

3.4.2. Beton

A zajvédő falak anyagai közül a beton elemek használata igencsak nagy népszerűségnek örvend. Lényegesen több az előnyük, mint a hátrányuk. A felület a hanggátlás típusát tekintve lehet elnyelő vagy visszaverő egyaránt. A sima felületek jellemzően visszaverőek,



31. ábra - Speciális beton anyagú zajvédő fal, mely egyben az út biztonsági elemét is képezi (Auckland, NZ) [7]

míg a porózus beton elemek, vagy a faforgáccsal kombinált panelek rendszerint elnyelő típusúak. Hazánkban a legnépszerűbb zajvédő faltípus a Leier Durisol, mely alapanyagát tekintve fabeton. Ezen technológia részletes jellemzése 4.2. fejezetben található.

Előnyök:

- ➕ Rendkívül rugalmas a tervezési folyamata
- ➕ Igény esetén egyesíthető a különböző védelmi célt szolgáló útelemekkel, ezáltal egyszerre lehet zajcsillapító és forgalombiztonsági elem
- ➕ Az áthatolhatatlan szerkezetének következtében kedvező akusztikai és vízzárósági tulajdonságokkal rendelkezik
- ➕ A felületének tisztítása egyszerű (általános tisztítás, graffiti eltávolítás (fánál sokkal jobb))
- ➕ Időjárásálló anyag (csapadék, szél, szélsőséges éghajlati viszonyok, stb.)

- + Hosszú a tervezési élettartama (akár 100 év is lehet)
- + Opcionális esetben egyszerűen elkészíthető a graffiti ellen védő bevonat
- + A falelemek gyártása során lehetőség van újrahasznosított anyagok felhasználására (cement, fa, üveg, stb.)
- + Az előre gyártott betonelemes technológiának köszönhetően jóval egyszerű az összeszerelés és a sérült panelek cseréje is
- + A közbenső acéloszlopok segítségével könnyen lehet akár dőlésszöget is beállítani

Hátrányok:

- Az egyszerű sima felület nyomasztó hatást kelt, ezáltal nehezebb a környezetbe illesztése
- A helyszíni készítéssel a megfelelő minőség biztosítása jóval nehezebb

3.4.3. Fa

A fa elemek tájba történő illesztése rendkívül egyszerű, a környezet visszajelzései is általában pozitívak, ám a sok lényeges hátrányának köszönhetően nagyobb szakaszok esetén csak szűk körben alkalmaznak csupán faelemekből álló zajvédő falat. Helyette



32. ábra - Fonott faanyagú zajvédő fal – műtárgyon [29]

inkább a helyi lakóházak védelmének használják. Ide tartoznak a különböző rönkökből álló falak is, ám főként a ffonatos technológiák alkalmazása a célszerű.

Előnyök:

- + Tájba illesztése rendkívül egyszerű
- + Egyszerű és gyakran könnyedén elvégezhető tervezési folyamat
- + A megfelelő kezelés meghosszabbíthatja a fa tervezési élettartamát
- + Esztétikailag gyakran ajánlott azoknak a lakosoknak, akiket zavarnak a zajvédelmi létesítmények

- + Viszonylag gyors építési idő

Hátrányok:

- Gyakran építik egyszerűen csak ingatlant határoló kerítési stílusban, mely nem igazán felel meg a zajvédő falakkal szemben támasztott akusztikai követelményeknek
- A rossz minőségű faanyagok, a silány tervezésnek, és a nem megfelelő kivitelezésnek köszönhetően jelentősen lerövidül a tervezési élettartam
- A tisztítása, ide tartozván a graffiti eltávolítása is rendkívül bonyolult, a felület állandó újrafestése rövid időn belül gazdaságtalanná válik
- A beépítendő faelemek számtalan kezdeti hibával rendelkezhetnek, vagy az építés illetve a használat során megsérülhetnek, melynek következtében nyílások és repedések keletkezhetnek), hatások: zsugorodás, csavarás, hasítás, környezeti hatások, ötletek a megelőzésre:
- A faelemeknek a zsugorodással, csavarással, és a különböző környezeti hatásokkal szembeni ellenállása jóval kisebb, így további megelőző beavatkozások alkalmazása szükséges (csaphornyos kialakítás, átfedő fák, rétegelt lemez, szélesség növelése, stb.)
- Bizonyos fafajták fenntarthatatlanok, használatuk kerülendő
- A talaj hatására beindulhat a rothadás, ennek következtében szükséges a megfelelő szigetelési technikák alkalmazása

3.4.4. Átlátszó panelek

Jelenlegi jellemzésben az átlátszó panelek egy különös csoportnak tekinthetőek. Jellemezhetőek általános tulajdonságokkal is, ám anyaguk szerint további – egymástól különböző jellemzőkkel rendelkező – alcsoportokra bonthatóak. Az alkalmazásuk főként pozitív hatásokkal jár. Igaz, hogy



33. ábra - Átlátszó panelekből álló zajvédő fal (Auckland, NZ) [17]

viszonylag sok hátránnyal rendelkeznek, de ezek többsége odafigyelő tervezéssel, megfelelő fenntartással, illetve minimális többletköltségekkel egyszerűen javítható. Az ilyen jellegű hátrányoknál dőlt betűvel feltüntettem az általában jellemző megoldási módszert is.

Általános előnyök:

- + Nincs elszigetelő hatás – a szomszédos épületek, területek láthatóvá válnak
- + Egyszerű a tájékozódás (látványosságok, határpontok)
- + A többi zajvédő falhoz képest jóval nagyobb a virtuális térnövelő hatása (pl. híd)
- + Közbiztonsági szempontból jobb – nincsenek kitakart területek

Általános hátrányok:

- Általánosságban gyakran drágább, mint a többi alternatíva (megépítési és fenntartási költségek egyaránt)
- Vandalizmusra érzékeny, az üveg egyszerűen betörik, a felülete könnyen megkarcolódik (*erősített elemek, különböző védelmi bevonatok alkalmazása*)
- Bizonyos esetekben fényben tükröződő felületet képezhet, mely zavarhatja a vezetőket – egyaránt vonatkozik a napsütésre és a fényszórókra (*megfelelő tervezés*)
- Bizonyos típusai tűzveszélyesek lehetnek (*különös figyelmet kell fordítani a tűz keletkezésének megelőzésére, és a terjedésének mihamarabbi megállítására*)
- A szennyezőanyagok felhalmozódásával a panelek áttekinthetősége jelentősen leromlik (*gyakoribb tisztítások*)
- Érzékeny lehet az időjárásra és a hőmérséklet változásaira (*anyag tulajdonságainak alapos ismerete, körültekintő tervezés, megelőzés*)
- A lakóterületek magánszférája sérülhet
- A madárbecsapódások veszélye megnőhet (*piktogramok alkalmazása minden egyes panelen*)

Különböző típusok és jellemzésük:

Polikarbonátok

Előnyök:

- + Alacsony költségek (építéskor és élettartam alatt egyaránt)
- + Gyakorlatilag törhetetlen
- + UV álló

Hátrányok:

- ➖ Hajlamos a fakulásra és a besárgulásra
- ➖ Könnyen karcolódik
- ➖ Éghető (toxikus gázokat bocsájthat ki, pl. CO)

Akril

Előnyök:

- ➕ Ütésálló felület
- ➕ A karcolások egyszerűen kipolírozhatóak
- ➕ UV álló
- ➕ Nemzetközi szinten rendkívül népszerű

Hátrányok

- ➖ Könnyen karcolódik
- ➖ Éghető (tűzoltás hiányában teljesen elég)
- ➖ A rongálás ellen védő fóliákkal szemben kevésbé kompatibilis

Üveg

Előnyök:

- ➕ Nagyobb karcolási ellenállással rendelkezik, mint a polikarbonátok és az akril
- ➕ A karcolások polírozással gond nélkül eltávolíthatóak
- ➕ Nem éghető
- ➕ Kompatibilis a rongálásvédő fóliával
- ➕ A zajvédő falaknak az egyik alapvető anyaga

Hátrányok:

- ➖ Viszonylag könnyű megrongálni (betörni/összetörni)
- ➖ Jelentős beruházási költségek (a vandalizmus növekedésével a fenntartási költségek is nagymértékben megnövekedhetnek)
- ➖ Ugyan nem éghető, de a tűz által kifejtett magas hőmérséklet hatására robbanásszerűen összetörhet

3.4.5. Fémlemez

A különböző fémből készülő zajvédő falak kevésbé olyan népszerűek, mint a beton vagy az üveg. Ez főként annak köszönhető, hogy a többi típushoz képest általában drágábbak, nehézkes a tájba illesztésük a bonyolultabb a felépítésük. Az ilyen falak többsége általában kettős felülettel rendelkezik, a forgalom felőli rész perforált, míg a fal hátulja sima kialakítású.



34. ábra - Fém alapanyagú zajvédelmi létesítmény [17]

Ennek megfelelően főként hangelnyelőként kerülnek kialakításra.

Előnyök:

- + A nagy szerkezeti merevség ellenére viszonylag kis tömeggel rendelkeznek
- + Az előre gyártott elemek összeszerelése egyszerű
- + Könnyen képezhető kettős felületűnek
- + Az előzőeken felsoroltakon túl jellemezhető a különböző fa és beton zajvédő falaknál felsorolt előnyökkel is

Hátrányok:

- Nehezebb a környezetbe illeszteni, de a városi környezetbe történő illesztése egyszerűbb
- Figyelni kell a rozsdásodás kialakulásának megelőzésére
- Magas hőmérséklet esetén akkora lehet a hőtágulása, mely már hatással lehet a fal hanggátló képességére
- A könnyűelemes panelek kevésbé ellenállóak a vandalizmussal szemben, ám a javításuk bonyolult és költséges

3.4.6. Téglá és egyéb épített falak

Ez az anyag típus legfőképp a faanyagú zajvédő falakhoz hasonlít. Hosszú szakaszon történő alkalmazása ritka, inkább helyi jellegű zajproblémák megoldására alkalmazzák, vagy ott, ahol a közlekedési folyosó túl közel van az ingatlanokhoz. A rendkívül változatos anyagfelhasználás következtében



36. ábra - Magán jellegű kőből épített zajvédő fal, Tweet Heads kórház [6]

számtalan szín és forma kialakítása lehetséges. Fő előnyeinek és a hátrányainak a száma közel azonos. A tömör téglá építésű falak visszaverő tulajdonságúak, míg a perforált felületek elnyelőek.

Ide tartoznak a hazánkban is alkalmazott úgynevezett Gabion-típusú zajfogó falak is, melyek főként kerítések, de a ingatlan határolásán és védelmén túl hasznos zajfogó tulajdonságokkal is rendelkeznek. A Gabion zajfogó felépítése a 35. ábrán látható.



35. ábra - A Gabion zajfogó kialakítása [27]

Előnye:

- ⊕ Városi környezetben egyszerűbb a környezetbe illesztés
- ⊕ Helyi anyagok egyszerűen alkalmazhatóak
- ⊕ Minimális fenntartást igényel
- ⊕ Változatos szín és forma

Hátránya:

- ⊖ Körülményes építési folyamat
- ⊖ Hosszútávon történő építése gazdaságtalan
- ⊖ Nagyobb minimális falszélességek

3.4.7. „BIO” falak

A BIO falak a zajvédő falaknak egy olyan speciális típusa, melyben a természetes növények a szerkezet részét képezik. Ez a jelentős zöldfelület növekedés megkönnyíti a tájba illesztést, növeli a környezetvédelmet, ellenben folyamatos öntözést és karbantartást igényel. Főként külföldön, nagyvárosokban az átmeneti területeken alkalmazzák.



37. ábra - Máglyafal (Auckland, NZ) [17]

Előnye:

- + A növényzetnek köszönhetően természetesnek hat
- + Növeli a környezetben található zöldfelület nagyságát
- + A földtöltéshez képest jóval kisebb a helyigénye

Hátránya:

- Nagy környezeti beépítettség esetén nem alkalmazható
- Folyamatos karbantartást és öntözést igényel

3.5. Fejlődési irány (a jövő)

A zajvédő falaknál a technológiai megoldások köre egyre bővül, ezért a fejezetben a teljesség igénye nélkül ismertettem néhány újszerű megoldást, melyek teljesen új megvilágításba helyezik a zajvédő falakat. Az elsődleges védelmi funkció mellett kezd előtérbe kerülni a megfelelő esztétikai kialakítás és a tájba történő beilleszthetőség. A fejlettebb országokban a legújabban épült zajvédő falak a hanggátláson túl általában már több másodlagos funkcióval is rendelkeznek. Megjelentek a fotovoltaikus zajvédők, a légszennyezést megkötő falak, de újdonságnak számítanak a kisméretű zajvédelmi küszöbök is.

Manapság már nem szükséges a sérült faelem teljes cseréje sem, ugyanis léteznek olyan további hanggátló anyagokat felhasználó technológiák is, melyek a letisztított faelemre ragaszthatóak, ezáltal gyorsan újra esztétikussá és tartóssá lehet varázsolni a felületet.

Az egyik legnagyobb újtásnak a fotovoltaikus elemek megjelenése számít, melynek segítségével a zajvédelmen túl jelentős mennyiségű napenergia is begyűjthető. A világon már több helyen is létezik ilyen, többek között Ausztráliában, Tullermarina városában az M2-es autópálya mentén és Freisingben Németországban az A92-es autópályánál. Utóbbi létesítmény jelenleg a világ legnagyobb fotovoltaikus elemekkel felszerelt zajvédő fala a közel 6000 m² napenergia befogadására alkalmas felületével.



38. ábra - Fotovoltaikus zajvédő fal (Freising, Németország, A92) [29]

Léteznek olyan speciális anyagokból álló zajelnyelő felületek, melyek az átlagosnál sokkal jobban csökkentik a hanghullámok visszaverődését. Ezek a megoldások a korlátozott zajvédő képességű elemekkel jól kombinálhatóak. Hátrányuknak számít viszont, hogy a plusz elemek általában megnövelik az árat és a tájba illesztésre sokkal nagyobb hangsúlyt kell fektetni.

Kiemelendő még a zajvédelemnek és a szennyező anyag elleni védekezésnek a kombinációja. Mivel mindkettőnek az emissziós közege a levegő, ezért egy megfelelően kialakított fallal mindkét funkciót meg lehet valósítani. Erre több módszer is lehetséges. Léteznek az úgynevezett felső bevonatok, melyek titán-dioxidot tartalmaznak, és a napenergia segítségével képesek megkötni a dinitrogén-oxidokat. Vannak azonban olyan megoldások is, melyek különböző szűrők, nyúlványok és elliptikus szárnyak segítségével további megkötő felületet biztosítanak a szennyező anyagok ellen.

További újításnak számít a zajvédelmi küszöb is. Ez a létesítmény egy, a padka közvetlen közelében elhelyezendő alacsony fal, mely a gépjármű kerekének és az aszfaltnak az érintkezése során keletkező hangot fogja fel. Alacsony magassága miatt jóval kevésbé zavarja a környezeti összképet és lényegesen közelebb helyezhető a zajforrásokhoz. A zajárnyékolási képessége ugyan kisebb, mint a tipikus zajvédelmi falaknak, ám egy másodlagos megoldásnak célszerű alkalmazni, főként ott, ahol sűrűn beépített a környezet, vagy ahol a tájba illesztés nem megoldható.

4. A zajvédő falak helyzete Magyarországon

A folyamatos fejlődésnek és az egyre növekvő közúti és vasúti forgalomnak köszönhetően hazánkban is egyre nő a zajjal rendszeresen terhelt területek nagysága. Az érintett részek főként a nagyvárosok és nagy közlekedési folyosók mentén elhelyezkedő területek. A zajvédekezésben régóta alkalmazzák a zajvédő falakat



39. ábra - Fabeton elemekből álló zajvédelmi létesítmény építése [28]

is, ám még rendkívül sok olyan terület van, ahol szükség lenne a védekezésre. Ezen felül az elmúlt két évtizedben a zajárnyékoló falak rendkívül nagy fejlődésen mentek keresztül. Az Állami Autópálya Kezelő Zrt. úthálózatán jelenleg több mint 78 000 m zajárnyékoló fal található.

Az Európai Unió iránymutatásának megfelelően a tervezésben és a kivitelezésben egyre inkább nagyobb hangsúlyt kap a környezetvédelem, ezen belül pedig növénytelepítés és a zajvédelem is. Az ÁAK folyamatosan bővíti a zajvédő falak számát. 2008-ban és 2009-ben közel 2000 m új zajvédő fal épült. A jelenleg is zajló tervezések és a jövőbeli építések során a régebbi szabályozások ellenére egyre inkább az új technológiákra törekednek.

4.1.Szabályozás

(Az ÚT 2-1.302 jelű útépítési szabvány alapján)

A zajvédő falak műszaki szabályozása precíznek mondható, ugyanis több különböző szabvány is foglalkozik a falak tervezésével és a megfelelő hanggátlási tulajdonságok elérésével. Ezen dokumentumok főként a műszaki oldalát közelítik meg a tervezésnek és lényegesen kevesebb szól a környezetvédelemről és a környezetbe való illesztésről. A zajvédelmi falakra vonatkozó útépítési szabvány a zajvédő falak alkalmazását akkor tanácsolja, ha a zajcsökkentést földtöltéssel nem lehet kivitelezni. Ilyen esetek lehetnek a városi beépítettség miatti szűk területek, a keskeny keresztmetszetű műtárgyak, ahol ráadásul

súlykorlátozás is lehet. Ha a befogadónál 13 dB értéknél kisebb zajcsökkentésre van szükség, akkor a zajvédelmi falak tervezése helyett célszerű inkább egyéb alternatív megoldásokat alkalmazni, mint a forgalomszervezési beállítások, a hangelnyelő burkolatok, a különböző passzív védelmek, vagy a közút teljes, illetve részleges befedése.

A szabványok a tervezés folyamatát is rögzítik. A közutakra vonatkozó engedélyezési tervek környezetvédelmi tervének tartalmaznia kell egy zajvédelmi munkarészt, melynek be kell mutatnia a zajterhelési hatást, és a zajvédelmi határértékek meghaladása esetén ki kell dolgoznia a szükséges hanggátlást biztosító beavatkozásokat. Külön kritérium, hogy az alkalmazott műszaki megoldásoknak rendelkezniük kell a laborok által kibocsájtott minőséget igazoló okirattal.

A zajvédelmi falak összehasonlító elemzését, azaz a megfelelőségének meghatározását különböző tulajdonságok alapján határozhatjuk meg. A szabvány a különböző szempontok alapján valósítja meg a más-más anyagokra vonatkozó zajvédelmi falak minősítését:

- Megvalósítási költség
- Garanciavállalás feltételei
- Esztétikai szempontok
- A rongálással (baleset, vandalizmus) szembeni ellenállóság, illetve ezek esetleges bekövetkezése esetén az egyszerű javíthatóság
- Használati élettartam (külön-külön a fal összes elemére)
- Fenntartási költség a tervezési élettartam alatt

A szabvány a zajvédelmi falakkal szemben támasztott követelményekről is tesz egy felsorolást, melyek a következők:

- Statikai követelmények (teherbírás, alakváltozás, repedezettség; különböző elemekre, a megfelelő határértékek figyelembe vételével)
- Akusztikai követelmények (léghanggátlás, hangelnyelés)
- Építési és állékonysági követelmények
- Közlekedésbiztonsági követelmények
- Mérettartási tűréshatárok
- Szennyeződéssel szembeni ellenállás (pl. kipufogógáz, só, víz, olaj)
- Esztétikai követelmények

- időjárás ellenállóság
- Hosszú tervezési élettartam (minimum. 15 év)
- Minimális karbantartási, fenntartási igény, rongálással szembeni ellenállás, egyes elemek könnyű, egymástól független cserélhetősége
- Színtartósság
- Tűzállóság
- Ellenállás korrózióval szemben
- UV-stabilitás
- Mikroorganizmusokkal, gombákkal és rágcsálókkal szembeni érzéketlenség

A kiviteli tervek esetében még részletesebb dokumentációt kell készíteni a zajvédelemről is, melyeknek tartalmaznia kell a különféle hézagképzések kialakítását, a részletes szerkezeti terveket, a festéseket és védőbevonatokat és a különféle fenntartási munkákat, mint például a hó eltakarítása vagy az esetleges elemcseréket.

A tervezési folyamatnak részét kell képeznie a különböző anyagvizsgálatoknak is. Szabvány szerint megkülönböztetjük az anyagfüggetlen és az anyagfüggő vizsgálatokat. Az anyagfüggetlen vizsgálatokhoz soroljuk a különböző léghanggátlási, hangelnyelési, állékonysági számításokat és az önsúlyból és szélteherből bekövetkező lehetséges elmozdulások feltérképezését, míg az anyagfüggő vizsgálatokhoz tartoznak a kődobással szembeni ellenállóság, a tűzállóság, a hőhatással szembeni ellenállás, a korrózióállóság, az élettartam vizsgálat és a legkisebb vastagság meghatározásához szükséges vizsgálatok. A vizsgálatok anyagfüggőségéből következik, hogy a konkrétan alkalmazandó anyagokhoz szükséges elvégzendő vizsgálatokat az útéptési szabályzat biztosítja.

A szabvány további utasításokat ad a megfelelő elhelyezésre. A zajvédelmi fal létesítése során biztosítani kell a szükséges űrszelvény méreteket, a fal esetleges elemcseréjéhez, a tisztítási és festési munkálatokhoz, a baleset miatti kijárat megközelítésekhez és az egyéb fenntartási munkákhoz, mint a hó eltakarítása vagy a növényzet fenntartása. A falak helyigénye faltípusonként változik,

Szó esik még a különböző védelmi funkciók kielégítéséről is, mint a közlekedőknek és magának a falnak a védelme. A falak végeit a torlónyomás hatása miatt 1:6-os szögű, vagy

annál laposabb hajlásszöggel kell levezetni, továbbá a zajvédelmi falakkal határolt közutak csak külön szintben keresztezhetik a vasút nyomvonalát.

Összességében megállapítható, hogy a magyar szabályozás ugyan részletesnek mondható, de főként a műszaki tervezésre helyezi a hangsúlyt, ezáltal jóval kevesebb figyelmet fordítva a hatékony geometriai kialakítására, a fal különböző környezetvédelmi hatásaira és a tájba történő megfelelő integrációra. Kiemelendő, hogy a minimális tervezési élettartam legalább 15 év hazánkban, ezzel szemben az azonos alapanyag-típusokat használó Új-Zélandi előírásokban legalább 50 év szerepel.

4.2. Hazai gyakorlat

A fejlettebb országokhoz képest hazánk az átlagnál kevesebb zajvédő fallal rendelkezik. Az újonnan épülő utaknál már kötelező a megfelelő zajvédelemről gondoskodni, ám a régebben épült közlekedési folyosók mentén, főleg a fővárosban a zajszenyezettség a nap nagy részében a határértékek fölött van. A zajvédelmi létesítményeknél külterületen – ahol a területi adottságok lehetővé teszik – földanyagú gátakat alkalmaznak. Városi területeken a legnépszerűbb anyagtípusnak a fabeton számít, azon belül is a Leier gyártmánya.



40. ábra - A színes mintázatú falak könnyen a tájba illeszthetőek [28]

A Leier Durisol egy közel negyven éve ismert, speciális, préselt technológiával előállított zajvédő fal, mely 13 cm széles fix betonmaggal rendelkezik. Felülettől függően 13-17 dB hangelnyelési, míg közel 30 dB léghanggátlási képességgel rendelkezik. A fapanelek légáteresztő kialakításúak, míg a betonmagnak köszönhetően védettek a vandalizmussal szemben. A nagy hanggátláson túl kiváló hő-és hangszigetelési tulajdonságokkal rendelkeznek. A jó légáteresztő képességnek köszönhetően nem képződik penész a felületen, nem korrodálódik és nehezen éghető. Az elemes technológiából



41. ábra - Leier Durisol egyik jellegzetes típusa [28]

adódik az az előny is, hogy sokféle mintázat és színvariáció alakítható ki, így rendkívül változatos felületek keletkezhetnek. A vasúti tervezésnél hazánkban az esetek többségében csak ilyen fabeton falakat alkalmaznak. Kivételt képeznek ez alól természetesen a műtárgyak, ahol a fafonatos zajvédő falak alkalmazása a célszerű.

4.3. Különböző hazai példák

A hazai állapot bemutatására több hazai zajvédő faltípust is kiválasztottam, melyeknek a kialakítását és a megfelelőségét vizsgáltam. A falak jellemzésére készítettem egy adatlapot, azaz egy általános sémát, mely alapján könnyedén jellemezhető egy falszakasz. Természetesen egy falnak jóval több jellemzője van, mint az itt szereplőek, így a bemutatás céljából csak a legfontosabb adatokat tüntettem fel. A falszakaszt a műszaki paramétereit mellett legjobban a róla készült fényképek jellemzik, így a kiértékelésben a jelenlegi állapotot bemutató képekre helyeztem a hangsúlyt. Az értékelés után szükség esetén ajánlottam főként külföldön alkalmazott alternatív zajvédelmi létesítményi megoldásokat.

Püspökladány - Autóbusz-állomás

Általános jellemzők

Helyszín:	Püspökladány
Terület jellege:	Belterület
Út megnevezése:	Buszpályaudvar
Út kategóriája:	Egyéb
Átlagos napi forgalom:	300 E/nap

Zajvédő fal anyagának jellemzése

Előregyártott elemekből álló, hangelnyelő típusú, préselt fabeton, kombinálva a helyi növényzettel



Szöveges jellemzés

A zajvédő fal a püspökladányi autóbusz állomás mentén helyezkedik el. Az állomás átépítésénél a környező lakóterületek védelme érdekében gondoskodtak a megfelelő zajvédelem kialakításáról is. Az útszakaszt főként autóbuszok használják, melyeknek sokkal nagyobb a zajterhelése, mint a személygépjárműveknek. A védett oldalon kertes házak és panelházak egyaránt találhatóak.

A falszakasz bemutatása képekben



Püspökladány - Autóbusz-állomás



Előnyök

- Megfelelő tájba illesztés
- Hangelnyelő kialakítás
- Növényzet alkalmazása
- Egyszerű hozzáférhetőség

Hátrányok

- ⊘ A panelházak tetejét nem igazán védi

Értékelés, igény esetén javasolt alternatíva

Ez a zajvédelmi megoldás tökéletesen illik egy kisvárosi környezetbe. A növényzettel kombinálva az akusztikai paraméterek kielégítésén túl ráadásul sokkal kellemesebb környezetet biztosít. A panelházakhoz közel lévő elemeket meg lehetne növelni egy befelé ívelő fejalakkal.

Püspökladány - közlekedési folyosó (100-as vasútvonal, 42-es főútvonal)

Általános jellemzők

Helyszín:	Püspökladány
Terület jellege:	Belterület
Út megnevezése:	42-es főútvonal
Út kategóriája:	3 - I. rendű főút
Átlagos napi forgalom:	8093 E/nap

Zajvédő fal anyagának jellemzése

Új építésű (2013) beton zajvédő fal, két különböző oldalkialakítással (elnyelő, visszaverő)



Szöveges jellemzés

A Szajol-Püspökladány vasútvonal korszerűsítéseként felújítják a Püspökladány mellett húzódó vasútvonalat, és a tervezési szabványoknak megfelelően a zajvédelmi falakról is gondoskodni kellett. A közel egy hónapja elkészült fal azért speciális, mert a másik oldalán található a 42-es számú főútvonal. A fal két oldalán elhelyezkedő zajforrásokat figyelembe véve kellett kialakítani a falat. A vasút felőli oldalon (a vasúti előírásoknak megfelelően) hanggátló, míg a főút felőli oldalon visszaverő felületet alakítottak ki. A tervezésnél a megfelelő tájba illesztésre is kellőképpen odafigyeltek.

A falszakasz bemutatása képekben



Püspökladány - közlekedési folyosó (100-as vasútvonal, 42-es főútvonal)



Előnyök

- + Modern technológia
- + Külön oldal a vasútnak és a közútnak
- + Megfelelő magasságú panelek
- + Tájba illesztett kialakítás
- + Figyelembe veszi a közúti zajterhelést.

Hátrányok

- Túl egyhangú a közút felőli felület
- A falszakasz eleje túl későn kezdődik

Értékelés, igény esetén javasolt alternatíva

A tervezés során már figyelembe vették a megfelelő tájba illeszthetőséget. A paneles kialakítás könnyedén lehetővé teszi az esetleges karbantartásokat. Az új rugalmas vasúti felépítménnyel kombinálva lényegesen lecsökkent a vasút okozta zajterhelés a térségben. Egyedüli problémája az, hogy túl későn kezdődik a fal. A város szélén elhelyezkedő ingatlanok nem esnek a fal akusztikai árnyékába.

M0 autótút

Általános jellemzők

Helyszín:	Pest megye
Terület jellege:	Külterület
Út megnevezése:	M0 autótút
Út kategóriája:	2 - Autótút
Átlagos napi forgalom:	50 000 E/nap

Zajvédő fal anyagának jellemzése

Többféle zajvédelmi létesítmény is megtalálható az autótút mentén, részletek a szöveges jellemzésben.



Szöveges jellemzés

Az autótút mentén mindkét oldalon tettek zaj elleni védekezéseket. Mivel a körgyűrű meglehetősen hosszú, így a teljes hosszában több különböző zajvédő fal is megtalálható, kezdve a jól ismert fabetonos technológiával. Alkalmazták még a zajvédelmi töltéseknek a különböző típusait is, sőt egy rövid szakaszon az átlátszó panelek is megfigyelhetők. Egyes esetekben a fal tájba illesztése sikeresen megtörtént, máskor viszont egyáltalán nem illik a fal a tájba.

A falszakasz bemutatása képekben



M0 autópálya



Előnyök

- Változatos kialakítási módok
- Egyes szakaszok tájba illesztettek
- Kiváló vizuális vonalvezetés
- Bizonyos szakaszokon ültetett növényzet

Hátrányok

- ➖ Egyes helyeken nem illik a tájba
- ➖ Néhány helyen tervezési hiba (pl. átlátszó panelek és tömör ajtó - előző oldal alján található kép)
- ➖ A zajvédelmi töltéseknek csak kis része van beültetve

Értékelés, igény esetén javasolt alternatíva

A megfelelő szakaszokon túl itt már több problémás rész van. Az átlátszó paneles és betonos elemeket egységesíteni kellene, lehetne helyettük polikarbonátból felépülő paneleket alkalmazni. A növényzet nélküli részsük esetében vagy ott is el kellene végezni a beültetést, vagy az oldal tetején látható szakaszra célszerű lenne fotovolkalikus paneleket telepíteni.

M1-M7 autópálya budapesti bevezető szakasza

Általános jellemzők

Helyszín:	Budapest
Terület jellege:	Átmeneti zóna
Út megnevezése:	M1-M7 autópálya
Út kategóriája:	1 - Autópálya
Átlagos napi forgalom:	166 075 E/nap

Zajvédő fal anyagának jellemzése

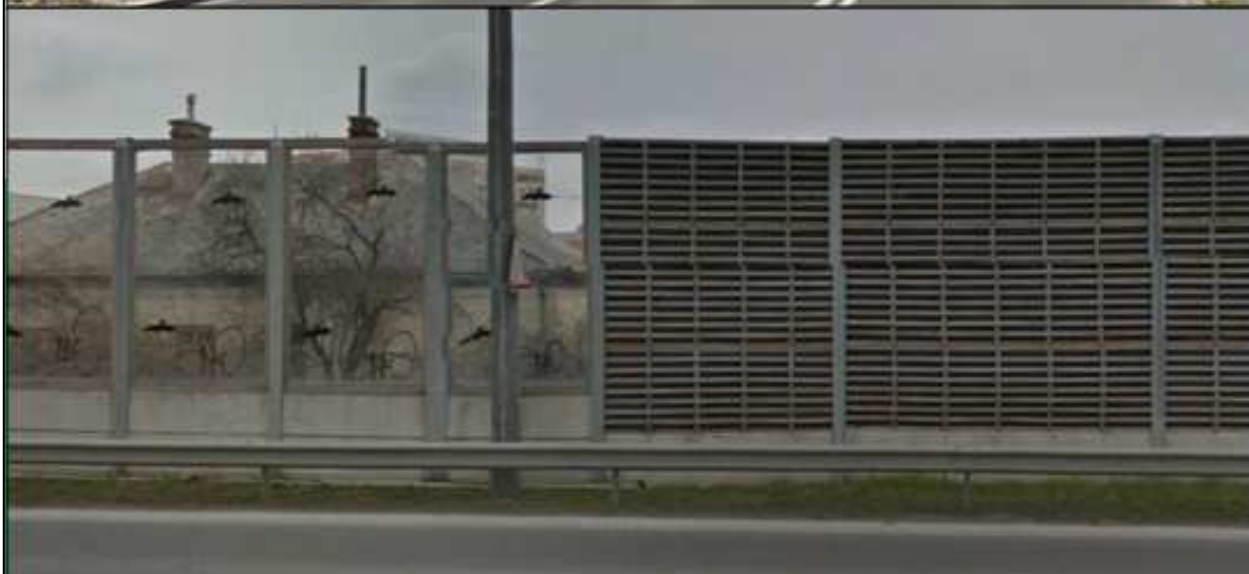
Több különböző anyag (főként fabeton, átlátszó panelek és fa elemek)



Szöveges jellemzés

Az M1-M7 autópálya rendkívül nagy forgalommal rendelkezik, ennek megfelelően a többi hazai autópályához képest is különösen nagy a zajterhelése. Az útpálya mentén szinte mindkét oldalon folyamatos a zajvédő fal.

A falszakasz bemutatása képekben



M1-M7 autópálya budapesti bevezető szakasza



Előnyök	Hátrányok
<ul style="list-style-type: none"> + Változatos kialakítás + Helyenként tökéletes tájba illesztés + Környezetbarát, zöld területek 	<ul style="list-style-type: none"> - Paneljavítás esetén törekedni kellene az eredeti állapotra - A különböző paneltípusok között nincs semmiféle átmenet - Vannak olyan területek, ahol nincs zaj elleni védekezés, pedig nagy szükség lenne rá

Értékelés, igény esetén javasolt alternatíva

Az előző esetekhez hasonlóan itt is vannak szebb szakaszok és rosszabb szakaszok is. Városi szakaszokon a fa panelek helyett lehetnének átlátszó panelek, például a polikarbonátok. A legnagyobb probléma mégis a Sasadi úti szakasz, ahol a nagy forgalom ellenére nincs zajvédelmi létesítmény. Célszerű megoldás lehet az átlátszó paneleknek az alkalmazása, esetleg ahol még kevesebb hely van, ott szóba jöhet az új fejlesztésű zajvédelmi küszöb.

M3 autópálya budapesti bevezető szakasza

Általános jellemzők

Helyszín:	Budapest
Terület jellege:	Átmeneti zóna
Út megnevezése:	M3 autópálya
Út kategóriája:	1 - autópálya
Átlagos napi forgalom:	88962 E/nap

Zajvédő fal anyagának jellemzése

A zajvédelmi létesítmény anyaga szinte az egész szakaszon préselt fabeton



Szöveges jellemzés

Az M3 autópálya bevezető szakaszán szinte teljes hosszúságban megtalálható a zajvédő fal. A technológiai kialakításnak köszönhetően szép színes felületek képezhetők, ezáltal könnyebb az esztétikus látkép megteremtése. A fal magasságával sincs probléma, ugyanis kellő magassággal rendelkezik.

A falszakasz bemutatása képekben



M3 autópálya budapesti bevezető szakasza



Előnyök

- ⊕ Egységes arculat
- ⊕ Fabeton technológia
- ⊕ Megfelelő magasság
- ⊕ Színes felületek, minták

Hátrányok

- ⊖ Még nincs mindenhol növényzet
- ⊖ Helyenként megjelent a vandalizmus
- ⊖ Vannak olyan szakaszok, ahol még sincs zajvédő fal, pedig szükség lenne rá

Értékelés, igény esetén javasolt alternatíva

Összességében megállapítható, hogy az útszakasz nagy része megfelelően le van árnyékolva a zajvédelmi létesítmények segítségével. A modern, dizájnjos felületű Leier DruiSol panelekből álló fal beleillik a környezetébe. Az útkezelők tervezték a növényekkel való beültetést is, ám - ahogy a képeken látható - sok helyen még csak facsometék vannak. A probléma azokon a részeken van, ahol egyáltalán nincs zajvédő fal. A párhuzamos gyalogos forgalom miatt célszerű a teljesen átlátszó, esetleg a részben átlátszó elemekből álló fal építése.

M5 autópálya budapesti bevezető szakasza

Általános jellemzők

Helyszín:	Budapest
Terület jellege:	Átmeneti zóna
Út megnevezése:	M5 autópálya
Út kategóriája:	1 - autópálya
Átlagos napi forgalom:	75 555 E/nap

Zajvédő fal anyagának jellemzése

A zajvédelmi elemek alkalmazása rendkívül változatos.



Szöveges jellemzés

Az M3-as autópálya bevezető szakaszán a zajvédelmi létesítményeknek széles skálája látható. Itt vannak a már jól megszokott fabeton elemek, a fafonatos részek és megjelennek azok az átlátszó üvegpanelek, melyek egyben biztonsági funkciókat is ellátnak. Külön kiemelendő még a út közepén elhelyezkedő hangelnyelő típusú zajvédő fal.

A falszakasz bemutatása képekben



M5 autópálya budapesti bevezető szakasza



Előnyök

- Változatos kialakítás
- Növényzettel való kombináció
- Modernebb technológiák
- Viszonylag sok átlátszó panel
- Olykor kiváló tájba illesztés

Hátrányok

- ➖ Sérült elemeket cserélni kellene
- ➖ Néhol nincs teljes árnyékolás

Értékelés, igény esetén javasolt alternatíva

Az előző esetekhez hasonlóan itt is vannak szebb szakaszok és rosszabb szakaszok is.

Városi szakaszokon a fa panelek helyett lehetnének átlátszó panelek, például a polikarbonátok. A középső kép ezalól pont kivétel, ugyanis ott megfelelő a tájba illesztés.

Ez esetben inkább a fal nem megfelelő árnyékolásával van a probléma, ugyanis a fal szélénél nincs semmiféle akadály, mely meggátolná a hanghullámok terjedését. A sérült paneleket mindenképp cserélni kellene.

5. Összefoglalás, konklúzió

Összegezve a dolgozatban leírtakat megállapítható, hogy a zajjal igenis foglalkozni kell. Az Európai Unió zajpolitikája is egyre inkább azt diktálja, hogy a környezetvédelemre nagy hangsúlyt kell fektetni, ennek megfelelően a későbbiekben is egyre nagyobb szerepe lesz a zajvédő falaknak. A legújabb technológiáknak köszönhetően a zajvédelmi létesítmény a hanggátláson túl már a napenergiát hasznosítva áramot termelhet, avagy csökkentheti a járművek okozta károsanyag-kibocsátások mértékét. A fejlődési sebesség napjainkban sem csökken, így bármikor felfedezhetnek egy új – az eddigieknél még hasznosabb – típust. A zajvédelemmel történő foglalkozás általában már pozitívumokkal szokott járni az érintettek megítélése szerint, mert a kis zajcsökkentés is ugyanúgy zajcsökkentésnek számít.

Be kell látni azt is, hogy a zajvédelem, mint témakör egy rendkívül terjedelmes terület, mely egyre csak gyarapodik. Rendkívül speciális szakterületnek mondható, ugyanis több különböző tudomány együttes alkalmazása szükséges. Egy megfelelően elkészített zajvédő falhoz szükség van alapos zajszakértői, fizikai, mechanikai, dinamikai ismeretekre, sőt a sikeres projekthez szükség van még tájépítészekre és pszichológusra is, akik segítenek a megfelelő környezetbe illesztésben.

A különböző esettanulmányok után azt a következtetést lehet levonni, hogy jó úton haladunk a zajvédekezésben. Az alkalmazott megoldások minden esetben csökkentettek a zajterhelésen, a későbbiekben csak a hatékonyság növelése és a környezetbarát megoldások előnyben részesítésére kellene még inkább törekedni. Az a megoldás a leghatékonyabb, mely műszaki követelmények kielégítésén túl az esztétikai követelményeknek is maximálisan megfelel.

Hazánkban még számtalan olyan zajjal terhelt terület található, ahol szükség lenne egy komolyabb zajvédelmi intézkedésre, így nem szabad abbahagyni a zaj elleni védekezési projekteket. A cél az, hogy mindenhol a határértékek alatt legyenek a mért zajszennyezési adatok.

Összességében elmondható, annak ellenére, hogy viszonylag sok zajvédő fal található már az országban, még van hova fejlődünk. A hazai igényekhez és a fejlettebb országban alkalmazott technológiákhoz egyaránt, tehát az egyik legjobb lehetőség, amit tehetünk, az az, hogy nyitottak vagyunk külföld felé, ugyanis külföldön sok igen fejlett színvonalat képviselő

tervezési útmutató férhető hozzá nyilvánosan bárki számára, így a tanulmányozásuk rendkívül hasznosnak bizonyulhat.

A hatékony védekezés első része természetesen nem a védelmi objektumok helyes megtervezése és kialakítása, hanem a probléma minél alaposabb megismerése. Elsőként finomítani kell a zajtérképeket, az összes zaj szempontjából fontos területre el kell készíteni egy aktuális információkat tartalmazó online adatbázist, melyet a megbízhatóságának köszönhetően bátran fel lehet használni a későbbi tervezésekhez.

Az adatforrás megbízhatóságának fejlesztésével párhuzamosan létre kellene hozni egy tudásbázist, mely egyszerre tartalmazná a zajvédelmi létesítményekre vonatkozó teljes elméleti és gyakorlati háttérrel is. Ez a komplex adatbázis két fő részből állna. Az erős alapot mindkettő esetében az információk naprakészsége és megbízhatósága adná. Az első részének leginkább egy nagy tervezési útmutató felelne meg. A szakmai tapasztalatokra építve tartalmazná a különböző zajvédelmi létesítményekre vonatkozó követelményeket, előírásokat és szabványokat, a különböző tervezési útmutatókat és ezen felül az összes alkalmazható technológiát, ide értve a legújabb, még csak a tesztelés alatt álló fejlesztéseket is.

A tudásbázis második részében a hazai már megépült zajvédelmi létesítményeken lenne a hangsúly. A dolgozatom 4.3. Fejezetéhez hasonlóan össze kellene gyűjteni az összes zajvédő falról és a környezetéről az információkat. Minden egyes falra vonatkozó résznek a képekkel dokumentált részletes műszaki paramétereken túl tartalmaznia kellene a fenntartásokra vonatkozó információkat, tapasztalatokat és a zajmérési értékeket is. Az adatbázisnak köszönhetően nyomon lehetne követni a falak romlásának állapotát és a statisztikán alapuló globális jellegű összefüggéseket lehetne levonni, melyeket a későbbiekben magába a tervezési folyamatba is be lehetne építeni.

A zajvédelemnek a későbbiek során egyre nagyobb szerepe lesz a fejlődő világban, így célszerű lenne ezt a rendszerezést minél hamarabb elvégezni. A tudástár összeállítása után már csak az állandó frissítéssel kellene foglalkozni, ennek megfelelően már a tervezésnek is egy sokkal biztosabb háttere lenne.

Irodalomjegyzék, források

Szabványok és tervezési útmutatók

- [1] ÚT 2-1.303:2006 – *Közúti zajárnyékoló falak*
- [2] 8. Tervezési útmutató – *Zajárnyékoló falak helyszíni vizsgálata*
- [3] 24. Tervezési útmutató (e-ÚT 03.07.45) – *A közúti zaj csökkentése zajárnyékoló létesítményekkel és úttervezési módszerekkel. Zajtéreképek*
- [4] 28. Tervezési útmutató (e-ÚT 03.07.46) – *Keskeny közúti zajárnyékoló falak*
- [5] *Guidlines on Design of Noise Barriers (Enviromental Protection Department – Highway Department – Goverment of the Hong Kong SAR, Secound Issue, 2003)*
- [6] *Noise wall design guideline – RTA Major Infrastructure Directorate, Urban Design Section, 2007)*
- [7] *NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide (NZ Transport Agency, 2010)*

Könyvek, füzetek

- [8] Állami Autópálya Kezelő Zrt. – *Fenntarthatósági Jelentés – 2011*
- [9] Bite Pálné dr: *Zajcsökkentés zajárnyékolással (1984)*
- [10] Dr. Fi István – *Utak és környezetük tervezése (2002, Budapest)*
- [11] Hatta László – *A környezeti zaj hatása az emberre (2010)*
- [12] Közlekedéstudományi Intézet – *Zajárnyékoló fal, Katalógus (1995)*
- [13] Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya Akusztikai Komplex Bizottság – *A környezeti zaj elleni védelem magyarországi helyzete és a fejlesztés stratégiája, különös tekintettel az EU követelményekre (Kiegészítő háttérdokumentum az Akusztikai Komplex Bizottság 2003. január 23-i üléséhez, 2003) (http://www.uvt.bme.hu/targyak/k_korny/05osz/mta.pdf)*
- [14] Póta Györgyné – *A környezeti zajvédelem szabályozási példái Európában (1994/12)*
- [15] Stróbl András, Suri Noémi – *Ipari és közlekedési zajforrások megelőzésének, csökkentésének jogi, műszaki és gazdasági eszközszerkezete (EMLA Alapítvány, 2010)*
- [16] Tulipánt Gergely – *A Közúti és vasúti áruszállítás zajkibocsátásának elemzése és a zajterhelés csökkentési lehetőségeinek vizsgálata (2007)*

Előadások, cikkek, hatástanulmányok

(Utolsó megtekintések ideje: 2013. október 23.)

- [17] Bite Pálné dr. – *Zajvédelem tervezése és korszerű eszközei* (Vibrocomp Kft., Budapest, 2012)
(http://www.fomterv.hu/mmk/regi/hun/mesteriskola/utervezes_eloadas_bite_palne.pdf)
- [18] BME – *Közlekedési rendszerek környezeti hatásai c. tárgy – A közlekedési zajterhelés, hatások, kezelési, szabályozási megoldások, megelőzés, technikák* (2010/2011)
(http://www.kku.bme.hu/kepzes_osztatlan/segedletek/BMEKOKU5367/kozkorbe11.pdf)
- [19] BME UVT – *Úttervezés – Környezeti Hatások számítása előadás* (Schuchmann Gábor)
(http://www.epito.bme.hu/uvt/hirek_esemenyek/fajlok/8/schg_szakmutterv_ea15_kornyezeti_hatasok.pdf)
- [20] BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék – *Városi Környezetvédelem c. tárgy., jegyzete, 14. hét – Zaj, rezgés, sugárzás*
(http://www.vkkt.bme.hu/feltoltesek/2012/12/jegyzet_14.pdf)
- [21] Buskó András mérnök tanácsos (MÁV Zrt. Vezérigazgatóság, Egészség-, Biztonság és Környezetvédelmi Osztály) – *Vasúti zaj és rezgésvédelem*
(http://www.epito.bme.hu/uvt/oktatas/feltoltesek/BMEEOUV-SN7/2008-5_zaj-02.pdf)
- [22] Koren Edit – *Zajvédelem előadás*
(gyorijegyzet.uw.hu/zajvedelem5.ppt)
- [23] Tulipánt Gergely – *A Közúti és vasúti áruszállítás zajkibocsátásának elemzése és a zajterhelés csökkentési lehetőségeinek vizsgálata* (PhD disszertáció, 2007)
(http://www.kku.bme.hu/publikaciok/doktori/TulipantGergely_phd.pdf)
- [24] Veresné Sz. Hortenzia UNITEF'83 Zrt. – *Utak tervezésénél jelentkező környezetvédelmi feladatok, kapcsolódó beruházások* (Budapest, 2009.04.27.)
(http://www.epito.bme.hu/uvt/oktatas/feltoltesek/BMEEOUV-SN1/veresne_-_kornyezetvedelem.pdf)

További elektronikus források

(Utolsó megtekintések ideje: 2013. október 23.)

- [25] Budapest zajtérképe: <http://terkep.budapest.hu/website/zajterkep4>
- [26] Póta Györgyné – *Zaj csend – környezet* (1993, <http://www.lelegzet.hu/archivum/1993/12/1771.hpp.html>)
- [27] Gabion bolt honlapja: <http://www.gabionbolt.hu>
- [28] Leier hivatalos honlapja: <http://www.leier.hu/>
- [29] Google, Google Street View: <http://maps.google.com>
- [30] Országos Közúti Adatbank: utadat.hu