



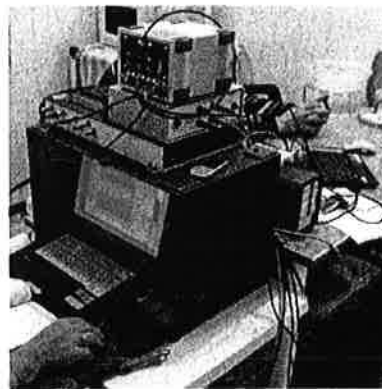
M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Akusztikai Laboratórium
1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

Telefon: (36-1) 463-3246
Telefax: (36-1) 463-3266
E-mail: fulop@hit.bme.hu
URL: <http://vilbac.hit.bme.hu>

ELLENŐRZŐ ZAJ- ÉS REZGÉSMÉRÉSEK A 4-ES METRÓ OKOZTA PANASZOK VIZSGÁLATÁRA

Megbízó: TÓTH T. D. Kft.



A feladat megoldásában közreműködtek

a BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék munkatársai:

dr. Augusztinovicz Fülöp

dr. Fiala Péter

Firtha Gergely

dr. Márki Ferenc

Mócsai Tamás

Nagy Attila Balázs

okl. villamosmérnök, egyetemi docens

okl. villamosmérnök, egyetemi adjunktus

okl. villamosmérnök, doktorandusz,

okl. villamosmérnök, egyetemi docens,

okl. villamosmérnök, tudományos segédmunkatárs és

okl. villamosmérnök, egyetemi tanársegéd,

valamint

Dr. Forián Szabó Péter

okl. építőmérnök, zaj- és rezgésvédelmi szakértő



Budapest, 2013. december 30.

Tartalom

1.	Vezetői összefoglaló.....	5
2.	Bevezetés	6
3.	Mérési körülmények	6
3.1.	Mérési helyszínek és forgalmi viszonyok.....	6
3.2.	Mérőeszközök.....	7
3.3.	Vizsgálati és értékelési módszerek	7
4.	Mérési eredmények.....	8
4.1.	██████ mérési helyszín.....	8
4.1.1.	Rezgésmérési eredmények az alagútban.....	8
4.1.2.	Környezeti rezgésterhelés mérés eredményei	10
4.1.3.	Alagúti és felszíni rezgések összehasonlítása.....	10
4.1.4.	Zajmérési eredmények	12
4.2.	██████ helyszín	16
4.2.1.	Rezgésmérési eredmények az alagútban.....	16
4.2.2.	Környezeti rezgésmérés eredményei.....	16
4.2.3.	Alagúti és felszíni rezgések összehasonlítása.....	16
4.2.4.	Zajmérési eredmények	18
5.	Értékelés	20
5.1.	Emissziós követelmények	20
5.2.	Immissziós követelmények	20
5.3.	Általános megállapítások	20
6.	Hivatkozások	22
7.	Függelék.....	23
7.1.	Fényképek	23
7.2.	A felhasznált zajmérő hitelesítési bizonyítványa.....	27

1. VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

A Tóth T.D. Kft. termelési igazgatója felkérte Tanszékünket az új metróvonal kapcsán felmerült zaj- és rezgéspanaszok kivizsgálására. Egyeztetésünk alapján két panaszos lakásában és az alagút alattuk elhelyezkedő szakaszán végeztünk ellenőrző rezgés- és zajméréseket. A vizsgálatok célja az alagúti rezgésemisszió, valamint a panaszosok lakásában kialakuló zaj- és rezgésimmisszió megállapítása és a pályafelépítmény kialakítására vonatkozó Műszaki követelmények c. dokumentum (a továbbiakban: **feltétfüzet**) 6.4. fejezetében megadott követelményekkel való összevetése volt. A mért adatok alapján ezenkívül lehetőségünk volt az alagút és a lakások padlója közötti rezgésátviteli függvények vizsgálatára is. E szakértői véleményben az elvégzett mérések körülményeit, eszközeit, a mérési és vizsgálati módszereket, a nyert eredményeket és azok értékelését foglaljuk össze.

A vizsgált szelvényekben mért emissziós rezgésspektrumok a feltétfüzet *A1-alagút* jelű emissziós határgörbéjével vetendők össze, amelyet a 3., 4., 12. és 13. ábrába is berajzoltunk. (A feltétfüzet szerint csak a túbbingeken végzett méréseket kell figyelembe venni, a fenékbetonon végzett mérés a minősítés szempontjából csak tájékoztató jellegű.) **A mért spektrumok egyike sem haladja meg a határgörbét.** Megjegyezzük azonban, hogy ez a megállapítás több oknál fogva is csak tájékoztató jellegű: a pályázat szerint a kivitelező nem az emissziós, hanem az immissziós követelmények teljesítését vállalta; a mérések terheletlen szerelvényel történtek, és az alagút keresztmetszetét alkotó hét túbbing-elem közül csak kettőn végeztünk mérést.

Az immissziós zajszintek vizsgálata alapján azonban teljes joggal kijelenthető, hogy a 4-es metróvonal szerelvényei okozta **zajszint jóval kisebb, mint a maximálisan megengedett érték**: a [REDACTED] helyszínen 25.2 dBA, a [REDACTED] 27.3 dBA átlagos maximális zajszintet mértünk, ami jelentősen kisebb, mint a 42 dBA maximálisan megengedett érték. A 2-es vonal elhaladási zajai a [REDACTED] lakásban átlagosan 8 dBA-val nagyobbak a 4-es vonal elhaladási zajainál, de az adott helyszínen a 4-es vonal zajainak értékelése szempontjából a 2-es vonal elhaladási zajait is „háttérzajnak” kell tekintenünk, ugyanúgy, mint a lakásba beszűrődő felszíni közlekedési zajokat.

A környezeti rezgésterhelés vizsgálatának eredményeiből látható, hogy minden mért érték nagy biztonsággal **megfelel a feltétfüzet rezgésimmissziós előírásának** és a mért rezgések mind a két helyszínen **megfelelnek a jogszabályban előírt környezeti rezgésterhelés határértéknek is.**

A jelenlegi körülmények között elvégzett vizsgálat eredményei szerint tehát **minden környezetterhelési előírás maradéktalanul teljesül.** Felmerül a kérdés, hogy akkor mi indokolhatja a panaszok keletkezését? Ehhez meg kell állapítanunk, hogy a közlekedési létesítményekre rendeletileg megszabott zaj- és rezgésterhelési határértékek nagyobbak, mint az emberi szervezet átlagos érzékelési küszöbszintje. Ennélfogva a határértékek teljesítése nem jelenti szükségszerűen azt, hogy az új metróvonal feltétlenül észrevétlen marad a környezet számára; csak azt, hogy a környezetterhelés nem lépi túl a jogszabályban megadott mértéket. Azokban az eddig csendes lakásokban, ahol korábban sem más metróvonal, sem közúti közlekedés nem okozott zajt, a még oly csendes, de kétségtelenül hallható metrózajok megjelenése újszerű jelenség, és az erre érzékeny lakosok nyilván kérik is a jelenség kivizsgálását.

2. BEVEZETÉS

A budapesti 4-es metró pályafelépítményét kivitelező Tóth T.D. Kft. termelési igazgatója 2013. november 19-én kelt e-mailjében ajánlatot kért Tanszékünkől az új metróvonal kapcsán felmerült zaj- és rezgés panaszok kivizsgálására. Elkészült ajánlatunk alapján, a Tóth T.D. Kft. munkatársaival és a munkára felkért másik szakértő mérnök-irodával tartott egyeztetés alapján Tanszékünk végül két panaszos lakásában és az alagút alattuk elhelyezkedő szakaszán végzett ellenőrző rezgés- és zajméréseket. A vizsgálatok célja az alagúti rezgésemisszió, valamint a panaszosok lakásában kialakuló zajimmisszió megállapítása és a pályafelépítmény kialakítására vonatkozó Műszaki követelmények c. dokumentum ([2], 6.4. fejezetében megadott követelményekkel való összevetése volt. A mért adatok alapján ezenkívül lehetőségünk volt az alagút és a lakások padlója közötti rezgésátviteli függvények vizsgálatára is. E szakértői véleményben az elvégzett mérések körülményeit, eszközeit, a mérési és vizsgálati módszereket, a nyert eredményeket és azok értékelését foglaljuk össze.

3. MÉRÉSI KÖRÜLMÉNYEK

3.1. Mérési helyszínek és forgalmi viszonyok

A két mérés helyszínét a panaszosok lakásának fekvése határozta meg. Az első mérés a [REDACTED] alatti udvari lakás egyik lakószobájának padlófödémén, a helyiség közepén történt. Az épület több mint 100 éves, a vizsgált födém acélgerendák közé helyezett béléstestek képezik; a laminált padló és a nyers födém közötti szerkezet pontosan nem ismert.

A rezgésmérések a szoba közepén a padlóra helyezték, [1] szabvány szerinti illesztőelemre mágnessel rögzített gyorsulásérzékelővel, a zajmérés az érzékelők felett, a padlótól mért 1,5 m magasságban történt. A megfelelő alagúti rezgésmérési pontok a bal vágány 59 + 35 szelvényében, három mérőponton: a vágánytengelyben a fenékbetonon, a fenékbeton és a tűbbingek illeszkedési vonala mentén a menekülő járdával és az áramvezető sínnel ellentétes oldalon a tűbbingben, valamint a tűbbing falán ugyanazon oldalon vízszintes irányban helyezkedtek el. A mérési pontok elhelyezkedését a Függelék F1. – F5. képei mutatják.

A mérésekre december 10-én 17:45 és 19:30 között került sor, amikor a vonalon normál forgalmat szimuláló sötétüzemi próbák folytak összesen 12, tudomásunk szerint terheletlen szerelvény részvételével.

Második mérésünk helyszíne [REDACTED] alatti lakás egyik udvari fekvésű szobája volt (ld. az F6. képen). Az épület kora és szerkezete itt is hasonló (laminált padló helyett parkettával), de meglehetősen eltérők a felszíni és a metróközlekedés viszonyai: jelentős a közúti járműforgalom, a 4-es metróvonal kb. 8-9 méterrel magasabban halad el az épület alatt, mint a [REDACTED] helyszínen, és viszonylag közel helyezkedik el a 2-es vonal jobb vágányának alagútja is.

A felszíni pont gyorsulásérzékelőt a korábbihoz hasonló módon, az alagúti rezgésmérési pontokat a bal vágány 67+35 szelvényében, a [REDACTED] mérésével analóg pontokon helyeztük el. A mérést december 11-én 17:35 és 20:50 között végeztük. Ezen időn belül 17:08 – 18:00 óráig a „B” szakaszon (Gellért tér – Keleti pu. között), ezután a teljes szakaszon forogtak a vonatok, az utolsó szerelvény a Keleti pályaudvar állomásról 19:22 órakor indult. A mérést azonban kb. másfél óráig még tovább folytattuk, hogy a 2-es metróvonal szerelvény-elhaladásainak hatása egyértelműen megállapítható legyen, miközben a 4-es metró már nem járt.

3.2. Mérőeszközök

Az alagúti rezgésméréseknél használt gyorsulásérzékelőket (a fenékbetonon Brüel & Kjør 4871-es, a túbbingeken PCB 383A03 típusúakat) erős mágnesekkel rögzítettük az alagút falaira (túbbingre és fenékbetonra) felragasztott acél alátétekhez. A kapott jeleket 4 db cRIO egységet tartalmazó, National Instruments gyártmányú mérésadatgyűjtőhöz csatlakoztattuk. A digitalizált jelet a szükséges hosszúságú ethernet kábelen keresztül juttattuk el a peronon elhelyezett számítógéphez, melyen a Tanszékünk munkatársai által fejlesztett NiHu.Lab mérőszoftver futott. (A mérőszelvény és a peronok közti nagy távolság miatt a Vlg utcai helyszínen egy, a másikon két ethernet switch közbeiktatására is szükség volt.)

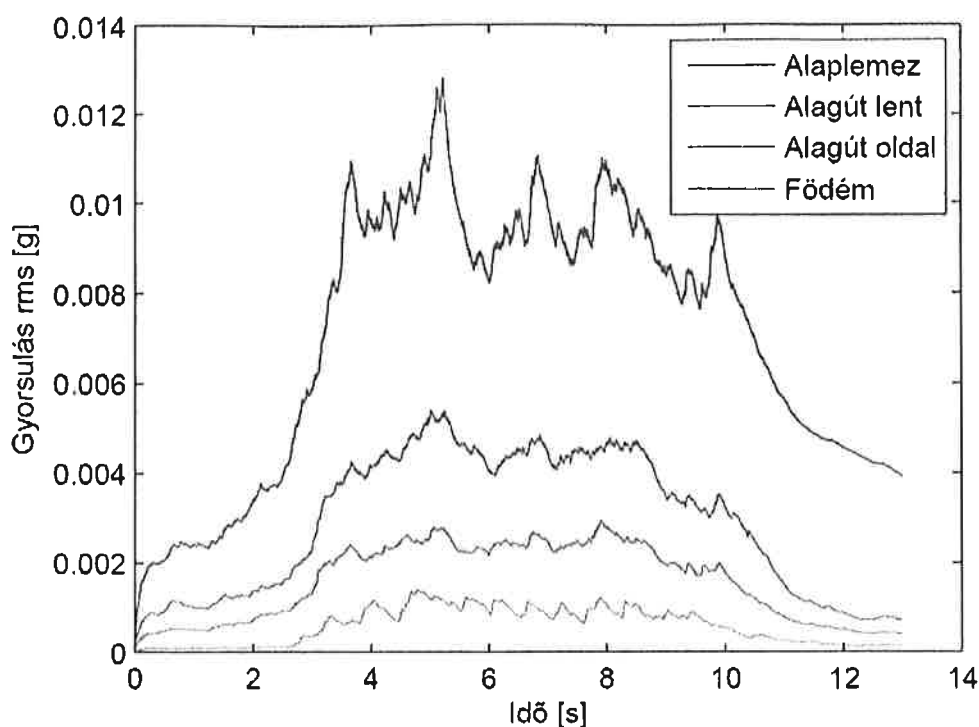
A felszíni mérőhelyen három rendszert működtettünk párhuzamosan. Ezek egyike az alagútban alkalmazottal gyakorlatilag azonos volt: National Instruments mérésadatgyűjtő és NiHu.Lab mérőszoftver segítségével a padlón, szabványos illesztődarab és gyorsulásérzékelő segítségével rezgésjelet, valamint BK 4181 mérőmikrofon segítségével hangnyomás jelet rögzítettünk. Az [1] szabvány szerinti környezeti rezgésterhelési értékeket a dr. Forián Szabó Péter által speciálisan erre a célra kidolgozott mérőberendezés és –szoftver mérte. Ez a mérőberendezés a következőkből áll: PCB-ICP M393A03 típusú gyorsulásérzékelő, amelyet mágnessel rögzítünk az [1] szabvány szerint a padlóra helyezett vastömbre, PIM ZJK (ICP) típusú négycsatornás jelkondicionáló erősítő, NAT SC2040 típusú mérőerősítő, NAT 6024E típusú mintavételező kártya, és Fujitsu-Siemens típusú Notebook az eredmények tárolásához. A mérést az SRM_002 szerkezeti rezgésméréseket vezérlő szoftver készítette, a kiértékeléshez az SRE_002 számú szoftvert használtuk. A lakásokban kialakuló zajok hiteles mérését Brüel & Kjør 2250-es típusú zajmérő és frekvenciaanalizátor segítségével végeztük, melynek hitelesítési bizonyítványát a 7.2. Függelékben közöljük.

A mérések megkezdése előtt a négy mérőrendszer belső elektronikus óráját az azonos időben lezajló jelenségek azonosításának és egyértelmű összerendelésének céljából másodperces pontossággal egymáshoz igazítottuk. Ugyanezen időalap szerint egy munkatársunk az M2 vonal Keleti pu. állomásában rögzítette a szerelvények Blaha L. tér felé indulásának és onnan való megérkezésének időpontját.

3.3. Vizsgálati és értékelési módszerek

Az alagútban és a felszínen mért rezgésjelek időfüggvénye az 1. ábra diagramjain hasonlítható össze. Az alagútban mért gyorsulásokban felismerhetők a forgóvázak elhaladása okozta lokális maximumok és összevethetők az egyes jelek amplitúdói.

A feltétfüzet 6.4.1. szakasza szerint az emissziós rezgésjelek értékelését 10 másodperces átlagolási idővel kell számítani. Az adott szerelvények elhaladási időfüggvényéből nyilvánvaló, hogy a teljes rezgés-esemény kb. 10 s időtartamú, ezért nem kellett a feltétfüzetben leírt rész-intervallum kiválasztását elvégezni; ehelyett a jeleket úgy értékeltük, hogy egy alkalmasan választott triggerelési ponttól kezdve 10 másodperces szakaszt átlagoltunk. Az időben átlagolt jelből spektrális teljesítménysűrűség függvényt kell képezni és ezt kell a feltétfüzetben megadott határgörbékkel összevetni (ld. az 5.1. fejezetben).



1. ábra: Az alagútban és a felszínen mért rezgés gyorsulásjelek 200 ms-os integrálási idővel számított effektív értékének tipikus idősorai.

Amennyiben az alagút tüzbing-elemeinek rezgése az emissziós határértékeket túllépi, akkor a vonal mentén **minden védendő létesítményben** igazolni kell az immissziós határértékek teljesülését. Ebben az esetben már nemcsak rezgést, hanem zajt is vizsgálni kell.

Ennek a vizsgálatnak egy egyszerűsített módját adja meg a feltétfűzet 6.4.2. fejezete. Rezgés esetében a környezeti szűrővel súlyozott gyorsulás, zaj esetében pedig "A"-súlyozott hangnyomásszint "F" időállandóval mért effektív értékeiből kell kiindulni. A 6.4.2. pontban leírt egyszerűsítés szerint minden mérőelhaladás alkalmával külön meg kell mérni az $L_{A,eqF,max}$ hangnyomásszint-, illetve $a_{w,eqF,max}$ gyorsulásszint maximumokat és ezeket a következő határértékekkel kell összevetni:

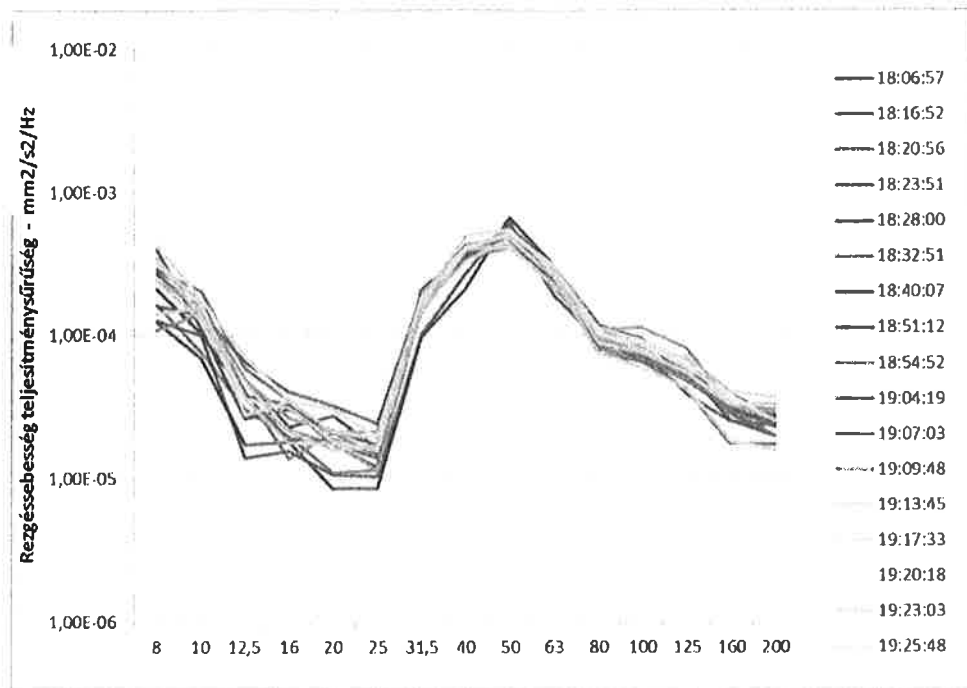
$$L_{A,eqF,max} \leq 42 \text{ dB(A)}, \quad \text{és} \quad a_{w,eqF,max} \leq 18 \text{ mm/s}^2$$

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

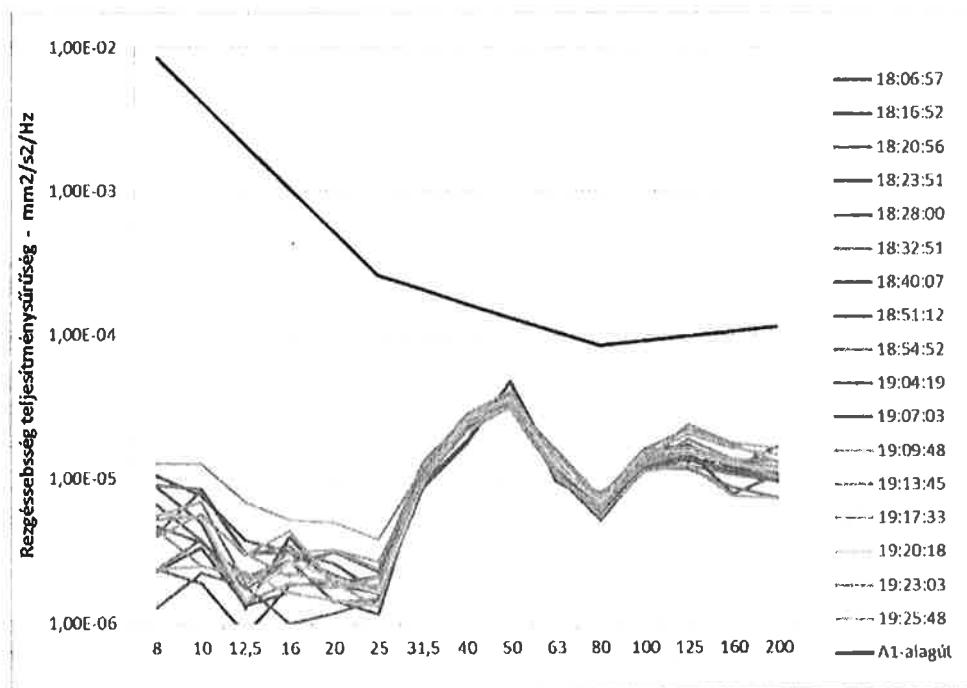
4.1. [REDACTED] mérési helyszín

4.1.1. Rezgésmérési eredmények az alagútban

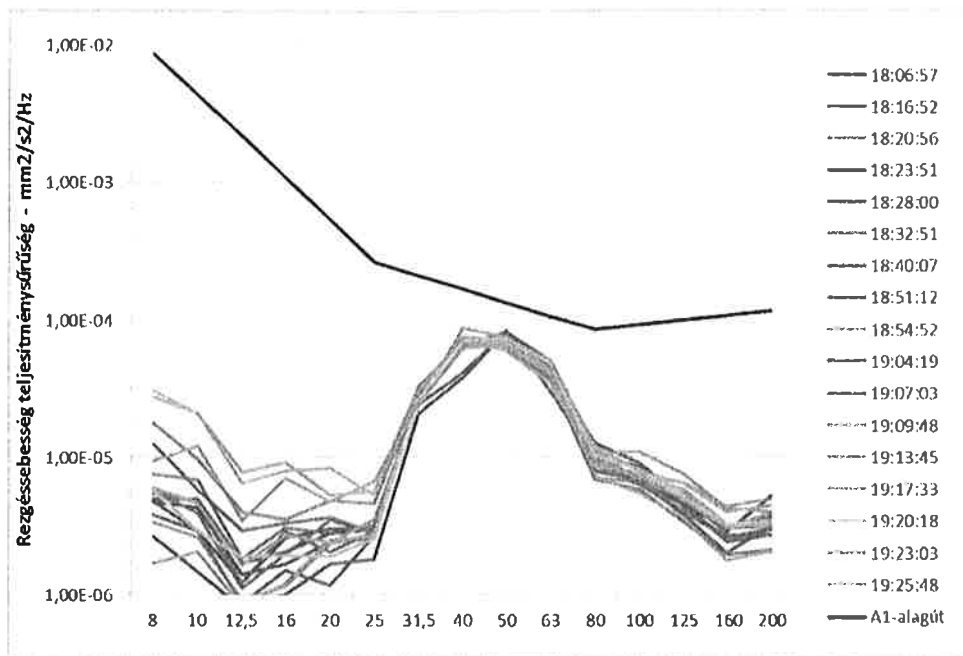
A 2., 3. és 4. ábrán az alagúti mérőpontokban 17 mérőelhaladásból kapott terc-sávós rezgésspektrumokat mutatjuk be a feltétfűzet szerinti módon, spektrális teljesítménysűrűséggel (más néven terc-sávós teljesítménysűrűség spektrummal) ábrázolva. A spektrumok a domináns frekvencia, 40 és 50 Hz környékén kisebb szórást mutatnak, mint a sávszéleken, és a tüzbingen levő két mérőpont kb. egy nagyságrenddel kisebb mértékben rezeg a fenékbetonnál.



2. ábra: Az 59 + 35 szelvényben fenékbeton mért rezgéssebességek teljesítménysűrűség spektrumai különböző szerelvény-elhaladások közben



3. ábra: Az 59 + 35 szelvényben a túbbing alján mért rezgéssebességek teljesítménysűrűség spektrumai különböző szerelvény-elhaladások közben. A vastag fekete vonal az adott helyszínre vonatkozó, feltétfűzet szerinti rezgéskövetelményt mutatja.



4. ábra: Az 59 + 35 szelvényben a túbbing oldalán vízszintesen mért rezgésbességek teljesítménysűrűség spektrumai különböző szerelvény-elhaladások közben

4.1.2. Környezeti rezgésterhelés mérés eredményei

Az [1] szabvány szerint elvégzett mérések során az alábbi metrőelhaladásokat rögzítettük. A mért és a táblázatban közölt mennyiségek mm/s^2 egységben vannak megadva, és az egyes metrőelhaladásokat magukban foglaló fél percben az „F” időállan-dóval meghatározott súlyozott egyenértékű rezgés gyorsulás maximumait adják meg:

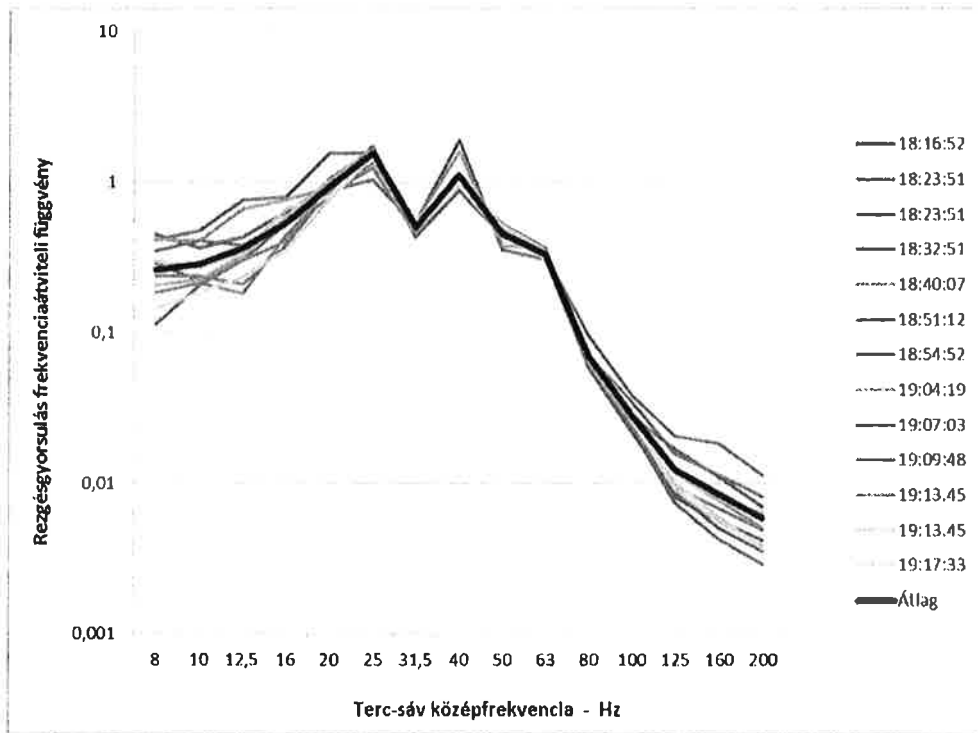
1. sz. táblázat: Környezeti rezgésterhelési értékek a [redacted] mérőhelyen

időpont	mm/s^2	időpont	mm/s^2
18:06:57	2,4	18:13:45	3,4
18:37:43	2,0	18:40:07	2,8
18:41:06	3,4	18:43:32	3,8
18:51:14	2,4	19:09:49	2,3
19:10:20	3,7	19:13:26	2,2
19:15:42	3,1	19:17:37	2,4
19:18:29	3,1	19:23:04	2,3

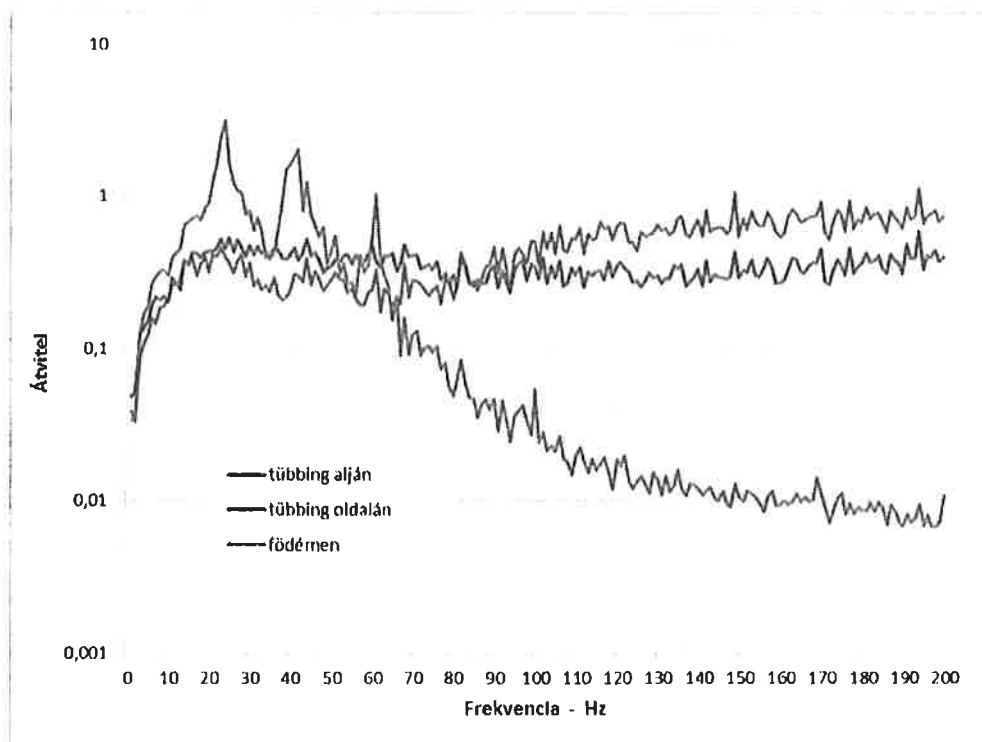
4.1.3. Alagúti és felszíni rezgések összehasonlítása

Az 5. ábra a lakás padlóján és az alatta levő fenékbeton mérőponton meghatározott rezgés gyorsulás autospektrumok terc-sávós értékeinek hányadosát mutatja. Hasonló módon, de keskenysávú autospektrumok alapján, így finomabb frekvencia-felbontásban mutatjuk be a túbbing-elemek és a padlón kialakuló rezgések fenékbetonra vonatkoztatott rezgésátviteli függvényeit a 6. ábra diagramjain. (A keskenysávú mérések 2560 Hz-es mintavételi frekvenciával vett 1 s időtartamú idősorok feldolgozásával, így 1 Hz-es frekvenciafelbontással készültek.) A túbbing-elemek mért rezgések a fenékbetonhoz képest viszonylag csekély

frekvenciafüggést és 0,2 – 0,8-szoros átvitelt mutatnak. A lakás padlóján 65 Hz felett gyorsan csökken az átvitel, de



5. ábra: A [redacted] lakás padlóján és az alagút fenékbetonján az egyes elhaladások során mért terc-sávós rezgésgyorsulások hányadosa



6. ábra: A [redacted] mérőhelyen a tűbbingelemeken és a lakás padlóján mért keskenysávú rezgésgyorsulás spektrumok fenékbetonon mért spektrumra vonatkoztatott frekvenciaátvitele

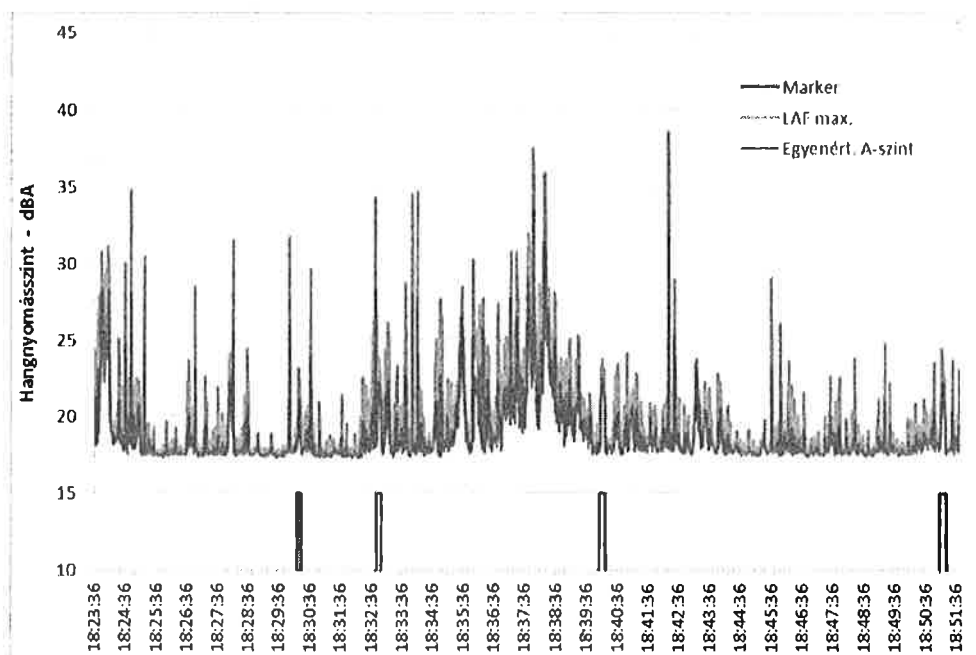
24, 42 és 61 Hz-en jelentős lokális kiemelések figyelhetők meg, amelyek közül a 24 Hz-es csúcs amplitúdója a 3-at is eléri. Az alagút és a lakás padlója közötti bonyolult rezgésátviteli rendszer számos eleme okozhatja ezeket a kiemeléseket. A két alacsonyabb frekvenciás maximum azonban minden valószínűség szerint az épület fődém-szerkezetének rezonanciájából származik.

4.1.4. Zajmérési eredmények

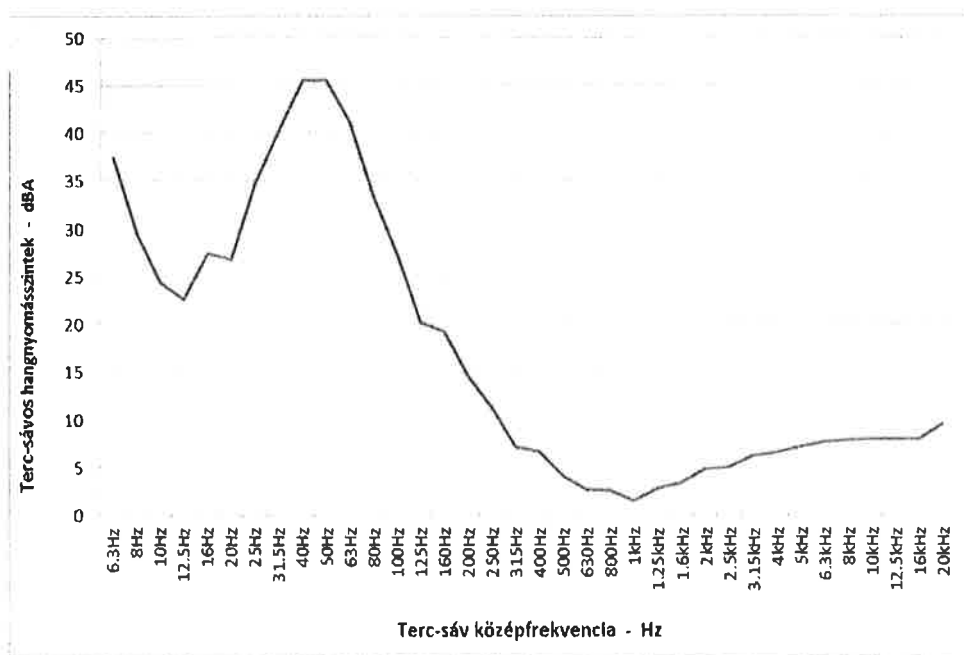
A panaszos lakásában mért hangnyomásszintek egy tipikus szakaszának idősorát az 7. ábra szemlélteti. Mint látható, az 1 másodperces időintervallumokra meghatározott egyenértékű szintek 18 és 36 dBA között változnak, az egyes időintervallumokban "F" időállandóval mért maximális szintek ennél 3-6 dBA-val nagyobbak. A regisztrátumon egyéb információk nélkül már nehezen azonosítható, de a helyszínen teljes csend esetén füllel is kivehető a mérőelhaladások zaja. Az elhaladások idejét néhány alkalommal a mérés során a zajmérő marker csatornáján is megjelöltük és az ábrán vörös vonallal és "marker" megjelöléssel tüntettük fel.

Egy ilyen elhaladás terc-sávós frekvenciaspektrumát a 8. ábra diagramja szemlélteti. A mért zajban a 40 és 50 Hz-es terc-sáv emelkedik ki erősen, ami jó egyezést mutat az emissziós rezgésspektrumok maximumaival. (Itt is célszerű lenne megadni a T és a mintavételi frekvencia értékét) Ez a markáns kiemelkedés a 9. ábra idősorán is megfigyelhető és önmagában is alkalmas a mérőelhaladások időpontjának meghatározására.

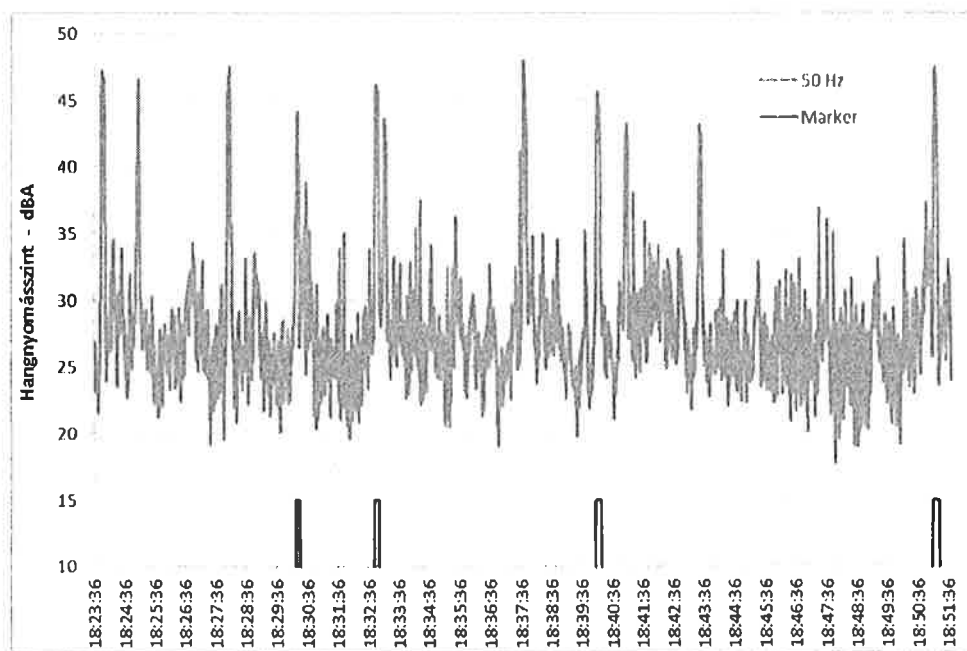
A 10. ábra a zajszintek valószínűségi eloszlásfüggvényét szemlélteti. Amint látható, 18 dBA-nál kisebb zajszint a regisztrátumban egyáltalán nem fordul elő, ami az alkalmazott műszer gyárilag specifikált legkisebb mérhető zajszintjének felel meg. Az alagútban mért időpontok alapján a felszínen beazonosított mérőelhaladások maximális A-szintjének átlaga 25,2, szórása 2,4 dBA. Az idő 93 %-ában 18 és 25 dBA közötti egyenértékű zajszinteket mértünk, ami azt jelenti, hogy a mérőelhaladások szintjei a ház lakóinak normál tevékenységéből származó alapzaj nagyságrendjében vannak.



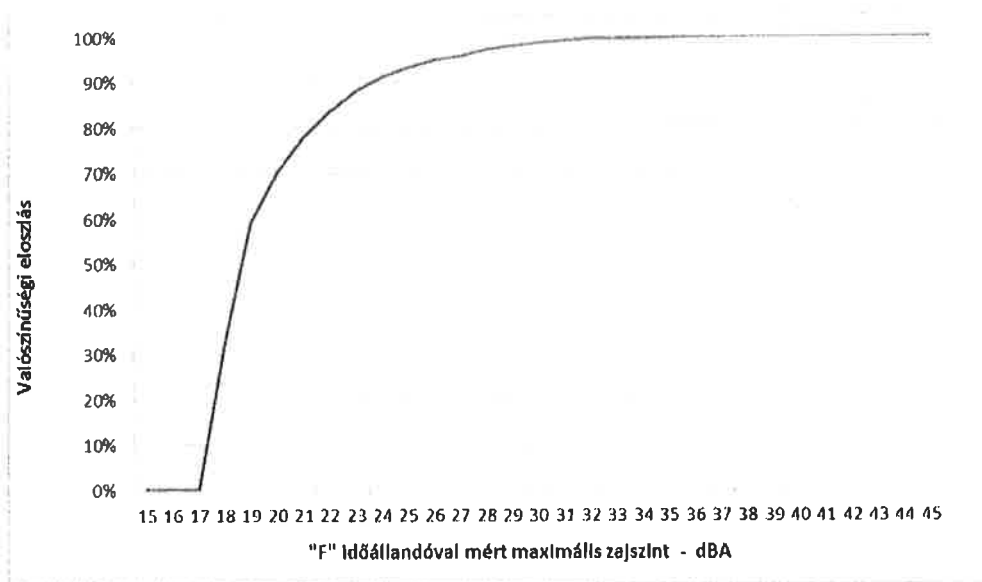
7. ábra: A panaszos lakásában mért, 1 s-ra vonatkozó egyenértékű A-szintek (kék) és "F" időállandóval mért maximumok (zöld) egy tipikus szakaszának idősora. A vörös marker-vonal a felvétel idején füllel megfigyelt mérőelhaladások idejét jelzi.



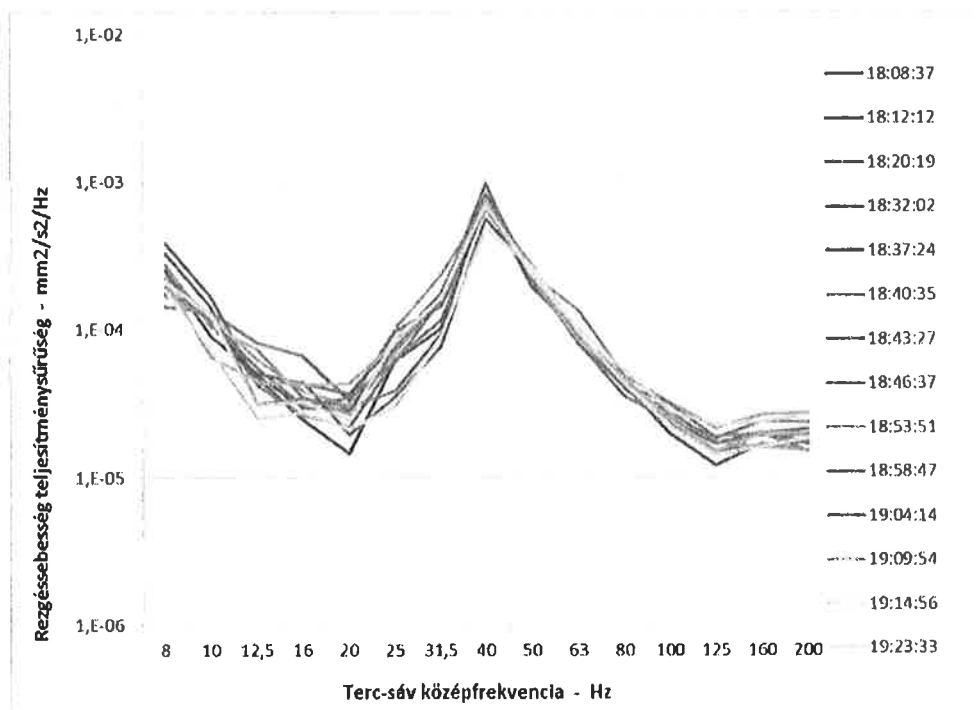
8. ábra: A 18:40:07-es metrószerelvény-elhaladás maximális egyenértékű zajszintjéhez tartozó zajspektrum



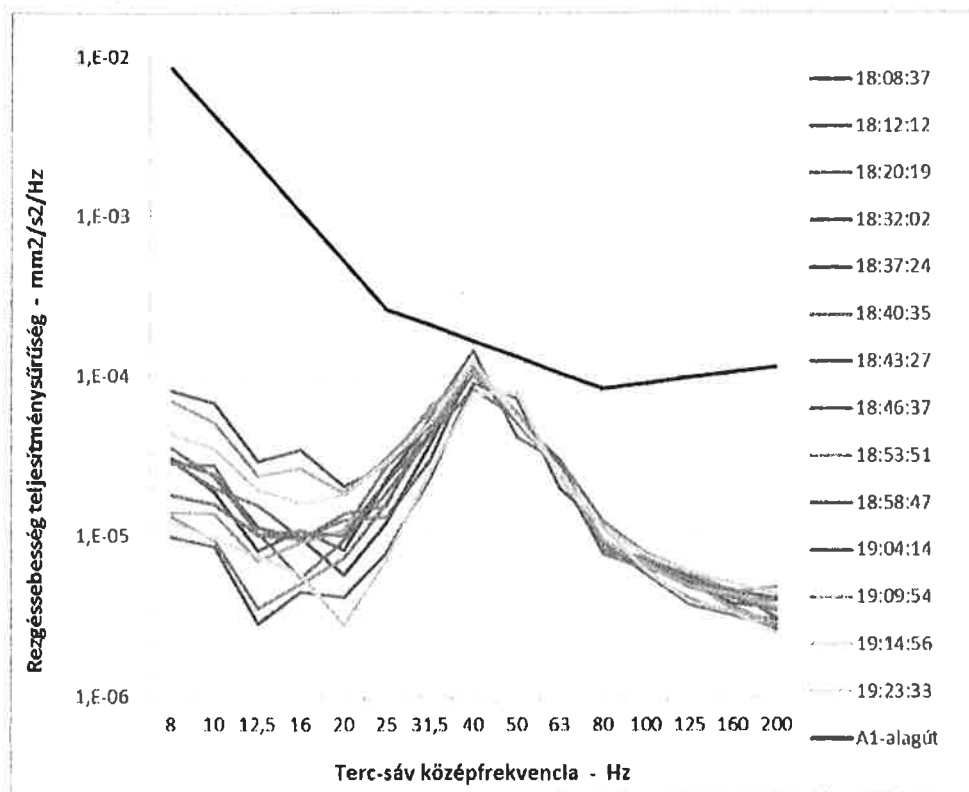
9. ábra: A lakásban mért 50 Hz-es sávszintek időszora



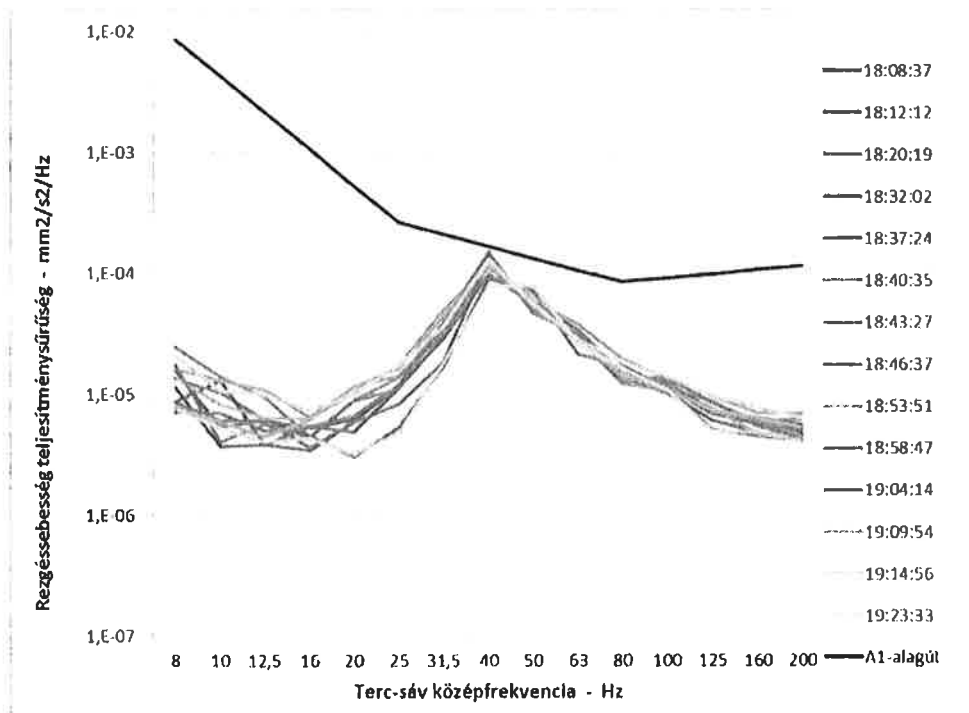
10. ábra: A 7. ábra szerinti regisztrátum "F" időállandóval mért maximális A-szintjeinek valószínűségi eloszlásfüggvénye



11. ábra: Az 67 + 35 szelvényben a fenébetonon mért rezgésebbességek teljesítménysűrűség spektrumai különböző szerelvény-elhaladások közben



12. ábra: Az 67 + 35 szelvényben a túbbing alján mért rezgésbességek teljesítménysűrűség spektrumai különböző szerelvény-elhaladások közben. A vastag fekete vonal az adott helyszínrre vonatkozó, feltétfűzet szerinti rezgéskövetelményt mutatja.



13. ábra: Az 67 + 35 szelvényben a túbbing oldalán mért rezgésbességek teljesítménysűrűség spektrumai különböző szerelvény-elhaladások közben

4.2. ████████ helyszín

4.2.1. Rezgésmérési eredmények az alagútban

Az alagútban a ████████ ház alatt levő három ponton meghatározott rezgés-spektrumokat a 11. – 13. ábrák szemléltetik. A teljesítménysűrűség spektrumok tendenciája a másik mérőponthoz hasonló, azzal az eltéréssel, hogy a domináns frekvencia legtöbbször a 40 Hz-es terc-sávba esik és az értékek itt kb. egyharmad-fél nagyságrenddel (3-5 dB-lel) nagyobbak a Víg utcai mérőhelyen mértéknél.

4.2.2. Környezeti rezgésmérés eredményei

A környezeti rezgésterhelés mérésének eredményeit a fentihez hasonló módon számítva a következő értékeket nyertük:

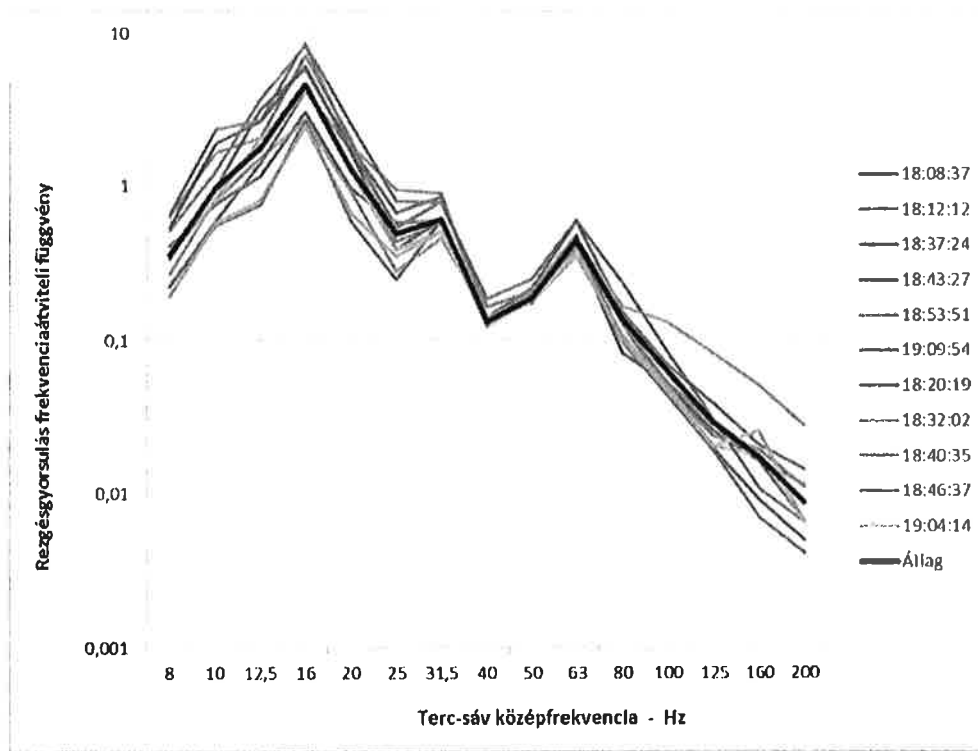
2. sz. táblázat: Környezeti rezgésterhelési értékek a ████████ mérőhelyen

Időpont	mm/s ²	Időpont	mm/s ²
18:12:24	4,3	18:16:34	3,0
18:19:14	2,7	18:22:06	2,7
18:23:13	5,6	18:25:42	3,2
18:30:51	5,4	18:37:45	4,0
19:22:43	3,1	19:32:18	3,7
19:51:54	3,9	19:56:01	4,3
20:01:56	5,9	20:05:39	4,3
20:09:25	5,3	20:21:07	6,2

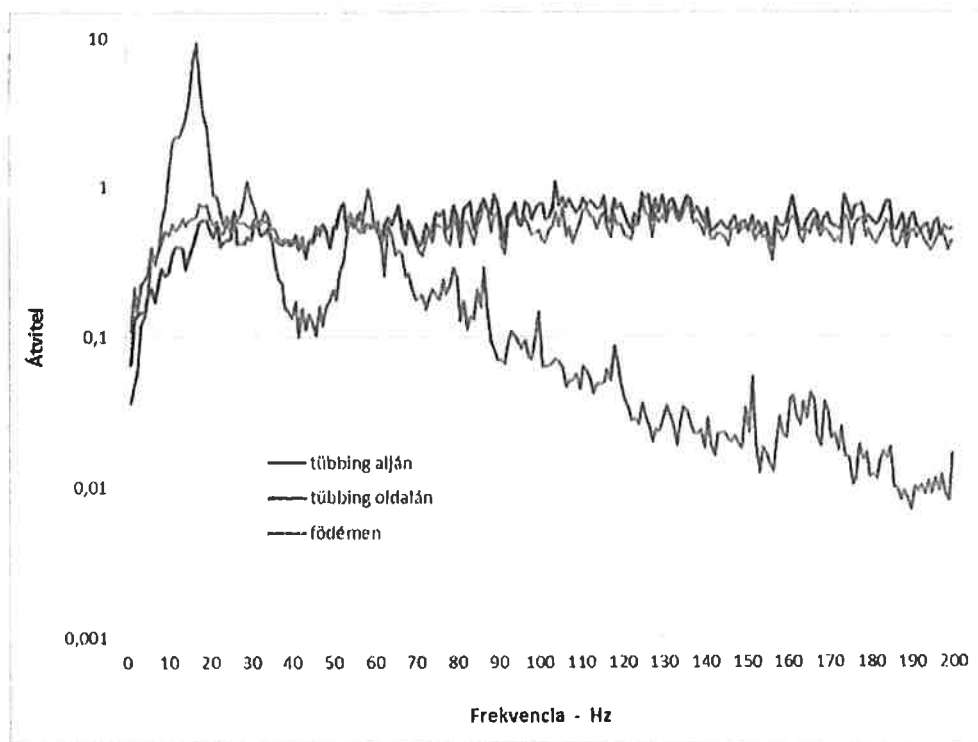
Ezek az eredmények némileg magasabbak a ████████ rezgésterhelési értékeknél. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a metrólhaladások közötti szünetekben ezeknél sokkal magasabb rezgésszinteket is megfigyeltünk, amit az épület más lakásaiban és helyiségeiben végzett különböző emberi tevékenységek okoztak.

4.2.3. Alagúti és felszíni rezgések összehasonlítása

A 14. és 15. ábra az alagúti és a felszíni mérőpontok közötti rezgésátvitelt mutatja a 4.1.3. szakaszban ismertetett ábrázolási mód szerint. A rezgésátvitel mértéke az alagúti mérőpontok között lényegében hasonló, a fenékbeton és a lakás padlója közötti rezgésátvitel azonban nagyobb, átlagosan 5-szörös erősítést mutat 17 Hz-en és csillapítást minden 20 Hz-nél nagyobb frekvencián. Az erősítés itt is nagy valószínűséggel a vizsgált lakás földémszerkezetének rezonanciájának tulajdonítható.



14. ábra: A [redacted] lakás padlóján és az alagút fenékbetonján mért terc-sávós rezgésyorsulások hányadosa



15. ábra: A [redacted] mérőhelyen a tűbbingelemeken és a lakás padlóján mért keskenysávú rezgésyorsulás spektrumok fenékbetonon mért spektrumra vonatkoztatott frekvenciaátvittele

4.2.4. Zajmérési eredmények

A zajmérések egy tipikus idősorát a 17. ábra szemlélteti, ahol különböző színű vonalakkal a füllel hallható metróelhaladások és a 4-es metróvonal alagútjában a mérőpontok mellett történő metró-elhaladások idejét is feltüntettük.

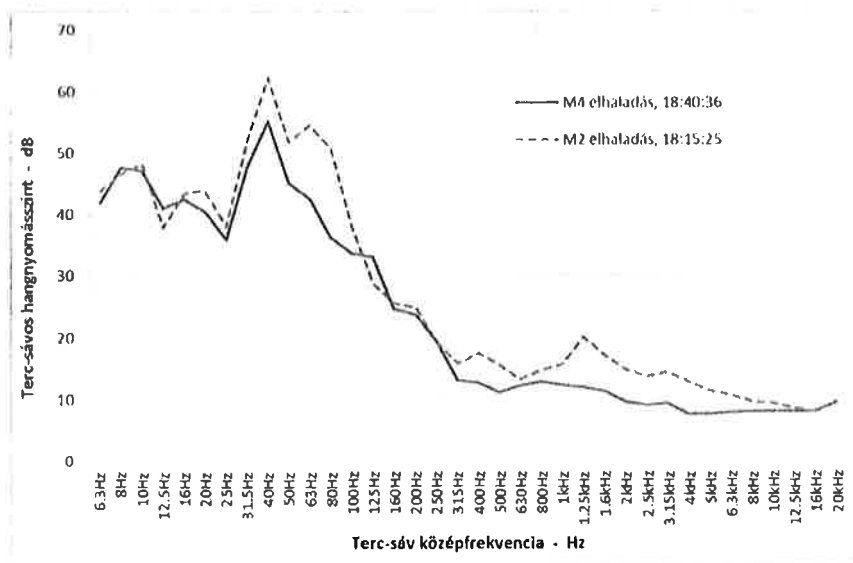
Mint látható, a zajszintek minimuma ezen a helyen 21-22 dBA, ami feltehetőleg a helyiségbe beszűrődő közúti közlekedési zajjal magyarázható. A jól hallható metrózajok szintje nagyobb a [redacted] mérőhelyen tapasztalnál, de ezen, jól kiemelkedő csúcsok időpontja nem esik egybe a 4-es vonalon történő elhaladások idejével. A részletes összevetés feltárta, hogy a metrózaj ebben a lakásban elsősorban a 2-es vonalán elhaladó metrószerelvények hatásának tudható be, amit a Keleti pu. állomáson tartózkodó és a 2-es vonal forgalmát rögzítő kollégánk feljegyzései is igazoltak.

Az alagúti és a felszíni zaj- és rezgésmérések, valamint a 2-es metró forgalmi adatainak egyeztetése alapján az egyes vonalak metró-elhaladásaihoz rendelhető, az ellenőrzés tárgyát képező zajcsúcsok statisztikai jellemzőit az alábbi táblázatban hasonlítjuk össze. Mint látható, a két vonalhoz társítható metrózajok szintje között kb. 8 dBA az eltérés.

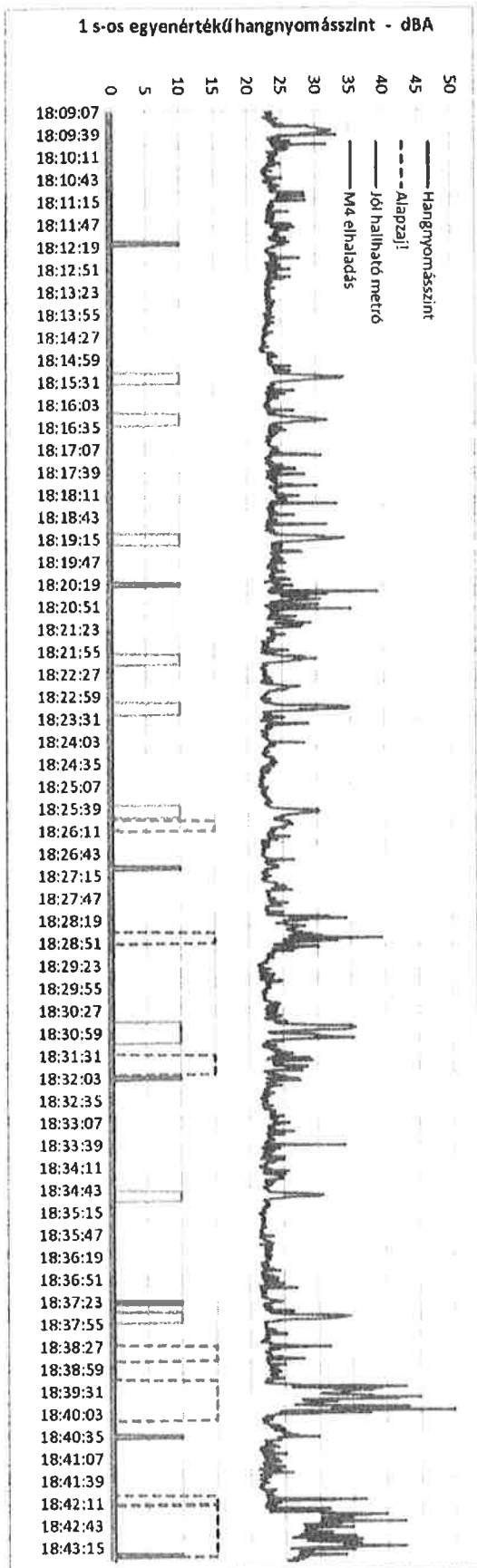
3. sz. táblázat: A vizsgálati helyszín közelében haladó két metróvonal maximális elhaladási zajszintjei statisztikai jellemzőinek összehasonlítása, dBA(F)

	M2	M4
átlag	35,2	27,3
szórás	2,5	2,2
maximum	38,5	30,6

A két metróvonal szerelvényei okozta zaj frekvenciaösszetevői egy-egy jellemző elhaladás frekvenciaelemzése alapján vehetők össze, amit a 16. ábra mutat. A 2-es vonalon elhaladó szerelvény zajhatásában a 40 Hz-es, domináns összetevő mellett 80 és 100 Hz-en, valamint 1250 Hz-en láthatunk nagyobb szinteket.



16. ábra: Két tipikus metróelhaladás közben mért 1 s-os egyenértékű hangnyomásszint spektrum összehasonlítása



17. ábra: A [redacted] házban mért 1 s-os egyenértékű hangnyomásszintek egy tipikus időszora. Az ábrán a környező lakásokból származó zavaró alapzajok (vörös szaggatott vonal), a fülrel egyértelműen hallható metróelhaladások (zöld vonal) és a 4-es metró alagúti mérése alapján meghatározott metróelhaladások (lila vonal) idejét is feltüntetjük.

5. ÉRTÉKELÉS

5.1. Emissziós követelmények

A vizsgált szelvényekben mért emissziós rezgésspektrumok a feltétfüzet 6.4.1. fejezete és 1/bal, ill. 2. sz. táblázata szerint az *A1-alagút* jelű emissziós határgörbével vetendők össze, amelyet a 3., 4., 12. és 13. ábrába is berajzoltunk. (A feltétfüzet szerint csak a túbbingeken végzett méréseket kell figyelembe venni, a fenékbetonon végzett mérés a minősítés szempontjából csak tájékoztató jellegű.)

A mért spektrumok egyike sem haladja meg a határgörbét. Megjegyezzük azonban, hogy ez a megállapítás több oknál fogva is csak tájékoztató jellegű. Egyfelől azért, mert az alagút keresztmetszetét alkotó hét túbbing-elem közül csak kettőn végeztünk mérést, így teljes bizonyossággal nem állítható, hogy az adott szelvény minden túbbing-elemének rezgése teljesíti a feltétfüzet szerinti követelményt. A másik ok pedig az, hogy Megbízónk a pályázatában az immissziós követelmények egyszerűsített igazolási módját választotta, így az utólagos ellenőrző mérések során is csak az immissziós követelmények ellenőrzését kell elvégeznie és bemutatnia (ld. feltétfüzet, 21.o.).

5.2. Immissziós követelmények

Az immissziós követelmények teljesülése a feltétfüzet 6.4.2. fejezete szerint az alábbi mérések eredményei alapján ellenőrizhető:

- Egy metrószelvény elhaladása alkalmával keletkező elhaladási zaj "F" időállandóval mért maximális A-hangnyomásszintje a védendő helyiség belsőjében nem haladhatja meg a 42 dBA értéket;
- egy metrószelvény elhaladása alkalmával keletkező súlyozott rezgés gyorsulás "F" időállandóval mért maximális értéke nem haladhatja meg a 18 mm/s^2 értéket.

Az immissziós zajszintek vizsgálata alapján kijelenthető, hogy a 4-es metróvonal szelvényei okozta zajszint jóval kisebb, mint a maximálisan megengedett zajszint érték: a [REDACTED] helyszínen átlagosan 25.2 dBA-s, a [REDACTED] 27.3 dBA-s maximális zajszinteket mértünk. A 2-es vonal elhaladási zajai a [REDACTED] lakásban átlagosan 8 dBA-val nagyobbak a 4-es vonal elhaladási zajainál, de az adott helyszínen a 4-es vonal zajainak értékelése szempontjából a 2-es vonal elhaladási zajait is „háttérzajnak” kell tekintenünk, ugyanúgy, mint a lakásba beszűrődő felszíni közlekedési vagy használati zajokat. A környezeti rezgésterhelés vizsgálatának eredményeiből látható, hogy minden mért érték nagy biztonsággal megfelel a feltétfüzet rezgésimmissziós előírásának.

A metróelhaladások okozta félperces, súlyozott rezgés gyorsulás egyenérték-maximumok sorozata (egy kivétellel) mindenütt kisebb volt, mint a 27/2008.(XII.3.) KvVM-EüM együttes rendelet 5. sz. mellékletében a lakószobákban éjszakára megadott $A_0=6 \text{ mm/s}^2$ értékű, ún. rezgésvizsgálati küszöbérték. Ebből következik, hogy a mért rezgés mind a két helyszínen megfelel az idézett jogszabályban előírt környezeti rezgésterhelés határértéknek is.

5.3. Általános megállapítások

Amint a mérési eredmények és a követelmények összevetése mutatja, a 4-es vonal pályafelépítménye és a rajta közlekedő, jelenleg még terhelés nélkül futó szerelvények okozta környezetterhelés minden tekintetben maradéktalanul, sok esetben nagy biztonsággal megfelel a műszaki követelményekben meghatározott határértékeknek.

(Külön vizsgálat végzendő majd annak megállapítására, hogy a követelmények a terhelt szerelvények futása esetén is teljesülnek-e.) Felmerül a kérdés, hogy akkor mégis miért jelentkeznek lakossági panaszok 4-es metró vonala, ill. egy idő óta a 2-es vonal mentén is? Jelen szakértői véleménynek nem feladata e kérdés vizsgálata, zajvédelmi tapasztalataink alapján mégis kísérletet teszünk néhány szempont megfogalmazására.

A 27/2008.(XII.3.) KvVM-EÜM együttes rendeletben a közlekedési létesítményekre megadott zaj- és rezgésterhelési határértékek nagyobbak, mint az emberi szervezet átlagos érzékelési küszöbszintje. Ennek következtében azok a zajok és rezgések, amelyek csak kevéssel maradnak el e határértékektől, hallhatók, illetve enyhén érezhetők is.

Ennélfogva a határértékek teljesítése nem jelenti szükségszerűen azt, hogy az új metróvonal feltétlenül észrevétlen marad a környezet számára, csak azt, hogy a környezetterhelés nem lépi túl a jogszabályban megadott mértéket. Azokban az eddig csendes lakásokban, ahol korábban sem más metróvonal, sem közúti közlekedés nem okozott zajt, a még oly csendes, de kétségtelenül hallható metrózajok megjelenése újszerű jelenség, és az erre érzékeny lakosok nyilván kérik is a jelenség kivizsgálását.

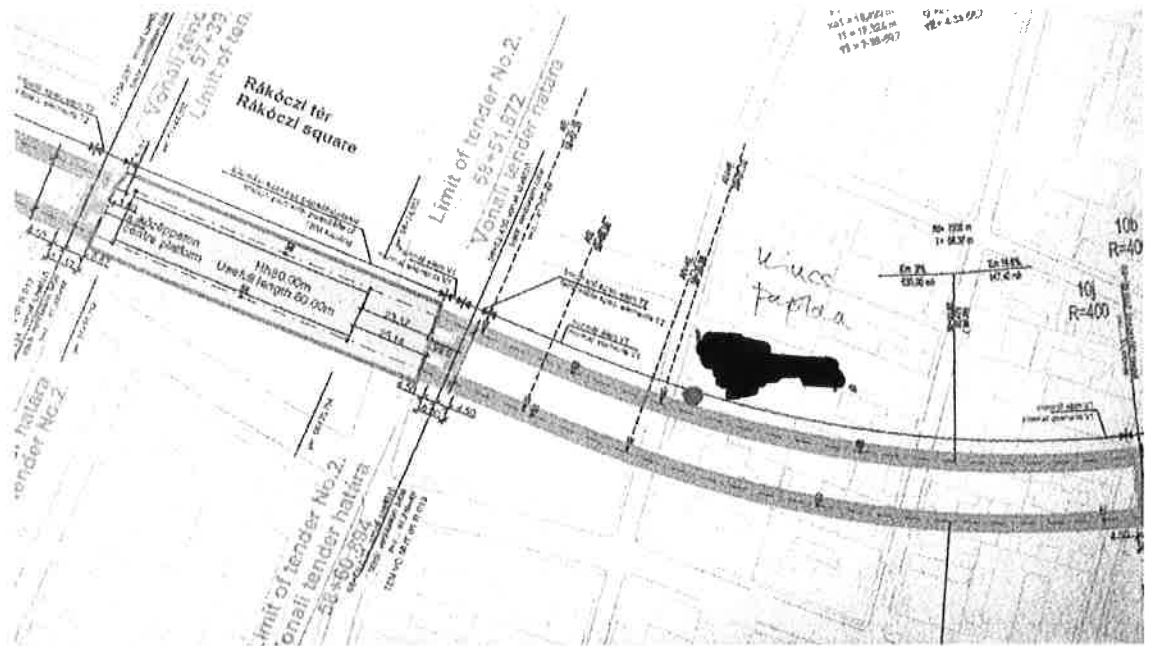
A [REDACTED] végzett mérés kiértékelése ugyanakkor rávilágított arra is, hogy a több évtizede ott levő metróvonal is okozhat zajpanaszt. A panaszok ugyanis itt akkor jelentkeztek először, amikor a 4-es vonal pályafelépítménye még épülőben volt, ugyanakkor a 2-es vonalán megkezdték az új Alstom Metropolis típusú szerelvények üzemeltetését. Egyik korábbi vizsgálatunk alapján már ismert, hogy az Alstom szerelvények rezgésgerjesztése a zajkeltés szempontjából fontos tartományban meghaladja a korábbi orosz típusok gerjesztését (ld. [3], 14. ábra). A szerelvények mára már közismert fékproblémái és az ebből fakadó keréklaposodás tovább rontja a helyzetet, ennek elemzése azonban meghaladja megbízásunk kereteit.

6. HIVATKOZÁSOK

1. MSz 18163-2:1998
Rezgésmérés. Az emberre ható környezeti rezgések vizsgálata építményekben
2. Anon.: Műszaki követelmények a Budapesti 4. sz. metróvonal I. szakaszán építendő felépítményrendszerekre.
BKV Rt. DBR Metró Projekt Igazgatóság, Budapest, 2007. március.
6. fejezet: Zaj- és rezgésvédelem
3. A budapesti 4-es metró pályaszerkezeteinek megfelelőségi vizsgálata.
Vizsgálati módszerek és a vizsgálat eredményei. 2., bővített változat.
A BME Híradástechnikai Tanszék vizsgálati jelentése, Budapest, 2010. július 25.

7. FÜGGELÉK

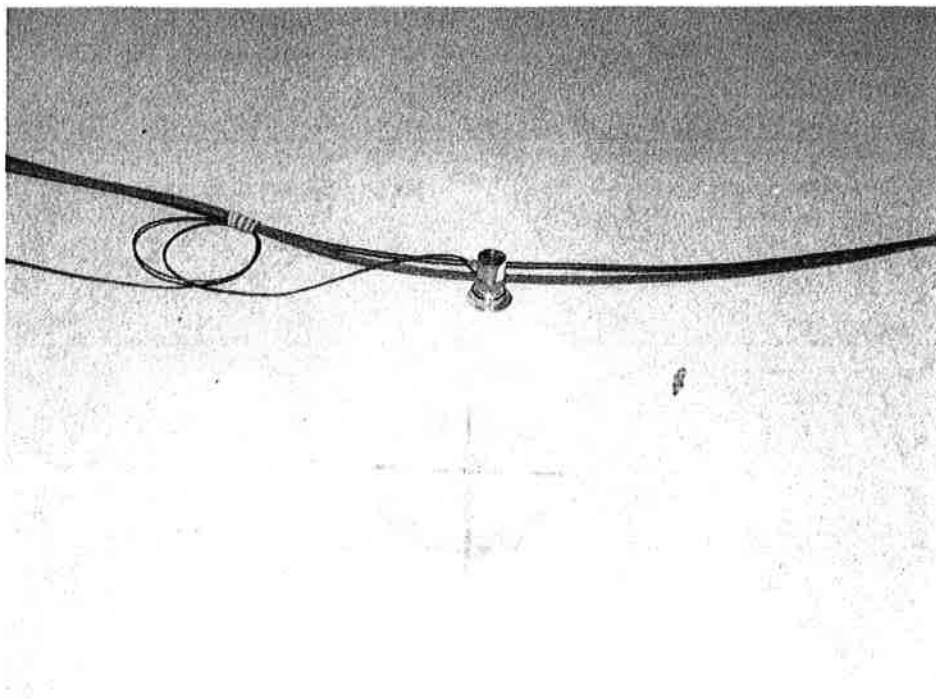
7.1. Fényképek



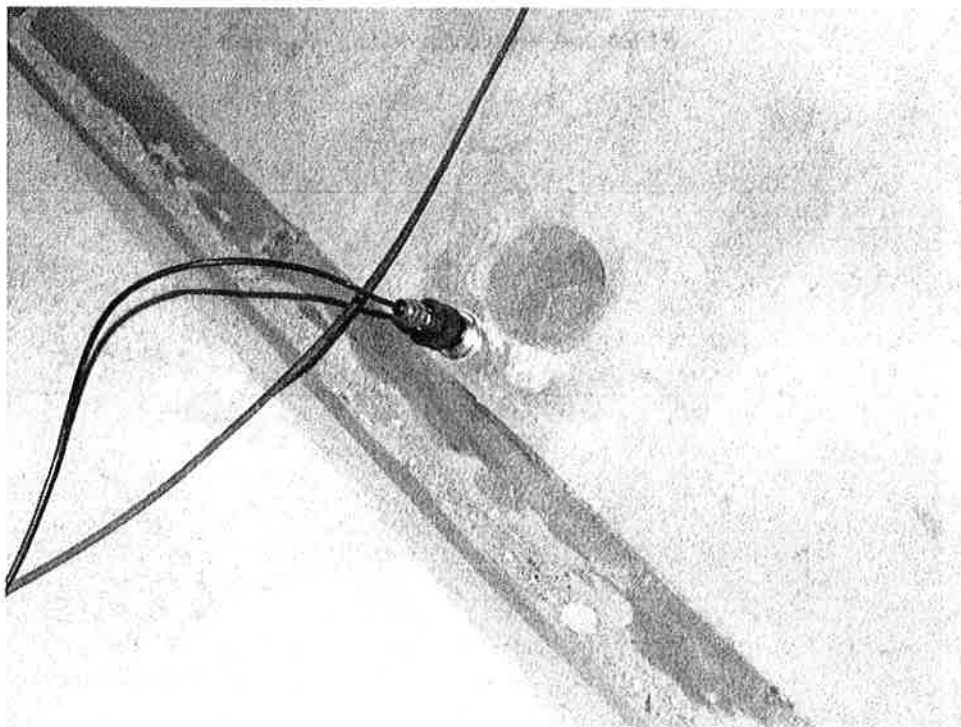
F1. ábra: A [redacted] mérőpont elhelyezkedése



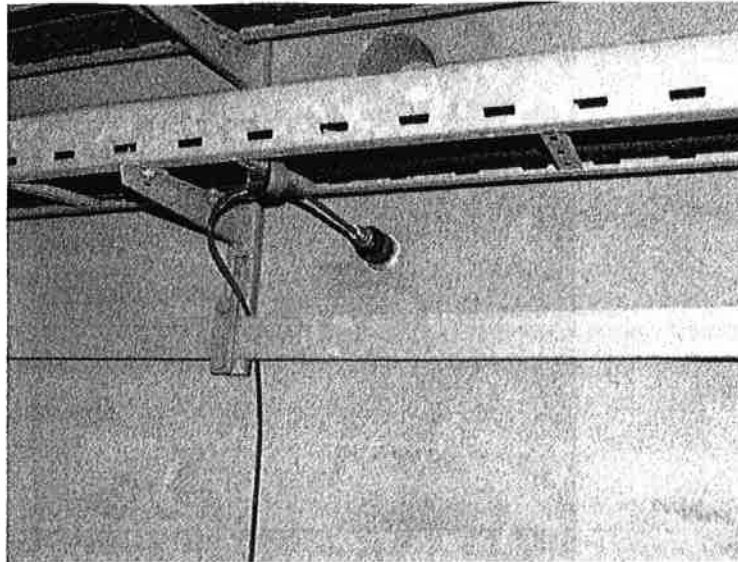
F2. ábra: A [redacted] mérőpont elhelyezkedése (ld. a kék kört)



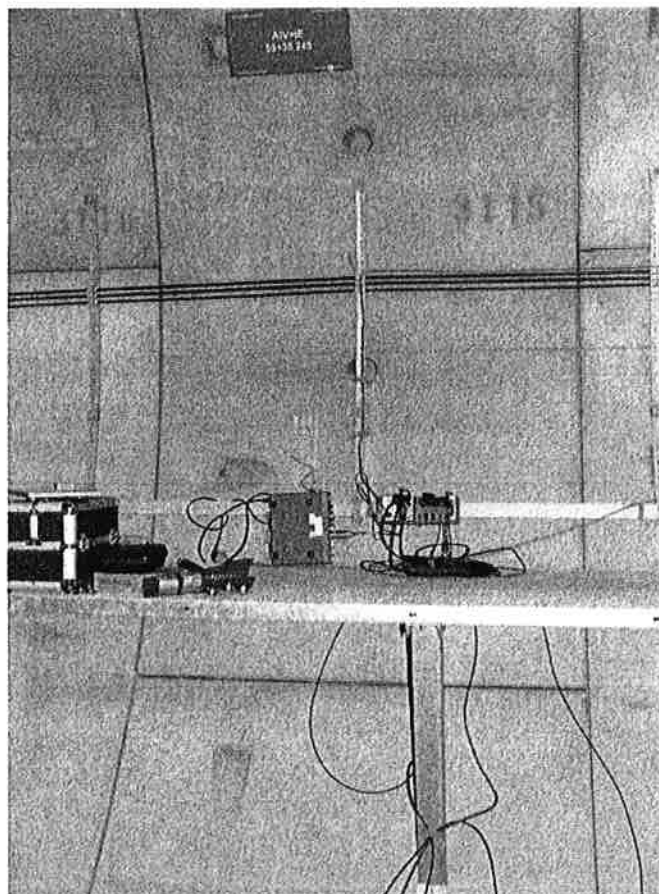
F3. ábra: BK 4871-es rezgésérzékelő elhelyezése a fenékbetnonon, vágánytengelyben



F4. ábra: PCB 383A03 tít. rezgésérzékelő elhelyezése a túbbing és a fenékbetnon illesztési vonalának közelében a túbbingen ("túbbingen alul")



F4. ábra: PCB 383A03 típusú rezgésérzékelő elhelyezése a túbbing oldalán, vízszintesen



F5. ábra: Mérésadatgyűjtő elhelyezése a menekülő járda felett a [REDACTED] helyszínen alagúti, 59 + 35-ös mérőszélványában



F6. ábra: Érzékelők elhelyezése az egyik vizsgált lakásban

7.2. A felhasznált zajmérő hitelesítési bizonyítványa



**Magyar Kereskedelmi Engedélyezési
Hivatal**
Metrológiai Hatóság
1124 BUDAPEST, NEMETVÖLGYI UT 37-39.
1535 Budapest, Pf. 919.
Telefon: 458-5800, Telefax: 458-5893
e-mail: mkeh@mkeh.hu

Ügyiratszám: MKIEI-MII/04827-001/2013/AKU
Hivatkozási szám: -
Ügyintéző: Törökné Farkas Zsuzsa
1/1 oldal

HITELESÍTÉSI BIZONYÍTVÁNY

Az 1991. évi XLV. törvény 7. és 10. §-a alapján, a 127/1991. (X. 9.) Korm. rendelet 2. számú mellékletének 18. pontjára figyelemmel, az alábbi kötelező hitelesítésű használati mérőeszköz hitelesítését elvégeztem, és a 2004. évi CXL. törvény 72. § (4) bekezdése alapján a hitelesítési bizonyítványt kiadom.

A hitelesítés tárgya: Integráló zajsztintmérő
gyártó: B&K
típus: 2250
gyártási szám: 2479639
Hitelesítésre bemutatta: MÓDUS-FZ Kft.
2000 Szentendre, Pomázi út 32.

A hitelesítés helye és ideje: MAGYAR KERESKEDELMI ENGEDÉLYEZÉSI HIVATAL
Metrológiai Hatóság Mechanikai Mérések Osztály
Budapest, 2013.10.28.

A hitelesítés módja: A hitelesítés a HE 26-2000 jelű hitelesítési előírás szerint, a vonatkozó hitelesítési engedély alapján, az előírt pontossági tartaléknak megfelelően kiválasztott használati etalonokkal történt. A mérések eredményei országos etalonra visszavezethetők.

Értékelés: A mérőeszköz az előírt hitelesítési követelményeknek *megfelelt*.

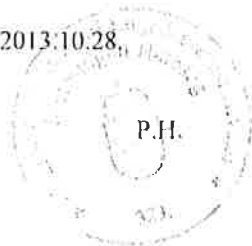
Bélyegzés: A hitelesítés tényét a mérőeszközön elhelyezett M 567269 sorszámú öntapadó matrica, törvényes tanúsító jel tanúsítja.

Érvényesség: A mérőeszköz rendeltetésszerű használata (az előírásoknak megfelelő gondos tárolása és szállítása), valamint a tanúsító jel sértetlensége esetén 2 év, azaz a mérőeszköz 2015.10.29-ig használható hiteles mérésre.

A hatáskörömet és illetékességemet a 320/2010. (XII. 27.) Korm. rendelet 11. § (2) bekezdése és 2. melléklete állapítja meg.

Az ügyfél a hitelesítésnek a 78/1997. (XII. 30.) IKIM rendelet szerinti igazgatási szolgáltatási díját az ott előírt módon előre befizette és viseli.

Budapest, 2013.10.28.



Törökné Farkas Zsuzsa
metrológus