

KÉKVÖLGY WALDORF ISKOLA
Pilisszentlászló, Hrabina utcai épület (Felső Iskola)

1. osztályos terem (2019)

ÚJ utólagos HANGFOGÓ
(Ecophon Industry Ambit)
TERVEZÉSE, KIVITELEZÉSE

ÖSSZEFOGLALÓ DOKUMENTÁCIÓ



TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezető	3. oldal
2. Előzmények - 2016.06.10 Arató Kft. (akusztikai) szakvéleménye – „0” MÉRÉS.....	4. oldal
3. Feltárás - 2019.07.30. napi szakmai egyeztetés emlékeztetője.....	26. oldal
4. Teremakusztikai mérések helyszíne – alaprajz	31. oldal
5. Teremakusztikai ellenőrző mérés a 4. osztályos teremben 2019.09.23 Arató Kft. (akusztikai) ellenőrzése, szakvélemény – „1” ELLENŐRZŐ MÉRÉS („szivacsos” terem)	32. oldal
6. Kiválasztott, ÚJ MEGVALÓSULT HANGFOGÓ műszaki tartalma	47. oldal
7. ÚJ MEGVALÓSULT HANGFOGÓ költségvetés (1 teremre)	55. oldal
8. Teremakusztikai ellenőrző/zárómérés az 1. osztályos teremben – 2019.10.28 Arató Kft. (akusztikai) ellenőrzése, szakvélemény – „2” ELLENŐRZŐ MÉRÉS (Ecophon Industry Ambit)	56. oldal
9. Fotódokumentáció	67. oldal
10. Összefoglaló, zárszó	74. oldal
11. Névmutató	75. oldal

1. BEVEZETŐ

Az elmúlt nyári időszakban az utólagos HANGFOGÓ témában építész tervező, akusztikus szakértő, tűzvédelmi tervező, iskolatitkár, osztálytanító, szülők több körös telefonos, e-mail és személyes egyeztetést tartottak a fenti Iskola 2012. évben történt kivitelezése, a 2016. évben történt utólagos teremakusztikai mérés és a jelenlegi 4. osztályos teremben 3 szülő összefogásából 2016. évben kivitelezett „szivacsos” hangfogó témájával kapcsolatban.

Az Iskola felé, korábbi években az a jelzés érkezett, hogy a nap végére a termekben a felhangok, a visszhangok megterhelést okoznak a gyermekeknek; az osztálytanítók arra panaszkodtak, hogy nap végére fárasztó számukra a beszédhang.

Az Iskola 2016. évben felkérte az Arató Kft. (akusztikai szakértőt) a tantermek és az Euritmia terem vizsgálatára, amelyről írásos szakvélemény született.

2016. évben a jelenlegi 4. osztályos teremben 3 szülő összefogásából készült el a hangfogó (szivacs) anyag és segédanyagok beszerzése, kivitelezése és ennek finanszírozása.

Idén, ismételten felmerült az új 1. osztályos teremben is a hangfogó kérdésköre. A 2016. évben a jelenlegi 4. osztályos teremben felszerelt hangfogó műszaki tartalma eltért az 2016. évben készült akusztikai szakvéleményben szereplő megoldástól, ellenőrző/igazoló vizsgálata nem történt meg, ezáltal nem volt műszaki szempontból mérhető, hogy a „szivacs” hangfogó elérte-e a kitűzött célt, továbbá az egyeztetéseket megelőzően azt sem lehetett tudni, hogy a felszerelt anyagok Hatósági (pl. Katasztrófavédelem - tűzvédelem) szempontból megfelelőek-e.

Akusztikai szempontból elsődleges feladat **a vizsgált helyiség fő funkciójának meghatározása**, amely az Iskola esetében a napi tanításból adódó **„beszédcélú kialakítás”**.

Az akusztikai paraméterek javítását szolgáló, idei évben újra elindult folyamat mozgatórugója az volt, hogy olyan megoldás szülessen az előzőekben jelzett „beszédcélú” fő funkció figyelembe vételével, ami **megfelel a tűzvédelmi előírásoknak, műszakilag alátámasztott, esztétikai igényeket kielégítő, igazodik a tantermek berendezéséhez és nem utolsó sorban kedvező a bekerülési költsége is**.

Az egyeztetések, beépíthető anyagok vizsgálata, egyeztetési/tervezési folyamatok, teremakusztikai mérések, kiértékelések és az új hangfogó kivitelezése sikeresen megtörtént. Ezek eredményeit, teljes szakértői-műszaki-pénzügyi dokumentációját tartalmazza jelen összefoglaló anyag.

2. ELŐZMÉNYEK – „0” MÉRÉS



Akusztikai szakvélemény

**a Kékvölgy Waldorf Iskola termeinek teremakusztikai paramétereiről
és a javítás lehetőségeiről**

2016. június 10.

Készítette:	Borsiné Arató Éva	akusztikus szakértő
	SZÉS 4. 01-10069	
	Borsi Gergely	akusztikus mérnök



Tartalomjegyzék

1. Előzmények	3
2. Teremakusztikai feladatok	3
3. Előírások és vizsgált paraméterek	4
4. Az elvégzett teremakusztikai mérések és eredmények	6
4.1. A mérés eszközei	6
4.2. A mérés helyszíne	7
4.3. Mérési eredmények	8
4.3.1. Euritmia terem	8
4.3.2. Tanterem	12
5. A mért eredmények összefoglaló értékelése	15
6. Javaslatok a teremakusztikai paraméterek javítására	15
6.1. Euritmia terem	16
6.1.1. Szélessávú elnyelő. Jele: SZ-1	16
6.1.2. Mélynyelő membrán burkolat. Jele: M	17
6.2. Tanterem	18
6.2.1. Szélessávú elnyelő. Jele: SZ-2	19
7. Összefoglalás	20

Rajzok:

AK-WALD-01 – Heraklith C hangelnyelő burkolat csomópontok	M=1:10(A4)
AK-WALD-02 – Famembrán burkolat elvi csomópont	M=1:2,5(A4)
AK-WALD-03 – Hangelnyelő burkolati kiosztás – Euritmia terem	M=1:150(A3)



1. Előzmények

A Kékvölgy Waldorf Iskola és Gimnázium Pilisszentlászlón van. Az épületben 3 tanterem és egy – rendezvények lebonyolítására alkalmas – Eurytmia terem (nagyterem) kapott helyet. A helyiségekben rossz teremakusztikai körülményekre panaszkodnak, „visszhangos”, kellemetlen a termekben lenni – így fogalmazznak az itt dolgozók.

A tanteremek alapterülete $\sim 52\text{m}^2$, térfogatuk $\sim 300\text{m}^3$. A nagyterem alapterülete $\sim 128\text{m}^2$ (lelátó alatti tárolóval együtt), térfogata $\sim 840\text{m}^3$.

Az iskola vezetősége felkérte az Arató Akusztikai Kft-t, végezzen teremakusztikai méréseket, tárja föl a teremakusztikai problémák okát és készítsen megoldási javaslatot. Mivel a három tanterem nagyságrendileg azonos méretekkkel rendelkezik, ezért a három közül csak az egyik tanteremben és az Eurytmia teremben végeztünk méréseket.

A mérésekre 2016. május 19-én került sor.

2. Teremakusztikai feladatok

A teremakusztikai felmérés és szakvélemény készítése az alábbiakból áll:

a.) A jelenlegi teremakusztikai állapotok felmérése MLS mérési technika alkalmazásával

A tanteremben és az Eurytmia teremben is több hangforrás és vevő mérőpárban impulzusátvitel mérése MLS jellel. Az impulzusválasz alapján a terem akusztikai paramétereinek meghatározása. A vizsgált paraméterek értelmezése a 3. pontban található.

b.) A teremakusztikai követelmények meghatározása

A helyiségek funkcióinak és a jelenlegi adottságainak a figyelembe vételével az általános teremakusztikai paraméterek ajánlott értékeinek meghatározása.

c.) Javításokat célzó teremakusztikai megoldási javaslatok megadása

Az akusztikai felületek típusának és mennyiségének leírása.



3. Előírások és vizsgált paraméterek

A teremakusztikai méréseket az érvényben lévő MSZ EN ISO 18233: „Akusztika. Új mérési módszerek alkalmazása az épület- és teremakusztikában.” című szabvány szerint végeztük el.

A magyar szabványok és rendeletek nem tartalmazzak teremakusztikai követelményeket, de vannak ajánlások, melyeket a tervezés során alkalmazni lehet. Ilyen ajánlás pl. a svéd SS 02 52 68 számú, „Acoustics- Sound classification of spaces in buildings – Institutional (healthcare) premises, rooms for education, day centres and after school centres, rooms for office and hotels”. Ez a svéd szabvány szolgál alapul egy készülő ISO szabvány számára.

Ebben a szabványban helyiségenként ír elő ajánlott utózengési idő értékeket az alábbi táblázat. Három minőségi fokozatot különböztet meg, „A” a legszigorúbb, „B/C” a közepes és a „D” a legenyhébb.

Helyiségtípus	Utózengési idő: Tm [sec]		
	"A" csoport	"B/C" csoport	"D" csoport
Tantermek	0,5	0,6	0,8

1. táblázat: Teremakusztika –ajánlott utózengési idő különböző helyiségekben

A nagyteremre vonatkozóan az elérni kívánt paramétereket szakirodalmi adatok, a már meglévő termekben mért paraméterek valamint a felhasználó igényei szerint határozzuk meg. Mivel meglévő épületről és termekről van szó, a fizikai méretek adottak, valamint figyelembe kellett venni a gazdaságossági szempontokat is.

Vizsgált akusztikai paraméterek

Impulzusválasz

Zárt tér szélessávú gerjesztésre adott válasza. Az impulzusválasz önmagában is sok információt tartalmaz, a direkt hang után beérkező reflexiók mennyiségéből, nagyságából különböző akusztikai jelenségekre lehet következtetni. Kedvező hangzásra



utal, ha az impulzusválasz képe egyenletes lecsengést mutat, tehát nincsenek kiemelkedő reflexiók.

Utózungési idő

A teremakusztikai viszonyok alapvető jellemzője a helyiségek utózungési ideje. Nemzetközi megállapodás szerint azt az időt nevezzük utózungési időnek, amely alatt a hangforrás elhallgatása után, a zárt térben a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken. Jelölése: T_{60} [sec].

A helyiségre jellemző utózungési időt a gyakorlatban a lecsengési görbe –5 dB és –25 dB/-35 dB pontjainak időbeli távolsága alapján határozzuk meg.

Az utózungési idő a frekvencia függvényében változik. A különböző célú termekben nem teljesen azonos az „ideális” a frekvencia menet, de alapvetően az a jó, ha az utózungési idő nem változik a frekvencia függvényében. Különösen fontos, hogy az egymás melletti frekvencia sávokban nem legyen nagy a különbség.

Közepes utózungési idő

A zárt helyiségekre vonatkozó általános jellemző, ami a különböző frekvenciákon mért/számított utózungési időkből átlagolható. Jelölése: T_m [sec].

A közepes utózungési idő számítása:

$$T_m = \frac{T_{60}(500\text{Hz}) + T_{60}(1\text{kHz})}{2}$$

ahol a $T_{60}(f)$ az f frekvencián mért/számított utózungési idő.

Ajánlott érték:

Tantermek: $T_m = 0,5-0,8$ sec.

Euritmia terem: $T_m = 0,8-1,1$ sec.

Korai-késői hangenergia arány dB-ben. Hangtisztasági fok. Jelölés: C(t) (dB)

A nagyteremben megvizsgáljuk a C(50) paraméterét. Ebben az esetben az első 50 msec-ban beérkező energia hányadot viszonyítjuk az ez utáni időpillanat után érkező energia hányadhoz. Ez a paraméter is változik a hely és a frekvencia függvényében.



Az optimális értéke szintén függ a terem funkciójától. Egy ilyen térfogatú teremben az optimális hangtisztasági fok közepes értéke: $C(50) = 0 \pm 2$ dB.

Beszédérthetőségi index. Jelölése: RaSTI

Beszédcélú kialakítás esetén a legfontosabb paraméter a RaSTI. Az ún. *Beszéd átviteli index* térbeli (terembeli) eloszlását vizsgáljuk (*RaSTI-Rapid Speech Transmission Index*). Ennek az elve röviden a következő. Ha egy hangforrás által keltett zajt alacsonyfrekvenciásan modulálunk, a mikrofonba érkező hang moduláltságának mértéke a reflexiók, és a háttérzaj következtében csökken. Azt, hogy mekkora hányada maradt meg a modulációnak, a *modulációs átviteli függvény* írja le. Ezt hét oktávsvárra számolva kapjuk meg a *modulációs átviteli indexet*. Ezen hét érték súlyozott átlaga az RaSTI.

Az index 0 és 1 közötti értékeket vehet fel, a kettő közötti átmenetet felosztva a következő kategóriákat kapjuk:

0,75 – 1	kiváló
0,6 – 0,75	jó
0,45 – 0,6	megfelelő
0,3 – 0,45	rossz
0 – 0,3	elfogadhatatlan

A termekben a „jó” kategória elérése a cél.

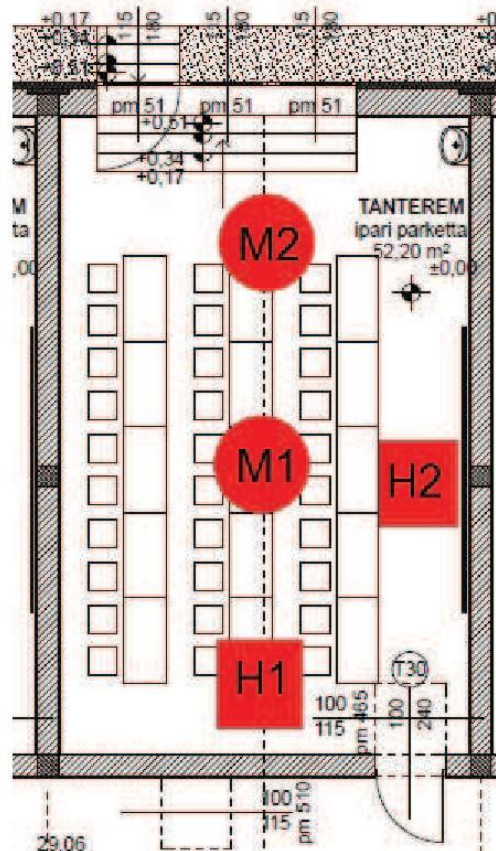
4. Az elvégzett teremakusztikai mérések és eredmények

4.1. A mérés eszközei

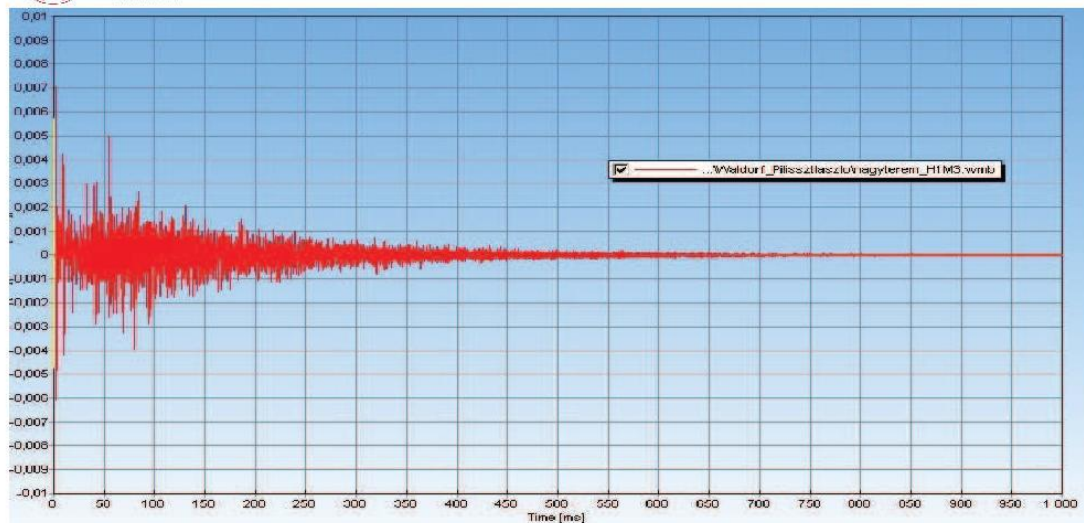
A teremakusztikai mérések az MSZ EN ISO 18233:2006 szabvány szerint történtek.

A mérés eszközei:

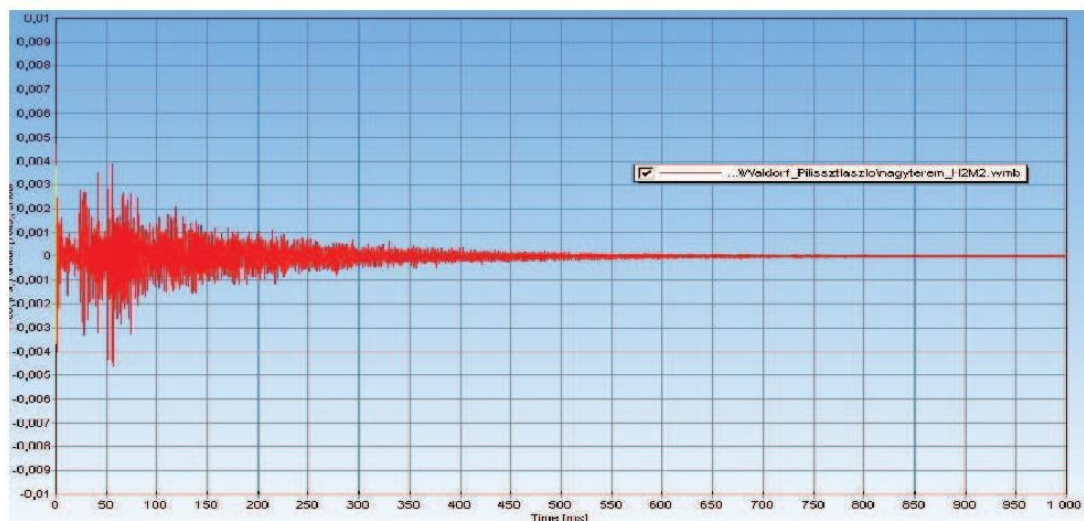
- WinMLS 2000 Pro with Room Acoustics – teremakusztikai mérőrendszer
- Edirol UA-25 előerősítő külső hangkártya
- MBC 550 típusú mérőmikrofon
- Brüel&Kjaer 4224 mérő hangsugárzó



A méréseket 5 mérőpont-párban végeztük el. A 3. és 4. ábrákon két jellemző mért impulzusválaszt mutatunk be.



3. ábra: Mért impulzusválasz a H1M3 mérőpárban



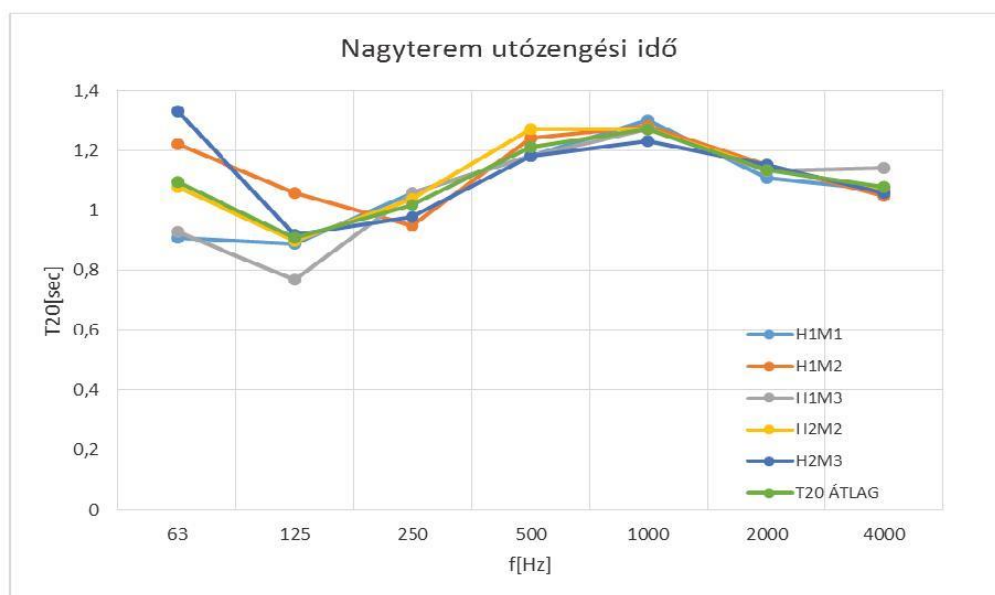
4. ábra: Mért impulzusválasz a H2M2 mérőpárban

Látható az impulzusválaszokból, hogy a direkthangot erős intenzitású, de változó erősségű reflexiók követik. Ez a visszaverő felületek magas arányát jelenti, és azt, hogy a tér nem eléggé diffúz.

A mért impulzusválaszból számított további teremakusztikai paraméterek:



Utózengési idő:



5. ábra: Az Euritmia terem jelenlegi állapotában mért utózengési idő

A 5. ábra mutatja a különböző mérő párokban mért utózengési időket. Ezekből az eredményekből az látható, hogy az utózengési idő nagymértékben változik a frekvencia függvényében. Különösen zavaró, hogy az, hogy 500Hz és 1kHz-en legnagyobb az értéke – 1,2-1,3sec. Ez zavaró teremakusztikai jelenségekhez vezet, és egyben azt jelenti, hogy a teremben lévő teremakusztikai burkolatok ebben a frekvencia sávban nem eléggé hatékonyak. A kemény felületről a hang nagy intenzitással verődik vissza, rontva a terem beszédérthetőségét, csökkentve a koncentrációképességet.

A jelenség két dologra vezethető vissza:

1. Nincs elég hangelnyelő burkolat a helyiségben
2. A felszerelt Heraklith burkolatot lefestették, így a pórusai eltömődtek, a mögötte levő szálas anyag nem tud hatékonyan hangelnyelőként működni.

Látható továbbá, hogy a mélytartományban (63Hz – 125Hz) az utózengési idő nagy szórást mutat. Ez a jelenség a mélyelnyelő burkolatok hiányát mutatja a térben.

Akusztikai tervezési cél: az utózengési idő csökkentése elsősorban az 500 Hz – 2000 Hz tartományban. Ezzel egyúttal csökkentjük a visszavert hangok intenzitását,



egyenletesebbé tesszük az utózengési idő frekvencia menetét, valamint csökkentjük a hangnyomás szintet a teremben. A betervezni kívánt új burkolatokkal a mélyebb frekvencia tartományokban is kiegyenlítettebbé tesszük a hangzást.

Közepes utózengési idő: T_m

A mért értékekből számított átlagos közepes utózengési idő:

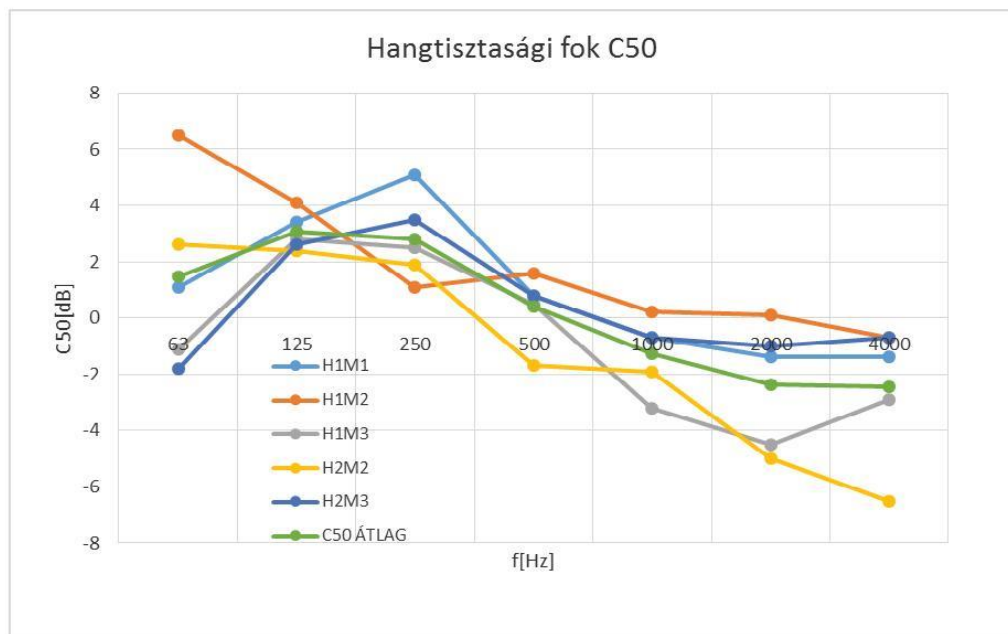
$$T_m = 1,19 \text{ sec}$$

A mérések alapján kijelenthető, hogy a terem jelenlegi közepes utózengési ideje magasabb az optimálisnál, ez csökken, ha az előzőekben leírtaknak megfelelően csökkentjük az utózengési időt az 500 Hz – 2000 Hz tartományban.

Ahogy már fent megállapítottuk, az utózengési idő frekvencia szerinti alakulása kedvezőtlen, nagyon egyenetlen. Ez kellemetlen hangzást eredményez.

A hangelnyelő felületek helyes arányával az utózengési idő értékén, frekvencia menetén is kedvező irányban lehet módosítani.

Hangtisztasági fok: C(50)



6 ábra: A mért hangtisztasági fok: C(50)



A mérési eredmények nagy szórást mutatnak, és látható, hogy 500Hz – 4kHz között 0dB alatt vannak az értékek. A hangelnyelő burkolatok beépítésével javítani lehet a hangtisztaságon.

Beszédérthetőségi index (RaSTI)

A mért beszédérthetőségi index:

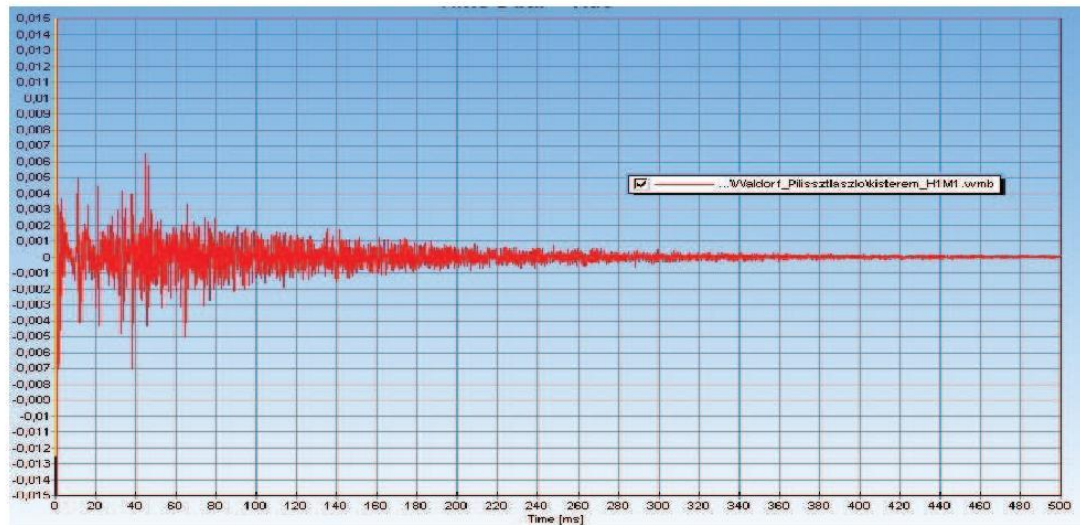
$$\text{RaSTI} = 0,55,$$

mely a „megfelelő” kategóriába sorolja a teret. A cél a „jó” kategória elérése.

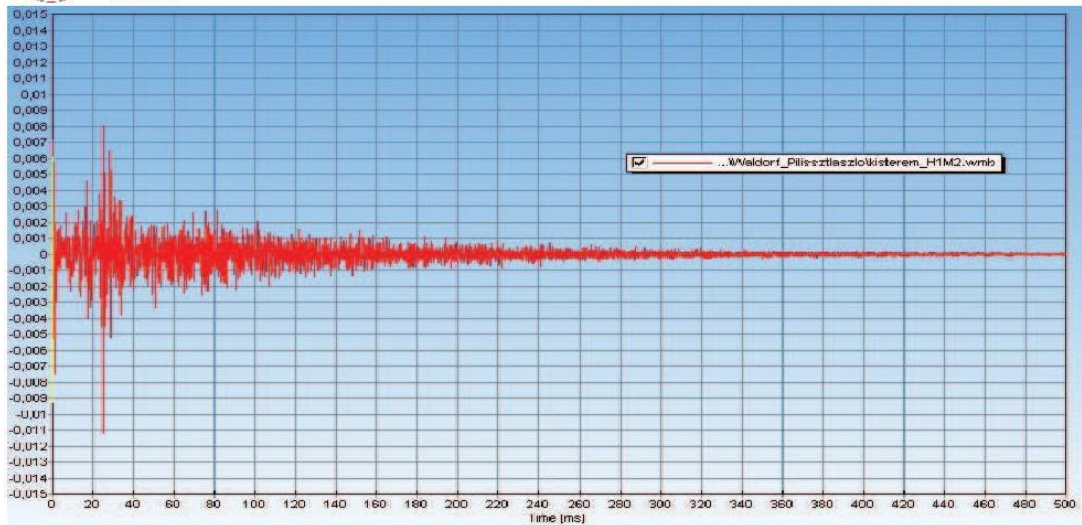
4.3.2. Tanterem

Impulzusválasz

A méréseket 3 mérőpont-párban végeztük el. A 7. és 8. ábrákon két jellemző mért impulzusválaszt mutatunk be.



7. ábra: Mért impulzusválasz a H1M1 mérőpárban

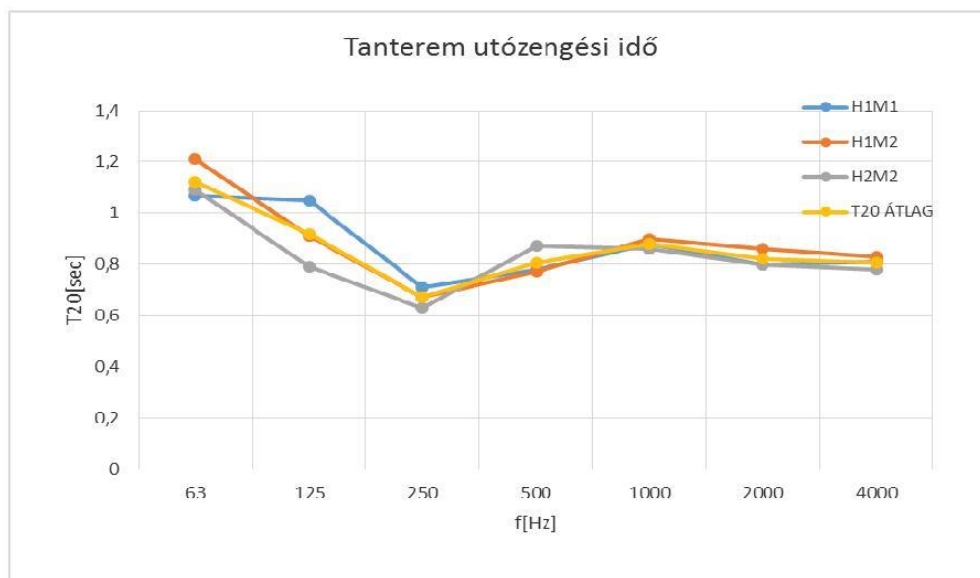


8. ábra: Mért impulzusválasz a H1M2 mérőpárban

Ebben az esetben is az látható az impulzusválaszokból, hogy a direkthangot erős intenzitású, de változó erősségű reflexiók követik. Ez a visszaverő felületek magas arányát jelenti, és azt, hogy a tér nem eléggé diffúz.

A mért impulzusválaszból számított további teremakusztikai paraméterek:

Utózengési idő:



9. ábra: A tanterem jelenlegi állapotában mért utózengési idő



A 9. ábra mutatja a különböző mérő párokban mért utózengési időket. Ezekből az eredményekből gyakorlatilag ugyanaz látható, mint a nagyterem esetén, azaz az utózengési idő nagymértékben változik a frekvencia függvényében. Különösen zavaró, hogy az, hogy 500Hz és 1kHz-en legnagyobb az értéke – 0,8-0,9sec. Ez zavaró teremakusztikai jelenségekhez vezet, és egyben azt jelenti, hogy a teremben lévő teremakusztikai burkolatok ebben a frekvencia sávban nem eléggé hatékonyak. A kemény felületről a hang nagy intenzitással verődik vissza, rontva a terem beszédérthetőségét, csökkentve a koncentrációképességet.

A jelenség ebben az esetben is két dologra vezethető vissza:

1. A felszerelt Heraklith burkolatot lefestették, így a pórusai eltömődtek, a mögötte levő szálal anyag nem tud hatékonyan hangelnyelőként működni.

Akusztikai tervezési cél: az utózengési idő csökkentése elsősorban az 500 Hz – 2000 Hz tartományban. Ezzel egyúttal csökkentjük a visszavert hangok intenzitását, egyenletesebbé tesszük az utózengési idő frekvencia menetét, valamint csökkentjük a hangnyomás szintet a teremben.

Közepes utózengési idő: T_m

A mért értékekből számított átlagos közepes utózengési idő:

$$T_m = 0,79 \text{ sec}$$

Látható, hogy ez az érték, a nemzetközileg ajánlott utózengési idők legalacsonyabb kategóriájába sorolja a teret. A tervezési cél, hogy a hangelnyelők beépítésével csökkentsük a közepes utózengési időt.

Beszédérthetőségi index (RaSTI)

A mért beszédérthetőségi index:

$$RaSTI = 0,68,$$

mely a „jó” kategóriába sorolja a teret. Ezen az értéken ugyan nem kell változtatni, de a hangelnyelő burkolatok beépítésével javulni fog a beszédérthetőség.



5. A mért eredmények összefoglaló értékelése

A mért paraméterek alapján az alábbiak állapíthatók meg:

Nagyterem

1. az impulzusválaszokból látszik, hogy a direkthangot erős reflexiók kísérik, változó intenzitással
2. a közepes utózungési idő magas
3. az utózungési idő egyenetlen, kiugróan magas 500Hz-en és 1kHz-en
4. az energia lecsengése mélytartományban nagyon egyenetlen
5. a hangtisztasági fok alacsony
6. a beszédérthetőségen javítani kell

Tanterem

1. az impulzusválaszokból látszik, hogy a direkthangot erős reflexiók kísérik, változó intenzitással
2. a közepes utózungési idő magas
3. az utózungési idő egyenetlen, kiugróan magas 500Hz-en és 1kHz-en

6. Javaslatok a teremakusztikai paraméterek javítására

Az előző pontban felsoroltuk a mérési eredményekből azokat a hibákat, melyeken kell és lehet segíteni. Ebben a pontban termenként megadjuk a megoldási javaslatokat.

A fő problémát minden teremben az jelenti, hogy a mennyezetre elhelyezett szélessávú hangelnyelőket (Heraklith) lefestették, ezzel eltömítették a pórusokat és a mögötte levő szálal anyag nem működik hangelnyelőként.

Emellett a nagyteremben tapasztalt kiugró mélyfrekvenciás tartomány energiáját csökkenteni kell.



6.1. Euritmia terem

A teremben mért 500Hz-1kHz-es komponens kiugrása a visszaverő felületek magas aránya miatt van. Ugyanakkor a mélyfrekvenciás tartományban tapasztalt magas utózengési időt és a kapott eredményeknél tapasztalt szórást a nem megfelelő kezelésében kell keresni. Ezért olyan akusztikai burkolatok alkalmazását javasoljuk, melyek célzottan ezekben a frekvenciatartományokban működnek hatékonyan.

6.1.1. Szélessávú elnyelő. Jele: SZ-1

A szélessávú hangelnyelő burkolatokat a teremben egyenletesen kell szétosztani. Javasoljuk, hogy a meglévő lefestett mennyezeti Heraklithot cseréljék ki az új burkolatra, és emellett az oldalfalra is kerüljön új szélessávú burkolat.

Mennyezet

A mennyezeten lévő lefestett Heraklith lemezeket le kell cserélni Heraklith C 35mm-re, amely mögé 50mm vastag közepes sűrűségű üveggyapotot (pl. KNAUF Unifit) kell tenni. A hangelnyelő burkolat nóniusz függesztővel síkba hozható a meglévő gipszkartonnal. A Heraklith C-t a RAL színskála szerint lehet gyárilag festetten rendelni, így esztétikus megjelenést lehet biztosítani a terekben anélkül, hogy az anyag hangelnyelését rontanánk. Vonatkozó rajz a mellékletben AK-WALD-01. számú rajzon szerepel.

Szükséges mennyiség: 46,68m²

Oldalfal

Heraklith C 35mm 50mm-es lécvázra szerelve, a lécvázban 50mm vastag közepes sűrűségű üveggyapot (pl. KNAUF Unifit) van. A Heraklith C-t a RAL színskála szerint lehet gyárilag festetten rendelni, így esztétikus megjelenést lehet biztosítani a terekben anélkül, hogy az anyag hangelnyelését rontanánk. Vonatkozó rajz a mellékletben AK-WALD-01. számú rajzon szerepel. Amennyiben esztétikai okokból szükséges, az oldalfali burkolat síkba hozható a többi burkolattal (szükség esetén a lécváz mérete növelhető).

Szükséges mennyiség: 20m²



1. kép: Festett Heraklith C

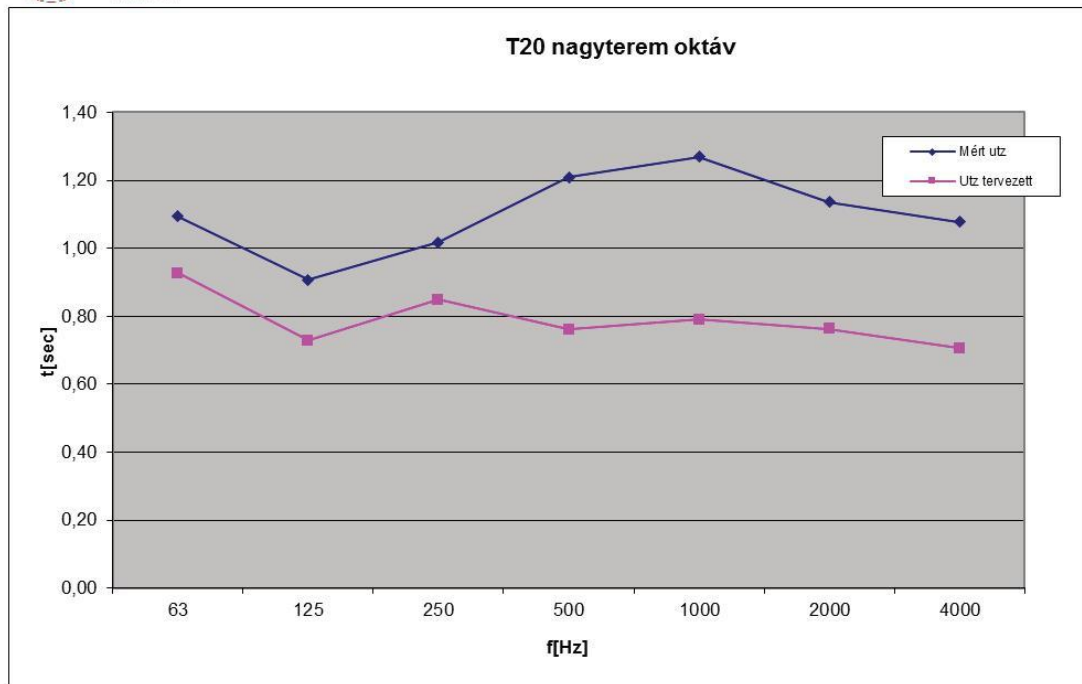
6.1.2. Mélynyelő membrán burkolat. Jele: M

A mélynyelő membrán burkolatot az oldalfalra kell felszerelni.

A famembrán 3-4-mm vastag rétegelt lemezből készül. A membránlemezeket lécvázra szereljük 100mm összvastagságban, a váz mentén körbe 30mm vastag peremszigetelés kerül üveg- vagy ásványgyapotból. A lemezt résmentesen, ragasztva vagy sűrű közőkkel szögelve kell a lécvázra rögzíteni. Vonatkozó rajz a mellékletben AK-WALD-02. számú rajzon szerepel.

Szükséges mennyiség: 18,72m²

A tervezett mélynyelő és szélessávú elnyelő burkolatokkal az utózengési idő a 10. ábra szerint módosul.



10. ábra: A mért és tervezett utózungési idő spektruma az Euritmia teremben

Látható, hogy a tervezett burkolatok beépítésével az utózungési idő csökken és a frekvencia függvényében egyenletesebbé válik.

A közepes utózungési idő: $T_m = 0,78 \text{ sec}$, ami megfelelő.

Emellett a hangtisztasági fok feljavul a kívánt $C(50) = 0 \pm 2 \text{ dB-re}$, a beszédérthetőség (RaSTI) a „megfelelő” kategória felső részébe, illetve a „jó” kategóriába fog esni.

A burkolatokról mennyezeti és oldalfali kiosztást az AK-WALD-03. számú rajzon láthatunk.

6.2. Tantermek

A teremben mért 500Hz-1kHz-es komponens kiugrása a visszaverő felületek magas aránya miatt van. Ezért olyan akusztikai burkolatok alkalmazását javasoljuk, melyek széles sávon működnek hatékony elnyelőként. A meglévő lefestett Heraklith burkolatot az összes tanteremben ki kell cserélni gyárilag festett burkolatra.



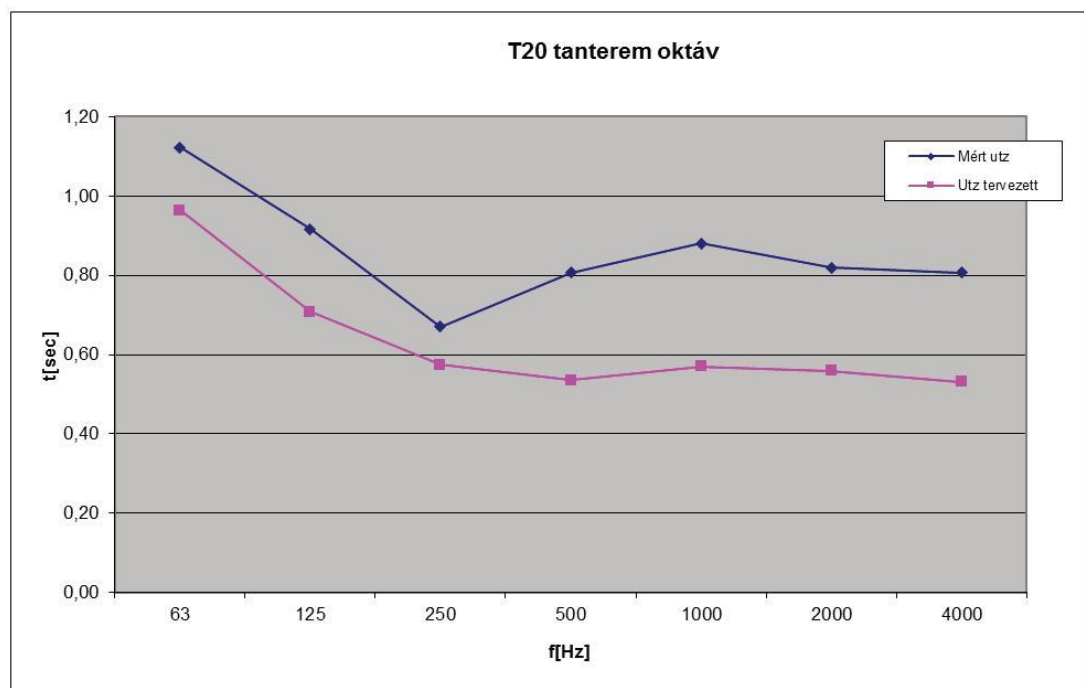
Mivel a mennyezeten a tanterekben nincs elegendő hely a 35mm-es Heraklith felszereléséhez, a **mennyezetre kerülő hangelnyelő vastagsága különbözik a nagy (Euritmia) terem mennyezetére kerülőtől.**

6.2.1. Szélessávú elnyelő. Jele: SZ-2

Heraklith C 15mm 47,5mm-es lécvázra szerelve, a lécvázban 50mm vastag közepes sűrűségű üveggyapot (pl. KNAUF Unifit) van. A 47,5mm-es vázzal a meglévő gipszkarton mennyezettel síkba hozható a Heraklith burkolat. A Heraklith C-t a RAL színskála szerint lehet gyárilag festetten rendelni, így esztétikus megjelenést lehet biztosítani a terekben anélkül, hogy az anyag hangelnyelését rontanánk. Vonatkozó rajz a mellékletben AK-WALD-01. számú rajzon szerepel.

Szükséges mennyiség: 27m²

A tervezett burkolatokkal az utózengési idő a 11. ábra szerint módosul.



11. ábra: A mért és tervezett utózengési idő spektruma a tanteremben



Látható, hogy a tervezett burkolatok beépítésével az utózungési idő csökken és a frekvencia függvényében egyenletesebbé válik.

A közepes utózungési idő: $T_m=0,55\text{sec}$, ami megfelelő.

A beszédérthetőség (RaSTI) tovább fog javulni a „jó” kategóriában.

7. Összefoglalás

A Kékvölgy Waldorf Iskolában a tantermekben és az Eurytmia teremben teremakusztikai problémát észleltek, ezért felkérték az Arató Akusztikai Kft-t, végezzen teremakusztikai méréseket, tárja föl a problémát és adja meg a javítási lehetőségek irányát.

Eurytmia terem

- az impulzusválaszokból látszik, hogy a direkthangot erős reflexiók kísérik, változó intenzitással
- a közepes utózungési idő magas
- az utózungési idő egyenetlen, kiugróan magas 500Hz-en és 1kHz-en
- az energia lecsengése mélytartományban nagyon egyenetlen
- a hangtisztasági fok alacsony
- a beszédérthetőségen javítani kell

Tanterem

- az impulzusválaszokból látszik, hogy a direkthangot erős reflexiók kísérik, változó intenzitással
- a közepes utózungési idő magas
- az utózungési idő egyenetlen, kiugróan magas 500Hz-en és 1kHz-en

A felsorolt akusztikai hibák javításához az Eurytmia teremben $66,68\text{m}^2$ -nyi szélessávú és $18,72\text{m}^2$ -nyi alacsonyfrekvenciás hangelnyelő burkolat beépítése szükséges, a tanterem esetén 27m^2 -nyi szélessávú hangelnyelő burkolat beépítése szükséges. Az Eurytmia terem esetén szélessávú elnyelők mennyiségének egy részét az oldalfalakra, másik felét a meglévő lefestett mennyezeti hangelnyelők helyére kell felszerelni. A nagyteremben a hangelnyelő membránt az oldalfalra kell szerelni.



A tanteremben a meglévő lefestett Heraklith paneleket ki kell cserélni gyárilag festett panelekre.

Budapest, 2016. június 10.

Borsiné Arató Éva

Borsiné Arató Éva
akusztikus szakértő
SZÉS 4. 01-10069

Borsi Gergely

Borsi Gergely
akusztikus mérnök
zaj- és rezgésvédelmi szakmérnök

3. FELTÁRÁS

2019.07.30. 9:00

Kékvölgy Waldorf Iskola – tervezői egyeztetés

EMLÉKEZTETŐ

Tárgy: Kékvölgy Waldorf Iskola – hanggátlás, hangelnyelés - leendő első osztályos terem

Dátum: 2019.07.30 9:00-11:00

Jelen vannak:

Arató Éva – Arató Kft.

Borsi Gergely – Arató Kft.

Valkai Csaba – építész tervező

Horváth Mónika - szülő

Jelenlévők a fenti tárgyban, mai napon egyeztetést tartottak.

Az egyeztetés általános összefoglalóval kezdődött, amely során Arató Kft. képviselői és Valkai Csaba visszattekintettek a 2012-es tervezési/kivitelezési és 2016-os évben végzett szakvéleményezési/szakértési munkákra.

A 2012. évi kivitelezés során derült fény arra (mennyezeti gipszkarton rétegek kivitelezése közben), hogy a terem „cseng-bong”, ezért Valkai Csaba felkérte az Arató Kft-t az akusztikai felülvizsgálatra. Az 1. sz. *mellékletben* szereplő eredeti, kiviteli rétegrend módosult, gipszkarton mennyezeti sávok lecserélésre kerültek Heraklith szigetelésre. A módosított rétegrendről nem készült utólag rajz. A most megvalósult rétegrend akusztikus tervezővel folytatott telefonos egyeztetéssel alakult ki, művezetés keretében (azaz, amikor Valkai Csaba tapasztalta a problémát, telefonon egyeztetett Arató Kft. képviselőjével (Arató Éva) és ő megmondta, mit kell tenni). Jegyzőkönyv, naplóbejegyzés Valkai Csaba tudomása szerint nem készült. **Kérdés Kivitelező, Iskola felé. Készült a módosításról?**

Valkai Csaba jelzése szerint a tervezés és maga a kivitelezés is gyorsítottan történt, óriási tempóban, a szeptember 01-i tanítás megkezdésének tarthatósága érdekében. Valkai Csaba a megvalósult mennyezeti rétegrendre vonatkozóan nem tudott pontos információval szolgálni, mivel nem talált sem megvalósulási tervet, sem minősítést, semmilyen dokumentációt, amely alátámasztaná a tervezett rétegrend megvalósulását. Kezdeményezte már korábban is a helyszíni feltárást, amely guruló állványzat hiányában nem tudott megvalósulni. (Horváth Mónika szülő az állványzat biztosítását augusztus végi időszakra felajánlotta.)

Valkai Csaba 2012-ben és a későbbiekben is a Knauf Insulation Gyártó cégtől azt az információt kapta, hogy a Heraklith lefesthető utólagosan is. (A Knauf Insulation Gyártó cégen belül mai is ellentmondások a vélemények a Heraklith táblák utólagos lefestéséről.) Az elkészült módosított rétegrendben szereplő Heraklith hangszigetelő táblákat Valkai Csaba építész kérésére (színharmonizálás miatt) a Kivitelező elmondása szerint szórt technológiával lefestette (korábbi telefonon történt egyeztetésen elhangzott információ).

Az Iskola felé az a jelzés érkezett, hogy a nap végére a termekben a felhangok, a visszhangok megterhelést okoznak a gyerekeknek; az osztálytanítók panaszkodtak arra, hogy nap végére fárasztó számukra a beszédhang.

Az Iskola 2016-ban felkérte az Arató Kft-t a tantermek és az Eurytmia terem vizsgálatára, amelyről írásos szakvélemény született (2016.07.18 – a szakvéleményen szereplő dátum 2016.06.10).

A mérés az Eurytmia terem felől nézve az első tanteremben történt (mellékhelyiségek melletti terem), a tanterem teljesen üres volt, mesterségesen generált hangterheléssel.

A mérés kiértékelése Svéd szabvány alapján történt, mivel Magyarországon az akkor hatályos szabványok, rendeletek nem tartalmaztak teremakusztikai követelményeket.

Besorolás szerint lehet A – legszigorúbb: 0,5, B /C – közepes: 0,6, D – legenyhébb: 0,8

A mérési eredmények azt mutatták, hogy a tanteremben az utóhangési idő 0,79 sec, a legalacsonyabb kategória; beszédérthetőségi index 0,68, amely a „jó” kategóriába sorolja a teret

Eredmények:

„Tanterem

1. az impulzusválaszokból látszik, hogy a direkthangot erős reflexiók kísérik, változó intenzitással
2. a közepes utóhangési idő magas
3. az utóhangési idő egyenetlen, kiugróan magas 500Hz-en és 1kHz-en”

(forrás: Arató Kft. véglegesen kiadott szakvéleménye, kelt 2016.06.10 (2016.07.18)).

Valkai Csaba jelzése, hogy a tervezési programban nem szerepelt különleges akusztikai igény, aminek meg kellett felelni. A terem jelenlegi állapotukban is megfelelnek a fent jelzett szabványnak (mért utóhangési idő = $0,79 < 0,80$ (D besorolás)).

A szakvéleményben a tantermekre is készült javaslat, szöveges és rajzi melléklettel is.

„A felsorolt akusztikai hibák javításához az Eurytmia teremben 66,68m²-nyi szélessávú és 18,72m²-nyi alacsonyfrekvenciás hangelnyelő burkolat beépítése szükséges, **a tanterem esetén 27m²-nyi szélessávú hangelnyelő burkolat beépítése szükséges.** Az Eurytmia terem esetén szélessávú elnyelők mennyiségének egy részét az oldalfalakra, másik felét a meglévő lefestett mennyezeti hangelnyelők helyére kell felszerelni. A nagyteremben a hangelnyelő membránt az oldalfalra kell szerelni.

A tantermekben a meglévő lefestett Heraklith paneleket ki kell cserélni gyárilag festett panelekre.”

(forrás: Arató Kft. véglegesen kiadott szakvéleménye, kelt 2016.06.10 (2016.07.18)).

Rajz: lsd. 2. sz. melléklet

2016. őszén, a szakvélemény kiadását követő időszakban, az akkori első osztályteremben (mérési hely) utólagos hangcsillapító paneleket helyeztek el, melyet Jörg Rudolf Korbuly Ádámmal egyeztetett (forrás: Jörg Rudolftól a Fenntartónak írt, továbbított e-mail, October 15, 2016, 06:43:47 PM GMT+2), amelynek rétegrendje 8 mm OSB lap + piramis alakú fekete szivacs + fehér szövet (fekete szín tompítására). Fotók korábban rendelkezésre bocsátásra kerültek Arató Kft. részére is. A kapott információk alapján pozitív hatást értek el, de ennek ellenőrző mérése nem történt meg.

Jelenleg így 1 osztályteremben van utólagosan kivitelezett hangelnyelő, a többi 3 osztályban a festett Heraklith található.

Az egyeztetést Horváth Mónika szülő kezdeményezte, mivel a leendő első osztályos teremben is szükséges lehet utólagos hangelnyelés. A korábbi, 2016-os utólagos kivitelezésről, annak eredményességének igazolásáról nem készült ellenőrző mérés és nem a szakvéleményben javasolt megoldás került kivitelezésre, így merült fel annak a kérdése a Szülőben, hogy ha készül bármi is, akkor az műszakilag megalapozott/megtervezett, többféle megvalósítási verzió költségének/hatékonyságának megvizsgálásával történjen. Ez alapján döntsön az Iskola/Szülői Közösség a leendő első osztályos terem hanggátlásáról. A költségtényező egyértelműen befolyásoló tényező, mivel a korábban kivitelezett rendszer is Szülői összefogásból, támogatásból készült.

Előzetesen több körös levelezés folyt Valkai Csabával, Borsi Gergellyel, Jörg Rudolffal (szülő), Szabados Ákossal (iskolaittár), Brassnó Lászlóval (Knauf), Tanyi Lóránttal (Lambda System – forgalmazó), www.hangcsapda.hu üzemeltetőjével (szivacs forgalmazó) is.

Az elmúlt időszakban kapott információk összefoglalva:

1. A 2016-os Arató Kft. által végzett mérésekkel kapcsolatban Tomkó Emőkével és Valkai Csabával tartotta a kapcsolatot Arató Kft.
2. A 2016.06.10-én kelt Arató Kft. által készített szakvélemény valós kiadási dátuma 2016.07.18, amely sajnálatos módon nem került javításra az anyagban. Arató Kft. a véglegesen kiadott szakvéleményt Horváth Mónika részére megküldte, Horváth Mónika azt továbbította az Iskola (Szabados Ákos) részére, az Arató Kft-től megkapott „alapadat”-ként felhasznált pdf építész tervdokumentációval egyetemben
3. A Heraklith táblák mögött illetve a táblák vastagsága tekintetében nem tudni, hogy pontosan milyen rétegrend valósult meg a mennyezeten; egyéb helyeken ismert a rétegrend
4. Az Iskola által organizált fehér festés nem érinti a mennyezetet, csak mindig a leendő első osztályos terem falát és a folyosót (egyeztetésen kívüli, utólagos információ Szabados Ákostól)
5. Knauf Insulation (Heraklith gyártó) nem zárkózik el a Heraklith táblák utólagos festésétől „házilag”, de annak speciális technikája van, speciális festékekkel, alkalmazási technológiával. A színezett Heraklith-ot a Knauf is szórt technológiával, utólagosan festi, ennek felára nagyságrendileg +33%. Létezik anyagában fehér Heraklith, az fehér cement alapanyagú. Járatos és kapható termékek (B besorolás)
 - a. Heraklith 25x600x2000 mm 2980 Ft/m² + áfa (48 m²/raklap)
 - b. Heraklith 35x600x2000 mm 3310 Ft/m² + áfa (34,8 m²/raklap)
 - c. szálal anyag szigetelés: Knauf MPN Plus 037 50x600x1200 mm 375 Ft/m² + áfa (11,52 m²/csomag)
6. Korábban kapott Heraklith C árak „B” besorolásúak. Az „A” (tűzgátló) besorolásúra ill. fehér cement alapúra még nem érkezett ajánlat
7. A jelenleg szükséges Heraklith mennyiség annyira kevés, 27 m²/tanterem (min. rendelhető mennyiség 4 raklap, 48 m²/1 raklap), hogy egyelőre a Knauf is, Lambda System is azt írta, hogy nem tudja kiszolgálni ezt a mennyiséget
8. Az utólagosan kivitelezett hangfogóknál a szivacs pontos vastagságára, terméktípusra, éghetőségi paramétereire nincs információ, termékbizonylatot nem láttak a Felek

9. Oktatási- nevelési épületekben a belső hő- és hangszigetelő anyagok A1 és A2 minősítésűek lehetnek (Valkai Csabán keresztül tűzvédelmi szakértőtől) a hatályos OTSZ szerint. Szakértő neve, elérhetősége: Kerényi Áron: 20_254 6327
10. A www.hangcsapda.hu oldalon létezik és forgalmaznak égésgátolt szivacs terméket is. Minősítése itt: <http://www.hangcsapda.hu/fotky5410/gsgtolt-szivacs-logo-nlkl-j.pdf> Kérdéses, hogy megfelel-e A1 ill. A2 minősítésnek.
11. Szivacs esetén nem célszerű öntapadós kivittelt vásárolni, célszerűbb ragasztani közvetlenül falra (festés miatt ez nem megvalósítható) vagy felkasírozni fogadó felületre.
12. Lényeges, hogy utólagos hanggátlásnál a fül ill. beszédmagasságban, oldalfalon elhelyezett hanggátlás a legcélszerűbb megoldás (az Iskola esetében ez nehézkes, mert kb. 2,5 m-ig az oldalfalakat nem lehet szabaddá tenni) VAGY mennyezetten. **+3,0-4,0 m-en nem tanácsos elhelyezni, mert nem megfelelően tölti be akusztikai szerepét.**
13. Horváth Mónika 2019.07.29-én családjával felmérni volt a leendő első osztályos teremben. Próbát tettek magas/mély – halkabb/hangosabb hangokkal mindkét teremben, ahol van hangfogó és ahol nincs. Szabad füllel is érzékelhető volt a változás, tompábbnak, alacsonyabbnak tűnt az utószögési idő. Kérdés volt Arató Kft. felé az egyeztetésen, hogy ez vajon érzéki csalódás-e. Nem érzéki csalódás, biztosan valamilyen szinten működik a hangfogó; ellenőrző mérés támasztja alá az érzékelés hitelességét.
14. Kb. 2 éve elkészült az új ebédlő, ekkor változtak a tűzszakasz határok, új tűzgátló ajtó került beépítésre az Euritmia teremben

Valkai Csaba felhívta a leendő másodikos Osztálytanítót, aki kihangosítva azt mondta, hogy a furulya/líra nem okozott nagyobb zajterhelést, a beszédben érezhető volt, de nem tudta pontosan megfogalmazni, hogy miben okozott nehézséget. Tanított mindkét teremben (ahol van és ahol nincs hangfogó), nagy különbséget nem érzékelt. *Egyeztetésen kívül: Az osztálytanító később visszahívta Valkai Csabát, hogy jelezze, ezek az ő tapasztalásai, lehet, hogy a kollégáinak ettől eltérő van.*

Arató Kft. és Valkai Csaba is a Heraklith-ot támogatná, de fent jelzettek nehézséget okoznak (beszerzés, szín, ár). A korábban kivitelezett szivacsos rendszer alapján, mint nem elvetendő megoldás, Horváth Mónika egyeztetett egy forgalmazóval (hangcsapda.hu) és letöltötte az egyes szivacsok görbéit, azokat megküldte Arató Kft. részére is.

Borsi Gergely a megküldött mérési görbék alapján megvizsgálta és megállapította, hogy mély frekvenciatartományban nem jól működnek, csak bizonyos szűkebb, magasabb frekvenciahatárok között. Ezzel szemben a Heraklith mély tartományban is jobban működik; Heraklith beépítése esetén az utószögési idő görbéje jobb tartományi értékbe esik (az utószögési idő nagyobb mértékben csökkenhet) és jobban „kisimul”, azaz a közepes utószögési idő csökken.

A számítások alapján a javasolt minimális vtg. 8 cm, de inkább 11 cm. Szükséges, nagyságrendi mennyiségek:

- 8 cm vtg. szivacs – kb. 45 m²
- 11 cm vtg. szivacs – kb. 40 m²

Az előzmények, előzetes információk és az egyeztetésen elhangzottak alapján Jelenlévők az alábbiakban állapodtak meg:

1. Fel kell tární a meglévő mennyezeti rétegrendet, ezt az augusztus közepi-végi terem munkálatok során meg lehet oldani, legkésőbb a 2. pontban jelzett mérésig
2. Mindenképpen szükséges mérés az utólagosan kivitelezett hangfogókkal felszerelt teremben (itt készült az ún. „0” mérés is – erre ajánlatot várnak Arató Kft-től. A leghamarabbi mérési időszak: 2019. augusztus 26-30 között vagy 2019. szeptember eleje-közepe.
3. Az akusztikai mérési eredmények kiértékelése után a lehetséges műszaki tartalmat (anyagok kiválasztása, megfelelősége, ára, beszerezhetősége, stb.) véglegesíteni lehet, amelyhez költségek/munkák rendelkeznek, tehát anyagi és kivitelezési szempontból is mérhetőek lesznek
4. Döntés/kivitelezés után záró ellenőrző mérés – erre is ajánlatot várnak Arató Kft-től.

Egyeztetésen kívüli jelzés:

A beépítendő anyagokat mindenképpen be kell sorolni, meg kell adni az alap paramétereket (pl. tűzgátlás). Munkavédelmi szakember jelzése szerint tűzgátlással kapcsolatos rendszert csak erre vonatkozó tűzvédelmi szakvizsgálóval rendelkező személy végezhet (ez már a későbbi kivitelezést érinti), aminek hiánya a Hatóság részéről azonnali pénzbüntetéssel jár.

Horváth Mónika az egyeztetés után Lambda System-mel felvette újra a kapcsolatot. Lambda részéről több megoldás is felmerült:

1. A Heraklith-nál árban nem kedvezőbb, de perforált gipszkartonnal (légréssel+szálas szigeteléssel) szintén lehet javítani a visszhangosságon, ez is szerelhető falra és mennyezetre is.
https://knauf.hu/wp-content/uploads/2018/05/Knauf-D12-1506_HU.pdf

Valkai Csaba javaslata: megfontolandó a meglévő gipszkarton cseréje akusztikus gipszkartonra.

A sok változatú lap közül ezeket tarjuk általában raktáron:

6/18R

8/18R – Akusztikai szempontból ezt javasoljuk! 50mm gyapotot kell mögé tenni! (Arató Kft.)

8/18Q – Akusztikai szempontból ezt javasoljuk! 50mm gyapotot kell mögé tenni! (Arató Kft.)

A lapok ára ~ 4500 Ft/m²+áfa, ezt is CD profilvázra lehet szerelni.

2. A legolcsóbb megoldás egyébként az ásványgyapot kazettás álmennyezet lehetne, bár azt nehéz a meglévő dolgokhoz igazítani (egyszerű kivitelben ronda).

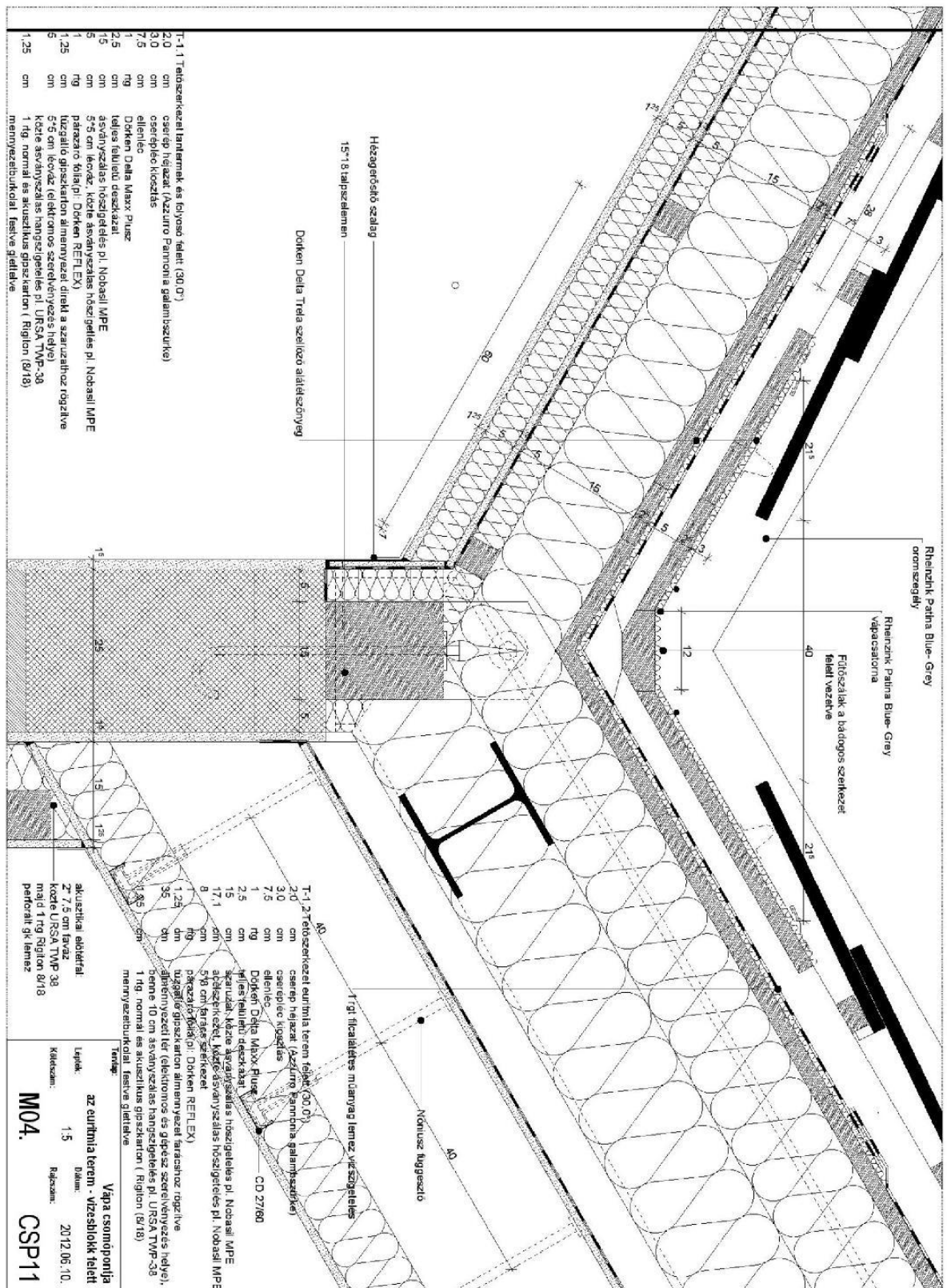
A Csomópontok120610_JAV CSP.pdf tervlapon szereplő T-1.1 vonatkozó csomóponton is az 1. pont szerinti megoldás szerepel, 8/18 akusztikus gipszkarton

Mellékletek:

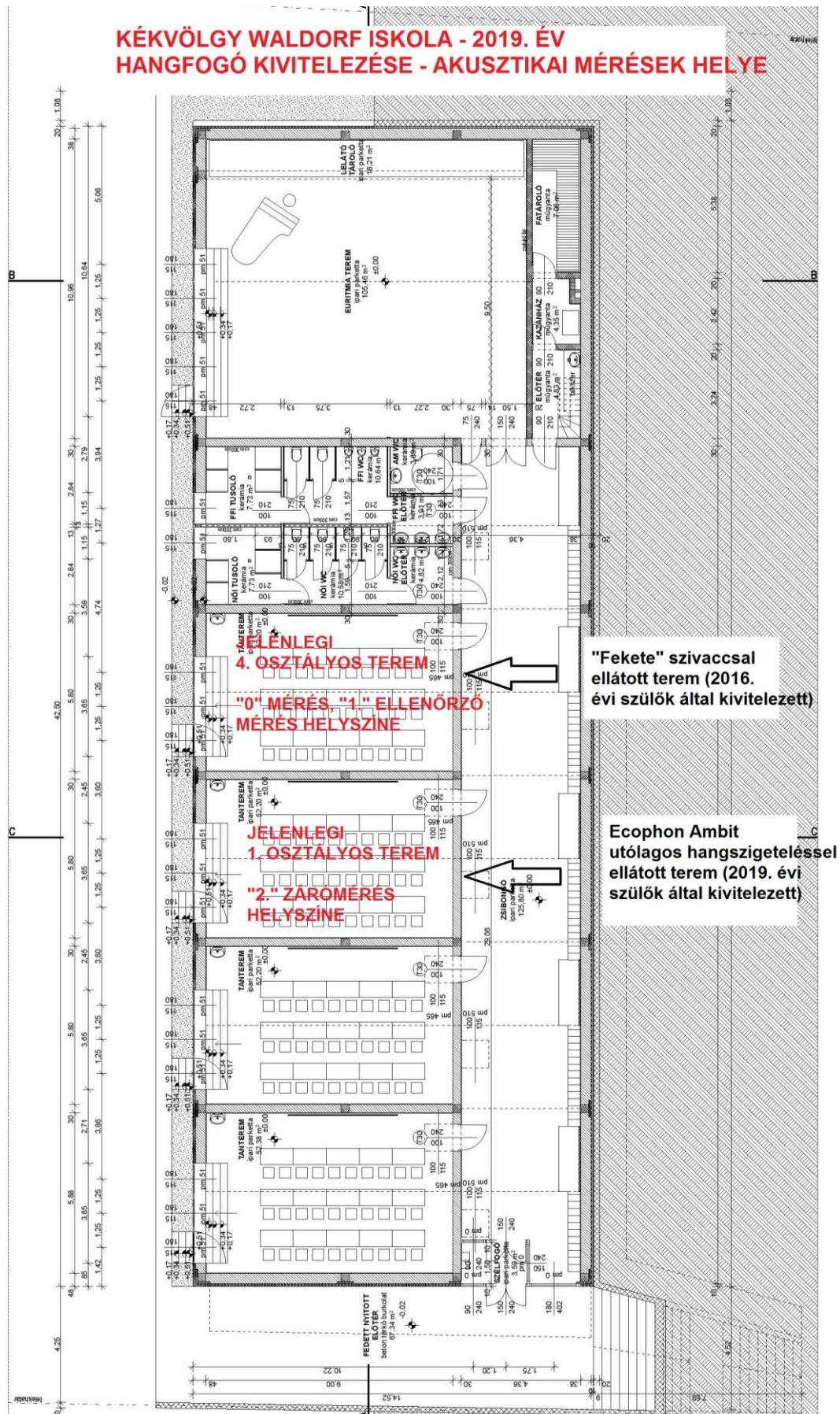
1. Csomópontok120610_JAV CSP.pdf
2. AK-WALD-01-Heraklith burkolat.pdf

Emlékeztetőt összeállította: Horváth Mónika

1. sz. melléklet



4. MÉRÉSEK HELYSZÍNE (alaprajz)



5. „1” ELLENŐRZŐ MÉRÉS A 4. OSZTÁLYOS TEREMBEN („szivacsos terem”)

2019.09.23 Arató Kft. (akusztikai) ellenőrzése, szakvélemény



Akusztikai szakvélemény

a Kékvölgy Waldorf Iskola termeinek utólagos teremakusztikai
javításáról és a további javítási lehetőségeiről

2019. szeptember 23.

Készítette:	Borsiné Arató Éva	akusztikus szakértő
	SZÉS 4. 01-10069	
	Borsi Gergely	akusztikus szakértő
	A-ÉP; SZKV-1.4. 01-15914	

2019.11.26



Tartalomjegyzék

1. Előzmények	3
2. Teremakusztikai feladatok	3
3. Előírások és vizsgált paraméterek	4
4. Az elvégzett teremakusztikai mérések és eredmények	6
4.1. A mérés eszközei	6
4.2. A mérés helyszíne	7
4.3. Mérési eredmények	7
5. A mért eredmények összefoglaló értékelése	11
6. Javaslatok a többi tanterem teremakusztikai paramétereinek javítására	12
6.1.1. Ecophon Industry Ambit	12
7. Összefoglalás	13
1. sz. melléklet: elrendezési vázrajz (M=0)	15



1. Előzmények

A Pilisszentlászlói Kékvölgy Waldorf Iskola Hrabina utcai épületében 4 tanterem van. 2016-ban a helyiségekben rossz teremakusztikai körülményekre panaszkodtak, „visszhangos”, kellemetlen a termekben lenni – így fogalmaztak az ott dolgozók.

A tantermek alapterülete $\sim 52\text{m}^2$, térfogatuk $\sim 300\text{m}^3$.

2016-ban az iskola vezetősége felkérte az Arató Akusztikai Kft-t, végezzen teremakusztikai méréseket, tárja föl a teremakusztikai problémák okát és készítsen megoldási javaslatot.

Az Arató Akusztikai Kft. 2016. 06. 10-én (illetve később 2016. 07. 18-án) leadott egy szakvéleményt, melyben megoldási javaslatot is írtak.

Az iskola az egyik helyiségben – a 2016-os szakvéleménytől eltérően – kb. 22m^2 -nyi, $1\text{m} \times 1\text{m}$ -es, 30mm vastag piramis alakú szivacsot épített be az oromfalakra, fehér pamutvászon anyagfedéssel, melyek mögé hordozóként OSB lapot tett.

A tanév megkezdése előtt az Arató Akusztikai Kft-t felkeresték a leendő diákok szülei, hogy ellenőrizzék, az elkészült falburkolat megfelelő teremakusztikai környezetet teremtett-e a helyiségben, illetve jó-e az a megoldás, amelyet kiviteleztek, vagy a későbbiekben más javítási lehetőségeket kell kivitelezni.

A szülők ezért felkérték az Arató Akusztikai Kft-t, végezzen ellenőrző méréseket a már elkészült helyiségben, és készítsen szakvéleményt a javulás mértékéről, illetve a javítási lehetőségekről.

A mérésekre 2019. augusztus 30-án került sor az elkészült helyiségben (mostani 4-es terem), különböző mérési körülmények között. Mérési körülmények:

1. TELJES BERENDEZÉSSSEL (egyszemélyes padokkal és székekkel)
2. RÉSZLEGES BERENDEZÉSSSEL (padok és székek nélkül).

2. Teremakusztikai feladatok

A teremakusztikai felmérés és szakvélemény készítése az alábbiakból áll:

a.) A jelenlegi teremakusztikai állapotok felmérése MLS mérési technika alkalmazásával



Az elkészült tanteremben több hangforrás és vevő mérőpárban (ugyanazokban a pontokban, mint 2016-ban) impulzusátvitel mérése MLS jellel. Az impulzusválasz alapján a termék akusztikai paramétereinek meghatározása. A vizsgált paraméterek értelmezése a 3. pontban található.

b.) A teremakusztikai követelmények meghatározása

A helyiségek funkcióinak és adottságainak a figyelembe vételével az általános teremakusztikai paraméterek ajánlott értékeinek meghatározása.

c.) Javításokat célzó teremakusztikai megoldási javaslatok megadása

A lehetséges akusztikai felületek típusának és mennyiségének leírása.

3.Előírások és vizsgált paraméterek

A teremakusztikai méréseket az érvényben lévő MSZ EN ISO 18233: „Akusztika. Új mérési módszerek alkalmazása az épület- és teremakusztikában.” című szabvány szerint végeztük el.

Teremakusztikai követelményekre Magyarországon az „5/2019.(IX.16.) ÉPMI Akusztika. Helyiségek akusztikai komfortja. Követelmények.” című ÉMI irányelv tartalmaz értékeket.

Helyiség típus	Tervezési alapállapot T_m [sec]	Fokozott akusztikai minőség: T_m [sec]
Foglalkoztató bölcsődében, óvodában	0,7	0,5
Tantermek	0,9	0,7

1. táblázat: A különböző helyiségtípusokra ajánlott közepes utózenési idők

2016-ban még nem volt érvényes magyar szabályozás a teremakusztikai paraméterekre vonatkozóan. Akkor a svéd SS 02 52 68 számú, „Acoustics- Sound classification of spaces in buildings – Institutional (healthcare) premises, rooms for education, day centres and after school centres, rooms for office and hotels” szabvány alapján határoztuk meg a követelményeket.

Ebben a szabványban helyiségenként ír elő ajánlott utózenési idő értékeket az alábbi táblázat. Három minőségi fokozatot különböztet meg, „A” a legszigorúbb, „B/C” a közepes és a „D” a legenyhébb.



Helyiség típus	Utózungési idő: T_m [sec]		
	"A" csoport	"B/C" csoport	"D" csoport
Tantermek	0,5	0,6	0,8

2. táblázat: Teremakusztika –ajánlott utózungési idő különböző helyiségekben

Látható, hogy a svéd szabályozás valamelyest szigorúbb a magyarországi előírásnál. A szakértésnél mind a két előírást figyelembe vesszük.

A megadott közepes utózungési idő értékek berendezetlen, üres termekre érvényesek. Szakvéleményünkben a fokozott akusztikai minőséget fogjuk javasolni. Mivel meglévő épületről és termekről van szó, a fizikai méretek adottak, valamint figyelembe kellett venni a gazdaságossági szempontokat is.

Vizsgált akusztikai paraméterek

Impulzusválasz

Zárt tér szélessávú gerjesztésre adott válasza. Az impulzusválasz önmagában is sok információt tartalmaz, a direkt hang után beérkező reflexiók mennyiségéből, nagyságából különböző akusztikai jelenségekre lehet következtetni. Kedvező hangzásra utal, ha az impulzusválasz képe egyenletes lecsengést mutat, tehát nincsenek kiemelkedő reflexiók.

Utózungési idő

A teremakusztikai viszonyok alapvető jellemzője a helyiségek utózungési ideje. Nemzetközi megállapodás szerint azt az időt nevezzük utózungési időnek, amely alatt a hangforrás elhallgatása után, a zárt térben a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken. Jelölése: T_{60} [sec].

A helyiségre jellemző utózungési időt a gyakorlatban a lecsengési görbe -5 dB és -25 dB/ -35 dB pontjainak időbeli távolsága alapján határozzuk meg.

Az utózungési idő a frekvencia függvényében változik. A különböző célú termekben nem teljesen azonos az „ideális” a frekvencia menet, de alapvetően az a jó, ha az utózungési idő nem változik a frekvencia függvényében. Különösen fontos, hogy az egymás melletti frekvencia sávokban nem legyen nagy a különbség.



Közepes utózengési idő

A zárt helyiségekre vonatkozó általános jellemző, ami a különböző frekvenciákon mért/számított utózengési időkből átlagolható. Jelölése: T_m [sec].

A közepes utózengési idő számítása:

$$T_m = \frac{T_{60}(500\text{Hz}) + T_{60}(1\text{kHz})}{2}$$

ahol a $T_{60}(f)$ az f frekvencián mért/számított utózengési idő.

Ajánlott érték:

Tantermek: $T_m = 0,7 \text{ sec.}$

Beszédérthetőségi index. Jelölése: STI

Beszédcélú kialakítás esetén a legfontosabb paraméter a STI. Az ún. *Beszéd átviteli index* térbeli (terembeli) eloszlását vizsgáljuk (*STI - Speech Transmission Index*). Ennek az elve röviden a következő. Ha egy hangforrás által keltett zajt alacsonyfrekvenciásan modulálunk, a mikrofonba érkező hang moduláltságának mértéke a reflexiók, és a háttérzaj következtében csökken. Azt, hogy mekkora hányada maradt meg a modulációnak, a *modulációs átviteli függvény* írja le. Ezt hét oktávsávra számolva kapjuk meg a *modulációs átviteli indexet*. Ezen hét érték súlyozott átlaga az RaSTI.

Az index 0 és 1 közötti értékeket vehet fel, a kettő közötti átmenetet felosztva a következő kategóriákat kapjuk:

0,75 – 1,00	kiváló
0,60 – 0,75	jó
0,45 – 0,60	megfelelő
0,30 – 0,45	rossz
0,00 – 0,30	elfogadhatatlan

A termekben a „jó” kategória felső értékének elérése a cél.

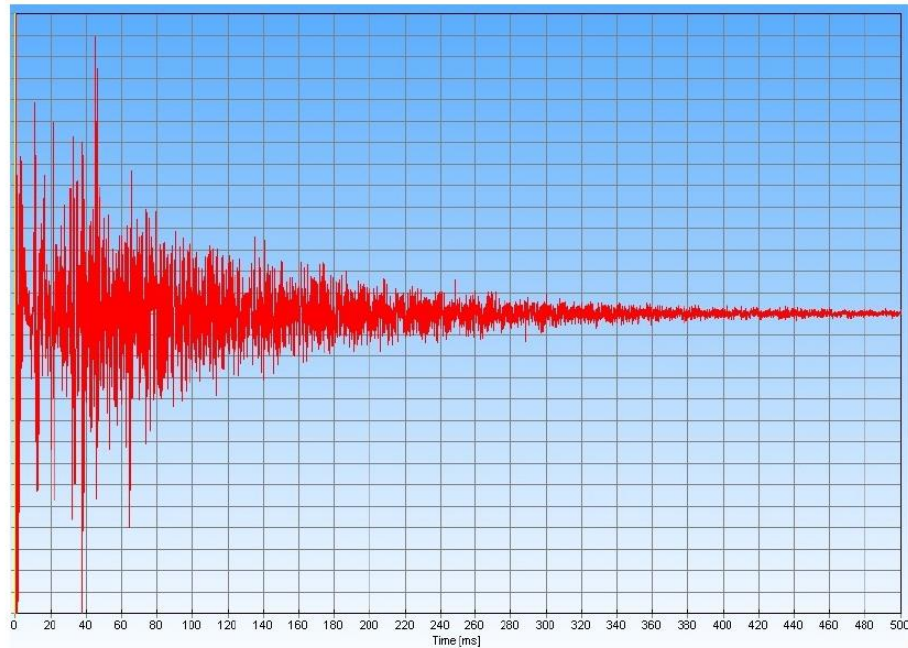
4. Az elvégzett teremakusztikai mérések és eredmények

4.1. A mérés eszközei

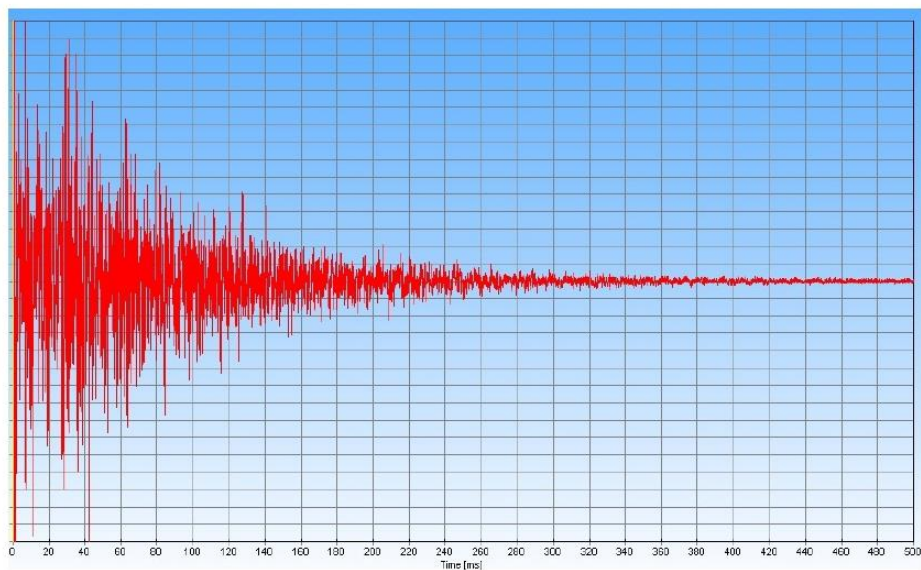
A teremakusztikai mérések az MSZ EN ISO 18233:2006 szabvány szerint történtek.



A méréseket 3 mérőpont-párban, üres és berendezett (asztalok és székek a helyükön) teremben végeztük el. Az oldalfalakon kb. 22m^2 -nyi szivacsos elnyelő van. Az összehasonlíthatóság kedvéért bemutatjuk a 2016-os eredményeket is (ekkor csak üres teremben végeztünk méréseket). A 2. - 4. ábrákon egy-egy jellemző mért impulzusválaszt mutatunk be.

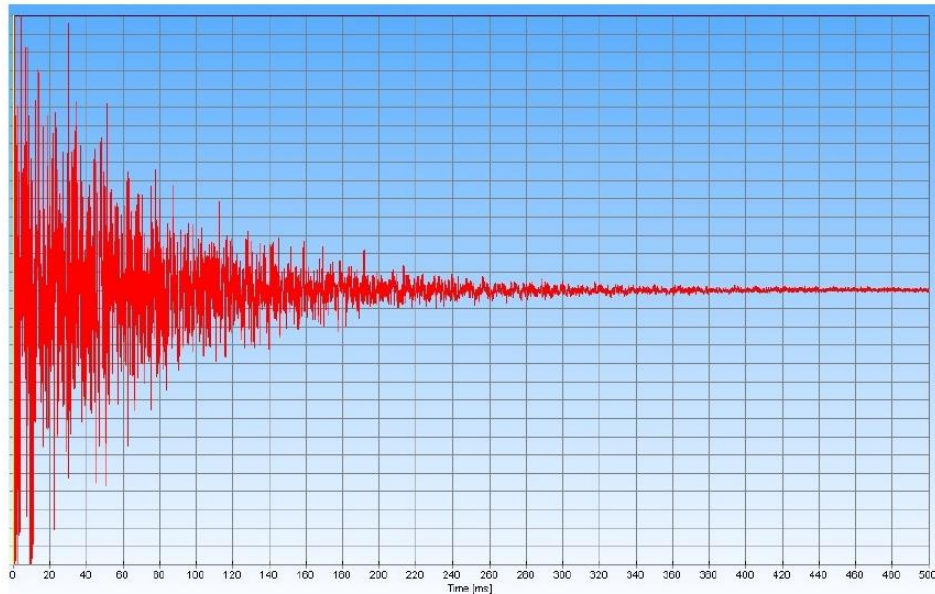


2. ábra: Mért impulzusválasz a H1M1 mérőpárban – eredeti, üres állapot (2016-os mérés)





3. ábra: Mért impulzusválasz a H1M1 mérőpárban – javított állapot, üres terem (2019. 08. 30-i mérés)



4. ábra: Mért impulzusválasz a H1M1 mérőpárban – javított állapot, berendezett terem (2019. 08. 30-i mérés)

Ebben az esetben az látható az impulzusválaszokból, hogy míg korábban a direkthangot kb. 40-60msec-mal később erős intenzitású reflexió követi, mely jelentősen csökkenti a beszédérthetőséget. A hangelnyelő beépítésével a reflexiók kiegyenlítettebbek lesznek. Emellett az is látszik, hogy a berendezett helyiségben egyenletesebb a lecsengés.

A mért impulzusválaszból számított további teremakusztikai paraméterek:



Utózengési idő:



5. ábra: Az elkészült teremben mért utózengési idő

Az 5. ábra mutatja a különböző szituációkban mért utózengési időket. Ezekből az eredményekből az látható, hogy az oldalfalakon alkalmazott szivacsos hangelnyelő burkolat 250Hz-től fölfelé hatékonyan működik hangelnyelőként. Az is látszik továbbá, hogy a bútorok - ha minimálisan is, de - mélyfrekvencián hangelnyelőként működnek

Közepes utózengési idő: T_m

A mért értékekből számított átlagos közepes utózengési idő:

Eredeti üres állapot (2016):

$$T_m = 0,83 \text{ sec}$$

Javított üres állapot (2019):

$$T_m = 0,66 \text{ sec}$$

Javított berendezett állapot (2019):

$$T_m = 0,61 \text{ sec}$$



Látható, hogy a beépült hangelnyelő burkolattal elérték az ajánlott utózengési idő értéket. Ez szubjektíven is érzékelhető volt, a teremben már jóval optimálisabb akusztikai körülmények vannak.

Beszédérthetőségi index (STI)

A mért beszédérthetőségi index:

Eredeti üres állapot (2016):

STI = 0,69

Javított üres állapot (2019):

STI = 0,72

Javított berendezett állapot (2019):

STI = 0,73

Látható, hogy a „jó” kategória alsó szegmenséből a „jó” kategória felső traktusába sorolja a termet. Amennyiben az oldalfalra is kerültek volna hangelnyelő burkolatok, feltételezhetően a teremben a beszédérthetőség még jobb eredményt mutatna.

5. A mért eredmények összefoglaló értékelése

A mért paraméterek alapján az alábbiak állapíthatók meg:

1. az impulzusválaszokból látszik, hogy az eredeti mérésakor tapasztalt direkthangot követő erős reflexiók kiegyenlítődtek, egyenletesebb a lecsengés
2. a közepes utózengési idő jelentősen csökkent, a nemzeti ajánlás értékeit kielégíti
3. a beszédérthetőség javult



6. Javaslatok a többi tanterem teremakusztikai paramétereinek javítására

Látható, hogy a megépített hangelnyelő burkolat, mely az oldalfalra került, jelentősen javította a tanterem akusztikai paramétereit. Véleményünk szerint, ha a többi teremben is ugyanezt a módszert alkalmazzák, akkor a javulás mértéke elegendő lesz.

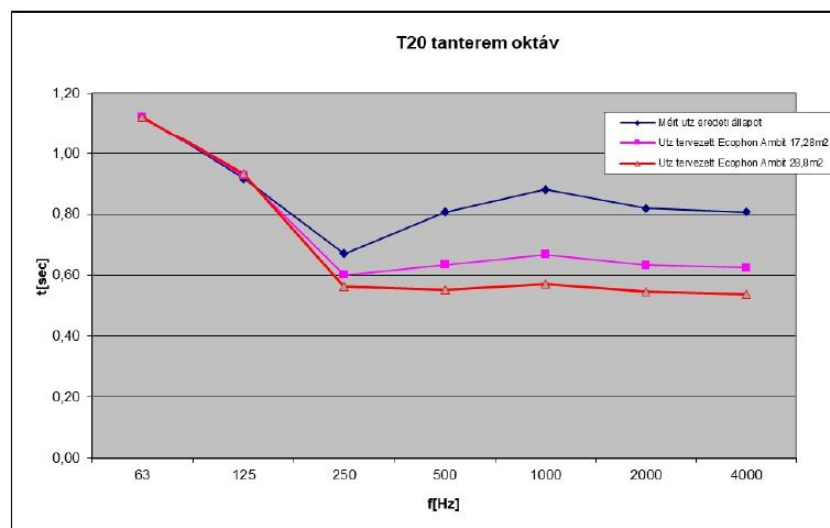
Ugyanakkor felmerült egy hatékonyabb, esztétikusabb hangelnyelő burkolat alkalmazása. Megrendelői kérésre kiszámoltuk, hogy ha azt a burkolattípust alkalmazzák az oldalfalakon, mekkora változás várható az egyes helyiségekben. A kiválasztott hangelnyelő burkolat típusa: Ecophon Industry Ambit.

6.1.1. Ecophon Industry Ambit

Gyapotalapú, szélessávú hangelnyelő burkolat, melyet elsősorban mennyezeten alkalmaznak, de beépíthető oldalfalra is. Saját szerelő rendszerével esztétikus megjelenést biztosít a helyiségben. A táblák mérete: 1200*600*40mm. Megrendelhető szín: fehér.

A megbízók 3 illetve 5 doboznyi termék megrendelésén gondolkoznak. Egy dobozban 5,76m²-nyi anyag van. Számításokat végeztünk mindkét esetre vonatkozóan (mi történik, ha 3 illetve 5 doboznyi hangelnyelőt építenek be).

A tervezett burkolati mennyiségekkel az utózengési idő a 6. ábra szerint módosul (a számításokat üres teremre vetítve végeztük el).



6. ábra: A mért és tervezett utózengési idő spektruma a tanteremben



Látható, hogy a tervezett burkolatok beépítésével az utózungési idő jelentősen csökken.

A közepes utózungési idő:

17,28m²-nyi burkolat: $T_m=0,65\text{sec}$

28,8m²-nyi burkolat: $T_m=0,56\text{sec}$

Ezek a paraméterek még tovább csökkennek a terem berendezett állapotában.

Mindkét mennyiséggel elérhető a nemzeti közepes utózungési idő ajánlás, de a $T_m=0,5\text{sec}$ körüli érték jóval optimálisabb teremakusztikai paramétereket eredményez.

A beszédérthetőség természetesen az utózungési idő csökkentésével javul (a nagyobb mennyiség – 28,8m² - beépítésével elérhető a „kiváló” kategória).

További javulást a beszédérthetőségben akkor lehet elérni, ha a betervezett burkolatokat fül magasságban lehetne elhelyezni az oldalfalakon, de erre nincs lehetőség.

7. Összefoglalás

A Kékvölgy Waldorf Iskola tantermeiben (felső iskola) teremakusztikai problémát észleltek, ezért az egyik teremben hangelnyelő burkolatokat helyeztek el. A többi tanteremben is tervezik az akusztikai paraméterek javítását, és még mielőtt a kivitelezési munkálatokba belefognak, akusztikai szakvélemény készítését tartották szükségesnek a már elkészült tanterem teremakusztikai paramétereire vonatkozóan. Az Arató Akusztikai Kft. méréseket végzett az elkészült tanteremben, és összehasonlította az eredményeket a 2016-ban végzett mérésekkel (amikor még nem volt hangelnyelő burkolat a térben). A következők állapíthatók meg.

- az impulzusválaszokból látszik, hogy az eredeti méréskor tapasztalt direkthangot követő erős reflexiók kiegyenlítődtek, egyenletesebb a lecsengés
- a közepes utózungési idő jelentősen csökkent, a nemzeti ajánlás értékeit kielégíti
- a beszédérthetőség javult



Felmerült, hogy a beépült hangelnyelő burkolat helyett más, esztétikusabb burkolatot helyeznek el. Ezért megvizsgáltuk, hogy az Ecophon Industry Ambitból 17,28m², illetve 28,8m² beépítése esetén milyen változások lesznek. **Egyértelmű, hogy a több hangelnyelő burkolat beépítésével jóval optimálisabb teremakusztikai paramétereket érhetünk el, ezért javasoljuk a több hangelnyelő burkolat beépítését a tantermekben.**

A burkolati kiosztásról az akusztikusokkal egyeztetve a Megbízó készített vázlatrajzot.

Budapest, 2019. szeptember 23.

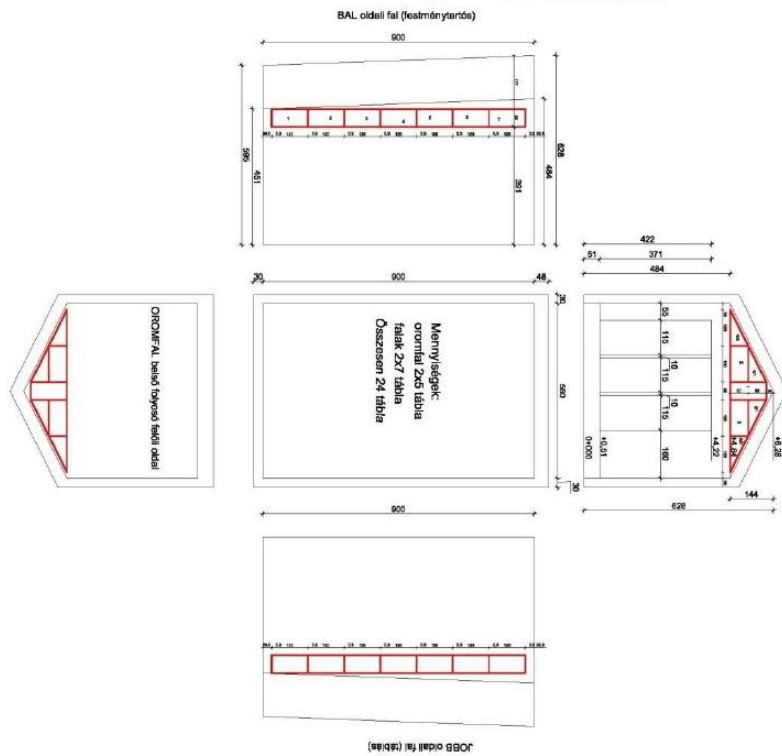
Borsiné Arató Éva

Borsiné Arató Éva
akusztikus szakértő
SZÉS 4. 01-10069

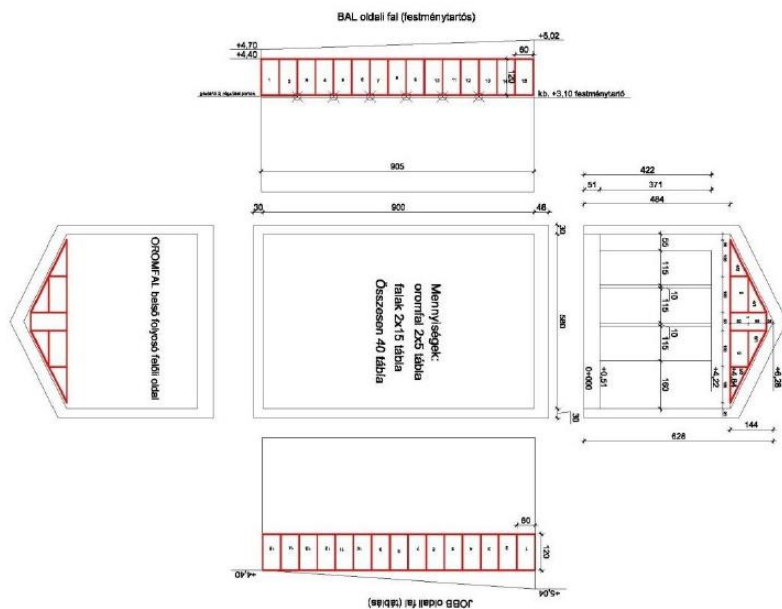
Borsi Gergely

Borsi Gergely
akusztikus szakértő
A-ÉP; SZKV-1.4. 01-15914

1. sz. melléklet



Kékvölgy Waldorf Iskola
1. osztályos terem
17,28 m² (3 csomag) verzió



Kékvölgy Waldorf Iskola
1. osztályos terem
28,80 m2 (5 csomag) verzió

6. KIVÁLASZOTT, ÚJ (UTÓLAGOS) HANGFOGÓ MŰSZAKI TARTALMA

Az előzőekben jelzett tervezési és mérési eredmények, szín, bekerülési költségek, kivitelezési lehetőségek figyelembe vételével az ECOPHON által gyártott **ECOPHON INDUSTRY AMBIT** anyag került kiválasztásra.

Az ECOPHON INDUSTRY AMBIT kb. 3,00 kg súlyú, 600 mm x 1200 mm x 40 mm táblaméretű, nagy testsűrűségű újrahasznosított üveggyapot termék, amely a látszó oldalon fehér színű üvegszál kasírozással van ellátva.

A termék kiváló műszaki tulajdonságokkal rendelkezik (tűzvédelmi besorolása A2-s1,d0; testsűrűsége megközelíti a 75 kg/m³-t), megjelenésében esztétikus.

Gyártó honlapjáról:

<https://www.ecophon.com/uk/products/Modular-ceilings/Industry/Industry--Ambit/>

Az 1. osztályos teremben megvalósult RÉTEGREND (faltól a terem belseje felé haladva):

1. meglévő falazat
2. 1,50 mm vtg. szénacél lemezből – Gyártó jóváhagyásával – utólag festett, utángyártott rögzítő sín (1 db/tábla) – a sín rögzítése 2 csavar/sín
3. légrés (max. 5-8 mm) – sín falhoz történő rögzítésekor alátét került elhelyezésre a távtartás biztosítására
4. ECOPHON INDUSTRY AMBIT tábla, beletekert „akasztó” horgonnyal, sínre függesztve

Teljes elhelyezett mennyiség: 28,80 m² (5 csomag)

FONTOS!

A hanggátló táblákat utólag TILOS LEFESTENI/ÁTFESTENI, a festés által elveszíti hanggátló tulajdonságát!

KIVITELEZÉSI MUNKÁK főbb sorrendje - technológiai leírás:

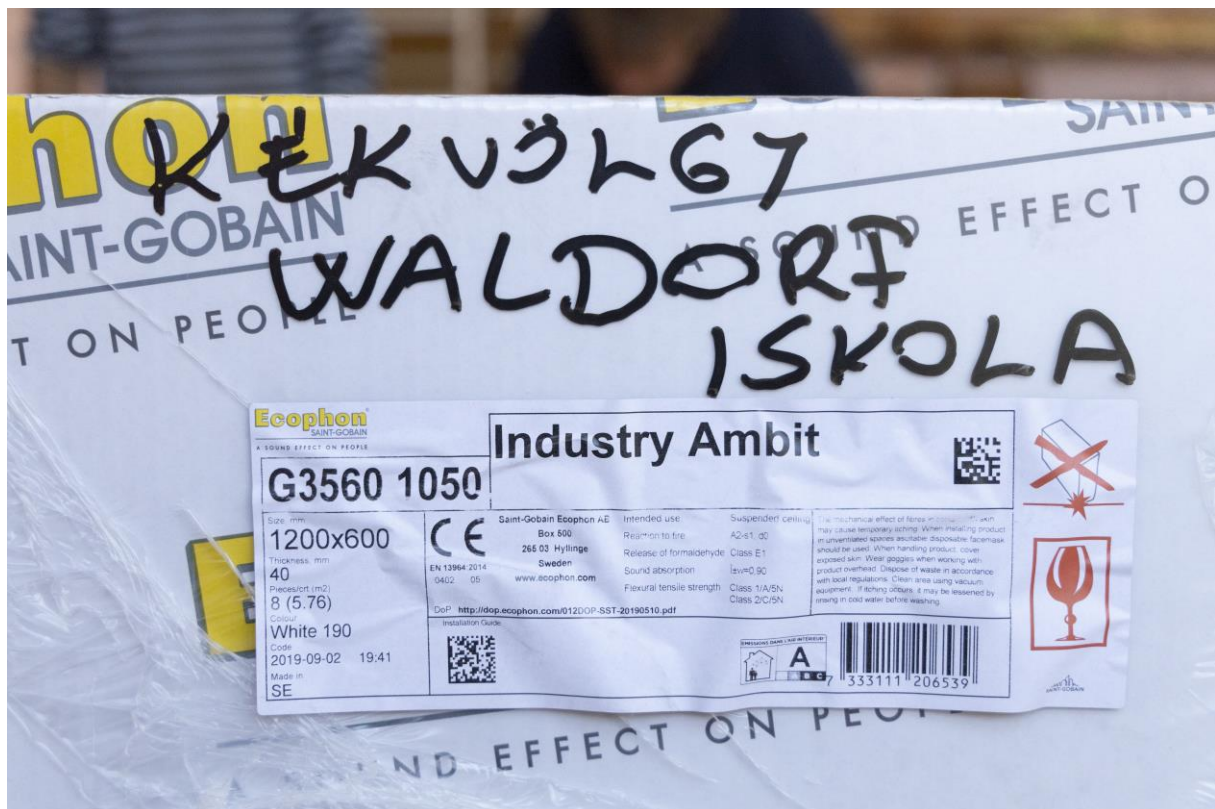
Szükséges munkaeszközök:

- guruló állványzat (2 készlet – 2 szintes)
- ütvefúrógép, csavarbehajtó (párhuzamos munkavégzéshez min. 2 db)
- egyéb kéziszerszámok (pl. gumikalapács, kalapács)
- szükséges beépítendő fő és segédanyagok (szigetelő tábla, horgony, sín, dübel, csavar, alátét, alátétfilc, fehér cérnakesztyű)
- takarításhoz szükséges eszközök

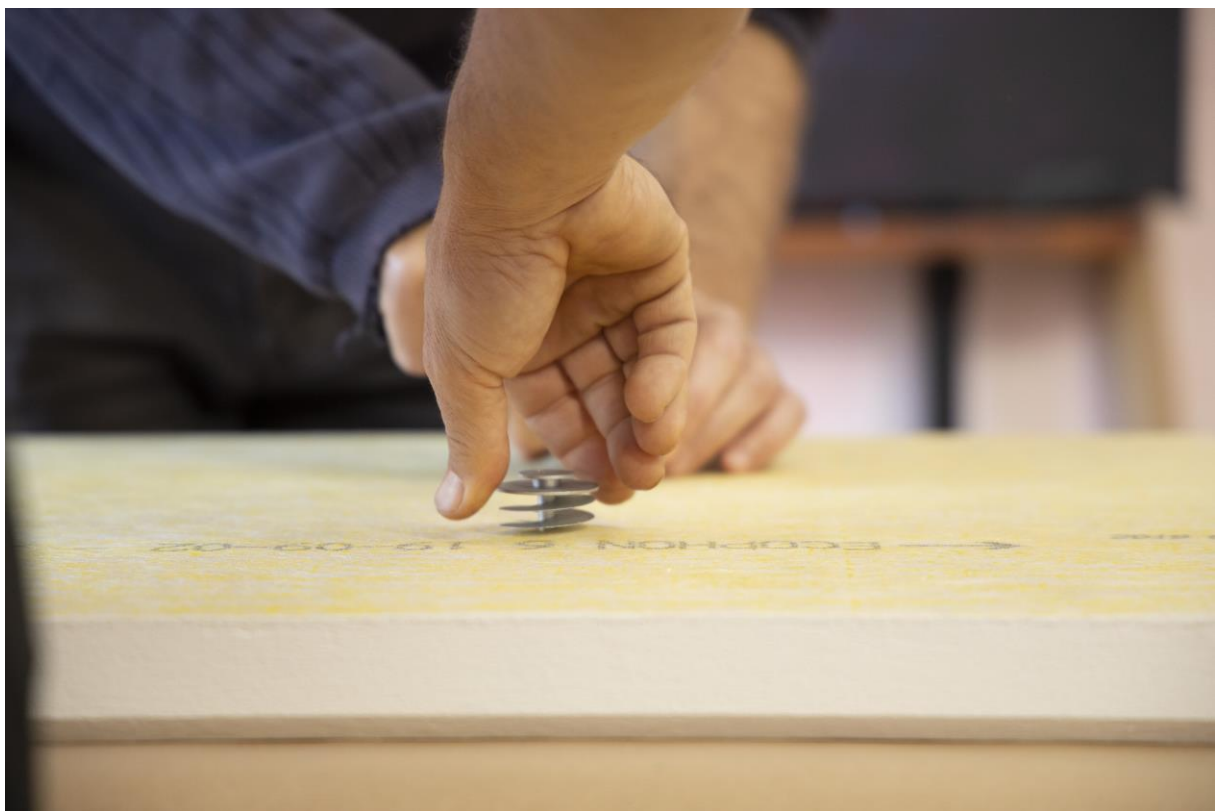
Munkafolyamat:

1. Guruló állványzat építése
2. Meglévő géz leszedése
3. Meglévő géztartók lebontása
4. Terv szerinti magasság falon való kitűzése, kimérése
5. Táblakiosztás kimérése falakon
6. Táblarögzítéshez szükséges furatok készítése falban kiosztás szerint (elválasztó falak, oromfal felső traktusa vasbeton, egyéb helyeken ytong falazat)
7. Tipli elhelyezése
8. Sín felfűrése úgy, hogy a sín és fal között el kell helyezni a vulkanizált alátéteket, mint távtartás
9. Fentiek kivitelezése közben (párhuzamos munkavégzés talajon) tábla függesztő horgonyok betekérése táblák hátoldalába sín furattal megegyező kiosztásban, rajz szerint
10. Táblák alsó harmadában öntapadós filc korongok elhelyezése távtartás biztosítására, rajz szerint
11. Táblák felakasztása sínre
 - **javaslat fehér cérnakesztyű használata**, nagyon könnyen koszolódik a tábla
 - **a táblák anyaga üveggyapot, sűrűségéből adódóan sérülékeny, nem szabad nagy erőhatással, erőltetéssel akasztani**
12. Géztartók szükség szerinti átfűrése
13. Gézek elhelyezése
14. Állványzat bontása, takarítás

A teljes kivitelezési folyamat kb. 7 órát vett igénybe.



Ecophon Industry Ambit – **TÁBLA ADATLAP**



Ecophon Industry Ambit – **függesztő HORGONY**



UTÁNGYÁRTOTT SÍN – fekete színű, utólag horganyfestéssel lefestve + dübel + alátét
(megj.: az ezüstszerű sín az eredeti, gyári termék)

ECOPHON INDUSTRY AMBIT

TELJESÍTMÉNY NYILATKOZAT



TELJESÍTMÉNYNYILATKOZAT

(Ref: Az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete)

No. 012DOP-SST-20190510

1. A terméktípus egyedi azonosító kódja:

Ecophon Industry

2. Típus-, tétel- vagy sorozatszám vagy egyéb ilyen elem, amely lehetővé teszi az építési termék azonosítását:

Industry Ambit	Industry Modus TAL
Industry Modus S	Industry RTP

3. Az építési terméknek a gyártó által meghatározott rendeltetése vagy rendeltetései az alkalmazandó harmonizált műszaki:

Álmennyezet membrán berendezések használatára belső épületekben, hogy készítsen egy telepített álmennyezet

4. A gyártók neve, bejegyzett kereskedelmi neve, illetve bejegyzett védjegye, valamint értesítési címe:

SAINT-GOBAIN Ecophon AB, Box 500, 26503 Hyllinge, Sweden, www.ecophon.com

5. Adott esetben annak a meghatalmazott képviselőnek a neve és értesítési címe:

Nem alkalmazható

6. Az építési termékek teljesítménye állandóságának értékelésére és ellenőrzésére szolgáló, az V. mellékletben szereplők szerinti rendszer vagy rendszerek:

1. rendszer

7. Harmonizált szabványok által szabályozott építési termékekre vonatkozó gyártói nyilatkozat esetén:

SP (bejelentett szervezet n ° 0402) végezte a terméktípus meghatározását típusú alapján típusvizsgálat (ideértve a mintavételt is); első ellenőrzés a gyártó üzem és az üzemi gyártásellenőrzés; folyamatos felügyelete, vizsgálata és értékelése üzemi gyártás-ellenőrzési rendszer keretében az 1. és a kiadott megfelelőségi tanúsítványt.

8. Olyan építési termékekre vonatkozó gyártói nyilatkozat esetén, amelyekre európai műszaki értékelést adtak ki:

Nem alkalmazható

No. 012DOP-SST-20190510

9. A nyilatkozat szerinti teljesítmény:

Minden felsorolt jellemzőknek a táblázatban meghatározott harmonizált szabvány az EN 13964:2014

Termék		Tűzállóság	Formaldehid (osztály)	FTS (hajlítási szakítószilárdsága)	Hangelnyel és (α_w)
Ecophon Industry Ambit		A2-s1, d0	E1	Npd	1,00
Industry Modus S	50 mm	A2-s1, d0	E1	Osztály C/ - ha b>625 mm Osztály A/ -	1,00
	100 mm			Osztály C/ - ha b>625 mm Osztály A/ -	1,00
Ecophon Industry Modus TAL	30 mm	A2-s1, d0	E1	Osztály C/ - ha b>625 mm Osztály A/ -	1,00
	50 mm			Osztály C/ - ha b>625 mm Osztály A/ -	1,00
Ecophon industry RTP	50 mm	A2-s1, d0	E1	Osztály C/5N ha b>625 mm Osztály A/ -	1,00
	100 mm			Osztály C/5N ha b>625 mm Osztály A/ -	1,00

Tulajdonságok nem szerepel a táblázatban (tartósság, hővezetés, stb), az értéke NPD (no performance determined)

10. Az 1. és 2. pontban meghatározott termék teljesítménye megfelel a 9. pontban feltüntetett, nyilatkozat szerinti teljesítménynek.

E teljesítménynyilatkozat kiadásáért kizárólag a 4. pontban meghatározott gyártó a felelős.
A gyártó nevében és részéről aláíró személy:


Simon Allhorn
Product Engineer



Hyllinge 2019-05-10



Saint-Gobain Ecophon AB · Box 500 · SE-265 03 Hyllinge, Sweden · Tel : +46 (42) 17 99 00 · Fax : + 46 (42) 22 55 55
www.ecophon.com

2(2)

7. ÚJ MEGVALÓSULT HANGFOGÓ költségvetés – 1 teremre

Az akusztikai tervezés, szakvélemények, helyszíni teremakusztikai mérések nélkül nem valósulhatott volna meg az új hangfogó műszaki szempontból is értékelhető, megfelelő kiválasztása.

EGYSZERI tervezési, szakvéleményezési költségek

→ „1.” ellenőrző akusztikai mérés, szakvélemény, dokumentálás nettó 45.000,- Ft + ÁFA

→ „2.” záró/ellenőrző akusztikai mérés, dokumentálás nettó 80.000,- Ft + ÁFA

Mindösszesen nettó 125.000,- Ft + ÁFA

azaz bruttó 158.750,- Ft

HANGFOGÓ költségvetése 1 db teremre vonatkozóan

Ssz.	Megnevezés	Menny.	Me.	Megjegyzés	Egységár (EUR)*	Nettó Egységár (Ft)	Nettó összesen (Ft)	Bruttó összesen (Ft) - 27% áfával növelt
1	Ecophon Industry Ambit 120x60x4 cm tábla (0,72 m2)	28,80	m2	ECOPHON GYÁRI TERMÉK: 8 db/csomag, összesen 5 csomag = 40 tábla	14,26 €	4 848,40 Ft	139 633,92 Ft	177 335,08 Ft
2	Utángyártott sín rajz szerint	40,00	db	utángyártott		250,00 Ft	10 000,00 Ft	12 700,00 Ft
3	Utángyártott sín festése	1,00	tétel	kb. 2 doboz horganspray 3 rétegben fújva		3 000,00 Ft	3 000,00 Ft	3 810,00 Ft
4	Gyári horgony táblába tekerve	80,00	db	ECOPHON GYÁRI TERMÉK: Connect Absorber anchor One - 2 db/tábla, 4 db/csomag	0,99 €	336,60 Ft	26 928,00 Ft	34 198,56 Ft
5	Műa.tipli 8x 60 blau	80,00	db	bárhol megvásárolható		18,00 Ft	1 440,00 Ft	1 828,80 Ft
6	Faforgácslap csavar 4,5 x 45 mm	80,00	db	bárhol megvásárolható		11,00 Ft	880,00 Ft	1 117,60 Ft
7	Vulkanizált alátét 6,3x19 Vz.	80,00	db	bárhol megvásárolható		5,00 Ft	400,00 Ft	508,00 Ft
8	Öntapadós filckorong	80,00	db	bárhol megvásárolható		20,00 Ft	1 600,00 Ft	2 032,00 Ft
							183 881,92 Ft	233 530,04 Ft
	* FORGALMAZÓ 2019.09.09-i árajánlata alapján							
	FORGALMAZÓ:							
	Lambda Systeme Kft. - Budapest							
	H-1106 Budapest, Akna u. 2-4.							
	Mobil: +36209317085							
	tanyi.lorant@lambda.hu							
	GYÁRTÓ:							
	Ecophon Hungary							
	Elérhetőség:							
	https://ecophon.hu/about-ecophon/contact/							
	Saint-Gobain Ecophon AB							
	Box 500 SE 265 03 Hyllinge I							
	www.ecophon.hu							
	SÍN GYÁRTÓ:							
	Unitherm Bt.							
	2510 Dorog, Radnóti u. 18.							
	Kapcsolattartó: Geleta Ákos							
	Telefonszám: +36 30 475 9543							

8. „2” ELLENŐRZŐ/ZÁRÓMÉRÉS AZ 1. OSZTÁLYOS TEREMBEN (ECOPHON INDUSTRY AMBIT)

2019.10.28 Arató Kft. (akusztikai) ellenőrzése, szakvélemény



Akusztikai szakvélemény

a Kékvölgy Waldorf Iskola tantermének utólagos teremakusztikai
javításáról

2019. október 30.

Készítette:	Borsiné Arató Éva	akusztikus szakértő
	SZÉS 4. 01-10069	
	Borsi Gergely	akusztikus szakértő
	A-ÉP; SZKV-1.4. 01-15914	

2019.11.26



Tartalomjegyzék

1. Előzmények	3
2. Teremakusztikai feladatok	3
3. Előírások és vizsgált paraméterek	3
4. Az elvégzett teremakusztikai mérések és eredmények	6
4.1. A mérés eszközei	6
4.2. A mérés helyszíne	6
4.3. Mérési eredmények	7
5. Összefoglalás	9



1. Előzmények

A Pilisszentlászlói Kékvölgy Waldorf Iskola Hrabina utcai épületében az egyik tantermet az Arató Akusztikai Kft. 2019. 09. 23-i szakvéleménye alapján Ecophon Ambit típusú hangelnyelő burkolattal látták el.

A kivitelezési munkálatok befejeződtek, és a szülők ellenőrző méréseket kértek annak ellenőrzésére, hogy a beépített burkolattal teljesülnek-e a tervezett akusztikai paraméterek.

A mérésekre 2019. október 28-án került sor az elkészült helyiségben (jelenlegi első osztályos terem). A méréseket üres állapotban végeztük el.

2. Teremakusztikai feladatok

A teremakusztikai felmérés és szakvélemény készítése az alábbiakból áll:

a.) A jelenlegi teremakusztikai állapotok felmérése MLS mérési technika alkalmazásával

Az elkészült tanteremben több hangforrás és vevő mérőpárban (ugyanazokban a pontokban, mint 2016-ban, így összehasonlíthatók az eredetileg mért, a tervezett és a megépült állapotok eredményei) impulzusátvitel mérése MLS jellel. Az impulzusválasz alapján a terem akusztikai paramétereinek meghatározása. A vizsgált paraméterek értelmezése a 3. pontban található.

3. Előírások és vizsgált paraméterek

A teremakusztikai méréseket az érvényben lévő MSZ EN ISO 18233: „Akusztika. Új mérési módszerek alkalmazása az épület- és teremakusztikában.” című szabvány szerint végeztük el.

Teremakusztikai követelményekre Magyarországon az „5/2019.(IX.16.) ÉPMI Akusztika. Helyiségek akusztikai komfortja. Követelmények.” című ÉMI irányelv tartalmaz értékeket.



Helyiség típus	Tervezési alapállapot T_m [sec]	Fokozott akusztikai minőség: T_m [sec]
Foglalkoztató bölcsődében, óvodában	0,7	0,5
Tantermek	0,9	0,7

1. táblázat: A különböző helyiségtípusokra ajánlott közepes utózengési idők

2016-ban még nem volt érvényes magyar szabályozás a teremakusztikai paraméterekre vonatkozóan. Akkor a svéd SS 02 52 68 számú, „Acoustics- Sound classification of spaces in buildings – Institutional (healthcare) premises, rooms for education, day centres and after school centres, rooms for office and hotels” szabvány alapján határoztuk meg a követelményeket.

Ebben a szabványban helyiségenként ír elő ajánlott utózengési idő értékeket az alábbi táblázat. Három minőségi fokozatot különböztet meg, „A” a legszigorúbb, „B/C” a közepes és a „D” a legenyhébb.

Helyiségtípus	Utózengési idő: T_m [sec]		
	„A” csoport	„B/C” csoport	„D” csoport
Tantermek	0,5	0,6	0,8

2. táblázat: Teremakusztika –ajánlott utózengési idő különböző helyiségekben

Látható, hogy a svéd szabályozás valamelyest szigorúbb a magyarországi előírásnál. A szakértésnél mind a két előírást figyelembe vettük.

A megadott közepes utózengési idő értékek berendezetlen, üres termekre érvényesek.

Vizsgált akusztikai paraméterek

Impulzusválasz

Zárt tér szélessávú gerjesztésre adott válasza. Az impulzusválasz önmagában is sok információt tartalmaz, a direkt hang után beérkező reflexiók mennyiségéből, nagyságából különböző akusztikai jelenségekre lehet következtetni. Kedvező hangzásra utal, ha az impulzusválasz képe egyenletes lecsengést mutat, tehát nincsenek kiemelkedő reflexiók.



Utózungési idő

A teremakusztikai viszonyok alapvető jellemzője a helyiségek utózungési ideje. Nemzetközi megállapodás szerint azt az időt nevezzük utózungési időnek, amely alatt a hangforrás elhallgatása után, a zárt térben a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken. Jelölése: T_{60} [sec].

A helyiségre jellemző utózungési időt a gyakorlatban a lecsengési görbe –5 dB és –25 dB/-35 dB pontjainak időbeli távolsága alapján határozzuk meg.

Az utózungési idő a frekvencia függvényében változik. A különböző célú termekben nem teljesen azonos az „ideális” a frekvencia menet, de alapvetően az a jó, ha az utózungési idő nem változik a frekvencia függvényében. Különösen fontos, hogy az egymás melletti frekvencia sávokban ne legyen nagy a különbség.

Közepes utózungési idő

A zárt helyiségekre vonatkozó általános jellemző, ami a különböző frekvenciákon mért/számított utózungési időkből átlagolható. Jelölése: T_m [sec].

A közepes utózungési idő számítása:

$$T_m = \frac{T_{60}(500\text{Hz}) + T_{60}(1\text{kHz})}{2}$$

ahol a $T_{60}(f)$ az f frekvencián mért/számított utózungési idő.

Ajánlott érték:

Tantermek: $T_m = 0,7$ sec.

Beszédérthetőségi index. Jelölése: STI

Beszédcélú kialakítás esetén a legfontosabb paraméter a STI. Az ún. *Beszéd átviteli index* térbeli (terembeli) eloszlását vizsgáljuk (*STI - Speech Transmission Index*). Ennek az elve röviden a következő. Ha egy hangforrás által keltett zajt alacsonyfrekvenciásan modulálunk, a mikrofonba érkező hang moduláltságának mértéke a reflexiók, és a háttérzaj következtében csökken. Azt, hogy mekkora hányada maradt meg a modulációnak, a *modulációs átviteli függvény* írja le. Ezt hét oktávsvárra számolva kapjuk meg a *modulációs átviteli indexet*. Ezen hét érték súlyozott átlaga az RaSTI.



Az index 0 és 1 közötti értékeket vehet fel, a kettő közötti átmenetet felosztva a következő kategóriákat kapjuk:

- 0,75 – 1,00 kiváló
- 0,60 – 0,75 jó
- 0,45 – 0,60 megfelelő
- 0,30 – 0,45 rossz
- 0,00 – 0,30 elfogadhatatlan

A termekben a „jó” kategória felső értékének elérése a cél.

4. Az elvégzett teremakusztikai mérések és eredmények

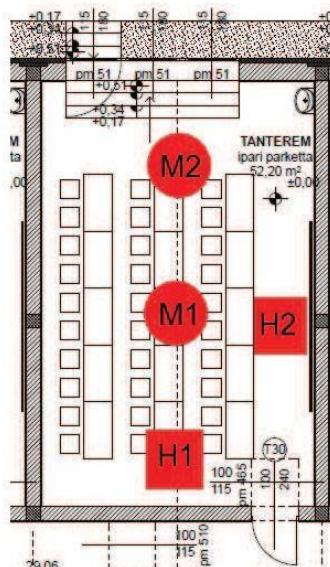
4.1. A mérés eszközei

A teremakusztikai mérések az MSZ EN ISO 18233:2006 szabvány szerint történtek.

A mérés eszközei:

- WinMLS 2000 Pro with Room Acoustics – teremakusztikai mérőrendszer
- Edirol UA-25 előerősítő külső hangkártya
- MBC 550 típusú mérőmikrofon
- Brüel&Kjaer 4224 mérő hangsugárzó

4.2. A mérés helyszíne (jelenlegi első osztályos terem)



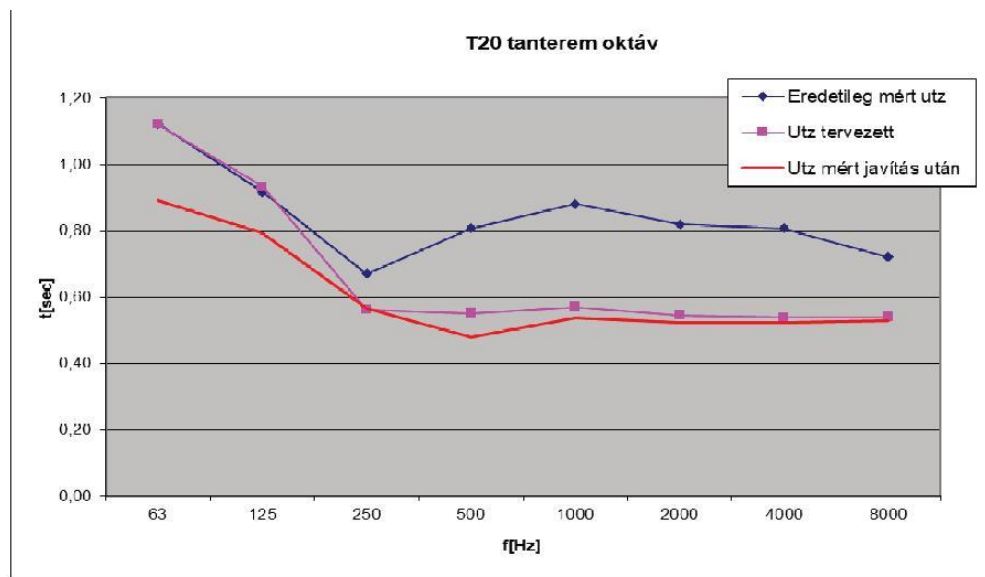
1. ábra: Tanteremben a mérési elrendezés. H – hangsugárzó (hangforrás), M – mikrofon (vevő) pozíció



4.3. Mérési eredmények

A méréseket 4 mérőpont-párban, üres teremben végeztük el (az asztalok, székek nem voltak bent). Az oldalfalakra 28,8m²-nyi Ecophon Ambient került. Az összehasonlíthatóság kedvéért bemutatjuk a 2016-os mért (ekkor is csak üres teremben végeztünk méréseket) és tervezett eredményeket is.

Utózenngési idő:



2. ábra: Az elkészült – Ecophon Ambient akusztikai panellel ellátott - teremben mért utózenngési idő

A 2. ábra mutatja a különböző szituációkban mért utózenngési időket. Ezekből az eredményekből az látható, hogy az oldalfalakon alkalmazott **Ecophon Ambient** mélytartományban hatékonyabban működik, mint azt eredetileg számoltuk. Ez várható volt, hiszen egyeztetve a gyártóval, az oldalfali felszereléskor a tartókonzolok miatt nagyságrendileg 1cm légrés kerül a burkolat és a fal közé, így javítja a burkolat hangelnyelési képességét a mélyfrekvenciás tartományban.



Közepes utózengési idő: T_m

A mért értékekből számított átlagos közepes utózengési idő:

Eredeti üres állapot (2016):

$$T_m = 0,83 \text{ sec}$$

Tervezett üres állapot (2019):

$$T_m = 0,56 \text{ sec}$$

Megépült – Ecophon Ambit akusztikai panellel ellátott - üres állapot (2019):

$$T_m = 0,53 \text{ sec}$$

Látható, hogy a beépült 28,8m²-nyi hangelnyelő burkolattal elértük az ajánlott utózengési idő értéket, sőt valamivel jobb eredményt kaptunk, mint azt eredetileg terveztük.

Beszédérthetőségi index (STI)

A mért és számított beszédérthetőségi index:

Eredeti üres állapot (2016):

$$STI = 0,69$$

Tervezett üres állapot (2019):

$$STI = 0,70-0,75$$

Megépült – Ecophon Ambit akusztikai panellel ellátott - üres állapot (2019):

$$STI = 0,73$$

Látható, hogy a „jó” kategória középső szegmenséből a „jó” kategória felső traktusába sorolja a termet. Amennyiben az oldalfalra is kerültek volna hangelnyelő burkolatok (pl. fülmagasságban), feltételezhetően a teremben a beszédérthetőség még jobb eredményt mutatna.



5. Összefoglalás

A Pilisszentlászlói Kékvölgy Waldorf Iskola Hrabina utcai épületében az egyik tantermet az Arató Akusztikai Kft. 2019. 09. 23-i szakvéleménye alapján Ecophon Ambit típusú hangelnyelő burkolattal látták el. A kivitelezési munkálatok után ellenőrző méréseket végeztünk.

A mérések alapján kijelenthető, hogy teljesülnek a tervezett értékek.

- A megépült burkolat jobb hatásfokkal működik, mint azt eredetileg számoltuk, mert a kivitelezésnél használt tartókonzol miatt a burkolat és a fal között légrés keletkezett, mely javította az elnyelő hatásfokát
- A közepes utózungési idő megfelel a tervezettnek, sőt valamivel jobb eredményt mutat
- A Beszédérthetőségi Index a terveknek megfelelően a „jó” közép kategóriájából a „jó” felső kategóriájába sorolja a termet. A „kiváló” kategóriát úgy lehet elérni, ha a hangelnyelő burkolat fülmagasságba kerül (ennek fizikai korlátai vannak), vagy ugyanebben a magasságban kissé megtörik a síkfelületeket (pl. könyvespolcokat szerelnek fülmagasságban a falakra)

Budapest, 2019. október 30.

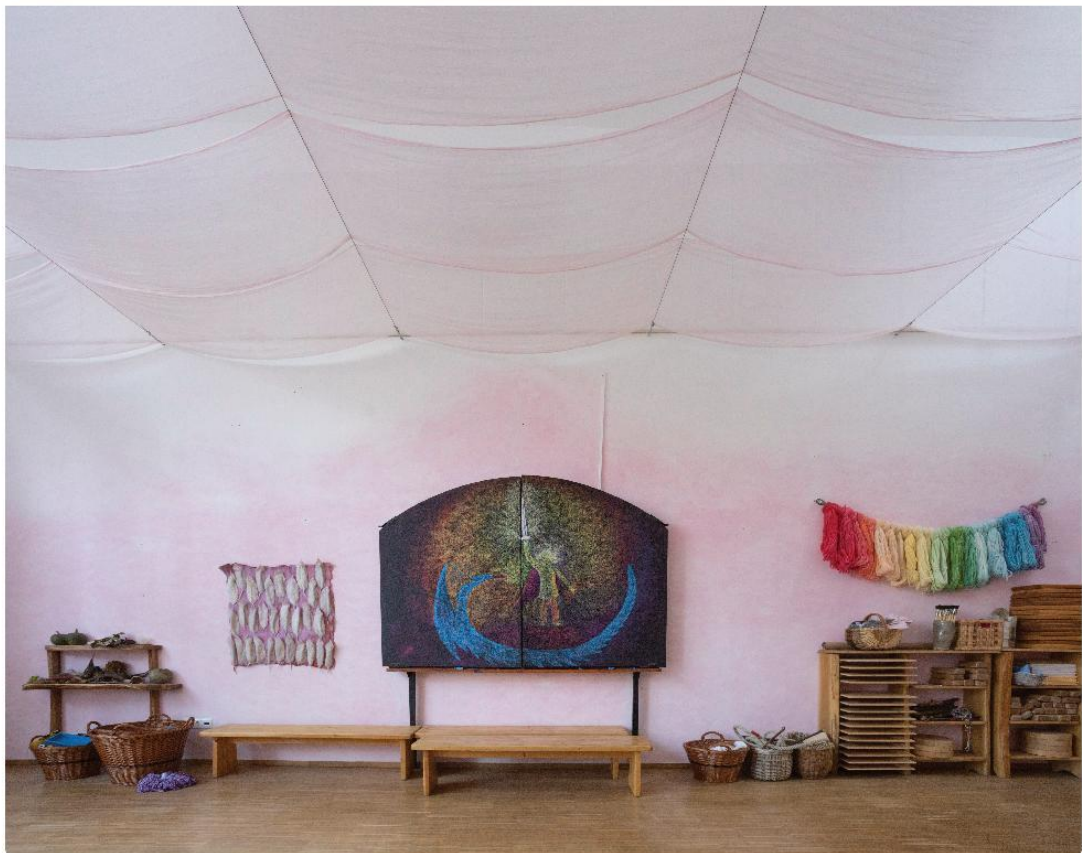
Borsiné Arató Éva

Borsiné Arató Éva
akusztikus szakértő
SZÉS 4. 01-10069

Borsi Gergely

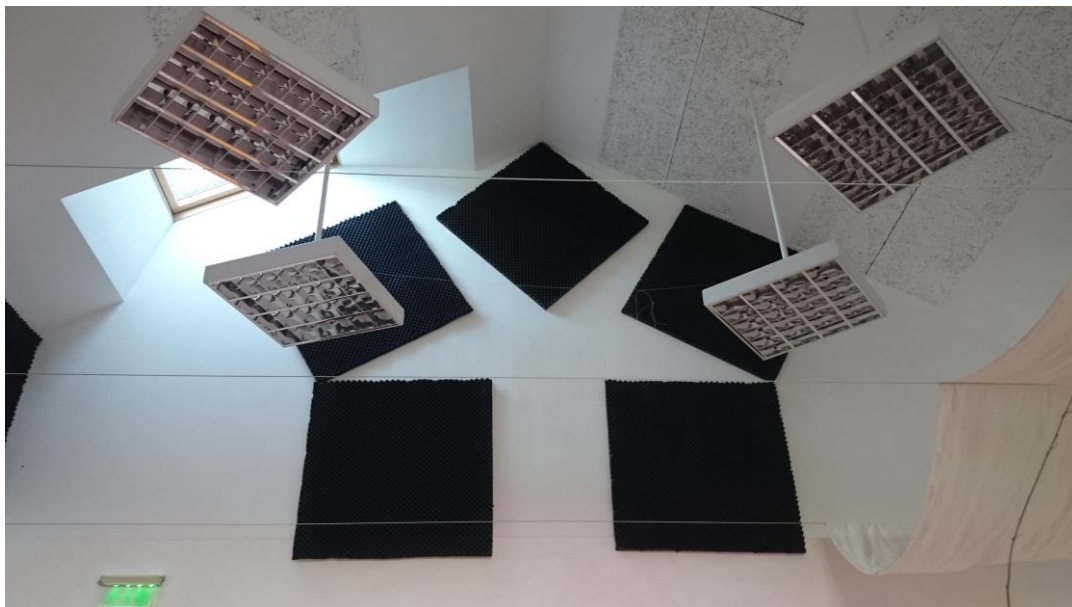
Borsi Gergely
akusztikus szakértő
A-ÉP; SZKV-1.4. 01-15914





9. FOTÓDOKUMENTÁCIÓ

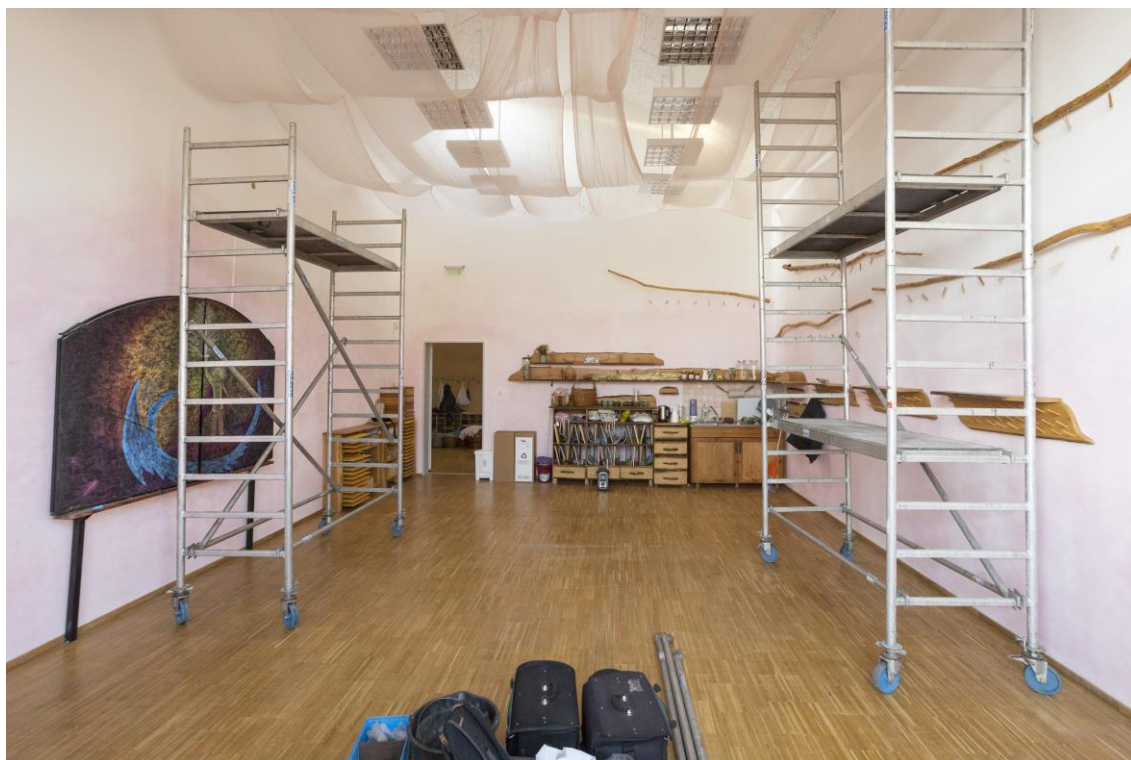
JELENLEGI 4. OSZTÁLYOS TEREM PIRAMIS ALAKÚ FEKETE SZIVACCSAL ELLÁTOTT TEREM



2019.11.26



**JELENLEGI 1. OSZTÁLYOS TEREM
ÚJ UTÓLAGOS ECOPHON INDUSTRY AMBIT HANGFOGÓ
KIVITELEZÉSE KÉPEKBEN**



Guruló állvány építés



Oldalfalon hangfogó elhelyezési síkjának kitűzése

2019.11.26



Gyári horgony kézzel történő betekérése hangfogó táblába



Falban furatok készítése



Falban furatok készítése, sínek felfúrása, táblák elhelyezése



Oromfal (rövid oldal) 1 szinttel magasabb állványról történő munkavégzés



Hangfogó készültség 100%



Hangfogó készültség 100%

2019.11.26



Terem készültség 100%



Terem készültség 100%

2019.11.26

10. ÖSSZEFOGLALÓ, ZÁRSZÓ

Az osztálytermek akusztikai paramétereinek javítását szolgáló folyamat 2019. október 26-án, a jelenlegi 1. osztályos teremben az új hangfogó Szülők és Osztálytanító közreműködésében történt kivitelezésével, és annak 2019. október 28-án történt igazoló/záró teremakusztikai mérésével, teljes sikerrel zárult.

Az osztálytermek elsődleges funkcióját figyelembe véve, a beszédérthetőség jelentős mértékben javult, az utózengési idő nagy mértékben csökkent, a mérési eredmények igazolták az előzetes akusztikai tervezési értékeket.

A sikert az teszi még teljesebbé, hogy az ECOPHON Gyártó cég a jelenlegi 1. osztályos tanteremben elhelyezett 28,80 m² Ecophon Industry Ambit hangfogó anyagot és a hozzá tartozó függesztő horgonyokat Adomány keretében biztosította az Iskolának, a Közösségnek.

Pilisszentlászló, 2019. november 26.

Dokumentációt összeállította:



Horváth Mónika

2500 Esztergom, Honvéd u. 45.
MV-É, ME-É

Mérnöki Kamarai nyilvántartási száma: 11-5729

2019.11.26

NÉVMUTATÓ

ELŐKÉSZÍTÉS, TERVEZÉS

1. Arató Akusztikai Kft.
akusztikai szakértő
Cím: 1031 Budapest, Varsa utca 14.
Telefon: +36/1-439-0334
Fax: +36/1-439-0335
Email: info@aratokft.hu
Web: www.aratokft.hu
2. Valkai Csaba
építész tervező
Cím: 1121 Budapest, Melinda út 30-32.
Telefon: +36 30 216 5858
Email: csvepitesziroda@gmail.com
3. Kerényi Áron
építész tűzvédelmi szakértő
Telefon: +36 20 2546327
Email: kerenyi.aron@gmail.com
4. Horváth Mónika
érintett 1. osztályos szülő – építőmérnök, MV, ME
Cím: 2500 Esztergom, Honvéd u. 45.
Telefon: +36 30 933 5803
Email: horvath.nemet@gmail.com

GYÁRTÓ

Ecophon Hungary
Györe Tamás/Laila Ákos
<https://ecophon.hu/about-ecophon/contact/>
Saint-Gobain Ecophon AB
Box 500 I SE 265 03 Hyllinge I Sweden
akos.lalia@ecophon.hu
www.ecophon.hu

FORGALMAZÓ

Lambda Systeme Kft.
H-1106 Budapest, Akna u. 2-4.
Kapcsolattartó: Tanyi Lóránt
Telefon: +36 20 931 7085
Email: tanyi.lorant@lambda.hu

SÍN GYÁRTÓ

Unitherm Bt.
2510 Dorog, Radnóti u. 18.
Kapcsolattartó: Geleta Ákos
Telefon: +36 30 475 9543

KIVITELEZÉS

Német Zoltán, Bíró Balázs, Loós Péter, Zátonyi Gergely, Lencsés Márk, Holtság András, Sárosi Zoltán, Szecsődi Valéria, Szecsődi János, Pornói István, Horváth Mónika