



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM
ÉPÜLETSZERKEZETTANI TANSZÉK

A STOCZEK MENZA AKUSZTIKAI REHABILITÁCIÓJA

Acoustic rehabilitation of the Stoczek Menza



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖR DOLGOZAT

BME-ÉPK

Hallgatók:

Bartos Bianka

Kálmán Mónika

Konzulens:

Nagy Attila Balázs

2020

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	4
2	Akusztikai alapok	4
2.1	Akusztikai alapfogalmak	5
2.1.1	Akusztikai alapfogalmak	5
2.1.2	Akusztika területei	6
2.1.3	Építészeti akusztika	6
2.2	Stoczek menza története	7
3	Szubjektív vizsgálatok	9
3.1	Az étteremmel kapcsolatos elégedettség	9
3.2	A válaszadók demográfiai adatai	14
3.3	Teremakusztikai problémák szubjektív eredmények alapján	16
3.4	Emberek véleménye	17
4	Helyszíni felmérések, objektív vizsgálatok	19
4.1	Első vizsgálat: Zajszint-mérések	19
4.1.1	A zajszint mérésének fontossága	19
4.1.2	A zajszint-mérés eredményei	20
4.1.3	Képek a zajszint-mérésről	23
4.2	Második vizsgálat: Teremakusztikai felmérés	24
4.2.1	Utózenngési idő	24
4.2.2	Az utózenngési idő mérése, mérési eredmények	25
4.2.3	A teremakusztikai felmérés során készült képek	31
4.3	Számítógépes modellezés	32
5	Fennálló problémára reakció	32
5.1	Hangnyelő anyagok ismertetése röviden	32
5.1.1	Álmennyezetek	33

5.1.1	Tér formálása, boxok kiépítése, további felületek kialakítása	37
5.2	Megoldás ismertetése.....	38
5.2.1	Koncepció ismertetése.....	38
5.2.2	Megoldás kézi számolással, közelítésekkel.....	39
5.2.3	Megoldás gépi számolással	41
6	Összefoglalás.....	46
6.1	Összefoglalás	46
6.2	Látványtervek.....	48
7	Ábrajegyzék.....	51
8	Forrásjegyzék.....	53

1 Bevezetés

A Stoczek menza, mint az egyetem egyetlen megmaradt étterme többet jelent egy olyan közösségi térnél, ahol a tanárok és a diákok együtt tölthetik ebédidejüket. A menza helyet ad a társalgásnak, kapcsolatépítésnek és lehetőséget teremt a mindennapi munkából, tanulásból való kiszakadásra. Mai állapotában az épület azonban nem teljesen alkalmas erre a közösségi funkcióra, a kommunikációt megnehezíti a konyhából áradó és a vendégek, illetve gépek által generált konstans zaj. Az étkezde használhatósága jelenleg tehát olyan akusztikai akadályokba ütközik, amelyeknek a feltárása építészeti feladat is.

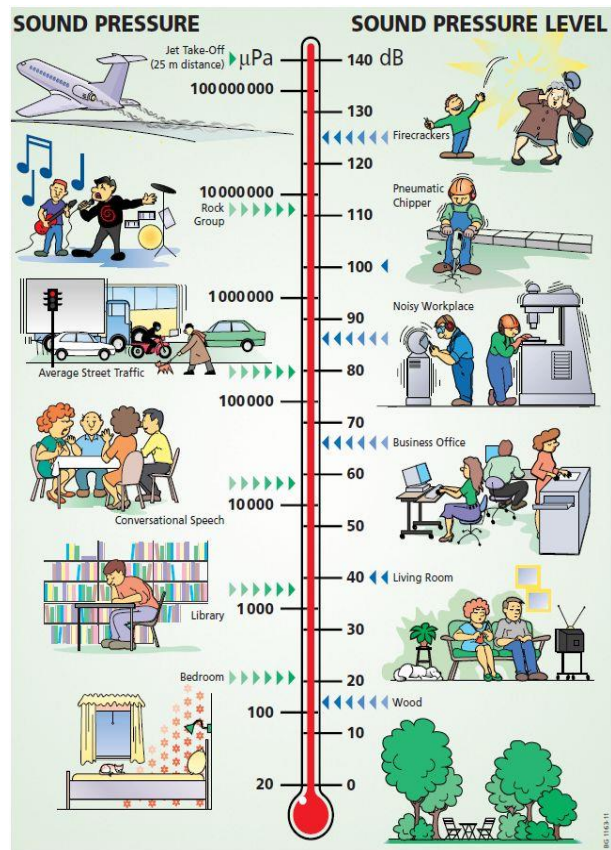
Dolgozatunk célja egy olyan felújítási-átalakítási koncepció kidolgozása, mely teremakusztikai megoldásokkal visszaállítja a menza közösségi tér funkcióját. A dolgozat első része egy rövid akusztikai bevezető rész után a jelenlegi állapot problémáját járja körbe, bemutatja az elvégzett szubjektív és objektív vizsgálatok eredményét. A későbbi részekben a korábbi felmérések alapján javasolt átalakítási koncepciót ismerteti, amely révén a Stoczek menza megfelelő helyszíne lehet egy jó beszélgetésnek, illetve olyan épületté válhat, ahová az emberek nem kizárólag csak étkezni ülnek be.

2 Akusztikai alapok

A helyiségek teremakusztikai tulajdonságai fiziológiai szempontból is befolyásolják mindennapjainkat. Ha egy térben a folyamatosan jelenlévő háttérzaj szintje magas, a felesleges hanginformációk folyamatos feldolgozása, kiszűrése leterheli agyunkat, elfáradunk, könnyen megfájdul az ember feje. A zaj mellett nehezebben a beszélgetés is. Ha egy teremben sokan beszélgetnek és nehezen lehet megérteni egymás mondandóját, megemeljük beszédünk hangerejét. Ez egy láncreakciót generál, a zajszint is emelkedni fog, ami még jobban zavarja a beszélgetést, tehát még hangosabban kell beszélünk ahhoz, hogy egymást megértsük. A beszédhangerő nem emelhető minden határon túl, egy idő után a beszélgetők torka és feje is megfájdul, a teremakusztikai környezet ellehetetleníti a beszélgetéseket. Az alábbi táblázat tartalmazza, hogy a különböző hangnyomásszint hogyan befolyásolja a mindennapi életünket^[1]

40 dB felett	tanulási és koncentrációs nehézségek jelentkezhetnek
60 dB felett	hosszabb ideig tartó zajhatás esetén halláskárosodás jelentkezhet
65 dB felett	hosszabb ideig tartó zajhatás esetén 20%-kal nő a szív- és érrendszeri megbetegedések kockázata
85 dB felett	károsodást okozó tartomány, különösen nagy zajjal járó munkahelyek esetében
120 dB felett	már rövid ideig tartó hatás esetén is halláskárosodás jelentkezhet

Az 0 decibeles hangnyomásszint az átlagos hallásküszöb, ennél halkabb hangot nem hallunk meg. A hangerő érzékelése szubjektív minden személy számára, azonban általánosan el lehet mondani, hogy ha 10 dB-el nő a hangnyomásszint, akkor kétszer olyan hangosnak érezzük a zajszintet. Az alábbi Brüel & Kjaer cég által összeállított decibelskála megmutatja, hogy milyen hangnyomásszint jellemző az egyes tevékenységekre. A mellettünk 25 méterrel elsuhanó repülő által keltett hangnyomásszintet 140 dB-el halljuk, míg az építkezésekről ismert légkalapács hangja 100 dB. Mindennapjainkban a csevegés 40-50 decibel között mozog, míg a szabadban az erdőben 20 decibel az általános hangnyomásszint.



2-1. ábra Brüel & Kjaer hangnyomás példái[2]

2.1 Akusztikai alapfogalmak

2.1.1 Akusztikai alapfogalmak

A hang az a mechanikai hullámként terjedő rezgés a rugalmas közegben, amely a hallószervünk által felfogható. Fizikai szempontból a hang léghőnyomásra szuperponálódott nyomásváltozás. *

A hullámhossz jele a lambda (λ). A hanghullám frekvenciája (f) és hullámhossza között fordított arányosság van, melynek segítségével megkaphatjuk a hullám sebességét. $c = f \cdot \lambda$

A hangsebesség értéke függ a közeg anyagától és annak fizikai állapotától. (például nyomása, hőmérséklete). Általános képlettel kifejezve: $c_0 = 331,5 + 0,59 TC$. Ha a rezgésállapot gömbszimmetrikusan terjed, akkor gömbhullám beszélünk. Ilyen gömbhullámot hoz létre a pontforrás, ami egy matematikai absztrakció. A pontforrástól távolodva a hang intenzitása a távolságtól függ, az azonos rezgésállapotban lévő részecskék a középpont körül koncentrikus gömb felületet alkotnak. A pontforrástól távolodva ugyanaz a hangteljesítmény egyre nagyobb

felületen oszlik el, így a forrástól távolodva a felületegységen átáramló teljesítmény – azaz intenzitás – egyre csökken.

A *hangintenzitás* jele a nagy I, mértékegysége a $[W/m^2]$.

A *hangteljesítmény* az időegységenként átadott hangenergiát vagyis hangteljesítményt jelenti. Jele a P, mértékegysége a [W] (Watt).

A *hangnyomásszint* a hangnyomás effektív értéke szintben kifejezve

Jele: L_p , mértékegysége: [dB]

Mivel a hangenergia a hangnyomás négyzetével arányos, így a hangnyomásszint az alábbi képlettel számítható:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{\tilde{p}^2}{p_0^2} \right) = 20 \log \left(\frac{\tilde{p}}{p_0} \right)$$

ahol $p_0 = 20 \mu Pa = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa az 1 kHz-es szinuszos hang tipikus hallásküszöbe.

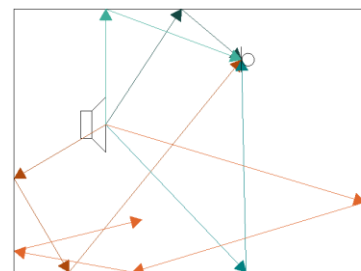
2.1.2 Akusztika területei

Az akusztika hanggal és rezgésekkel foglalkozó, több szakágat magába foglaló (interdiszciplináris) tudomány. Ezen szakágak számos esetben összefonódnak, emiatt az irodalomban több csoportosítást is lehet találni. Érdemes megemlíteni azt a kategorizálást, ami elkülöníti a fizikai-és élettani meghatározást. A hang kettős szerepe jól megfogalmazható ebben a rendszerezésben. Fizikai szempontból a hang egy rugalmas közegben tovaterjedő rezgésváltozás. Élettani szempontból az a megközelítés írható le, hogy a hang nem más, mint egy érzet, amit a hallószervben a nyomásingadozás kelt.

További területei a hangtannak: aeroakusztika, vízalatti akusztika, ultrahangok, biológiai akusztika, fiziológiai akusztika, orvosi akusztika, beszédakusztika, rezgés akusztika, elektroakusztika, zenei akusztika és az építészeti akusztika. A dolgozatban az akusztikával, mint építészeti akusztikával fogunk foglalkozni.

2.1.3 Építészeti akusztika

Teremakusztikáról akkor beszélünk, ha a hangforrásból kiinduló hang az érzékelőbe nem csak közvetlenül, hanem több felületről visszaverődve is el tud jutni. A visszaverődések során a hangenergia egy része elnyelődik, egy része visszaverődik. *A teremakusztika tárgyalása során sokszor alkalmazunk diffúztéri közelítést. A diffúz hangtér azt jelenti, hogy a hangenergiasűrűség a téren belül mindenhol ugyanannyi és nincs a hangterjedésnek kitüntetett iránya.*



2-2. ábra Hang terjedésének szemléltetése zárt térben

2.2 Stoczek menza története

A Stoczek menza olyan helyszínnek számít, amely minden bizonnyal meghatározó szerepet töltött be a régmúltban és tölt be a jelen időben is az egyetemen tanuló, oktató mérnökök generációinak életében. A Goldmann György téri menza működésének megszűnése után ugyanis nem csak az elsőszámú, de önmagában az egyetlen étterem az egyetemhez tartozó területen. Közelsége jelenti talán a legnagyobb előnyét, mivel a diákok és a tanárok előszeretettel választják a menzát étkezés helyszínéül az órák közötti szünetekben.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem campus-területe a főváros 11. kerületében, Lágymányoson található a Duna budai oldalának mentén. Épületei főként a Szabadság-híd és a Petőfi-híd közötti részen állnak pavilonosan elszórva. A Műegyetem tervezésekor a megfelelő terület kiválasztásában fontos szerepet játszottak a következő szempontok. A főváros ugyan budai oldalán található a terület, mégis viszonylag központi helyet foglal el, ezzel gyors bejutásra ad lehetőséget a belvárosba. Illetve a terület nagyságából adódóan a campus későbbi bővítése sem okozott különösebb gondot.

A Stoczek menza épülete is az egyetemi területhez kapcsolódik, annak a középső, több irányból jól megközelíthető részén, a Bertalan Lajos utca és a Stoczek József utca találkozásánál helyezkedik el.

A Műegyetemi campus területe gyökeresen átalakult a XIX. század eleje óta. Ma már érdekes elképzelni, hogy ezelőtt a terület keleti felét a kiszélesedő Duna-meder foglalta el. Lápos,



2-3. ábra Az egyetem térképe [3]

mocsaras vidéknek számított, a nyugati részén pedig szántóföldek és szőlőültetvények terültek el. Csupán néhány épület állt a Szent Gellért tér környékén, köztük a Sáros fürdő a mai Gellért szálló helyén.

A Duna szabályozására minél előbb szükség volt a város terjeszkedésének és élhetőségének érdekében, mivel a szabályozatlan folyam gyakran kiöntött, rendszeresen voltak jeges árvizek. 1870-ben készültek el így a szabályozási tervek, melyek alapján a Duna szabályozási vonalában védőgátakat építettek, és ekkor épült ki a Kopaszi gát is. Ezután válhatott csak a terület teljes mértékben a város részévé.

Elsőként a későbbi campus területe ipari negyedként működött a város szerves részeként, működött itt a Zartl féle székgyár, a Kohn féle szeszgyár, de még egy téglagyár is. Az ipari környezetet később a szórakozási lehetőség váltotta fel, 1896-ban a területen egy rövid ideig keleties hangulatú mulatónegyed működött "Konstantinápoly Budapesten" névre keresztelve.

1899-től kezdve vált az egyetem helyéül szolgáló területté, mivel ebben az évben határozatlan jelölték ki a mai Budafoki út, Bertalan Lajos utca és a rakpart övezte városrészt Királyi József Műegyetem új épületeinek. Az egyetem mindaddig hol Pesten, hol Budán működött, helyszíne változó volt, így fontossá vált egy állandó terület kijelölése számára. Erre adott tökéletes megoldást a belvároshoz közeli, központi fekvésű, jó közlekedési struktúrával rendelkező, dunai panorámás terület, amely a későbbi bővítés lehetőségét is magában hordozta. A Műegyetemen 1860-tól kezdve az oktatás nyelve is magyar lett. Az intézmény első igazgatója Stoczek József (1819-1890) volt, magyar mérnök és egyetemi tanár. Ezen túl a Magyar Tudományos Akadémia tagja, később alelnöke és a Királyi Magyar Természettudományi Társulat elnöke is volt. Az egyetemi épületek végül 1909-re készültek el.

A Stoczek menza mai népszerűségét elsősorban az kedvező árú ételek és az egyetemi vonzaskörzet indokolja. Délelőtt 11 órától délután 15 óráig várja vendégeit, csúcsidőben az emelet és a földszint is általában tele van emberekkel. Nagy hatást gyakorol a tömegpszichózis is az étteremre, mivel ide jár mindenki 20-30 éve, tehát fenntartásában a megszokás is közre játszik. Vendégcsalogató hatással bír még a diákkedvezmény is, illetve a sokféle fizetési lehetőség az éttermen belül.

3 Szubjektív vizsgálatok

A Stoczek menzával kapcsolatos akusztikai problémák feltárása során elkészült egy kérdőív is, hogy minél több véleményt, visszajelzést kaphassunk a menzát használó közönségtől. A kérdőív QR-kód segítségével, interneten keresztül volt elérhető.

A kérdőív két blokkból tevődött össze. Az első blokkban az étteremhez köthető elégedettségi szinteket, étkezési szokásokat, akusztikai hatásokat, a menzára járás időpontját és az ott töltött időmennyiséget mértük fel, a második blokkban a demográfiai adatokat gyűjtöttük össze.

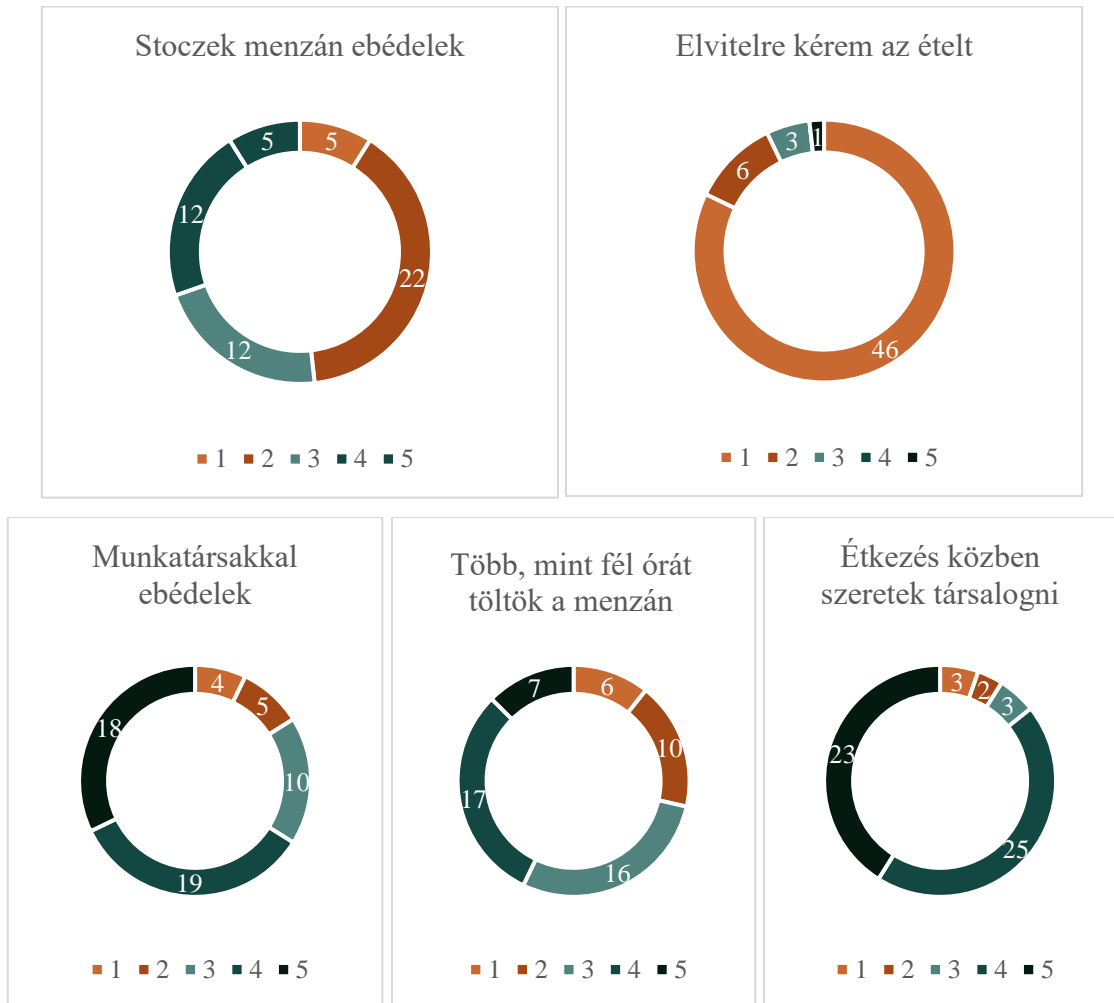
3.1 Az étteremmel kapcsolatos elégedettség



Az étteremmel kapcsolatos elégedettséget 4 szempont szerint értékelték a válaszadók és egy 1-től 5-ig terjedő skálán tudták pontozni a következő szerint: 1 – egyáltalán nem felel meg, 2 – nem vagyok elégedett, 3 – nem tudom megítélni, 4 – megfelel, 5 – tökéletes.

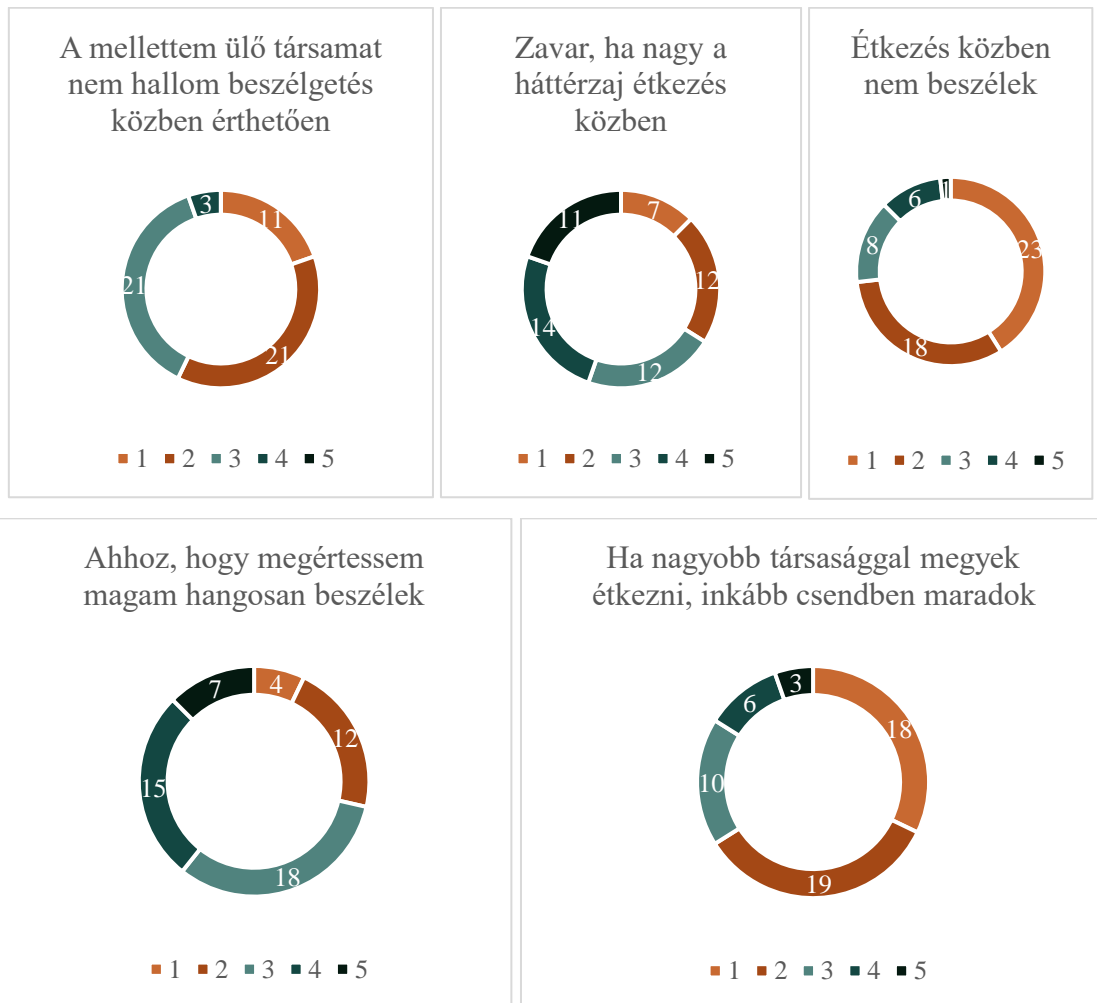
A válaszokból kitűnik, hogy a menzán történő kiszolgálás módjával és ülőhelyek számával a többség elégedett. Az ülőhelyek kényelmessége azonban már megoszlóbb, míg a környezeti

tényezőkkel a többség elégedetlen. Ilyen tényezők lehetnek a benapozottság, a levegő minősége, a falak, illetve bútorok színe, stb.



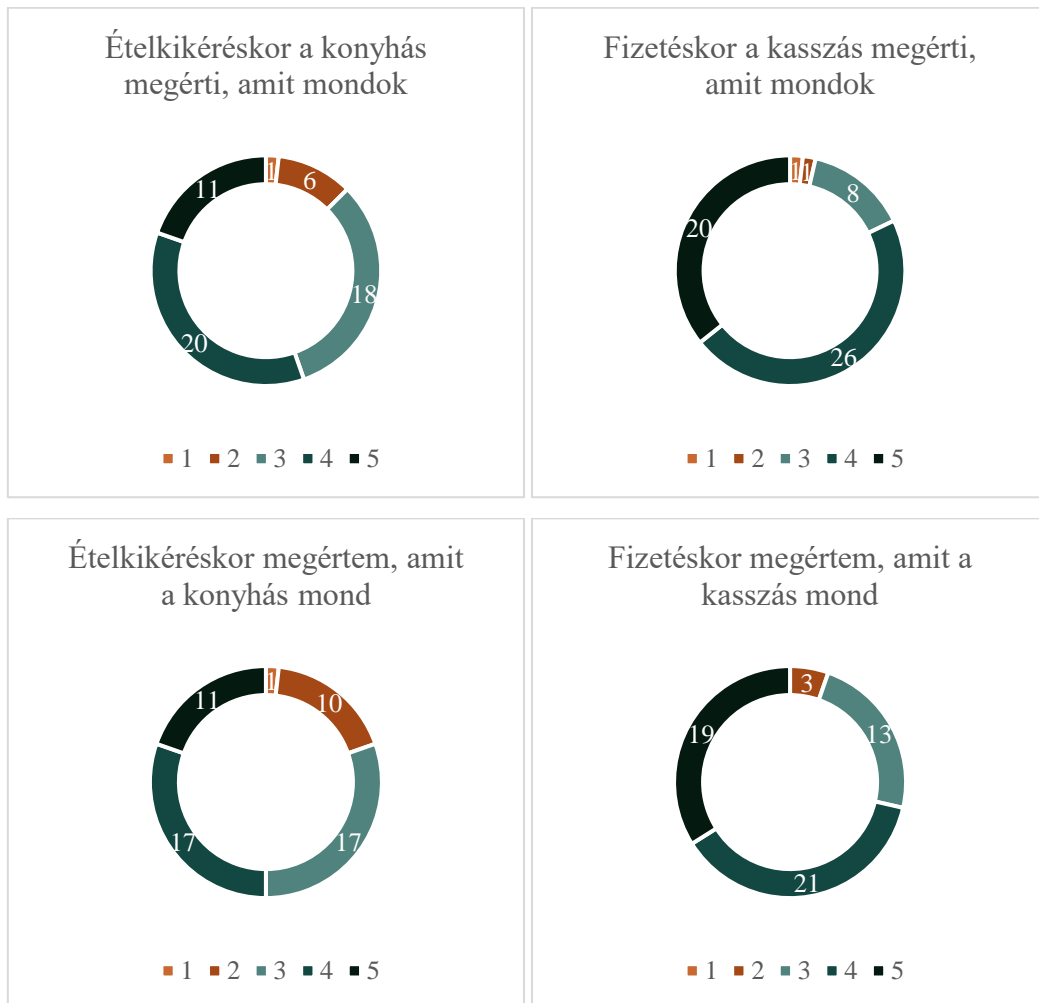
Az étkezési szokásokat illetően a válaszadók 5 kérdésre tudtak válaszolni ugyancsak 1-től 5-ig pontozva, az alábbi skála szerint: 1 – egyáltalán nem, 2 – ritkán, 3 – néha, 4 – többször jellemző, 5 – mindig.

A válaszadók közül a legtöbben a Stoczek Menzán ebédelnek személyesen, és kevesen kérik elvitelre csak az ételt. A többség barátokkal, munkatársakkal megy a menzára, hogy társasággal étkezzon. Az átlag több, mint fél órát tölt a menzán legalább és szinte mindenki szeret társalogni is étkezés közben.



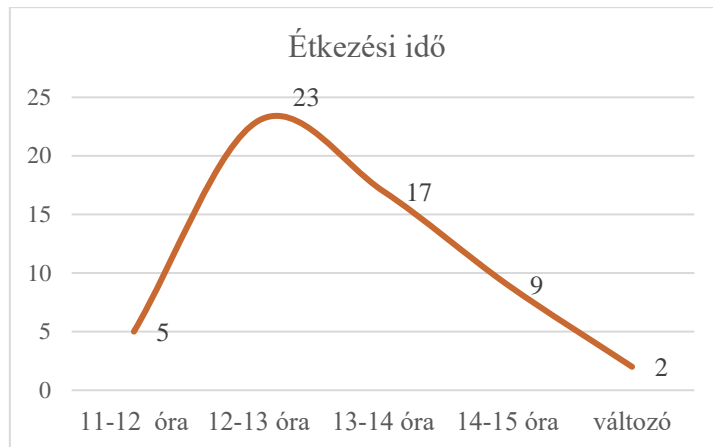
Az akusztikai hatásokat illetően ismét 5 kérdést tettünk fel az előzőekben bemutatott pontozási rendszerrel (1 – egyáltalán nem, 2 – ritkán, 3 – néha, 4 – többször jellemző, 5 – mindig).

A legtöbben ritkán vagy néha nem hallják mellettük ülő társukat beszélgetés közben. A nagy háttérzaj zavaró hatása megoszló a válaszadók között, majdnem ugyanannyian jelölték be, hogy nagyon zavarja őket, mint ahányan akiket egyáltalán nem. Általában hangosan beszélnek az emberek a menzán belül, hogy megértsék magukat másokkal. Attól függetlenül, hogy esetleg nagyobb társasággal mennek étkezni, szinte senki se marad csendben, étkezés közben majdnem mindenki társalog.

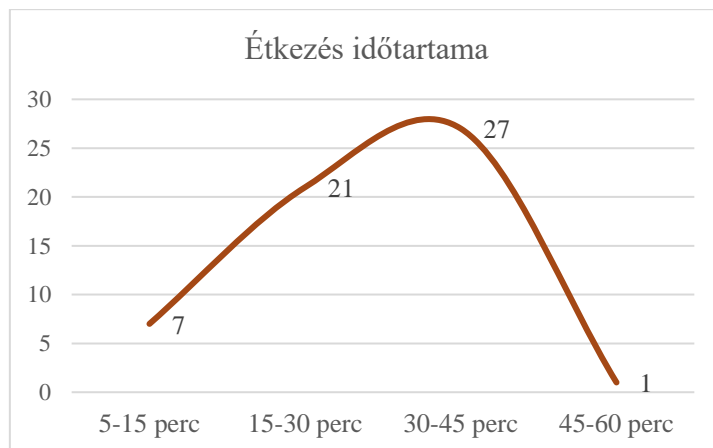


További négy kérdés vonatkozott a vendégek konyhásokkal és kasszásokkal folytatott kommunikációjára. Az étel kikérésekor az a jellemző, hogy a konyhás megérti, amit mondanak, de előfordulnak esetek, hogy ez nem történik meg. Az étel kifizetésekor a kasszás már gyakrabban megérti, amit mondanak, mint a konyhások. A legjobban megoszló téma, hogy a vásárlók nem értik meg, amit a konyhások mondanak, ez már elég gyakran előfordul. Ugyan az étel kifizetésekor a többség megérti, amit a kasszás mond, azért ezt is érdemes összehasonlítani azzal, hogy a kasszás mennyire érti meg őket. Ugyanis itt már többen vannak, akik nem értik a kasszást, mint fordítva. Elsődleges következtetésként megállapíthatjuk, hogy a kasszáknál jobb az akusztikai helyzet, mint a konyhai pultnál.

Az idővel kapcsolatos kérdéseket kétféleképpen mértük fel, mégpedig a menzára járási idővel és az ott töltött időtartammal.



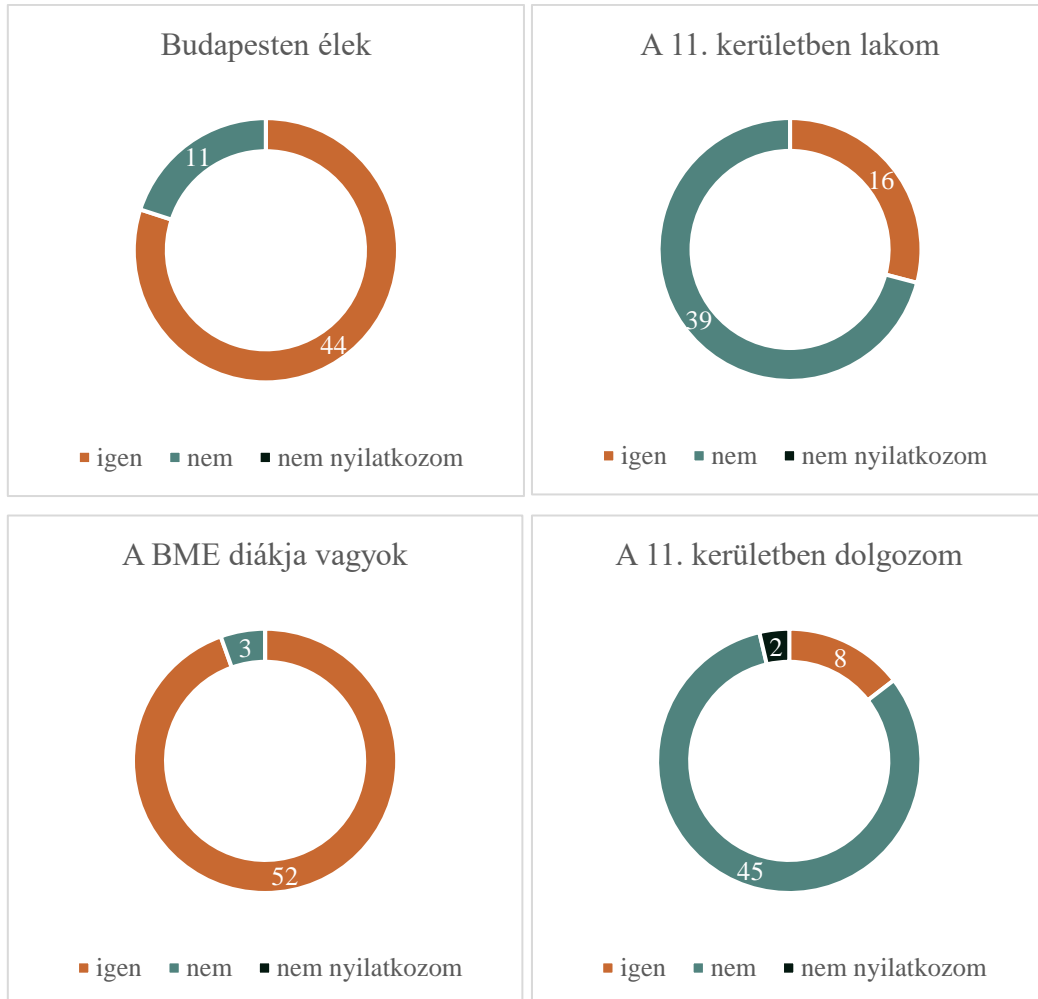
A fenti ábra jól mutatja, hogy a menzára járás idejének csúcspontja 12 és 13 óra között van, a válaszadók több mint 1/3-a (41,8%) ebben az időszámban jár a menzán. Emellett a válaszadók több mint a 2/3-a 12 és 14 óra között jár a menzán (70,9%). A legkevesebben délelőtt járnak, itt a diagram rohamosan növekszik egészen délig, majd onnantól kezdve fokozottabb tempóban csökken. Az emberek több mint 16%-a 14 óra után látogat a menzára.



A második ábra az étkezés időtartamát szemlélteti. A legtöbben, a válaszadók majdnem fele körülbelül 30-45 percet tölt a menzán. A legkevesebben azok vannak, akik 45 percnél több időt töltenek el étkezéssel. A válaszadók 12,7%-a az 5-15 perces időtartamot jelölte be, ők valószínűleg azok, akik elvitelre kérik az ételüket. Az emberek 38,2%-a 15-30 percet tölt a menzán.

3.2 A válaszadók demográfiai adatai

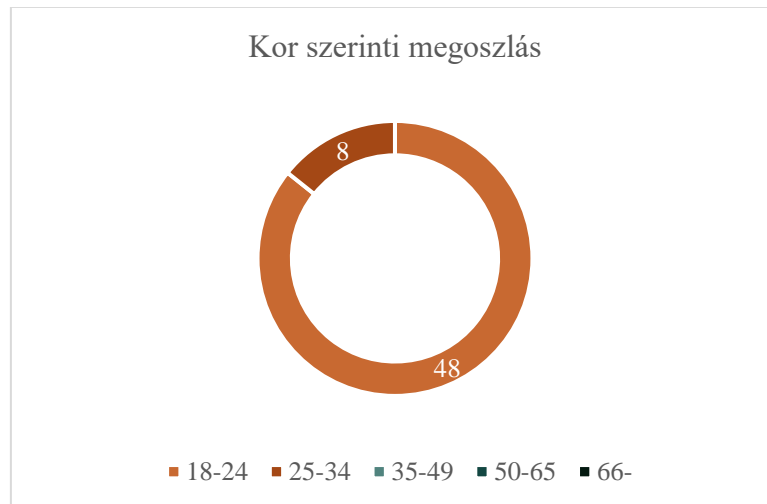
A kérdőív második blokkjában általánosabb szempontokból mértük fel a válaszadókat demográfiai adatokkal. Ide tartozik a lakóhely, nem, életkor és iskolai végzettség.



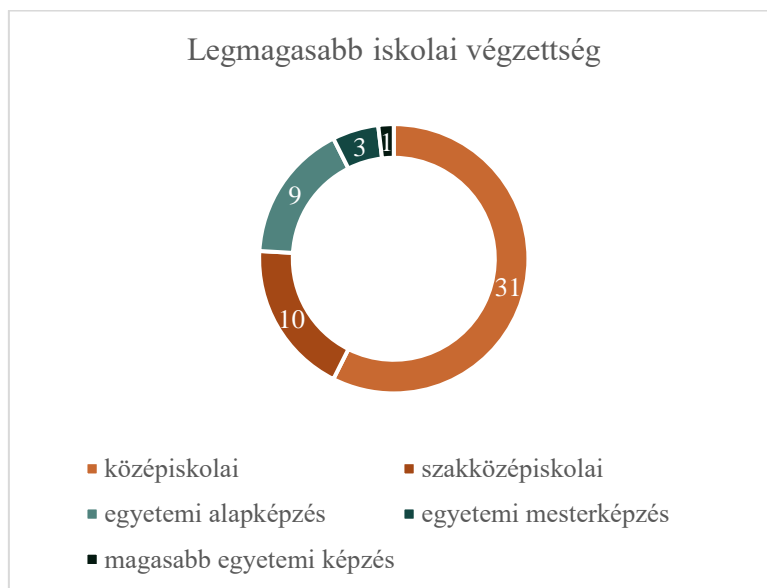
A válaszadók 80%-a él a fővárosban, de több mint 2/3-uk (69%) nem XI. kerületi lakos, ahol a Stoczek menza van. A legtöbb válaszadó a BME tanulója volt, ha nem diák, a XI. kerületben dolgozik.



A válaszadók 40% nő és 60% férfi volt.



A válaszadók 85,5%-a 18 és 24 év közötti, mivel legtöbben az egyetem diákjai. Senki sem volt idősebb 34-nél a válaszadók közül.



A válaszadók 56,6%-a középiskolai végzettségű, jelenleg egyetemen tanuló diákok. 18,9%-uk szakközépiskolai végzettségű és 17%-uk egyetemi alapképzés végzettségű.

Összegzésként a válaszokból lesűrhető, hogy az akusztikai problémák megoldása mellett a környezeti tényezők megújítása is fontos. Ezáltal teremthető ideális légkör az étteremben. Fontos még megemlíteni, hogy a koronavírusra való felkészülés befolyásolta egyesek válaszát (pl.: maszk, plexi fal)!

3.3 Teremakusztikai problémák szubjektív eredmények alapján

A termekről alkotott teremakusztikai ítéletünk meglehetősen szubjektív, így fontos, hogy több véleményen alapuló visszajelzéseket is vizsgáljunk a problémák igazolásához. Ha egy terem építészeti és belsőépítészeti tervezése teremakusztikai megfontolások nélkül történik, az később funkcióbeli problémákat is előidézhet. Sajnos, ez a helyzet a Stoczek menza esetében is. Mivel az étterem építészeti tervezésénél az akusztikai szempontok láthatóan nem érvényesültek, az épület korrekcióra szorul.

A kapott vélemények alapján a Stoczek menzával a vendégek többsége elégedett, azonban kifogásolható a környezeti komfort. Ebbe beletartozik az akusztikai komfort is, ami miatt elégedetlen lehet a látogató.

Mivel a legtöbben az étteremben fogyasztják el ebédjüket (kevesen kéri elvitelre az ételt) és általában több mint fél órát töltenek ott, fontos egy olyan környezet kialakítása, ahol az emberek szívesen tartózkodnak. Az akusztikai rehabilitáció során figyelembe kell venni az étkezővendégek a társalgási igényét is, hiszen szinte mindenki barátokkal vagy munkatársakkal együtt érkezik az étterembe és szeret beszélgetni étkezés közben. Ezt támasztják alá a kérdőív akusztikai hatásokkal foglalkozó részére kapott válaszok is. A vendégek nagy része hiába érti meg a mellettük ülő mondandóját, általában hangosan kell beszélniük ahhoz, hogy megértessék magukat. A beszélgetést zavaró háttérzaj orvoslása ugyancsak az akusztikai rehabilitáció sarkalatos pontja.

A kérdőív válaszait vizsgálva összehasonlíthatjuk a kasszáknál és a konyhapultnál lévő akusztikai problémákat is. Egyértelműen kiderül, hogy a kasszáknál valamivel jobb a helyzet a beszédérthetőséget illetően, hiszen nagyobb százalékban érti meg a vendégeket kasszás, mint ugyanezt a konyhás teszi. A vendégek részéről is jobbnak bizonyult a fizetési terület, mert ők is többször értik meg a kasszást, mint a konyhást. Ennek az oka valószínűleg a konyhapult közelebbi elhelyezkedése és közvetlen kapcsolata a konyhával, ahonnan hangos háttérzajok szűrődnek át a vendégtérbe is. A válaszok alapján az is megfigyelhető, hogy a kasszás és a konyhás gyakrabban érti meg a vendéget, mint a vendég őket, ami arra utal következtetni, hogy az ott dolgozók valószínűleg már jobban hozzászoktak, alkalmazkodtak az akusztikai környezethez, mint az ott kevesebb időt töltő vendégek.

A szubjektív vélemények vizsgálata során az is kiderült, hogy az általános hangzavar ellenére nagyon sokan járnak a menzára 12 és 14 óra között, körülbelül 30-45 percet ott töltve, ami

közben folyamatosan zajos térben tartózkodnak. A Stoczek menza fő látogatói körét a Műegyetemen tanuló diákok teszik ki. Erre a kérdőív több pontja is rávilágított, főként a válaszadók kora és iskolai végzettsége alapján. Rajtuk kívül az egyetem vonzáskörzete a 11. kerületi dolgozókra és lakosokra terjed ki nagyrésztben, amely alátámasztja azt az állítást, hogy az étterem előnye a közelség és részben a megszokás tartja fenn.

A Stoczek menza akusztikai újra gondolásának legfontosabb indoka a zaj emberi szervezetre gyakorolt hatása. A hosszabb idejű, magas zajterhelésű környezetben tartózkodás miatt akár olyan komolyabb egészségügyi problémák is kialakulhatnak, mint a magas vérnyomás, gyomor- és bélfekély, keringési zavarok és szaporább szívverés. Egy zajos térben eltöltött rövid idő pszichés hatása már 30 dB feletti zajszintek esetén is jelentkezik, 65 dB zajszint felett a vegetatív idegrendszerre gyakorolt hatások 90 dB zajszint felett a hallószervben bekövetkezett változások jelentkezhetnek. Az első kategóriába tartoznak, hogy az éttermi látogatók fáradtabbnak érezhetik magukat és a diákok számára az órák közötti, ebéddel egybekötött pihenés is nehezebbé válik. A második kategóriába tartoznak az olyan hatások, mint a testhőmérséklet csökkenése, anyagcsere fokozódása és fejfájás. Az utolsó és egyben legsúlyosabb kategóriába tartoznak az ideiglenes vagy maradandó halláskárosító hatások. Ezekkel a hatásokkal az támasztható alá, hogy gyakran egy ismert probléma, betegség mögött állhat a nem megfelelő akusztikai komfort is befolyásoló tényezőként.

Az akusztikai problémák többféleképpen orvosolhatók, mint például a helyiségek határoló szerkezeteinek (fal, födém, nyílászáró) méretezésével, a helyiség megfelelő elrendezésének kialakításával, visszaverő és hangelnyelő burkolatok és elemek elhelyezésével. Célszerű olyan megoldást választani, amely mind látványban, mind akusztikailag is előnyös. A beavatkozás nem csak egyszerűen az akusztikai komfort javítását célozza, hanem az építészeti funkciót is támogatja, figyelembe vesz egyaránt környezetvédelmi és egészségügyi szempontokat is.

3.4 Emberek véleménye

Ahhoz, hogy a Stoczek menzáról, mint étteremről és épületről átfogó képet kaphassunk, még több szubjektív szempontot is megvizsgáltunk.

A Stoczek menza népszerűsége főként elhelyezkedéséből adódik. Az ételadagok általában nagyok, illetve alacsony áron elérhetőek, így az étterem éppen megfelel a környékbeli egyetemisták igényeinek. Pár különlegességgel azonban itt is találkozunk az ember, amely más

éttermekben nem megszokott, így a Stoczek menza sajátos megjelenését erősítik. Ilyen furcsaság például az étel bemutató pult. Máshol ez általában fix menü esetén egy falifotó, itt azonban nem csak illusztrációval mutatják be, mire is számíthatunk, hanem magát az ételt. Rögtön a menzára való betérés után fogad minket pár emeletes üvegvitrin, melyekben az aznap kapható fogások vannak bepakolva, ami egy kiváló és korrekt tájékoztatás a vendégek részére. Másik ilyen furcsaság lehet, ha az emeletre érkezve megpillantjuk a lépcsővel szemben található hatalmas táblákat az étterem választékával. Célirányosan haladunk ezáltal egészen az ételt kikérő pultig, a hely népszerűsége miatt azonban gyakran elfogy a választott étel, mire ránk kerül a sor. A konyhások elfoglaltsága miatt pedig ez fent marad a táblán továbbra is. A menzán diákmenüre is van lehetőségünk, és naponta változik a kínálat is. Az étterem önkiszolgáló módon működik és jelenleg a Melódin étteremláncához tartozik. [4]

Az emberek véleménye a Stoczek menzáról, mint épületről sajnos nem a legjobb. Sokan elavultnak tartják, mintha minden megállt volna az időben, olyan, mint 10-15 évvel ezelőtt. Ebbe beletartozik az épület maga, a bejárat és a belső tér is úgy általánosságban, ami diszkomfort érzetet ad. Ezt az érzést csak tovább növelhetik az egyes akusztikai problémák.

Más éttermekkel összevetve a Stoczek menza sem épület állagban és designban, sem pedig minőségben nem volt jobb. Sok válaszadó véleménye szerint egyéb menzákon kellemesebb a belső tér. A negatív véleményekhez az is hozzájárul, hogy általában a tömeg miatt hosszabb várakozás előzi meg az ételrendelést. A felső szinten szokásosan kígyózó sorba kell beállni, mire a pulthoz jutunk. Az egyetemváros mellett elhelyezkedő Stoczek menza sokkal inkább tűnik egy ipari konyhának külső szemmel, mint egy kifőzdének. Idejétmúlt állapota miatt is rehabilitációra szorul. [5]

4 Helyszíni felmérések, objektív vizsgálatok

4.1 Első vizsgálat: Zajszint-mérések

4.1.1 A zajszint mérésének fontossága

A menzán elvégzett mérések közül elsődleges volt a használat közben jellemző zajszint meghatározása.

A hang felfogható információkat szolgáló eszközként is vagy zajforrásként is. A mellettünk álló ember, ha hozzánk beszél az a hang számunkra információ. Azonban a pár méterrel arrébb ülő olvasó ember számára ez a hangforrás zajnak minősül, hiszen zavarja a koncentrációjában és megnehezíti az olvasási tevékenységét. Általánosságban környezetünkre minden jellemző egy alap zaj. A tipikus környezetekhez tipikus zajok és zajforrások tartoznak. Az egyes védendő területekre vonatkozóan egy miniszteri rendelet ad meg határértékeket (27/2008. (XII.3.) KvVM-EüM együttes rendelete a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról).

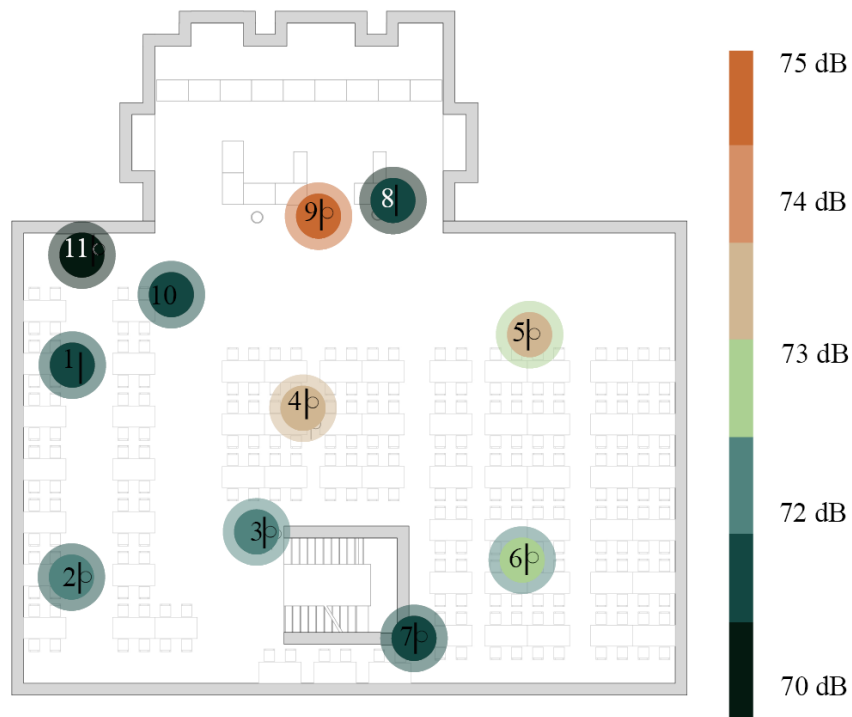
A Stoczek Menzán étkező vendégként az alábbi tevékenységeket érzékeljük zajként:

- 1) A jelen lévő (nem hozzánk szóló) emberek társalgása.
- 2) A kiszolgálóhelyiségből hallatszódó, vásárló és ételkiadó közötti társalgás.
- 3) A teremben jelen lévő gépek alaplüködéséből adódó kibocsátás (hűtők, kassza gépek, ventilátor stb.)
- 4) A mosogatóból átjövö hangok (tányérok, poharak, tálcák pakolása és mosása).
- 5) A külsö környezetből (utcaról, forgalomból) beszürödött zajok (nem megfelelően záródó, alacsony hanggátlású nyílászárók).

A környezetünkben észlelt zajok - a zajforrások változatossága miatt is - az idő függvényében változóak. A zajszint vizsgálatához hangnyomásszint-mérö eszközt használtunk. A mért értékek közül a leggyakrabban használt jellemző az egyenértékü hangnyomásszint. Ez az érték egy átlagos zajszint: azt a konstans szintet adja meg, ami azonos energiájú, mint a vizsgált időszak alatti zajesemények energiája. Az egyenértékü szint mellett a berendezés a maximum és minimum szinteket és a különféle statisztikai szinteket is rögzítette. Az alábbi táblázat mutatja a vizsgált értékeket. 11 mérést végeztünk ebédidőben 12:30 és 13:00 között egy szerdai napon. A mérési eredményeket a fenti ábrán is szemléltettük: a mért egyenértékü szintet a kör külsö sávja, a pontokban mért maximális szintet a kör belső része mutatja.

Az étkezde a pandémia miatt csökkentett üzemmódban működik, így a teremben nem a megszokott tömeg volt. Általánosán körülbelül minden 3.asztalnál ültek. Ennek ellenére így is kifejezetten magas értékeket kaptunk.

4.1.2 A zajszint-mérés eredményei

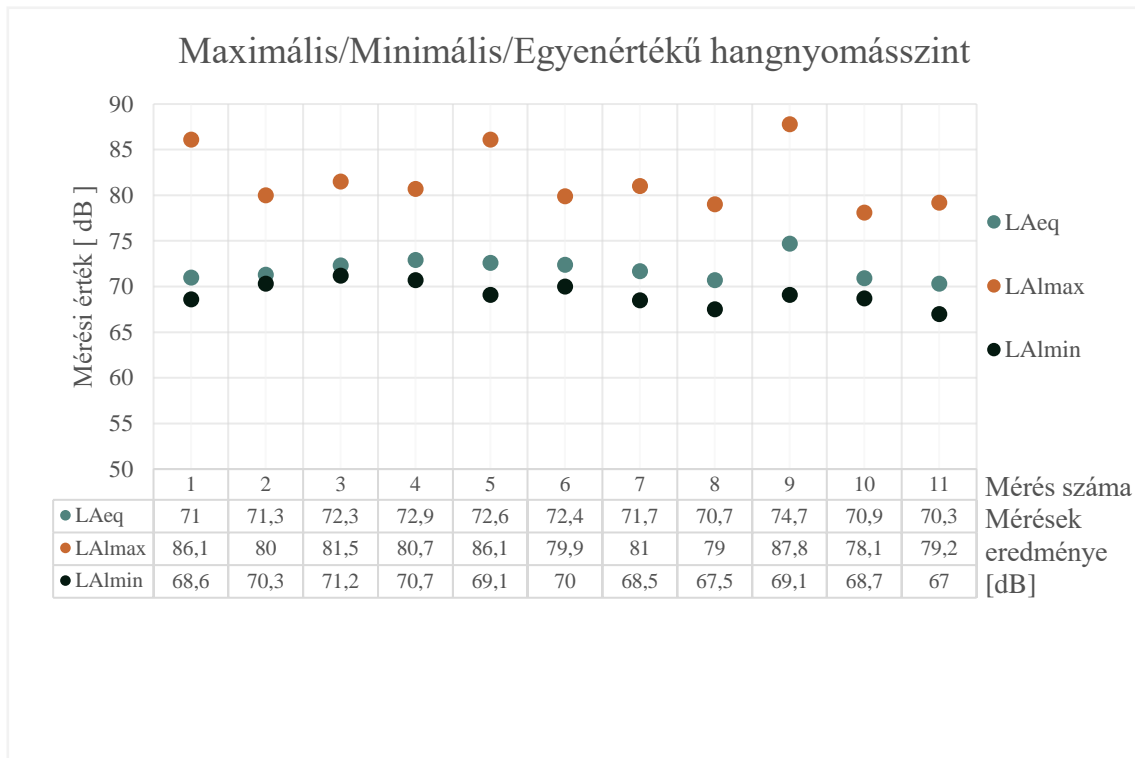


4-1. ábra: L_{Aeq} szint eloszlástérkép

A zajszint-vizsgálatokhoz felvett mérési pontok leírása:

Sorszám	A mérés helye
1	Balról az asztalok 1. és 2. oszlopa között a 2. sorban
2	Balról az asztalok 1. és 2. oszlopa között a 6. sorban
3	A lépcső mellvédje mellett
4	A középső asztalblokk közepén
5	Jobbról a 3. oszlop 1. sora (tányérok beszédő része)
6	Jobbról a 3. oszlop 4. sora
7	Jobbról az 5. oszlop 6. sora
8	Jobb oldali pénztár
9	Két pénztár között
10	Sorban állás része
11	Bal oldalt a mikrónál

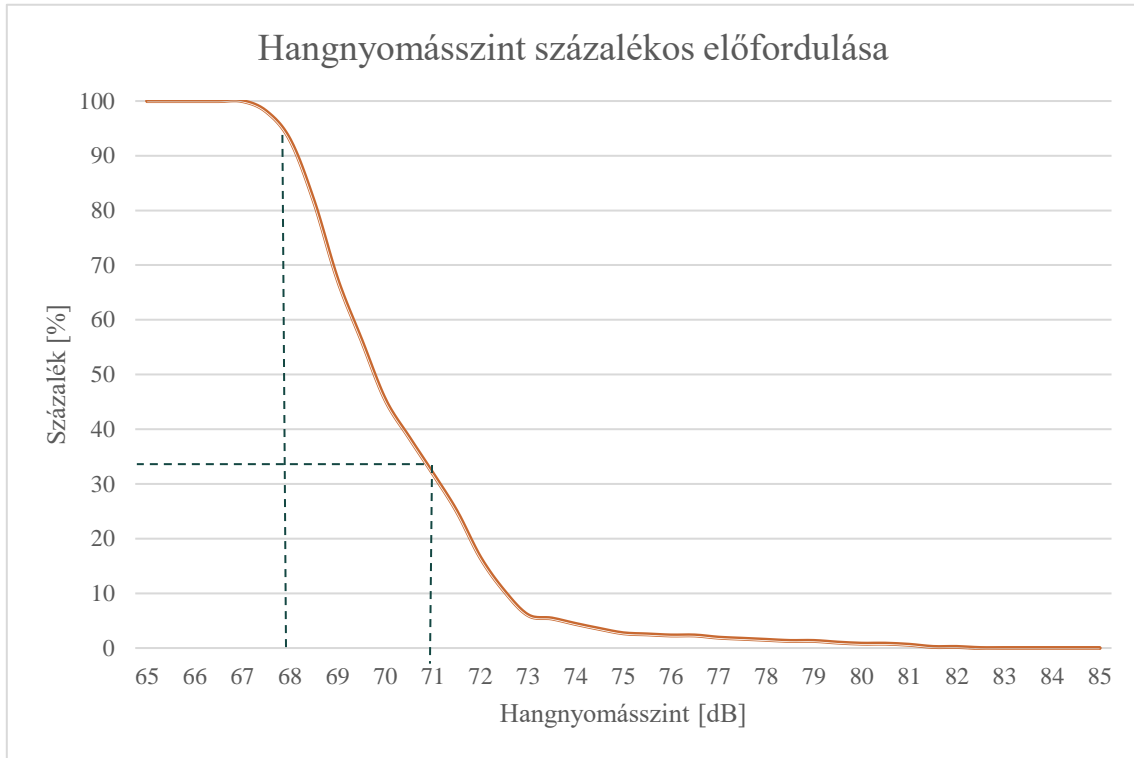
A mérések eredményeit az alábbi diagramokon olvashatjuk.



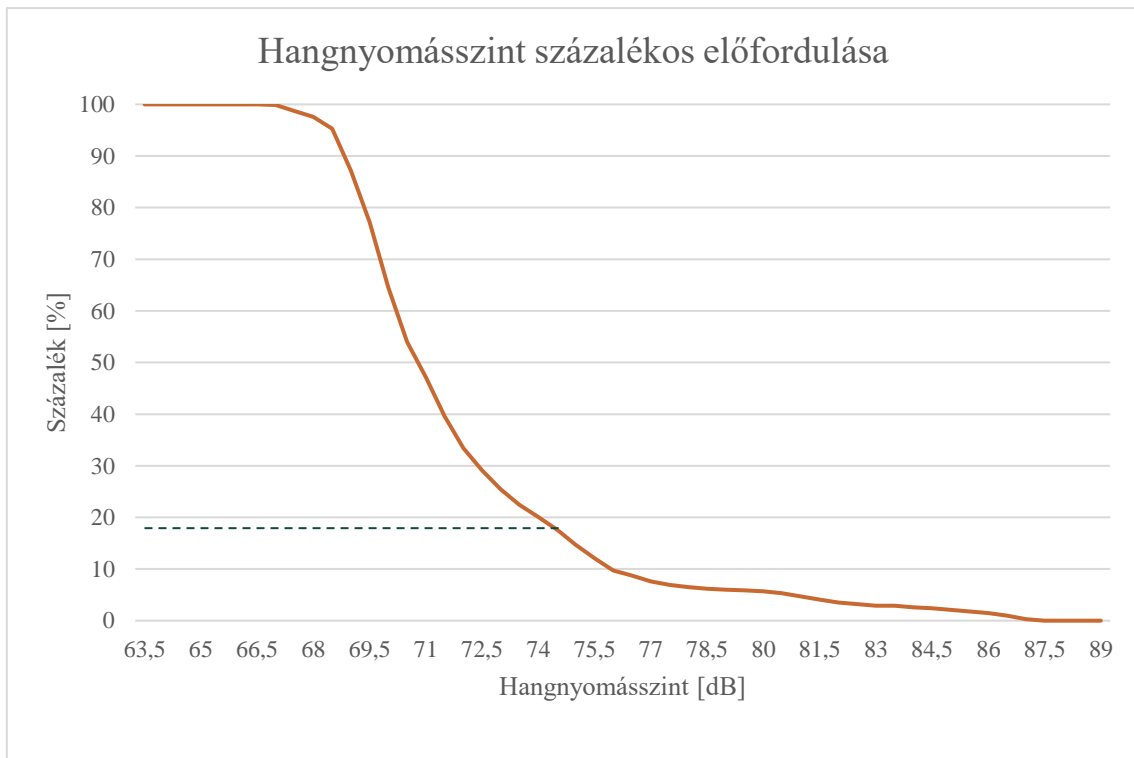
4-2. ábra Maximális/Minimális/Egyenértékű hangnyomásszint (L_{Aeq} ; L_{Amax} ; L_{Amin}) értékei az egyes mérési helyszíneken

Kimagasló eredményt mutatott a 9. mérési pont, ami a két pénztár között található. A maximális hangnyomásszint a mérés ideje alatt 87,8 dB volt, ami nagyságrendileg megegyezik egy pár méterre tőlünk elhaladó vonat zajszintjével. Ebben a pontban az egyenértékű hangnyomásszint is kimagasló eredményt mutatott 74,7 dB-t, tehát a mérés teljes időtartamára is igen magas hangnyomásszint jellemző. Az első mérési pontban nagy különbséget kaptunk a maximális és az egyenértékű szintek között. Ez utalhat egy pillanatnyi, nagyobb zajszintű eseményre, például tányérok összeütközése, vagy a kasszafiók becsapódására. A százalékos eloszlásról leolvasható, hogy a gép által kiszámított egyenértékű hangnyomásszint (71 dB) a mérési idő harmada alatt mérhető volt.

Az étkezdékben általánosan 50-60 dB hangnyomásszint az elfogadott érték. Ezt az értéket jelenleg a menza általánosan meghaladja 10-15 decibellel, ami nem csak az ott dolgozóknak okozhat hosszú távon halláskárosodást, de az ott étkezőknek is elvesz ebédszünetük élvezeti értékéből.



4-3. ábra Hangnyomásszint százalékos előfordulása az 1. mérésnél



4-4. ábra Hangnyomásszint százalékos előfordulása a 9. mérésnél

4.1.3 Képek a zajszint-mérésről



4-5. ábra Zajszintmérés helyszíni kép 1

A zajszint méréséhez a képen látható mérőeszközt vettük segítségül. A műszer (Brüel&Kjær 2238 típusú hangnyomásszintmérő) használata egyszerű és gyors mérést tett számunkra lehetővé.



4-6. ábra Zajszintmérés helyszíni kép 2

A képen jól látható, hogy a Menza ablakai a mérés alatt nyitva voltak, ami valós képet mutat, hiszen az étkező részén télen-nyáron nyitva van néhány ablak. A nyílászárók régiek, és sok esetben becsukásuk már nem is lehetséges. Mindez emelheti a zajszinteket.



4-7. ábra Zajszintmérés helyszíni kép 3

A zajszint-mérést a Stoczek menza egyik forgalmas időszakában végeztük el. A vendégek által generált zaj nagyban hozzájárul az átlagos magas zajszint kialakulásához.

4.2 Második vizsgálat: Teremakusztikai felmérés

4.2.1 Utózengési idő

A menza teremakusztikai felmérését üres teremben végeztük. A konyha vezetője beengedett bennünket mérőeszközeinkkel a nyitás előtti órákban -a mérési folyamat kellemetlenségei ellenére is. Ugyanis az utózengési idő mérése nem egy halk folyamat, megléte azonban elengedhetetlen a terem akusztikai megismerése céljából. Az utózengési idő (Reverberation Time) többféle módon mérhető. A hagyományos mérési módszerek során egy pisztolylövés szerű hangot kiadó eszközt vagy egy folyamatos zajt sugárzó, majd a sugárzást hirtelen abbahagyó eszközt (hangsugárzót) alkalmazunk. A forrás kikapcsolása után a kezdeti hangenergia egymilliomod részére csökkenéséhez szükséges idő az utózengési idő. * Az egymilliomod részre csökkenés megfelel a hangnyomásszint 60 decibeles csökkenésének, a mérés tehát hangnyomásszintmérővel elvégezhető. (3-6. ábra) Ilyen mértékű hangnyomásszint-csökkenést azonban nem lehet minden esetben létrehozni, illetve zavartalanul megfigyelni a teremben jelen lévő alapzaj miatt. Ezért az utózengési időt kisebb szintcsökkenésekből, extrapolálással határozzuk meg. Az extrapolálással meghatározott utózengési idők jele T10, T20 vagy T30, attól függően, hogy a 60 decibeles csökkenést 10, 20 vagy 30 decibeles csökkenés alapján számítjuk. Az utózengési idő nagy értéket mutat (magas), ha a terem hangelnyelési képessége alacsony és ezért a hang sok a reflexió után is még viszonylag magas energiával a teremben marad (pl. templom). Az utózengési idő alacsony, ha a hangelnyelési képesség magas, és ezért már kevés reflexió alatt is jelentősen tud csökkenni a hangenergia (pl. bútorozott hálószoba). A nagy utózengési idő rontja a beszédérthetőséget, a megfelelő beszédérthetőség biztosítása pedig számunkra a Menza esetében elsődleges szempont. Az utózengési idő jól becsülhető a terem térfogata (V) és a teremben található felületek hangelnyelési képessége alapján. Az utózengési idő kiszámítását legegyszerűbben a Sabine képlettel tehetjük meg.

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{\sum \alpha_i S_i}$$

V = a terem térfogata m³-ben,

α_i = egyes felületek hangelnyelési tényezője – egy 0 és 1 közötti valós szám,

S_i = egyes felületek mérete m²-ben.

A hangelnyelési értékeik alapján az anyagokat különböző osztályokba soroljuk, amit a későbbiekben a problémamegoldásnál fogunk kifejteni.

4.2.2 Az utózengési idő mérése, mérési eredmények

Az utózengési idő *frekvenciafüggő* mennyiség. A vizsgálatok során a teremakusztikában megszokott módon az utózengési időt oktávsvonként és tercsávonként határozzuk meg.

A teremakusztikai felmérés módja: A számítógépen futó mérőprogram egy seprert szinusz (swept sine) mérőjelet ad ki, mely a hangkártyán keresztül a teljesítményerősítőbe jut, az erősített jelet a dodekaéder hangsugárzó a tér minden irányába egyenletesen lesugározza ("gerjesztés"). A seprert szinusz egy összetett, szélessávú mérőjel: egy folyamatosan változó frekvenciájú szinuszos hang, ami a teljes, 20 Hz-től 20 kHz-ig tartó, hallható hangtartományt "végigsepri". A gömbi iránykarakterisztikájú (minden irányban azonos érzékenységgel detektáló) mérőmikrofon érzékeli a terem válaszát - a lesugárzott seprert szinusz jel terem által módosított változatát -, ami a hangkártyán keresztül a számítógépbe továbbítódik és itt a mérőprogram rögzíti. A válaszjel és a gerjesztőjel alapján a program meghatározza az adott forrás- és vevőpozíció közötti átvitelt jellemző impulzusválaszt, ebből pedig a fontosabb akusztikai paramétereket. A paraméterek egy része, így az utózengési idő is az impulzusválaszból számított energialecsengési görbéből határozható meg.

A kiértékelő program többek között az alábbi paramétereket határozta meg:

T10: T60 lecsengési görbe 10dB-hez végzett utózengési idő értéke

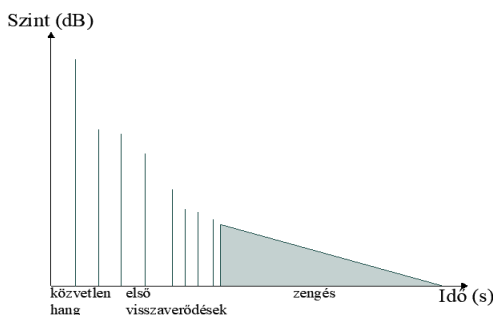
T20: T60 lecsengési görbe 20dB-hez végzett utózengési idő értéke

T30: T60 lecsengési görbe 30dB-hez végzett utózengési idő értéke

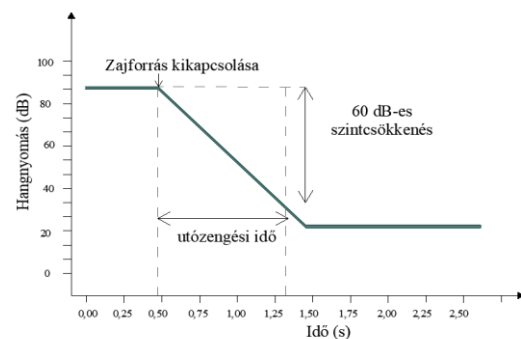
D50: Beszédcélú hangtisztaság (deutlichkeit)

C80: Zenei hangtisztaság (clarity)

EDT: Korai lecsengési idő, a lecsengési görbe első 10 decibeles csökkenéséből becsült 60 decibeles lecsengéshez tartozó idő

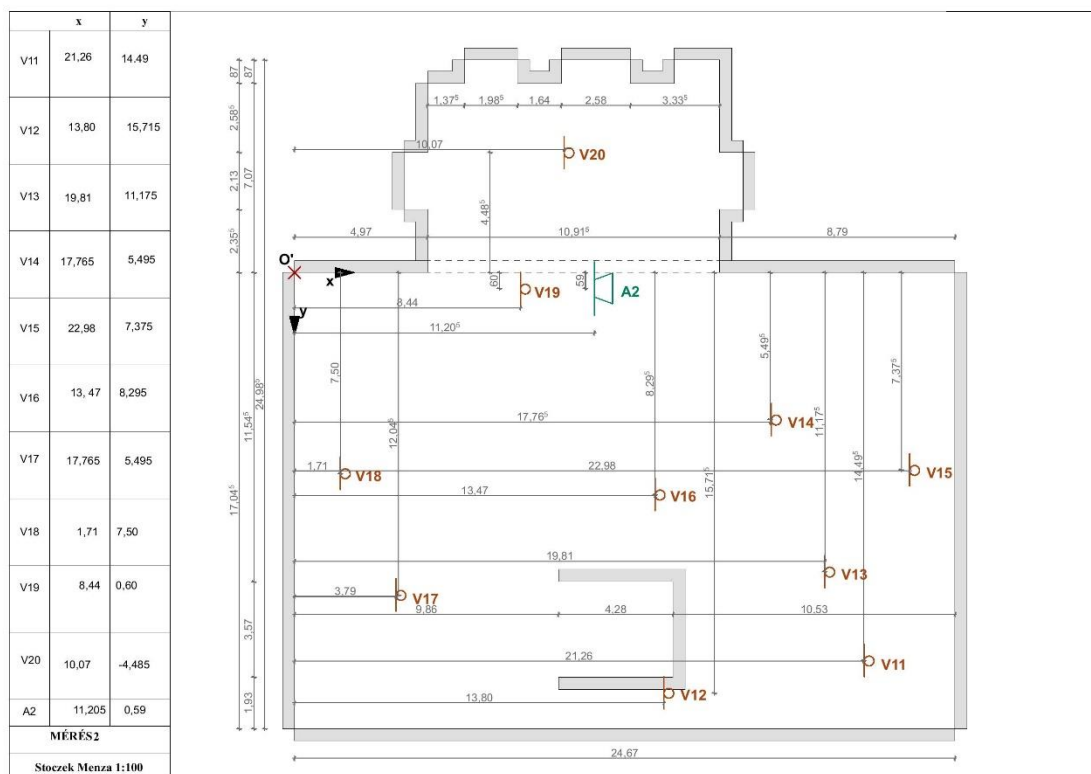


4-9. ábra Utózengési idő általános ábrázolása

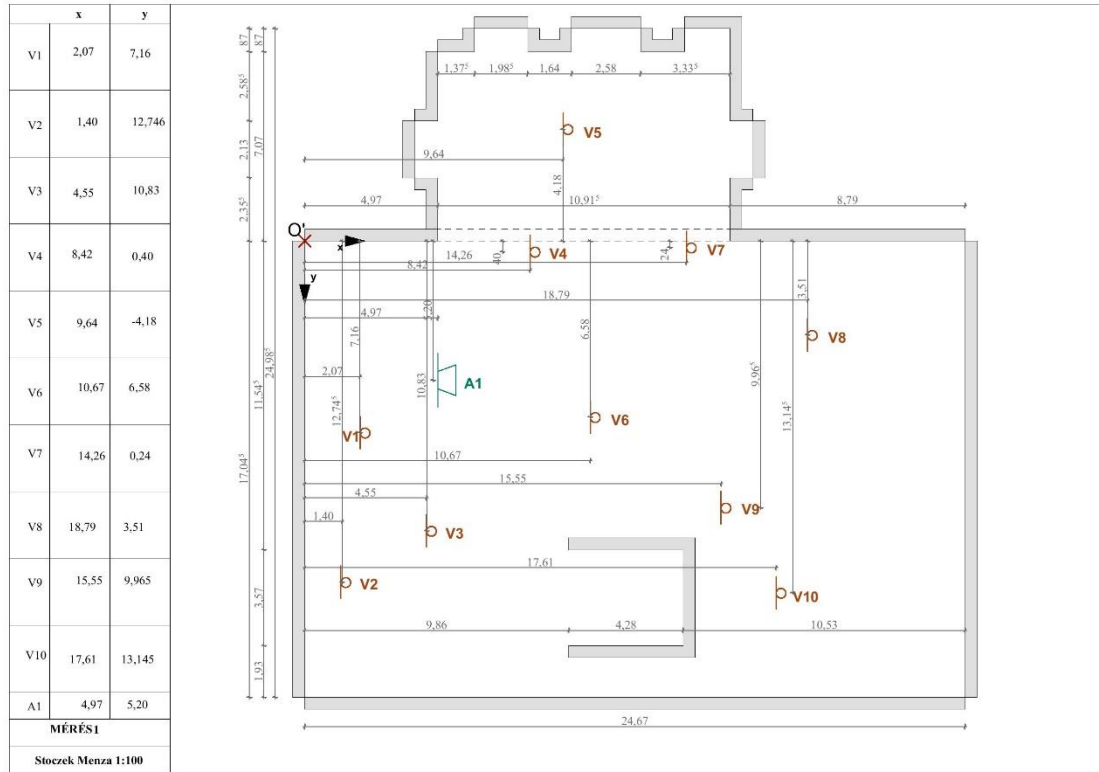


4-8. ábra Utózengési idő általános ábrázolása 60 dB szintcsökkenéssel

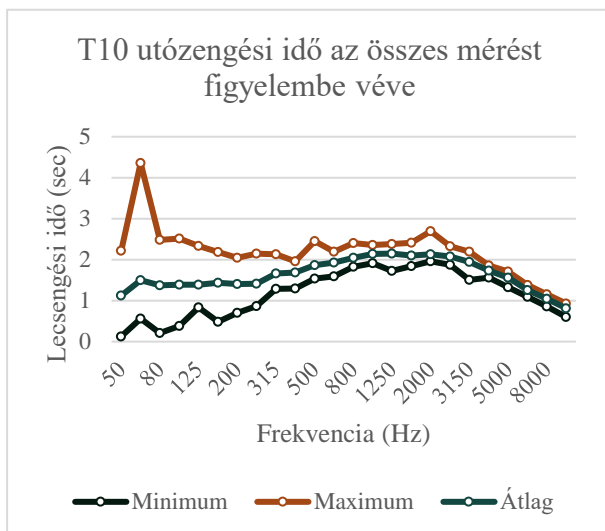
Összesen 20 forrás-vevő párban végeztünk mérést. Az első 10 mérésnél a hangszugárzó a bal oldalról a második sorba volt elhelyezve, majd ezt követően áthelyeztük a két kassza közé. A a nagyszámú mérés alapján meghatározott átlagos érték jól jellemzi a termet, emellett a különböző szituációkban vizsgálhatók az eredmények közötti eltérések okai is. A vevővel a menza különböző helyzeteiben mértünk. Az étkező részt megvizsgáltuk a bal oldalon (V1, V2, V3, V18, V17) középen (V6, V16) és a jobb oldalon (V8, V9, V10, V14, V15, V13, V11, V12) is. A kassza részénél (V4, V7, V19), valamint az ételkiadó (V5, V20) részén is fontos volt az eredmények rögzítése. Az alábbi alaprajzok mutatják az elhelyezett Adó és Vevő pontos helyzetét az egyes mérések alatt.



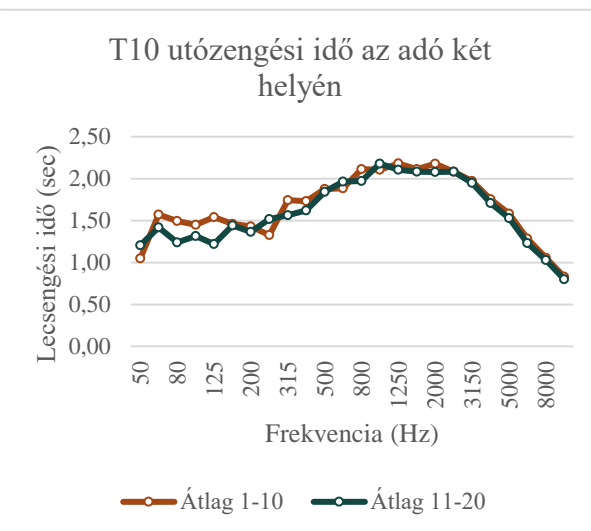
4-10. ábra Utószögési idő mérése első 10. mérés alaprajzi helyzete



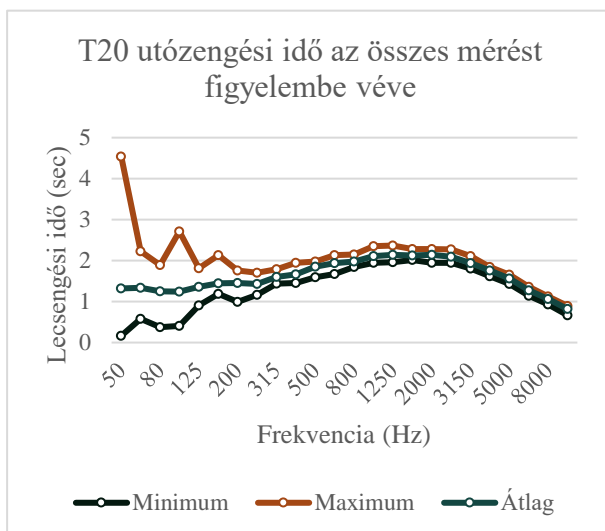
4-11. ábra Utözengési idő mérése 11-20. mérés alaprajzi helyzete



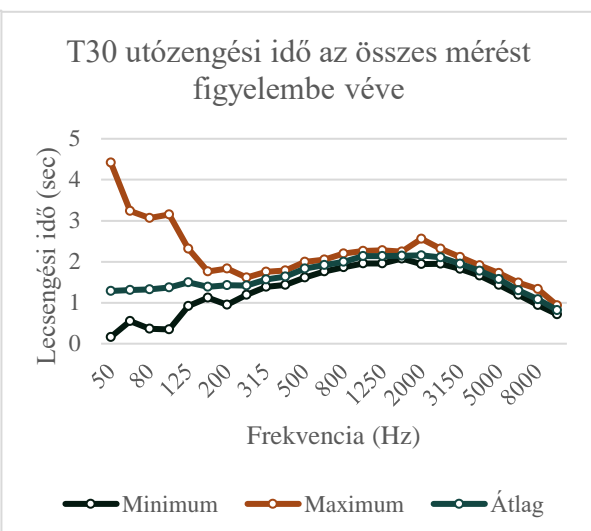
4-14. ábra T10 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon. Minimum, Maximum, Átlag



4-13. ábra T10 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon a mérés különböző helyein

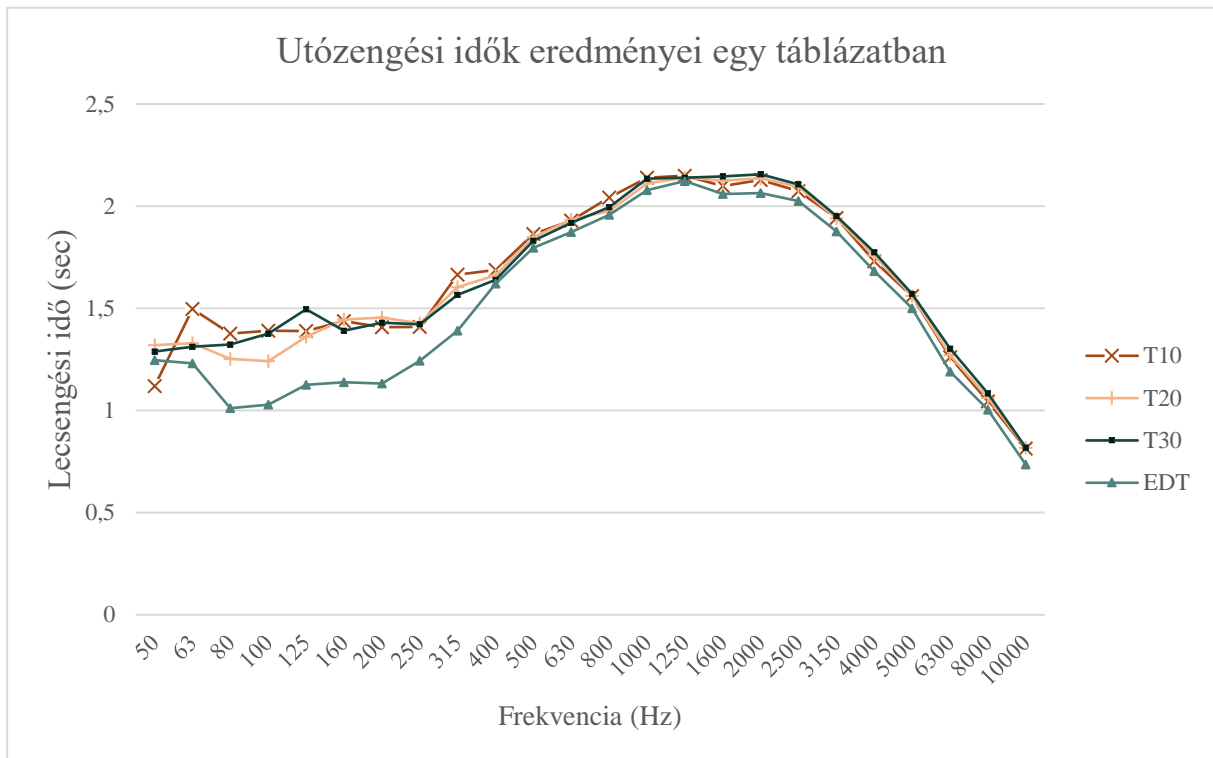


4-12. ábra T20 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon. Minimum, Maximum, Átlag

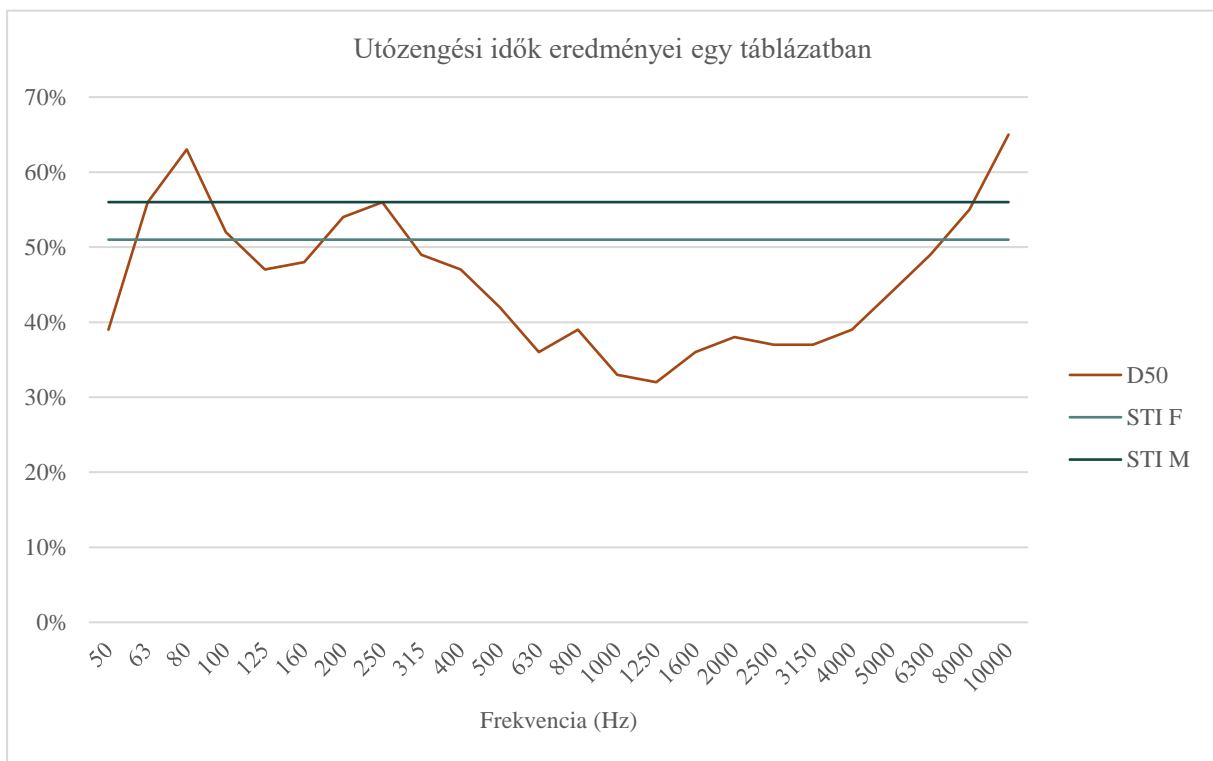


4-15. ábra T30 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon. Minimum, Maximum, Átlag

Kis frekvencián magasabb (3 másodperc) értékek után csökkenés következik be, az 500 Hz és 3150 Hz közötti frekvenciatartományon egy enyhe emelkedés majd csökkenés tapasztalható 1,5-2,3 szekundum közötti értékekkel. Végül a magasabb frekvenciákon ismét csökkenés következik be. A T10-es mérés esetében külön ábrázoltuk a Adó1 és Adó2 által generált méréseket. Az első mérésnél amikor az adó az étkező részre lett elhelyezve a kisebb frekvenciákon magasabb lecsengési időt mutat a mérés. Az eredmények általánosan magas értékeket mutatnak. A 1,5 és 2,3 másodperc közötti utózungési idő megfelelő lenne egy hangversenyterem számára, azonban a beszédérthetőség javításához alacsonyabb értékre van szükségünk. Például egy tanteremben az optimális tartomán 0,6-0,7 s közötti.



4-16. ábra Átlagos utószengési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon



4-17. ábra Beszédérthetőségre vonatkozó összegző eredmények

Az átlagolt eredmények közül kiolvasható a beszédcélú hangtisztaság (D50) értéke is. Ez egy arányszámot határoz meg: az adott forrás-vevő párost jellemző $h(t)$ impulzusválaszban az első 50 ezredmásodperc alatt beérkező és a teljes energia aránya. * A közvetlen hangot követő első 50 ms alatt beérkező hangokat fülünk nem tudja szétválasztani, ezek energiában összegződnek, azaz a lényegi információt hordozó közvetlen hang energiája nő. Az 50 ms-nál nagyobb késleltetéssel érkező hangokat fülünk már különálló hangként (visszhangként) érzékeli, mely a beszéd érthetőségét rontja. Ebből kifolyólag a kezdeti 50 ms és a teljes folyamat alatt beérkező energia arányát kifejező D50 paraméter értéke minél nagyobb, annál magasabb az érdemi információ (jel) és a zavaró információ (zaj) aránya, azaz annál jobb beszédérthetőség.

A beszédérthetőség minősítésére a beszédátviteli mutató (Speech Transmission Index, STI) használata is elterjedt, bár a paramétert nem a teremakusztikai viszonyok, hanem beszédátviteli rendszerek minőségének jellemzésére találták ki és ennek megfelelően nem teremakusztikai paraméter. A jellemző külön értéket ad meg Női (STI F) és a Férfi (STI M) beszédre. A női STI pontos értéke:0,51, valamint a férfi STI pontos értéke:0,56. Az alábbi táblázat az STI paraméter és a beszédérthetőség közötti kapcsolatot mutatja. [7]

<i>STI értéke</i>	<i>Minősége a IEC 60268-16 szabályozás szerint</i>	<i>A szótagok érthetősége [%]</i>	<i>A szavak érthetősége [%]</i>	<i>A mondatok érthetősége [%]</i>
0-0,3	rossz	0-34	0-67	0-89
0,3-0,45	gyenge	34-48	67-78	89-92
0,45-0,6	megfelelő	48-67	78-87	92-96
0,6-0,75	jó	67-90	87-94	95-96
0,75-1	tökéletes	90-96	94-96	96-100

4.2.3 A teremakusztikai felmérés során készült képek



4-18. ábra Teremakusztikai mérés helyszíni kép 1

A képen látható dodekaéder formájú, nagy teljesítményű mérőeszköz a Qsources Qohm omnidirekcionális hangsugárzó. A teremakusztikai mérőrendszer további eszközei voltak a Qsources Qam teljesítményerősítő, az E-MU Tracker Pre hangkártya, egy mikrofon és maga a mérőprogram.



4-19. ábra Teremakusztikai mérés helyszíni kép 2

A méréshez használt Behringer ECM8000 kondenzátormikrofont a Stoczek menza több pontján állítottuk fel. Az egyik ilyen mérési pont volt a kasszák melletti helyszínen.



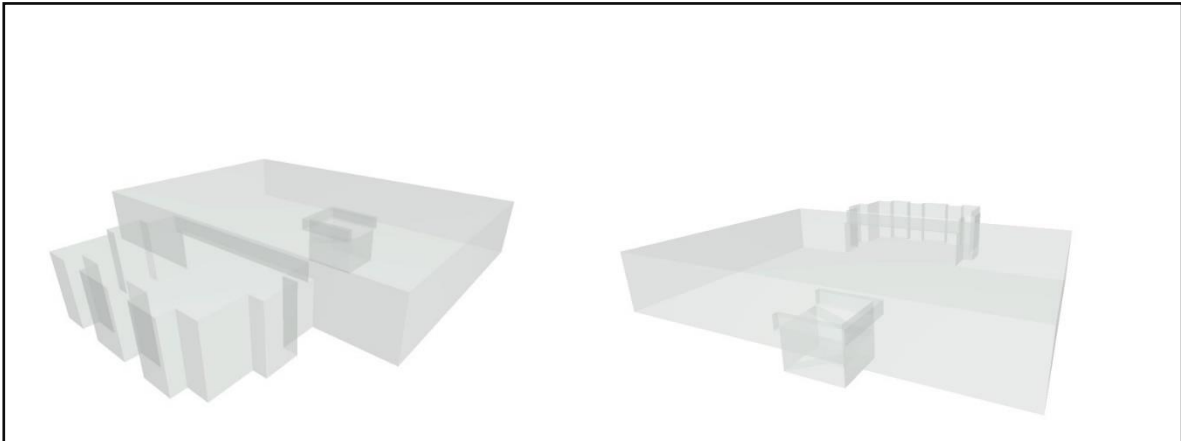
4-20. ábra Teremakusztikai mérés helyszíni kép 3

Az egyes pontokban a hangsugárzó által kibocsátott hangot (gerjesztést) a képen látható mikrofonnal rögzítettük még az étterem nyitása előtti, reggeli órákban. A mikrofon helyzetének pontos meghatározásához lézeres távolságmérőt használtunk.

4.3 Számítógépes modellezés

A számítógépes teremakusztikai szimulációkhoz az étterem leegyszerűsített 3D modelljét kellett elkészítenünk. A modellt Archicadben hoztuk létre a helyszíni felmérés alapján.

A modellezés szempontjából nagyon fontos, hogy a belső tér zárt legyen, hogy a terem akusztikai szimulációja közben „ne szökjön ki a hang” sehova. Az egyszerűsítés az oszlopok elhagyásával, a parpaetfal kihagyásával és a felületek leegyenésítésével történt.



4-21. ábra Számítógépes modellezés 3D modell akusztikai elemzéshez

5 Fennálló problémára reakció

5.1 Hangnyelő anyagok ismertetése röviden

A fennálló akusztikai problémákat több irányból megközelíthetjük. A terem határolófelületeitárgyak fogják fel vagy verik vissza a hanghullámokat. A menza álmennyezete szemmel láthatóan régen került felszerelésre, több helyen egyenetlen magasságban, megsüllyedve. A hangnyelési tényezője, habár ismeretlen, a cseréje akusztikailag elengedhetetlen. Az akusztikai



5-1. ábra A Stoczek Mensa álmennyezete jelen helyzetben

problémák orvoslása 3 tényezőből tevődik össze: hangnyelő-hangvisszaverő álmennyezet felszerelésével, hangnyelő falburkolat készítésével és a mélyhangnyelés biztosításával. A differenciált hangnyelő-hangvisszaverő burkolatnál az álmennyezet nem teljes egészében homogén akusztikai tulajdonságú, hanem a szükséges helyeken hangnyelő, másutt

visszaverő, ezáltal segíti a hangterjedést halk beszédforrások esetén, de elnyeli a beszédérthetőség biztosítása szempontjából káros visszaverődéseket. A beszédérthetőséget tovább növelik a hangelnyelő falburkolatok, nélkülük a megfelelő beszédérthetőség sokszor nem is biztosítható. A mélyhangelnyelés megvalósítása pedig általában az alapzaj korlátozása esetén kritikus.

Zajcsökkentésre több módszer is létezik, de elsődleges lehet a megfelelő burkolat a helyiségben. A hangelnyelő anyagok kiválasztásánál figyelembe kell venni a falak szerkezetét, felületét is. Olyan burkolat kiválasztása a célszerű, amely többrétegű, porózus, légrésekből álló vázrendszerből és hangszigetelő anyagból áll, ugyanis a kemény szerkezetek inkább visszaverik a hangokat. Fontos a nagy, sík, üres felületek elkerülése. Ez vonatkozik a falakra, padlóra és a mennyezetre is egyaránt, több helyre érdemes puhább anyagokat rakni, mint például szőnyegek, függönyök, amelyek mellett, hogy hangszigetelők, stílusos megjelenést is kölcsönözhetnek a térnek. További térelválasztó falak, akusztikai függönyök vagy paravánok használatával még tovább csökkenthetjük a kellemetlen zajokat.

Nem szabad megfeledkezni a nyílászárók és a gépek zajáról sem. A nyílászárók hangszigetelésénél feltétlenül el kell tömíteni a réseket. A kívülről beszűrődő zajok elleni védelem gumiprofilokkal, öntapadós szivaccsal kivitelezhető. A zajokat keltő gépeket, eszközöket pedig zajcsökkentő anyagokkal érdemes körbe venni, illetve külön helyiségbe tenni őket, ha lehetséges.

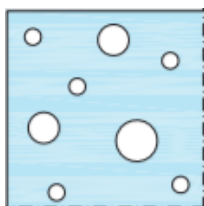
5.1.1 Álmennyezetek

Az álmennyezetek kiválasztásánál két fontos tényezőt kell figyelembe venni: a hangelnyelést és a hanggátlást. A hangelnyelés célja az, hogy csökkentse a felületről visszaverődő hang energiáját, ezzel meggátolva a térbeli zaj növekedését. A hanggátlás a termek közötti áthallást csökkenti. Dolgozatunkban a Stoczek Menza emeleti szintjével foglalkozunk csak, azonban, ha a földszinti részt is méreteznénk, fontos lenne a két terem közötti hanggátlással is foglalkozni.

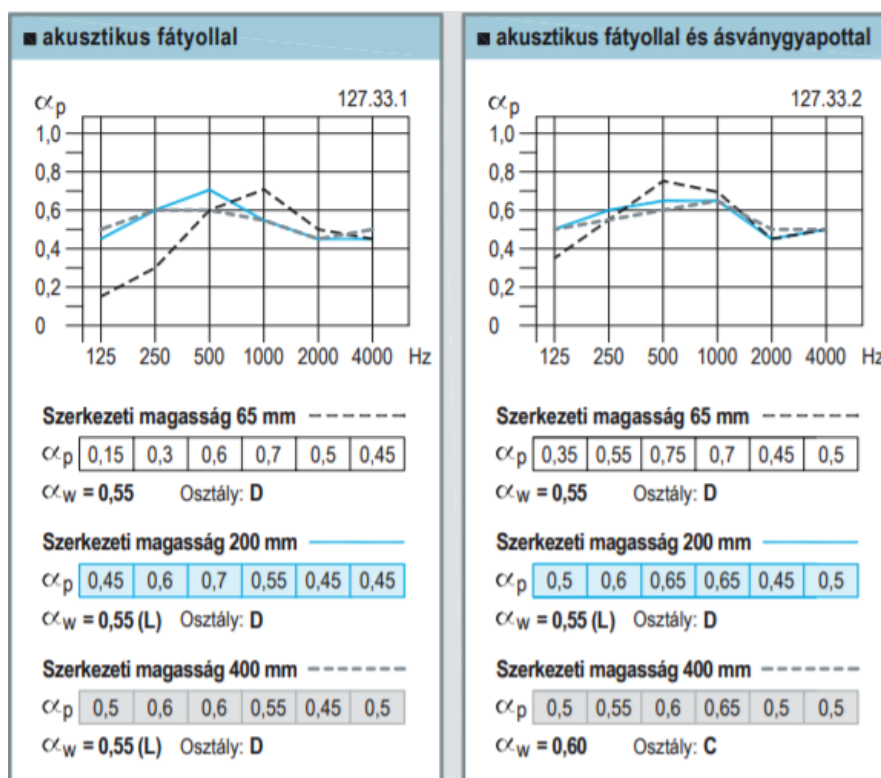
Álmennyezetek közül választásunk a Knauf termékcsaládból a D127 – Knauf Cleaneo® nevezetű akusztikus álmennyezetre esett. [8]

A márka szerelt álmennyezeti rendszerekkel foglalkozik, és változatos lehetőségeket kínál: mind esztétikai, akusztikai, tűzvédelmi célú vízszintes, ferde vagy íves felületet is kialakítható termékeikkel, amelybe süllyesztett gépészeti berendezések, világítótestek, spotlámpák, vagy akár nyitható felületű revíziós ajtók is belekerülhetnek. A D127-es termék az akusztikus álmennyezeti rendszerek közé tartozik, 12,5-15 mm vastag, perforált, légtisztító hatású,

hátoldali üvegfátyol kasírozású építőlemez. Hangelnyelési értékei akusztikus fátyollal mértek. Az üvegfátyol gyárilag fehér vagy fekete.



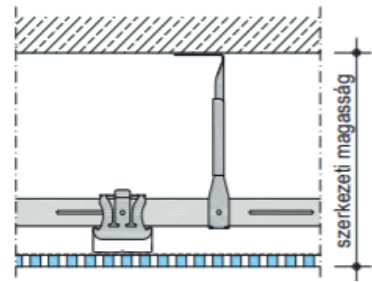
Az akusztikus álmennyezetek perforációval ellátottak, és lehetnek teljes felületükön vagy tömbökben perforáltak, illetve tömbökben slicceltek. Választásunk az első lehetőségre esett, azon belül pedig a szórt lyuggatásos mintára. A szórt lyuggatásos lemezek közül további három lehetőség közül dönthettünk a perforáció méreteinek meghatározásánál, és ezeket összehasonlítva a legjobb eredményekkel rendelkező 10/16/22 R-es megoldást választottuk végeredményül. A névben szereplő számok a kör alakú lyukak átmérőit jelölik, teljes felületű lyuggatás esetén a perforáció mértéke így 12,6%. A lemez méret 1198 x 1998 mm és 330 mm-es tengelytávolságra helyezhetőek el a szerelőprofilok. A lemez lyuggatásmentes szegéllyel is rendelhető, illetve a lyuggatás blokkokban is lehetséges, ezeket a lehetőségeket azonban elvetettük a homogénebb megjelenés érdekében.



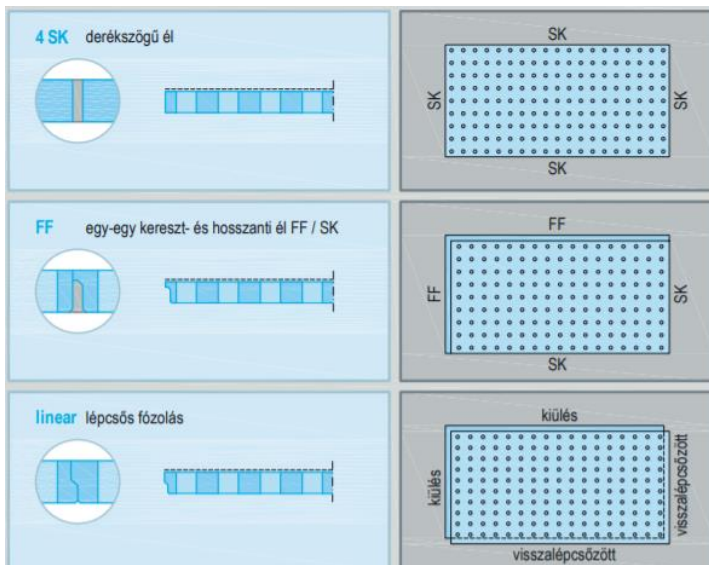
5-2. ábra Knauf álmennyezet hangelnyelési tényezője [8]

A 10/16/22 R lemeztípus hangelnyelő tulajdonságai a fentebbi, két táblázaton láthatóak, összehasonlítva a lemez ásványgyapottal és nélküle való kivitelezését. Látható, hogy a szálas anyaggal kiegészítve az alacsonyabb frekvenciájú hangokat is jobban képes elnyelni.

A D127-es akusztikus lemezt 20 mm vastagságú ásványgyapottal látják el, amely a szerelőprofilokra terítve helyezkedik el. Hangelnyelés szerint így főként a D osztályba sorolható. Másik a hangelnyelési képességet meghatározó változó a szerkezeti magasság, amelynek 400 mm-es kialakítása esetén C kategóriásra is növelhető az osztályozás, mivel a nagyobb magasság javítja az alacsonyabb frekvenciájú hangok elnyelését.



5-3. ábra Knauf szerkezeti magasság

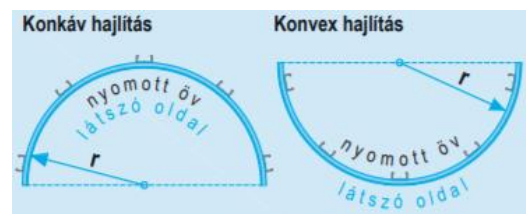


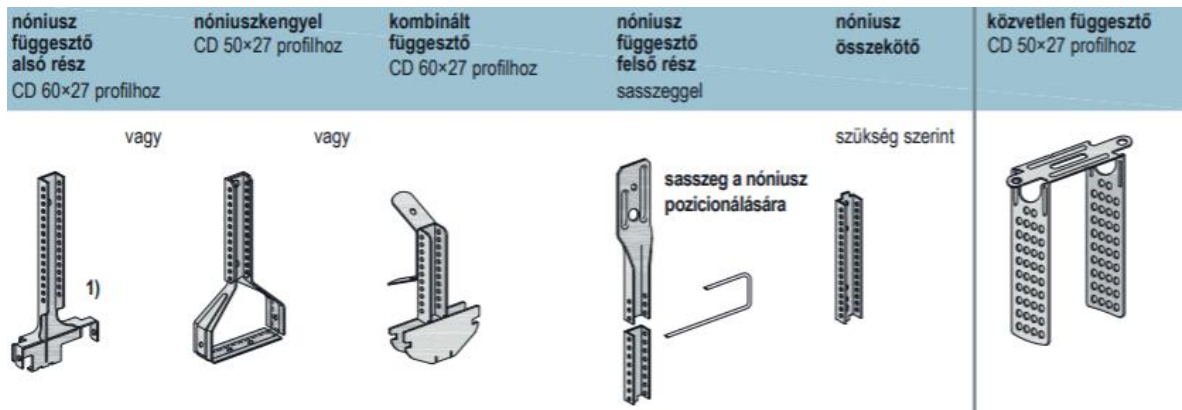
5-4. ábra Knauf teljes felületen perforált lemezeinek élkialakítása [8]

A Knauf teljes felületen perforált lemezeinek élkialakítása látható a képen. A három féle variáció lehet derékszögű él (SK), egy-egy kereszt- és hosszanti él (FF) és lépcsős fózolás (UFF). A D127 szórt lyuggatásos lemez a középső megoldással elérhető.

A Knauf akusztikus lemezek mellett, hogy légtisztító hatásúak és nem éghető anyagból készültek, tulajdonságaik közé tartozik a hajlíthatóság is. Megkülönböztetünk száraz és nedves hajlítást, míg az elsónél szerelés előtt ajánlott

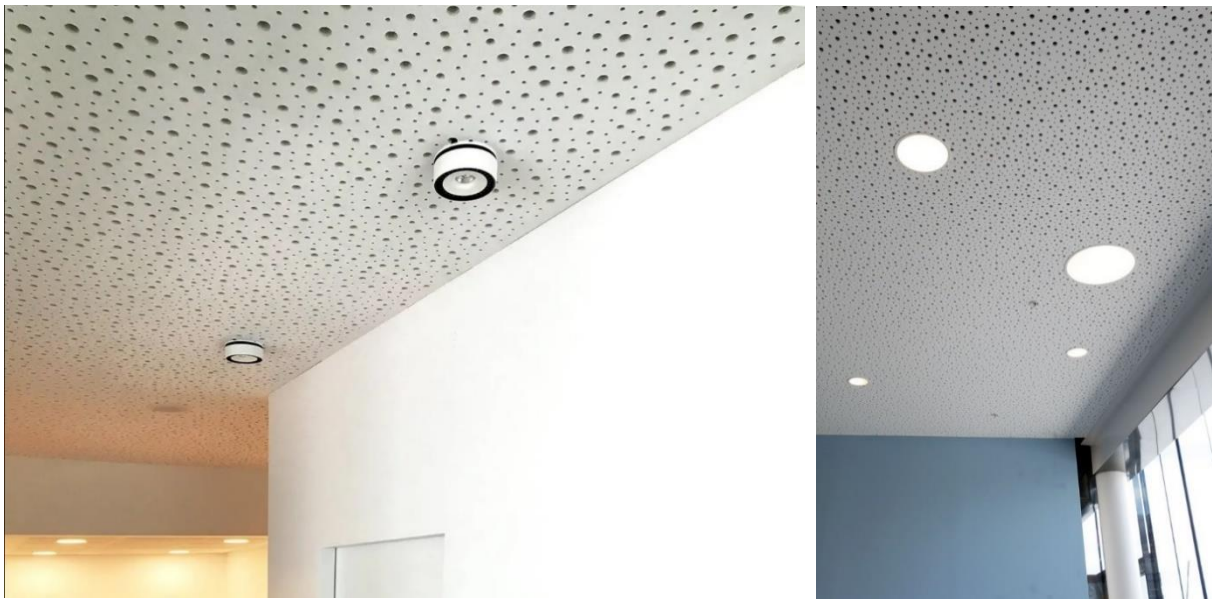
a lemezek előhajlítása a keletkező feszültségek csökkentése érdekében, a másodiknál hajlítás előtt a felület több alkalommal is nedvesítendő hengerrel. Szórt lyuggatás esetén a hajlítási sugár száraz hajlításnál nem lehet kisebb 3500 mm-nél, nedves hajlításnál pedig 2500 mm-nél. Száraz hajlításkor a hajlítás konkáv vagy konvex, míg nedvesnél csak konkáv. [9]





5-5. ábra Knauf lemezek rögzítése

A Knauf lemezek rögzítés a hosszanti vagy kereszt él csavározásával történik, a csavartávolság 170 mm. A szerelőprofilok tengelytávolsága a szórt lyuggatásos típusnál legfeljebb 333,5 mm. Mechania hatással szemben ellenállóak. A lemezek súlya általánosságban kevesebb, mint 15 kg négyzetméterenként. Szerelésük hézagmentes, egyszerű és könnyű a függesztő elemek segítségével.

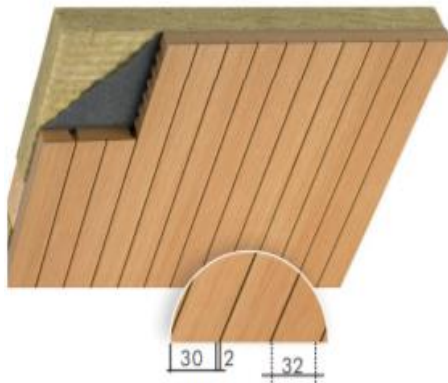
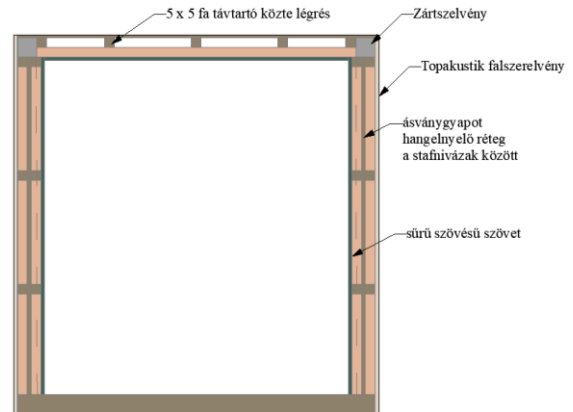


5-6. ábra Példák a perforált lemez alkalmazására [\[10\]](#)[\[11\]](#)

Az akusztikai álmennyezet a Stoczek menzának hangelnyelési problémájának megoldása mellett egy kellemesebb letisztultabb megjelenést is kölcsönözne az étterem számára.

5.1.1 Tér formálása, boxok kiépítése, további felületek kialakítása

A megfelelő akusztikai javítás érdekében az álmennyezet mellett további intézkedéseket is alkalmaztunk, mint például lelógatott hangelnyelő elemek használata vagy boxok kiépítése. Az utóbbi megoldást a menza terének több pontján szétszórva helyeztük el, ezzel is megtörve a hangutakat. A boxok ráadásul valamivel privátabb tereket is biztosítanak, az ott ülők beszélgetését kevésbé hallják más asztalok.



5-7. ábra Topakustik® Type 30/2 [12]

A boxok kialakítását többféleképp vizsgáltuk meg. Kialakítottunk egy oldalról nyitott, 3 oldalról zárt, két oldalról nyitott, 2 oldalról zárt és 4 oldalról zárt teret. A boxok külső oldalai Topakustik® Type 30/2-es hangelnyelő filigrán profillal határoltak. A profilok finom barázdáiknak köszönhetően jó zajelnyelő tulajdonságok és abszorpciós értékkel rendelkeznek, annak ellenére, hogy a keskeny barázdák szinte láthatatlanok. A fa furnéros külső pedig elegáns megjelenést kölcsönöz nekik. [12]

Térelválasztóként olyan paneleket alkalmaztunk, amelyeket a plafonról lógattunk le, illetve a talaj felől is megtámasztottuk a megfelelő stabilitás érdekében. Továbbá vízszintes hangelnyelő szigeteket is felkerültek a plafonról a menza terébe belógatva. Ezeknek az anyaga a Konto akusztikai panel. Ebben a termékcsaládban lehetőség nyílik arra is, hogy a panelek színét mi magunk válasszuk ki, ezzel is alakítva a teret. [13]

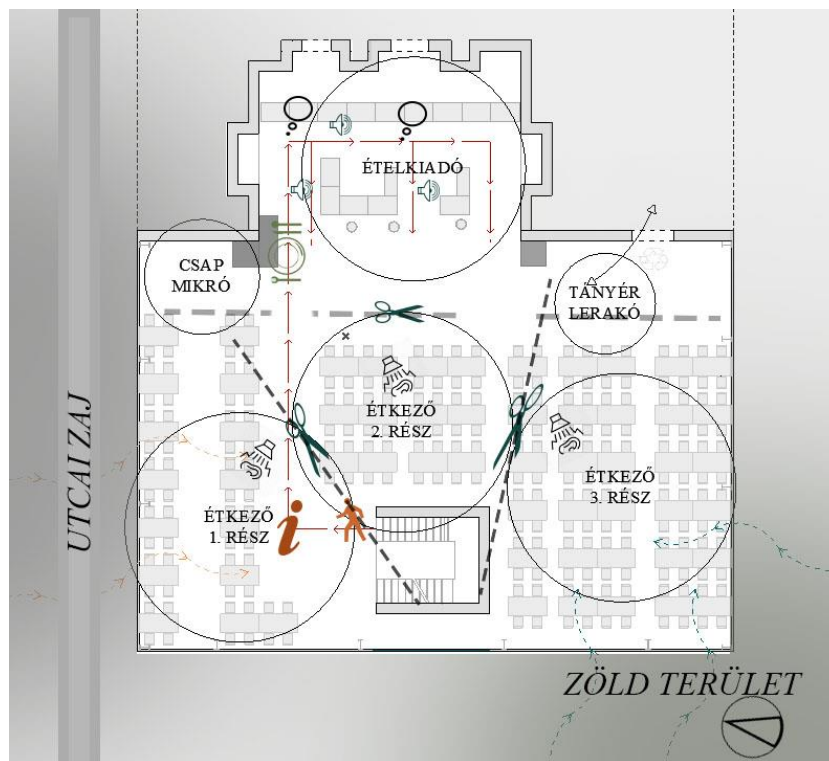


5-8. ábra Konto akusztikai panel [13]

5.2 Megoldás ismertetése

5.2.1 Konceptió ismertetése

A feladat nem más, mint a Menza nagy területét több részre szabdalni, hogy csökkentsük a tér utózenését. A koncepció felállításához megvizsgáltunk több környezeti tényezőt, mint például a bevilágítottság, szellőzés. A nagy üvegfelületek minden irányból biztosítanak fényt, a déli oldalon azonban a nagy fák lombkoronái ezt nyáron akadályozhatják. A Menza étkező részlegét 3 külön részre lehet szedni, mely részek elkülönítése segíthet a hangok felfogásában. Ezeknek elkülönítését úgy kell végre hajtani, hogy egyik teret se zárjuk le teljesen, és egyértelmű útvonalat tudjunk biztosítani az asztalokhoz. Fontos továbbá, hogy megfelelő mennyiségű ülőhelyet biztosítsunk az átalakítás után is. A kiszolgálás menete logikus sorrendet követ. A lépcsőről felérkezve olvasható az aznapi menü fontos információkkal. Elkülönítésre akusztikai szempontból ezt a táblát is fel lehet használni, úgy, hogy az anyagát hangelnyelő anyaggal látjuk el. Az étkező részlegek elkülönítésén kívül fontos még az ételkiadó és tányér lerakó rész leválasztása.



5-9. ábra Konceptió ábra

5.2.2 Megoldás kézi számolással, közelítésekkel

A Menza teremakusztikai tulajdonságait elsősorban és legegyszerűbben az utózungési idővel jellemezhetjük. A vizsgálatokhoz szükségünk van az egyesfelületek méretére (A) és a terem térfogatának (V) kiszámítására. A helyszíni felmérés adatait használva meghatároztuk az egyes fal-, mennyezet- és padló felületek méreteit. Az üres terem utózungési idejét a teremakusztikai mérés alatt meghatároztuk. Ezen értékekalapján kiszámolható a terem felületeire általánosan jellemző hangelnyelési tényezőt. A számoláshoz a Sabine-képletet alkalmaztuk.

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{\sum \alpha_i S_i}$$

$$RT = \frac{0161 \times (1662,3+333,69)}{\alpha_i \times (294,67+131,65+399,39+86,07+420,50+86,07)}$$

$$\alpha_i = \frac{0161 \times (1662,3+333,69)}{sec \times (294,67+131,65+399,39+86,07+420,50+86,07)}$$

<i>A(felület, m²)</i>	<i>Falméreték</i>	<i>Padló méreték</i>	<i>Állmennyezet méreték</i>	<i>Állmennyezet méreték lámpa nélkül</i>	<i>V (Térfogat, m³)</i>
Étkező rész	294,67	399,39	420,50	336,40	1662,30
Ételkiadó rész	131,65	86,07	86,07	68,86	333,69
Lépcső mellvéd=	29,20	15,41	Magasság=	3,9	
Elválasztó fal=	54,09				

A számítások során a T30 utózungési idő 250, 500, 1000, 2000 Hz-enkapott értékeivel számoltunk, ezeket helyettesítettük be a képletbe. A teremre jellemző átlagos hangelnyelési tényezők átlaga 0,12, ami nagyon alacsony hangelnyelési tényezőnek számít. Ha a hangelnyelési érték nulla, akkor a hang 100%-ban visszaverődik, ha egy akkor a hang 100%-ban elnyelődik. Az alábbi táblázat 0,05-re kerekítve sorolja be az anyagokat hangelnyelési osztályokra. [14]

Hangelnyelési osztály (a DIN EN ISO 11654 szerint)	α_w - értékek	Hangelnyelési osztály (a VDI 3755/2000 szerint)
A	0,90; 0,95; 1,00	kiváló hangelnyelő
B	0,80; 0,85	kiváló hangelnyelő
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75	erősen hangelnyelő
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,55	hangelnyelő
E	0,15; 0,20; 0,25	alacsony hangelnyelő
nem osztályozott	0,05; 0,10	hangvisszaverő

A terem akusztikai rehabilitációjának elengedhetetlen eleme az, hogy a hangelnyelési tényező értékét megnöveljük. Nem érdemes a terem minden felületet magas hangelnyelési képességű anyagokkal borítani, mert a túlszabályozott terem ugyanúgy nem komfortos, mint az erősen zengő terem. A menza újragondolásánál a legkézenfekvőbb megoldások egyike az állmennyezet cseréje volt. Első közelítésként a D127 Knauf Cleano® akusztikus állmennyezet frekvenciafüggő értékeivel számolunk.

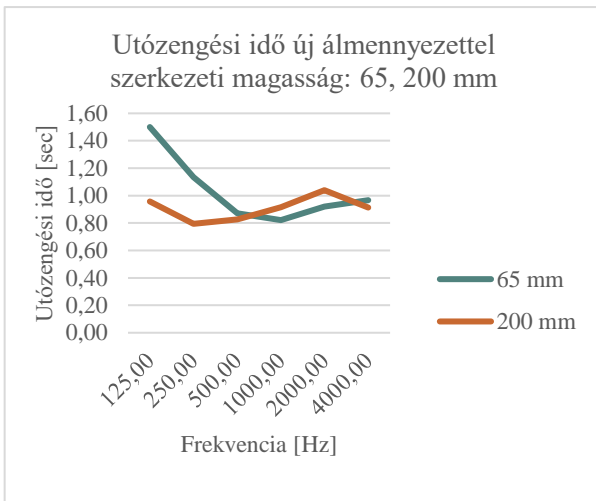
$$RT = \frac{0,161 \times (1662,3 + 333,69)}{0,12 \times (294,67 + 131,65 + 399,39 + 86,07) + \alpha \times (420,50 + 86,07)}$$

Azonban ez alapján a számítás alapján nem vettük figyelembe, hogy a mennyezeten található lámpaburák nem egyeznek meg ezzel a hangelnyelési tényezővel. Így a számítás során a lámpafejek nélküli mérettel kell számolni.

$$RT = \frac{0,161 \times (1662,3 + 333,69)}{0,12 \times (294,67 + 131,65 + 399,39 + 86,07 + 84,1 + 17,21) + \alpha \times (336,4 + 68,86)}$$

Az így kapott utózengési idő a jelenlegi állapotban mértnél lényegesen alacsonyabb, ami akusztikai szempontból mindenképpen kedvező. Aazonban az állmennyezet lecserélésénél vannak kockázati tényezők. Az egyik ilyen kockázati tényező az, hogy nem tudjuk, a jelenlegi állmennyezetnél milyen távolságra vannak a lapok felfüggesztve a teherhordó szerkezettől. A távolság nagy mértékben befolyásolja a hangelnyelési képességet. Ha a választott állmennyezeti lapnál a jelenlegitől eltérő függesztési magasság szükséges, az állmennyezetet lejjebb kell hozni.

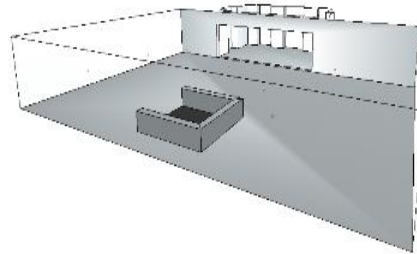
$\alpha_w =$	0,60	65 mm	
$\alpha_{i125} =$	0,15	RT125=	1,50
$\alpha_{i250} =$	0,30	RT250=	1,14
$\alpha_{i500} =$	0,60	RT500=	0,87
$\alpha_{i1000} =$	0,70	RT1000=	0,82
$\alpha_{i2000} =$	0,60	RT2000=	0,92
$\alpha_{i4000} =$	0,50	RT4000=	0,97
		200 mm	
$\alpha_{i125} =$	0,45	RT125=	0,96
$\alpha_{i250} =$	0,60	RT250=	0,79
$\alpha_{i500} =$	0,65	RT500=	0,83
$\alpha_{i1000} =$	0,60	RT1000=	0,92
$\alpha_{i2000} =$	0,50	RT2000=	1,04
$\alpha_{i4000} =$	0,55	RT4000=	0,91



5-10. ábra Utózengési idő kézi számolással állmennyezettel

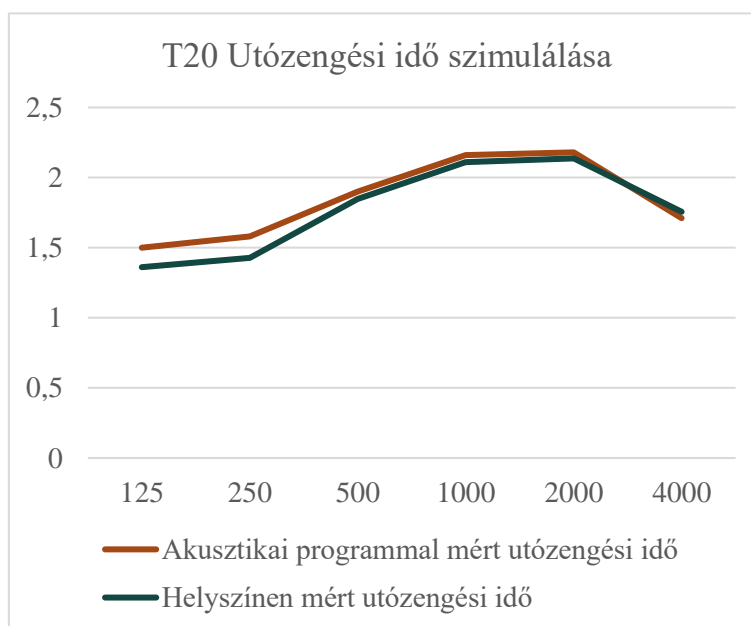
5.2.3 Megoldás gépi számolással

A pontosabb értékek érdekében a további számolást akusztikai méretező programban végeztük el. Első lépésként a helyszíni méretezés alapján a Menza felületeit határoztuk meg. A felületeket meg lehet határozni anyaga és hangelnyelő képessége alapján. A modellt bekalibráltuk úgy, hogy a helyszíni üres termi mérések alapján

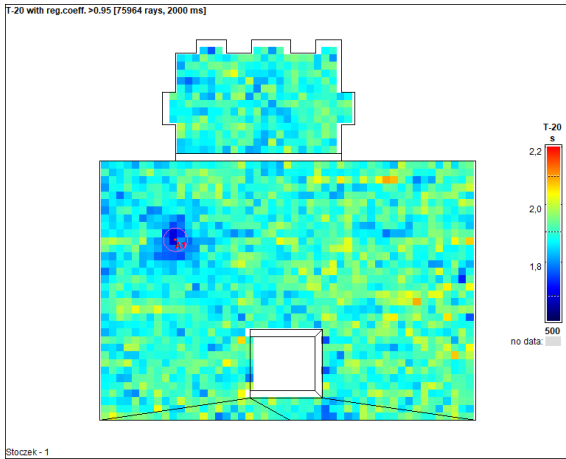


valós értékeket mutasson. Az alábbi szemléletes ábrákon láthatjuk a hang eloszlását az üres térben 500-as és 2000-es Hz-en. A beszéd szempontjából fontos ezt a két, magasabb és alacsonyabb frekvenciasávot vizsgálni. A modellbe elhelyeztük a forrást a méréssel megegyező helyére.

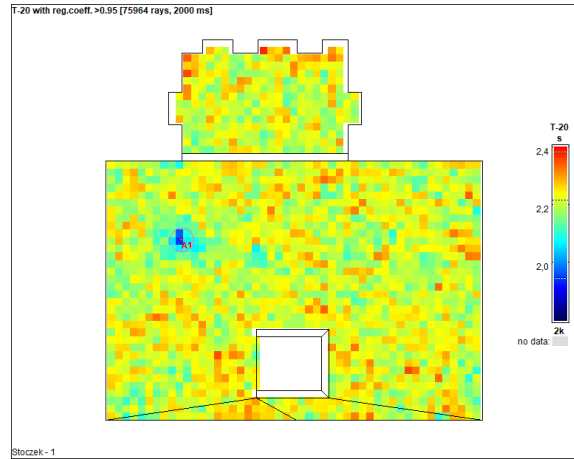
Az ábrákból kivehető, hogy magasabb frekvencián nagyobb az utózengési idő. Kiszámoltuk az üres teremben továbbá a D50 beszédérthetőséget jellemző mennyiséget is. Ezen a térbeli zajeloszlási képen leolvasható, hogy a hangforrás közelében, hogyan csökken le százalékosan a D50 értéke. A zajforrástól 4-5 méterre állva a beszédérthetőség még elég magas, 60-70 %, ami nem előnyös számunkra az éttermi közegben, hiszen nem célunk hallani és érteni amit a szomszéd asztalnál beszélnek.



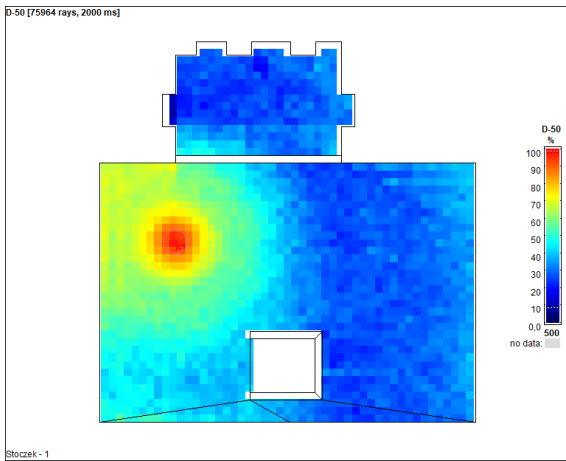
5-11. ábra T20 Utózengési idő programban és helyszínen mért



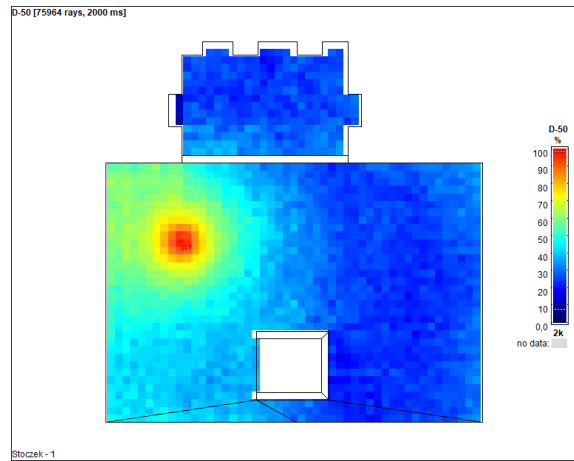
5-13. ábra 4 9. ábra T20 500 Hz-en üres teremben



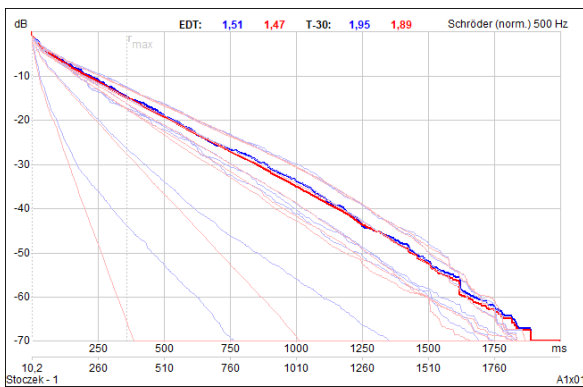
5-12. ábra T20 2000 Hz-en üres teremben



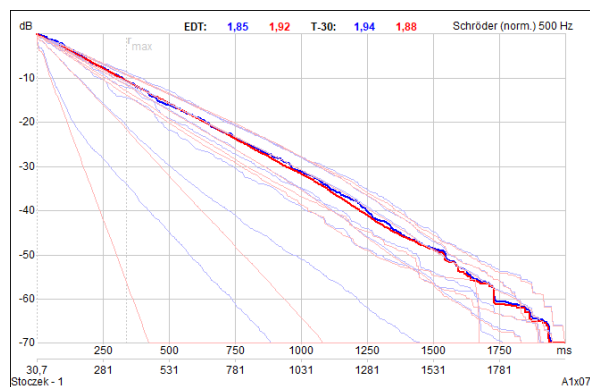
5-15. ábra D50 500 Hz-en üres teremben



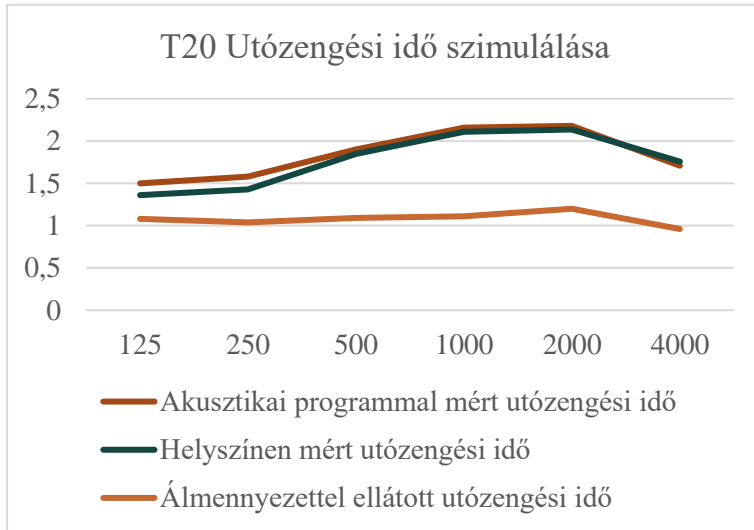
5-14. ábra D50 2000 Hz-en üres teremben



5-16. ábra Lecsengési görbe az első mérési helyen

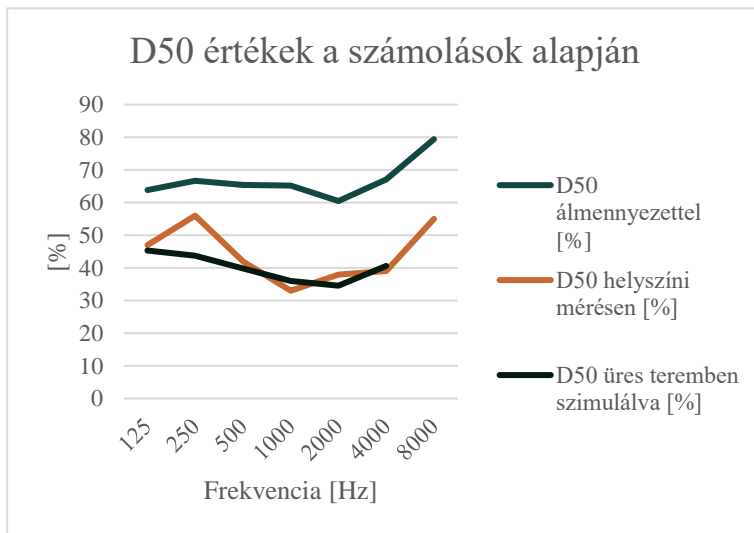


5-17. ábra Lecsengési görbe a hetedik mérési helyen



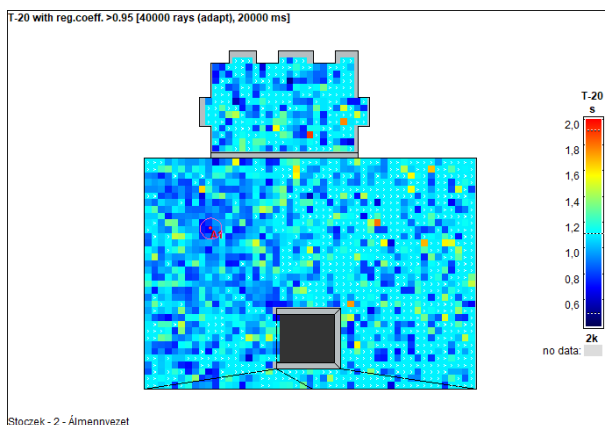
5-18. ábra T20 utózungési idő

A következő lépésként kiszámoltuk a kívánt álmennyezettel a terem akusztikai jellemzőit. Az utózungési görbén látszik, hogy általánosan lejjebb csökkent az értéke és a magasabb frekvenciákon laposodott az értéke.

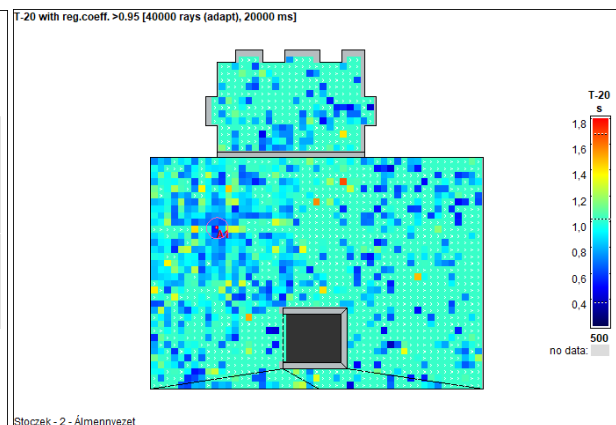


5-19. ábra D50 értékek

A beszédérthetőséget jellemző D50 mennyiség jól láthatóan javult az álmennyezettel való méretezés után. Az álmennyezet felújításával általánosan 60-70% közé tudjuk tenni a beszédérthetőséget. 3 dB csökkenést értünk el, ami nagy eredménynek számít, hiszen ez a hangenergia lefelezését jelenti.

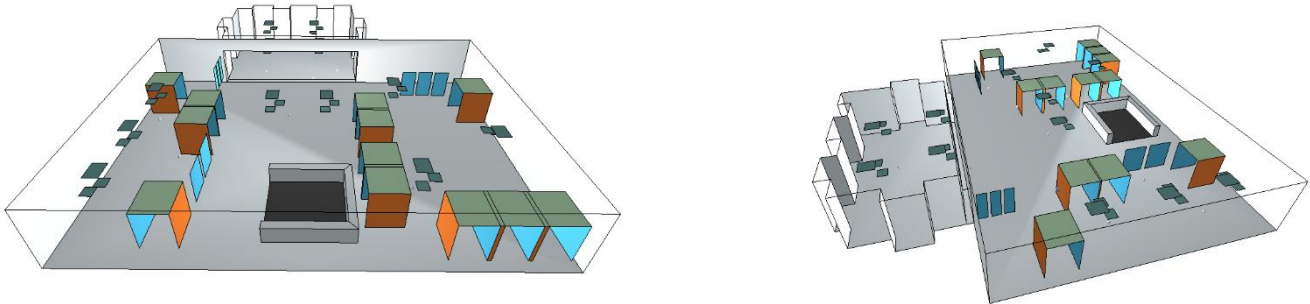


5-20. ábra T20 500 Hz-en álmennyezetes teremben

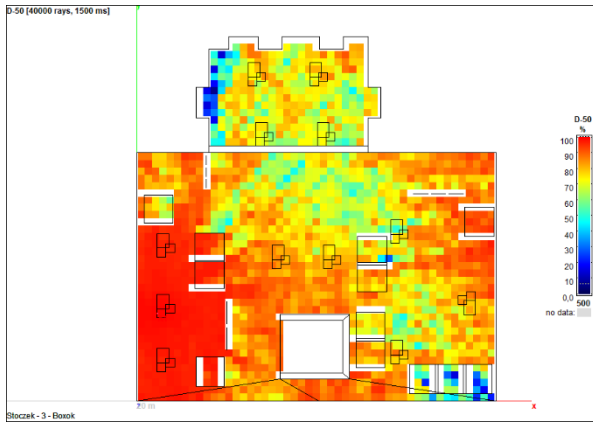


5-21. ábra T20 2000 Hz-en álmennyezetes teremben

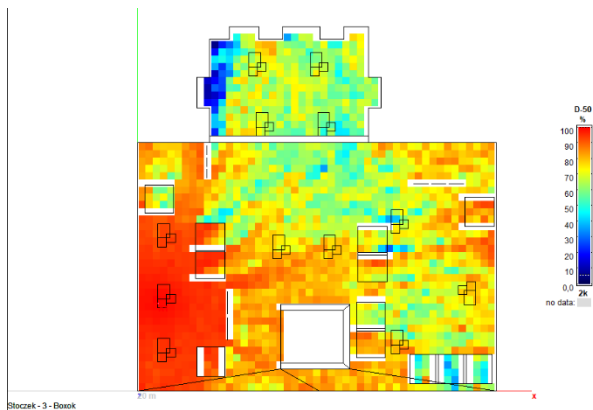
Magyarországon 2020. szeptember 1-jén jelent meg az MSZ 2080:2020 számú, "Akusztika. Teremakusztikai követelmények és tervezési ajánlások" c. szabvány, mely az első olyan hazai szabvány, amely helyiségek teremakusztikai minőségére fogalmaz meg ajánlásokat: A szabvány az utózengési időre (ill. a helyiségek elnyelési képességére) ad meg követelményeket. A szabvány értelmében munkahelyi, szociális-egészségügyi, kulturális és oktatási-nevelési létesítmények étterme vagy étkezője esetén a közepes utózengési idő (a 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz és 2000 Hz oktávsávokban kapott utózengési idők átlaga) nem haladhatja meg az 1,2 s értéket. Jól látható, hogy a Stoczek menza e követelménynek jelen állapotában nem felel meg. Számításaink szerint a tervezett átalakításokkal ez a követelmény teljesülni fog, a várható átlagos közepes utózengési idő 0,7 s körüli lesz.



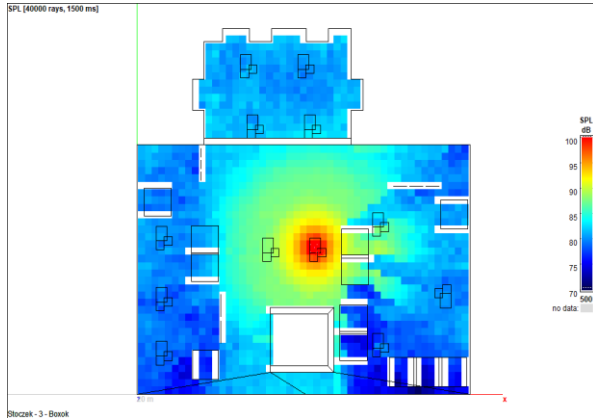
5-22. ábra A modellezési felületeket hangelnyelési tényezői alapján külön színekkel jelöltük.



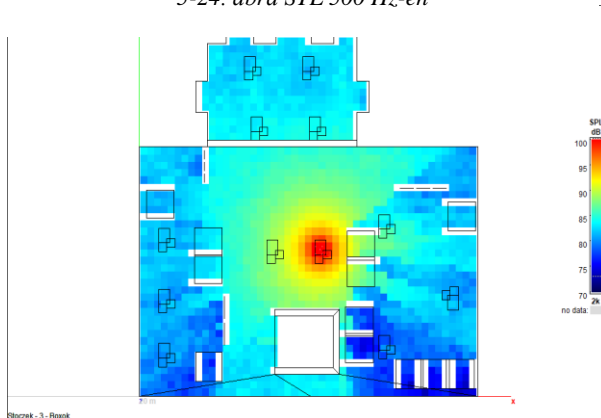
5-23. ábra D50 500 Hz



5-25. ábra D50 2000 Hz



5-24. ábra STL 500 Hz-en



5-26. ábra STL 2000 Hz-en

Látható, hogy a beavatkozások hatására a forrástól távolabbi pontokban kialakuló hangnyomásszint több mint 20 dB-lel csökken a forrás környezetéhez képest (95 dB-ről 75 dB alá). A jelenlegi állapotban a csökkenés csak 10 dB körüli (vagy még kevesebb). Ez azt jelenti, hogy a beszélgetést a beszélgetőktől távolabb ülő emberek sokkal halkabban hallják, mint eddig, könnyebben tudnak tehát ők is külön beszélgetést folytatni anélkül, hogy az átszűrődő beszélgetés őket zavarná.

A D50 paraméter értéke első ránézésre meglepő lehet, hiszen a forrástól nagyobb távolságokra is magas értékeket kaptunk. Ez azt jelenti, hogy a forrástól távolabbi pontokra leginkább csak a közvetlen hangenergia jut el, a visszaverődésekkel létrejött zengőtéri energiárész jóval alacsonyabb szintű. Ez azonban nem probléma, hiszen a hangnyomásszint-ábrákon láttuk, hogy a távoli pontokban a közvetlen hang csillapítása 20 dB-t meghaladó mértékű, - a magas D50 érték önmagában még nem garantálja, hogy jól fogják érteni a beszédet.

6 Összefoglalás

6.1 Összefoglalás

A Stoczek menza jelenlegi állapotában csak egy egyetemi étterem, nem alkalmas munkaebédekre, meghitt beszélgetésekre: a konyhából és a vendégtérben lévő berendezésektől származó zajok és a terem zengőssége miatt csak emelt hangerővel lehet beszélgetni, ami mind a beszélő, mind a hallgató számára megterhelő. Munkánk célja a Stoczek menza rehabilitációja volt: olyan átalakításokat terveztünk, melyekkel a menza egy magas akusztikai komfortot nyújtó, beszélgetéseknek helyt adó, korszerű közösségi térré válhat.

A munka során először a menzát használók bevonásával, online kérdőív segítségével szubjektív felmérést végeztünk a problémák azonosítására. Ezután helyszíni műszeres mérésekkel vizsgáltuk a menza használata közben jellemző zajszinteket. Az üres étterem teremakusztikai felméréssel a zengősséget jellemző utózengési időt és egyéb paramétereket határoztuk meg. A menzáról 3D számítógépes teremakusztikai modellt készítettünk, melyet a mérési eredmények segítségével kalibráltunk. A menza átalakítása során az egyes ötleteink akusztikai hatását a modell segítségével ellenőriztük.

A tervezett átalakítás több elemből áll össze:

- a menza teljes mennyezetére magas hangelnyelési fokú, esztétikus álmennyezetet választottunk. Ennek hatására a teremben jellemző utózengési idő átlagos értéke 1,0 s körülire csökken (az üres teremben mért 1,5-2,0 másodpercről). Az utózengési idő csökkenése az átlagos zajszint csökkenését is eredményezi: a beavatkozás hatására 4-6 dB zajszintcsökkenés várható.
- az étterem nagy, egybefüggő területén kívül és belül is hangelnyelő felülettel burkolt, mozgatható boxokat helyeztünk el. A boxokban egy-egy asztal és két oldalán pad található. Az ide beülő vendégek egy erősen csillapított akusztikai térben könnyebben tudnak egymással beszélgetni, mint a nagy légtérű menzán, és a beszélgetésük is erősen csillapítva jut csak el a többi asztalhoz., megnő a diszkréció. A boxok segítik felszabdalni az étterem nagy terét és akadályt képeznek a hang számára, így csökken a boxon kívül ülők egymást zavaró hatása is.
- a térbe néhány helyre - pl. a lépcsőfeljára oldalfalára - hangelnyelő lamellás "zsalúziát" helyeztünk, mely szintén az itt áramló hangenergiát csillapítja, miközben a

teret optikailag nem szabadljuk fel jobban, továbbra is egybefüggő marad, és megmarad a belső területek természetes megvilágítása is.

- a kiszolgáló pult és a kasszák fölé, valamint a vendégtér különböző pontjaira további hangelnyelő lapokat függesztettünk be. Ezek lokálisan, a befüggesztés alatti területen segítik a beszéd érthetőségét és tovább növelik az egyes térrészek közötti akusztikai szeparációt.

A tervezett átalakítás eredményeként egy olyan közösségi tér jön létre, ami megfelelő akusztikai környezetet biztosít meghitt beszélgetések, munkaebédek, üzleti tárgyalások számára is, ahol az emberek jól érzik magukat, és nem csak azért térnek be, mert az egyetemen nincs más kedvező árfekvésű étterem.

A munka természetesen itt nem állhat meg. Az akusztikai célokat kielégítő megoldások költségvonzatát is figyelembe kell venni, a tervekkel kapcsolatban költségoptimalizációt még nem végeztünk. A költségek meghatározásához a tervezett elemeket - különösen a boxokat - részletesen, kiviteli terv ill. gyártmányterv szinten ki kell dolgozni, illetve vizsgálni kell, hogy a választott megoldások kiválthatók-e más, akusztikailag egyenértékű tulajdonságú, de költséghatékonyabb megoldással.

Edited

6.2 Látványtervek

A látványterveken jól látszik a tér alakulása. A kiépített boxok jól elszeparálják a tereket, elhelyezésük mobilis kialakítással is lehetséges, arra az esetre, ha a Menza helyiségét egy nagy térként szeretnék használni. (pl. konferencia)



Az akusztikai rehabilitáció elemei az álmennyezet, a felfüggesztett szigetek és a boxok.



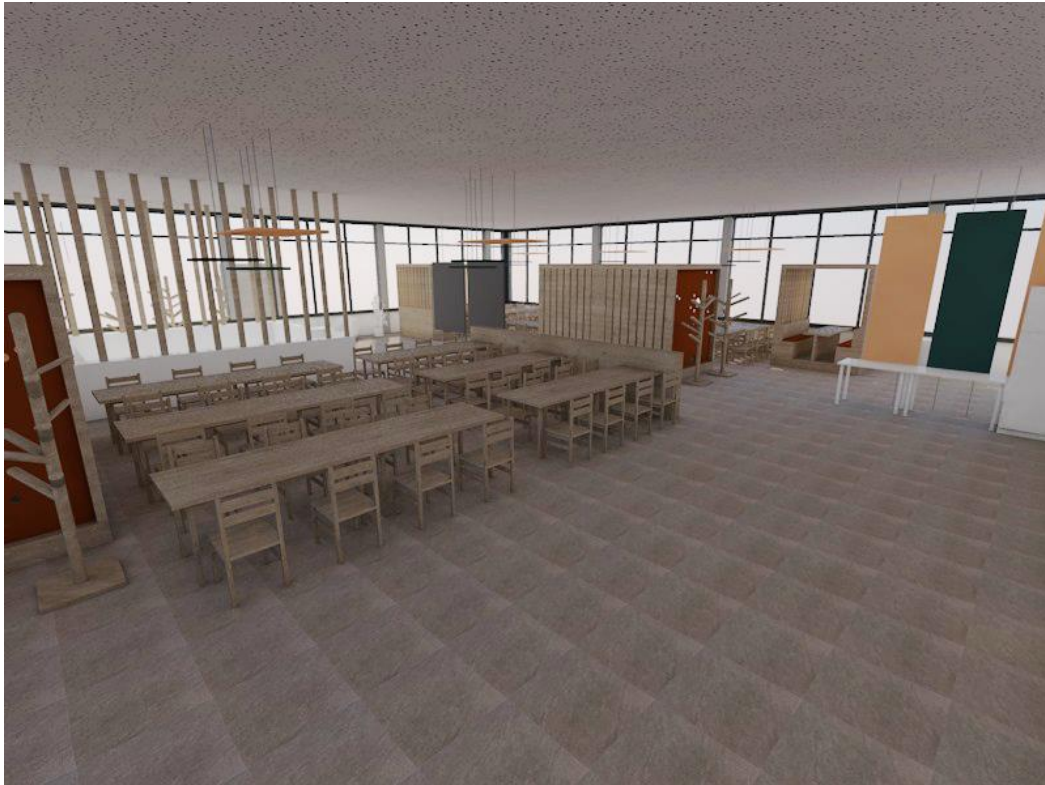
A hangelnyelő elemek közül a legfontosabb az akusztikai álmennyezet volt, aminek szórt perforációs, pöttyös mintája különleges látványt kölcsönöz az étteremnek.



A menza terében az egyik legnagyobb zajforrást a konyha felől érkező zajok adják, így a kiszolgáló pult felé is hangelnyelő álmennyezet és lógó szigetek lettek telepítve.



A zajcsökkentés érdekében több elemmel is megtörtük a teret, ami a hangutakat is gátolják. Ezek közé tartoznak a lépcső oldalán elhelyezkedő lamellák is.



A Stoczek menza új arculatának kialakításához új, egységes székeket és asztalokat is kapott az étterem a látványterveken. Az akusztikai rehabilitáció építészeti feladat is volt egyben.



A privát terek biztosítása az étterem látogatóinak számára a boxok által valósult meg, amelyek a tér megtörését is segítik.

7 Ábrajegyzék

2-1. ábra Brüel & Kjaer hangnyomás példái [2]	5
2-2. ábra Hang terjedésének szemléltetése zárt térben	6
2-3. ábra Az egyetem térképe [3]	7
4-1. ábra: L_{Aeq} szint eloszlástérkép	20
4-2. ábra Maximális/Minimális/Egyenértékű hangnyomásszint (L_{Aeq} ; L_{Amax} ; L_{Amin}) értékei az egyes mérési helyszíneken	21
4-3. ábra Hangnyomásszint százalékos előfordulása az 1.mérésnél	22
4-4. ábra Hangnyomásszint százalékos előfordulása a 9. mérésnél	22
4-5. ábra Zajszintmérés helyszíni kép 1	23
4-6. ábra Zajszintmérés helyszíni kép 2	23
4-7. ábra Zajszintmérés helyszíni kép 3	23
4-8. ábra Utózungési idő általános ábrázolása 60 dB szintcsökkenéssel	25
4-9. ábra Utózungési idő általános ábrázolása	25
4-10. ábra Utózungési idő mérése első 10. mérés alaprajzi helyzete	26
4-11. ábra Utózungési idő mérése 11-20. mérés alaprajzi helyzete	27
4-12. ábra T20 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon. Minimum, Maximum, Átlag	28
4-13. ábra T10 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon a mérés különböző helyein	28
4-14. ábra T10 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon. Minimum, Maximum, Átlag	28
4-15. ábra T30 utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon. Minimum, Maximum, Átlag	28
4-16. ábra Átlagos utózungési idő mértéke Idő/Frekvencia diagramon	29
4-17. ábra Beszédérthetőségre vonatkozó összegző eredmények	29
4-18. ábra Teremakusztikai mérés helyszíni kép 1	31
4-19. ábra Teremakusztikai mérés helyszíni kép 2	31
4-20. ábra Teremakusztikai mérés helyszíni kép 3	31
4-21. ábra Számítógépes modellezés 3D modell akusztikai elemzéshez	32
5-1. ábra A Stoczek Menza álmennyezete jelen helyzetben	32
5-2. ábra Knauf álmennyezet hangelnyelési tényezője [8]	34

5-3. ábra Knauf szerkezeti magasság	35
5-4. ábra Knauf teljes felületen perforált lemezeinek élkialakítása[8].....	35
5-5. ábra Knauf lemezek rögzítése	36
5-6. ábra Példák a perforált lemez alkalmazására[10][11]	36
5-7. ábra Topakustik® Type 30/2[12].....	37
5-8. ábra Konto akusztikai panel [13]	37
5-9. ábra Konceptió ábra	38
5-10. ábra Utózungési idő kézi számolással álmennyezettel.....	40
5-11. ábra T20 Utózungési idő programban és helyszínen mért	41
5-12. ábra T20 2000 Hz-en üres teremben	42
5-13. ábra 4 9. ábra T20 500 Hz-en üres teremben	42
5-14. ábra D50 2000 Hz-en üres teremben	42
5-15. ábra D50 500 Hz-en üres teremben	42
5-16. ábra Lecsengési görbe az első mérési helyen	42
5-17. ábra Lecsengési görbe a hetedik mérési helyen	42
5-18. ábra T20 utózungési idő	43
5-19. ábra D50 értékek	43
5-20. ábra T20 500 Hz-en álmennyezetes teremben	43
5-21. ábra T20 2000 Hz-en álmennyezetes teremben	43
5-22. ábra A modellezési felületeket hangelnyelési tényezői alapján külön színekkel jelöltük.	44
5-23. ábra D50 500 Hz	45
5-24. ábra STL 500 Hz-en.....	45
5-25. ábra D50 2000 Hz	45
5-26. ábra STL 2000 Hz-en.....	45

8 Forrásjegyzék

- [1] <https://www.geers.hu/blog/hallasvedelem/hangero-es-decibel/>
- [2] <http://www.munkavedelmibt.hu/Munkavedelem/Feny---zaj---legmozgas-merese>
- [3] <https://www.bme.hu/egyetem-terkepe>
- [4] <http://www.elmenyrandi.hu/stoczek-menza-lagymanyos/>
- [5] <https://eduline.hu/felsooktatas/Hol-lehet-600-forintert-ebedelni-Harmadik-r-XK35R9>
- [6] <https://last.hit.bme.hu/sites/default/files/documents/teremakusz.pdf>
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Speech_transmission_index
- [8] https://knauf.hu/wp-content/uploads/2018/05/Knauf-D121506_HU.pdf?fbclid=IwAR1n4s0jHQ2XM8FLAopBwIBW-a0i8avepG8WthTtzqs2xTg3bYzq_Y715A
- [9] <https://knauf.hu/akusztika>
- [10] <https://www.di-tradebg.com/gb/products/akustika/knauf-cleaneo-akustik-sk-round-perforated>
- [11] <https://www.materialescalabuig.com/wp-content/uploads/2020/04/PYL-CLEANEO1.jpg>
- [12] <https://topakustik.ch/en/produkt/typ-192/>
- [13] <http://konto-akusztika.hu/akusztikai-termekek-es-arak/akusztikai-panelek>
- [14] <https://docplayer.hu/7856040-2006-10-almennyezeti-rendszerek-teret-adnak-az-ujdonsagoknak-akusztika-program-3-resz-made-in-germany.html>