

Utózengeési idő becslése és mérése

Mérési feladatok

Kidolgozta: Jenei-Kulcsár Dóra, Rucz Péter

2025. április

A méréshez végezze el a következő otthoni ill. jelenléti feladatokat és dokumentálja az eredményeket mérési jegyzőkönyv formájában. Az otthoni feladatokat a mérést megelőzően kell elvégezni. Azok meglétét a mérés során ellenőrizzük.

A feladatok elvégzéséhez a következő eszközök szükségesek:

- Számítógép/laptop (saját!).
- Hangfelvétel készítésére alkalmas eszköz (saját!). Ez az eszköz lehet mobiltelefon vagy számítógéphez csatlakoztatott mikrofon is. A mobiltelefonos méréshez a **Smart Voice Recorder**¹ szoftvert ajánljuk. Ügyeljen rá, hogy a méréshez kapcsolja ki az automatikus szintszabályzást (*Automatic Gain Control*, AGC). (A funkció pl. a **Smart Voice Recorder** szoftver menüjéből kikapcsolható **Setting > Microphone adjustment > Device's auto gain control (AGC)** pipa ki.) Tartsa szem előtt, hogy mobiltelefonos hangrögzítés esetén a felvételt át kell vinnie a telefon és a feldolgozást végző eszköz (számítógép) között, pl. adatkábelen, megosztott mappán, felhőszolgáltatáson keresztül, stb.!
- A felvételek feldolgozásához használható jelfeldolgozó környezet, pl. **Matlab**.
- **Google Chrome** böngésző az online számítási feladatokhoz.
- Mérőszalag a terem méreteinek meghatározásához.

Az elkészített jegyzőkönyveket kérjük Jenei-Kulcsár Dórának (dkulcsar@hit.bme.hu) küldje elektronikusan, PDF formátumban.

1. Akusztikai tervezést segítő alkalmazások

Az alábbi feladatok az akusztikai tervezést segítő széles szoftverpalettát hivatott demonstrálni. A felsorolt alkalmazások ingyenesen elérhetőek online. Természetesen számos, ezeknél sokkal komplexebb akusztikai szimulációs szoftvert használnak ipari környezetben. Itt csupán ízelítőt adunk.

Az alkalmazások problémamentes használatához javasoljuk a **Google Chrome** böngésző használatát.

Otthoni feladatok

1. Egy üresen álló ipari létesítménynek a terület rehabilitációja során új funkciót szánunk. A fejlesztési projekt keretében többfunkciós konferencia-/koncerttermet is ki szeretnének alakítani. A néhai gyártócsarnok belmagassága valamivel több, mint 10 m, melyet két egyforma magas szintre szeretnének bontani. Mekkora lenne az ideális teremméret (szélesség (W) \times hossz (L)), ha a Sabine-féle megközelítést vesszük mérvadónak.² Feltételezheti, hogy a terem végső belmagassága (H) 5 m lesz. Számításhoz használja az online elérhető kalkulátort: <https://www.acousticsfirst.com/dev/rrc.html>

¹https://play.google.com/store/apps/details?id=com.andrwq.recorder&hl=en_US

²Sabine 1922-es munkájából[1] következtethető, hogy kidolgozott elméletének alkalmazásakor a 2-3-5 oldalarányú terem, ideálisnak tekinthető az utózengeési idő szempontjából.

2. Becsülje meg a kapott terem utózengetési idejét a Sabine-féle képlet alapján! Az átlagos elnyelési tényezőt válassza 20 %-ra! Mi a becslés előnye és hátránya?
3. Mekkora a terem elméleti befogadóképessége (B) széksoros elrendezés esetén, ha tudjuk, hogy a széksorok mellett a menekülési útfonalnak (M) 120 cm, a közlekedőnek (K) 100 cm helyett kell biztosítani. Egy szék "szélessége" (SZ) 50 cm, a sorok szélessége (S) 90 cm. Az előadói résznek (E) 6 m helyet biztosítanak. (Csak egész sorok és székek helyezhetőek el! ($N_{SZ} = \lfloor (W-M-K)/SZ \rfloor$ szék/sor, ill. $N_S = \lfloor (L-E)/S \rfloor$ sor, $B = N_{SZ}N_S$ ld. https://www.kozep.bme.hu/wp-content/uploads/2014/11/kozepulettervezes_segedlet_2014.pdf 26. oldal)

4. Becsülje meg a terem utózengetési idejét a modern teremakusztikai megközelítés alapján,
- (a) ha egy előadás esetén minden hely foglalt (1 előadóval (1×speakers) számoljon!),
- (b) ha egy vonósnégyes koncertjén (4×musicians) a helyek csupán 80%-át tudták értékesíteni

és tudjuk, hogy mindig az adott kihasználtság szerint rendezik be a termet!

Milyen viszonyban van a kapott eredmény a korábban kiszámolttal?

Egy különálló ember átlagosan $0,5 \text{ m}^2$ ekvivalens elnyelési felülettel becsülhető, a közönség soraiban helyet foglaló egyén $0,44 \text{ m}^2$ elnyelési felületnek felel meg, és a kárpitozott székek $0,3 \text{ m}^2$ elnyelési felületet adnak a teremhez darabonként. Minden egyéb elem (falak, padló, előadói pult stb.) együttes jelenléte kb. 22 m^2 ekvivalens elnyelési felülettel modellezhető.

5. Vesse össze számításait a Room Acoustic Calculator (<https://lignotrend.com/en/acoustic-calculator>) eredményeivel. A számításhoz adja meg a terem megfelelő méreteit, feltételezve, hogy

- a teremnek nincs ablaka;
- a plafon szilárd szerkezeti elemből (Massive construction) áll;
- a falak könnyűszerkezetes építéstechnikával (Lightw. construction) kialakítottak;
- a padlózat úsztatott kompozit padlózatként (floating composit floor) kerül kialakításra;
- a termet laminált parkettával (parquet, laminate) tervezik burkolni;
- nem terveznek belső térhangformáló elemeket elhelyezni (absorbers 0 m^2);
- a hallgatóság kárpitozott székeken (Spectators (fabric chair)) foglal helyet,

és használja a DIN 18041 (March 2016) szabvány megfelelő használati definícióját (Auditorium (music and speech)).

- (a) Hogyan alakul a teremben az utózengetési idő (ábra) a 4.a és a 4.b esetben?
- (b) A terem kialakítása megfelel a szabványban definiált követelményeknek?
- (c) Kizárólag a kapott eredményre alapozva mennyire állja meg a helyét az az elképzelés, hogy nem akarnak külön akusztikai hangtérformáló elemeket alkalmazni a terem kialakítása során?
- (d) Hallgassa meg az oldalon generált hangmintákat! Az eredmény megfelel a várakozásainak? Miért? Miért nem?

6. A <https://trikustik.at/raummoden-rechner/> alkalmazással nézze meg az üres terem módusait?

- (a) Hány Hz-en jelenik meg a terem első módusa?
- (b) A DIN 18041 szabvány korábbi verziója alapján mekkora RT60 érték az ideális a teremre a zenei (music), ill. beszéd (speech) célú használatra?
- (c) Mekkora ekvivalens elnyelési felület szükséges a szabványban meghatározott érték eléréséhez (music/speech)? Vesse össze a kapott eredményt a 4. feladatban meghatározottakkal!
- (d) Állítsa be az RT60 értéket $1,03 \text{ sec}$ értékre! Mekkora elnyelési felület tartozik az értékhez? Vesse össze az eredményt a 4. feladatban kiszámolt értékkel, és az 5.a feladatban kapott ábrákkal!
- (e) A meghatározott Sabin-féle elnyelési tényező alapján alkosson véleményt a 2. feladat eredményéről!

2. Utózungési idő becslése

A következő feladatok megoldásához használja fel a mérési segédletben tárgyalt elméleti ismereteket.

Jelenléti feladatok

1. Becsülje meg a labor utózungési idejét a Sabine-féle képlet alapján! Határozza meg a laborhelyiség méreteit: Tekintse a labort négyzetesnek (a "bejárati folyosó" rész a mérésnél figyelmen kívül hagyható). A falnál lévő asztalokon elhelyezett számos eszköz miatt, a rájuk eső térrész nem tekinthető diffúznak, így a mérésnél elhanyagolandóak. Az átlagos elnyelési tényezőt válassza 10%-ra!
2. Becsülje meg a labor utózungési idejét a modern teremakusztikai megközelítés alapján! Milyen viszonyban van a kapott eredmény a korábban kiszámolttal? (Egy ember $0,5 \text{ m}^2$ ekvivalens elnyelési felülettel becsülhető.)
3. Mit vár, milyen viszonyban lesz a becsült és a mért eredmény? Válaszát indokolja!
4. Adjon becslést az egyensúlyi állapot kialakulásához szükséges időre!
5. Mekkora értéket vehet fel a zajszint a szobában a $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ referenciaszinthez viszonyítva? Válaszát indokolja!

3. Utózungési idő mérése

Az utózungési idő méréséhez legegyszerűbb az impulzusválasz mérésére hagyatkozni. Ehhez a helyiségeket impulzuszerű gerjesztéssel (pl. taps, zacskó- vagy lufipukkasztás) gerjeszthetjük. A mérés elvégezhető a megszokott zaj módszerével is, ehhez azonban további eszközökre (megfelelő szintű zajforrás) is szükség van. Mind az impulzus, mind a zajerjesztés könnyen túlvezérelheti a felvételt, azonban jelen mérés esetén ennek nem lesz hatása a kiértékelésre.³ A felvételeket veszteségmentes .wav formátumban érdemes rögzíteni.

A felvétel feldolgozásához töltsse be a felvételt a feldolgozó programba. Matlab használata esetén a feldolgozáshoz célszerű szkriptet készíteni, mely a különböző helyiségek felvételeit betöltve kiértékeli a lecsengési időket. A felvétel az `audioread` függvénnyel tölthető be a legegyszerűbben. A feldolgozáshoz érdemes kivágni egy, az alapzajra jellemző részletet is a felvételtől, melyet a jel-zaj viszony becslésére használhatunk fel a későbbiekben. Emellett a rögzített válaszhoz tartozó részt is érdemes külön kivágni. A felvétel ábrázolása (`plot`) után a kivágások határai könnyen megadhatók grafikusán is, a `ginput` függvény felhasználásával.

Az utózungési idő számításához szinteket kell számítanunk, melyek időbeli átlagolás eredményeként adódnak. Ügyeljünk arra, hogy ebben az esetben a szintszámításhoz használt átlagolási időnek jóval kisebbnek kell lennie a lecsengési időnél. (Tipikusan, ha a lecsengési idő néhány tizedmásodperc, akkor az átlagolási időnek az ezredmásodperces nagyságrendben kell lennie.) Így a felvett teremválaszból kiértékelt szintek alapján kiszámítható az RT utózungési idő a mérési segédletben tárgyalt módszerek segítségével. Figyeljünk meg, hogy az utózungési idő számításánál egymáshoz mért (relatív) szintekre van csupán szükségünk, így a mérés elvégzéséhez nincs szükség kalibrált hangrögzítő eszközre.

Az utózungési idő mérése így tipikusan a következő lépésekből áll:

- Teremválasz rögzítése a megfelelő formátumban.
- A válasz betöltése, a jellemző részek kivágása a felvételtől.
- Szintszámítás megfelelő időállandóval.
- A maximális szinthez képest vett -5 dB és -25 dB vagy -35 dB szintekhez tartozó időpontok megkeresése a válaszban.

³A túlvezérlés itt a maximális A/D konverziós szint átlépését, nem pedig a mikrofon telítését jelenti. Utóbbi lényegesen nagyobb szintnél következik be és természetesen tönkreteszi a felvételt.

- A meghatározott időpontok alapján a -60 dB-hez tartozó RT utózenngési idő kiszámítása illesztéssel, extrapolációval.

Otthoni feladatok

1. A kiadott mérési segédlet és a fent leírtak alapján implementáljon az utózenngési idő meghatározására alkalmas programkódot. A mellékelt `lepcso.wav` az egyetem egyik lépcsőházában készült felvétel. Tesztelje az implementációját ennek segítségével.
2. Ábrázolja az energialecsengési görbét (EDC). Jelölje rajta az utózenngési idő számításához használt értékeket.

Jelenléti feladatok

1. Méréssel ellenőrizze a 2. részben elvégzett becsléseit! Milyen mérési módszert alkalmaz? Miért? Milyen módon befolyásolhatják a mérés eredményét az alkalmazott eszközök? Ábrázolja a mért válaszból számított szintek időfüggését, jelölje be az utózenngési idő számításához használt alappontokat a görbén! Számítsa ki a mérés jel-zaj viszonyát!
2. Milyen viszonyban van a becsült és a mért eredmény? Ha eltérést tapasztal, mi lehet az eltérés oka?
3. Mutassa meg a mért adaton, hogy a lecsengési idő frekvenciafüggő! (Ötlet: ehhez a felvett jelet még a szintszámítás előtt az időtartományban szűrhetjük sáváteresztő szűrővel. Matlab: `filter` függvény a szűréshez, a szűrő pedig pl. a `butter` függvénnyel tervezhető.)
4. Mérje meg a lépcsőház utózenngési idejét! Vesse össze a kiszámított utózenngési időt a lépcsőház és a labor helyiség esetén! Megfelel-e az eredmény az előzetes várakozásnak?

Hivatkozások

- [1] SABINE, W. *Collected Papers on Acoustics*. Harvard University Press, 1922.