

Samtengd hljómrými

Ólafur Hjálmarsson, verkfræðingur, Ólafur Hafstein Pjetursson verkfræðingur, Þórir Hrafn Harðarson, verkfræðingur.
Trivium ráðgjöf, Borgartúni 20, 105 Reykjavík.
Fyrirspurnir:olafur@trivium.is

Inngangur

Til þess að lýsa flóknum hljóðheimi reynum við gjarnan að beita einföldum reiknilíkönum til þess að öðlast yfirsýn og skilning á viðfangsefninu. Ein af stóru spurningunum sem blasir við okkur þegar hljómlengd (ómtími) rýma er reiknuð er hvenær rétt sé að líta á byggð rými sem eitt eða aðskilin hljómrými. Á því er mikill munur. Í þessari grein er fjallað um lærdómsríkt dæmi um glímuna við hljóðið. Þegar hljómlengd (ómtími) rýma á í hlut skiptir verulegu máli að tryggja sem jafnastan hljóm yfir allt tónsviðið [3]. Hann verður ekki tryggður án útreikninga.

Skýrsluhöfundar voru fengnir til þess að aðstoða húsráðanda með óþægilegan hljóm í opnu alrými í íbúð í fjölbýli. Rýmið skiptist upp í þrjá hluta, borðstofu (1), setustofu (2), og gang (3). Galopið var á milli þessara rýma. Út frá borðstofu er opið inn í eldhúskrók. Lofthæðir eru sem hér segir: 2,5 m í setustofu, 3,3 m í borðstofu og 2,8 m í gangi (sjá mynd 1).

Til að geta veitt fullnægjandi ráðgjöf var fyrst mældur ómtími í rýminu. Niðurstöður hljóðmælinga voru notaðar til að stilla af reiknilíkan, sem síðar var beitt til þess reikna út æskilegar hljóðdeyfiaðgerðir vegna óþægilegs hljóms í alrýminu.

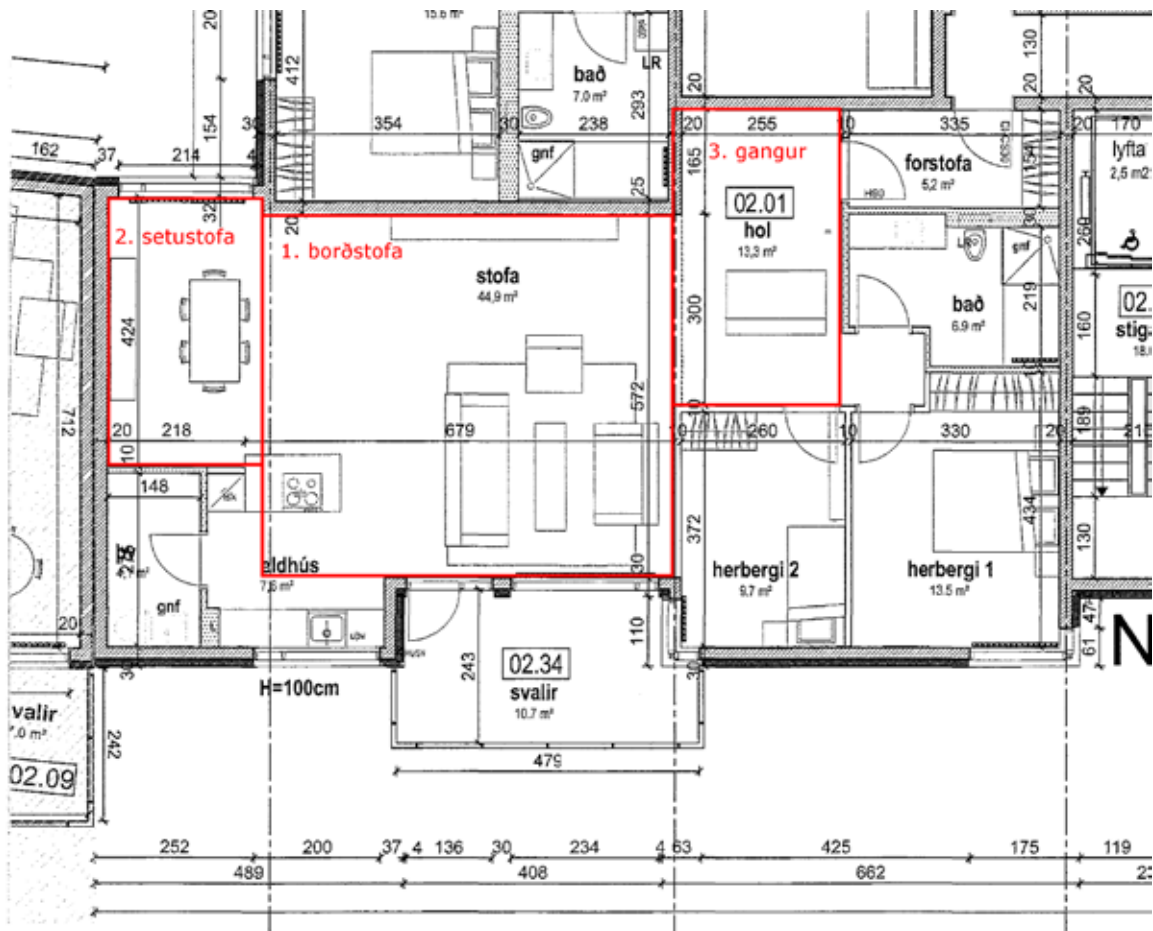
Hljóðmælingar

Framkvæmdir voru 6 mælingar á ómtíma; 2 mælingar í hverju rými; hver með hátalara og hljóðmæli í sama rými. Niðurstöður mælinga má sjá í töflu 1:

Tafla 1: Niðurstöður ómtímamælinga

Rými	Ómtími, T(s)
Setustofa	0,93
Borðstofa	1,00
Gangur	0,90
Meðalómur	0,94

Eins og sést á niðurstöðum mælinga er hljómlengd í alrýminu breytileg á milli rýma. Mælingarnar gefa því ákveðna vísbendingu um að við gerð reiknilíkans sé ekki ráðlagt að líta á rýmið sem eina heild heldur sem þrjú samtengd hljómrými. Út frá mælingunum sést einnig að ómurinn í rýminu er óþægilega hár fyrir íbúðarhúsnæði. Reynslan segir okkur að æskilegt sé að ómtími fyrir íbúðarhúsnæði sé sem jafnastur yfir tónsviðið með meðalómtíma $T \leq 0,8$ s til þess að gefa tempraðan og þægilegan hljóm. Þess verður líka að gæta að ofdempa



Mynd 1: Yfirlitsmynd yfir þau rými sem tekin voru til skoðunar.

ekki rými. Gerist það er dregið verulega úr áheyrileika talaðs máls og tónlistar. Það getur verið jafn þreytandi að vera í slíkum rýmum og of hljómmiklum rýmum. Hljómlengd rýma þarf að vera hæfileg og hæfa notkun þeirra.

Reiknilíkan

Rýmið var fyrst reiknað sem ein heild til að meta hversu vel sú niðurstaða passaði við mæld gildi á ómtíma. Tekin voru saman stærðir allra flata og ísogsflatarmál þeirra reiknað með því að margfalda saman stærð flatar við ísogsgildi hans við 125, 250, 500, 1000, 2000 og 4000 Hz. Ómtími rýmisins, T (s), var svo reiknaður út á hverju tíðnibandi með formúlu Sabine:

$$T = 0.163 \left(\frac{V}{A} \right) \quad 1$$

Hér er V rúmmál rýmisins (m³) og A heildar ísogsflötur rýmisins (m² Sabine). Með þessari aðferð gáfu útreikningar að meðalómtími væri T = 2,09 s, sem er talsvert langt frá því sem var mælt (sjá mynd 2). Það er því ljóst að ekki er rétt að líta opna alrýmið sem eitt hljómrými, þrátt fyrir að galopið sé á milli rýma eins og áður er sagt.

Sá sem hefur nálgast samtengd hljómrými af hvað mestri skynsemi er Lothar Cremer et al. [1]. Með orkuflæðisútreikningum um ímyndaðan skilflöt á milli rýma, þar sem gert er ráð fyrir að hljóðorka sé jafndreifð (e. diffuse sound field) í hverju rými fyrir sig, má nota tölfraðilegar aðferðir til að meta hljóðorku í hverju rými fyrir sig; og þar með virkt hljóðísog hins ímyndaða skilflatar. Þannig má síðan reikna hljómlengd (ómtíma) hvers rýmis fyrir sig. Samtengd hljómrými hafa þann eiginleika að draga hvert niður í öðru.

Látum nú S_{12} (m²) tákna flatarmál skilflatarins á milli rýma 1 og 2. A_1 (m² Sabine) tákna heildar ísogsflatarmál rýmis 1 og A_2 (m² Sabine) heildar ísogsflatarmál rýmis 2 (að meðtöldum skilfleti S_{12} í báðum tilvikum), E_1 tákna meðalhljóðorku á rúmmálseiningu í rými 1 og E_2 meðalhljóðorku á rúmmálseiningu í rými 2.

Hljóðaflíð sem berst úr rými 1 í rými 2 má því tákna sem [2]:

$$P_{1,2} = \frac{S_{12} E_1 c}{4} \quad 2$$

þar sem c er hljóðhraði í lofti [343 $\frac{m}{s}$].

Á sama hátt má skrifa hljóðaflíð sem berst úr rými 2 í rými 1 sem:

$$P_{2,1} = \frac{S_{12} E_2 c}{4} \quad 3$$

Ef gert er ráð fyrir stöðugu ástandi má tákna meðalhljóðorkuna E_2 í rými 2 sem:

$$E_2 = \frac{4P_{1,2}}{cA_2} \quad 4$$

Með því að sameina jöfnur 3 og 4 má því fá:

$$P_{2,1} = \frac{S_{12} c}{4} \cdot \frac{4P_{1,2}}{cA_2} = P_{1,2} \frac{S_{12}}{A_2} \quad 5$$

Hljóðísogsstuðull flatar, α , er það hlutfall hljóðorku sem yfirborð rýmis dregur í sig á móti þeirri hljóðorku sem lendir á yfirborðinu. Látum nú $\alpha_{1,2}$ tákna hljóðísog skilflatar rýmis 2 gagnvart rými 1, þ.e.a.s. hlutfall þeirrar hljóðorku sem berst inn í rými 2 frá rými 1 og fer ekki aftur út í rými 1. Þar sem hljóðafl er í réttu hlutfalli við hljóðorku má skrifa:

$$\alpha_{1,2} = \frac{P_{1,2} - P_{2,1}}{P_{1,2}} = 1 - \frac{S_{12}}{A_2} \quad 6$$

Þar sem heildar ísogsflatarmál rýmis 2 samanstendur af ísogsflatarmáli skilflatar milli rýma 1 og 2 og ísogsflatarmáli allra annara flata í rými 2 má rita:

$$A_2 = A_{02} + A_{S,12} \quad 7$$

Þar sem $A_{S,12}$ tákna ísogsflatarmál skilflatarins S_{12} og A_{02} tákna ísogsflatarmál allra annara flata og loftrýmis í rými 2. Með því að gera þá fyrstu nálgun skilflöturinn veiti fullkomið hljóðísog (eins og opinn gluggi) gagnvart rými 2 þ.e.a.s. .

$$\alpha_{2,1} = 1$$

fæst:

$$\alpha_{1,2} = \frac{A_{02}}{A_{02} + S_{12}} \quad 8$$

Þannig eru allar stærðir þekktar til að reikna ómtíma rýmis 1 og hægt að reikna 1. nálgun að ómtíma þess. Síðan má með sama hætti reikna rými 2 í hina áttina og endurreikna hljóðísogsstuðla. Samleitni þessarar reikniáðferðar er mjög hröð. Þegar samtengdum rýmum fjölgar eykst lítillaga flækjustig útreikninga en samleitni er eftir sem áður mjög hröð.

Niðurstöður framanskráðs reiknilíkans eru sem hér segir:

Tafla 2: Niðurstöður reiknilíkans eftir ítranir

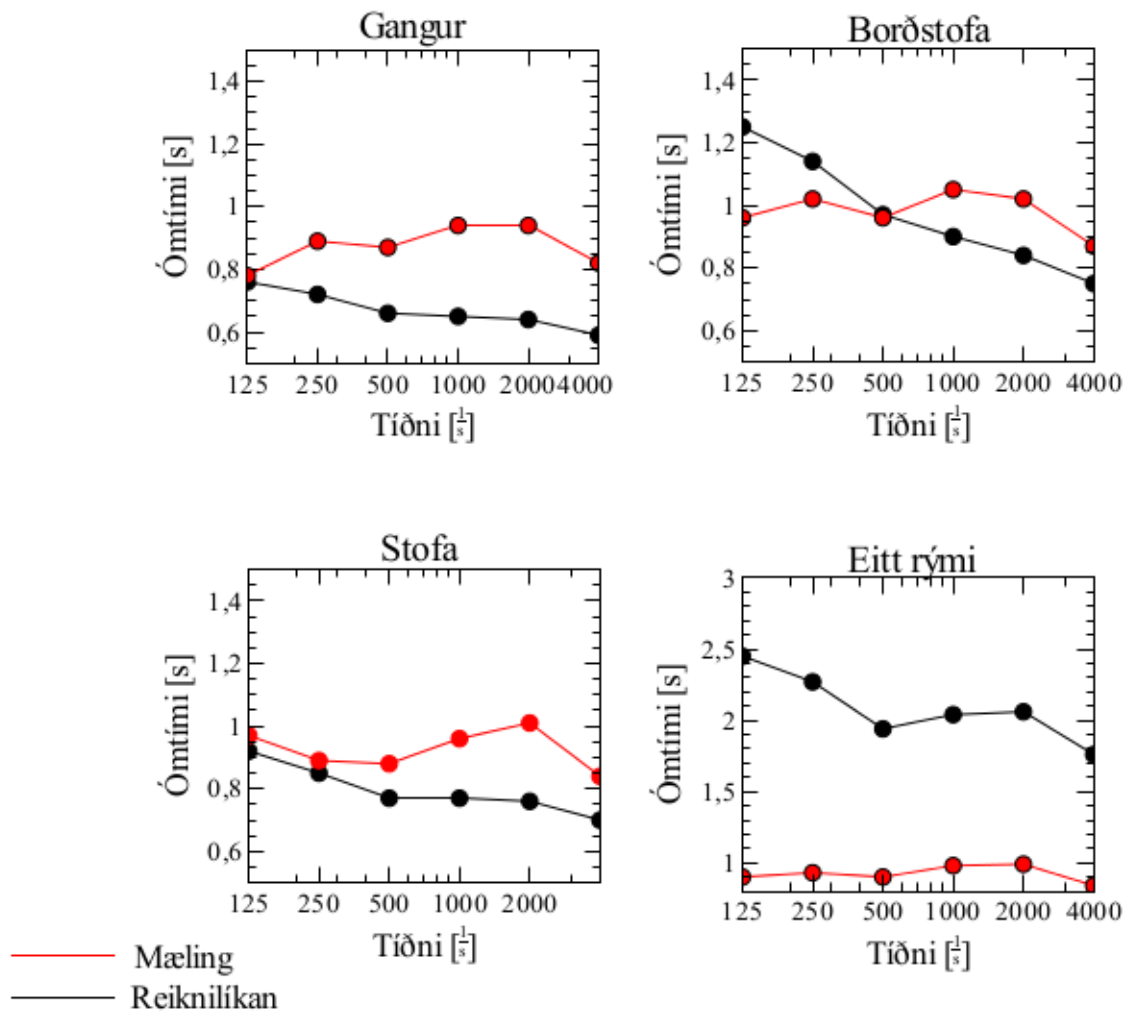
Rými	Ómtími, T(s)
Setustofa	0,80
Borðstofa	0,98
Gangur	0,67
Meðalómtími	0,82

Gröfin á mynd 2 sýna tíðniróf, frá 125 til 4000 Hz, reiknaðs og mælds ómtíma í hverju tilviki. Samræmi mældra og reiknaðra gilda er mjög ásætlanlegt þegar reiknað er með framanskráðri reikniáðferð fyrir samtengd rými. Ranga niðurstöðu gefur að reikna alrýmið sem eitt hljómrými eftir líkingu Sabine (1).

Af reiknilíkaninu má sjá, eins og mælingar sýna líka, að mest er hægt að vinna með því að dempa stóra borðstofurýmið í miðju alrýmisins. Með tiltölulega einföldum aðgerðum; um 9 m² hljóðdeyfifleti í loft borðstofu má stórbæta hljóðvist íbúðarinnar. Með því að draga niður í borðstofunni dempast hin rýmin líka þar sem þau eru samtengd. Með þessum einföldu endurbótum verður meðalómtími rýma sem hér segir:

Rými	Ómtími, T(s)
Setustofa	0,71
Borðstofa	0,68
Gangur	0,60
Meðalómur	0,66

Hér er meðalómtími í öllum rýmum kominn vel undir hin æskilega ómtíma $T \leq 0,8$ s og í öllum hlutum um eða fyrir innan $0,6 \text{ s} \leq T \leq 0,7$ s sem þýðir að rýmið myndi uppfylla flokk B (næst efsta hljóðflokk) fyrir ómtíma í íbúðarrými skv. hljóðvistarstaðli ÍST 45:2016. Við tillögu að lausn var þess gætt að hljómlengdin yrði jöfn yfir tíðnisviðið til þess að tryggja skarpan og skýran hljóð.



Mynd 2: Samanburður mælinga og reiknilíkans

Niðurlag

Í greininni er lýst reikniaðferð til þess að glíma við samtengd hljómrými sem hafa allt aðra hljómeiginleika heldur en samfelld rými. Samræmi á milli hljóðmælinga og reiknilíkansins virðist gott í því dæmi sem hér er tekið. Hefðbundið reiknilíkan hefði gefið kolranga mynd.

Það sem er sérstaklega lærdómsríkt er hversu mikil áhrif það hefur á hljómlengd rýma að brjóta þau upp; þannig þau virki ekki eins og eitt hljómrými heldur mörg; sem draga þá hvert niður í öðru. Þar sem þörf er fyrir vel tempruð rými eins og á heimilum, opnum vinnustöðvum, opnum samkomurýmum skóla og þess háttar má því talsvert vinna með uppbroti rýmanna. Þegar tónlist á í hlut og þörf er fyrir lengri hljóm ættu menn hins vegar að fara varlega.

Greinarhöfundar þakka húsráðanda fyrir heimild til þess að birta framangreindar niðurstöður.

Heimildir

- [1] Lothar Cremer og Helmut A. Müller Principles and Application of Room Acoustics. Vol. 1 Applied Science Publishers, London and New York 1982
- [2] Lawrence E. Kinsler et al. Fundamentals of Acoustics 3. Ed. John Wiley & Sons Inc. 1982
- [3] Ólafur Hjálmarsson Í góðu hljóði. Grein í Árbók VFÍ/TFÍ 2004. Reykjavík 2004.