



IFM –Department of Physics, Chemistry and Biology

# Ljudfysik - Lab 2

## Rumsakustik

Namn	
Personnummer	
Datum	
Godkänd	

Rev: Sep 14  
Peter Andersson  
Per Sandström

# Introduktion

Avsikten med den här laborationen är att studera en del fenomen kring rumsakustik. Ni kommer att använda en bärbar dator med externt ljudkort, kopplat till en mikrofon och en högtalare samt programvarorna R+D och REW.

## Utförande

Nedan följer en kort beskrivning av de uppgifter som ska utföras. Kombinerat med till laborationen medförd fantasi och självförtroende samt muntliga instruktioner vid platsen, skall detta möjliggöra genomförandet av experimenten. Använd din fantasi - kommer du på något du skulle vilja göra för att undersöka något du är nyfiken på så gör det. Se till att du inte går från laborationen med frågetecken i huvudet.

Om du tycker att något är oklart vid genomläsningen av denna handledning så misströsta inte - det kommer att klarna. Tycker du då att något är oklart så fråga, fråga, fråga.

Laborationen är uppdelad i två delar: Interferensfenomen och rumsmoder.

## Förberedelser

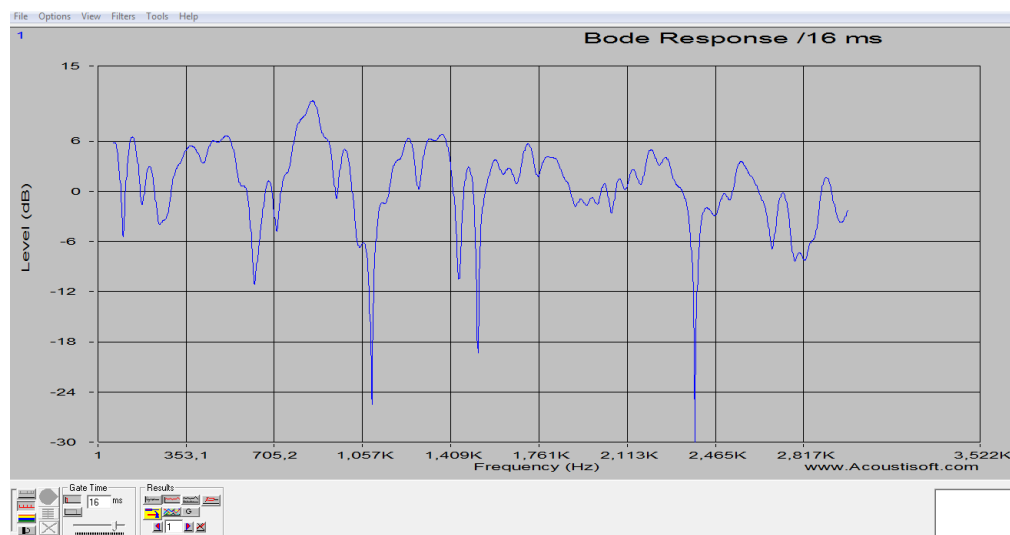
Läs igenom Lab-PM, samt relevanta delar ur ”Master Handbook of Acoustics” och föreläsningsanteckningar. Speciellt är det bra att förstå vad kamfilter och rumsmoder är för något. Programmet R+D som vi kommer att använda hette tidigare EFT och finns beskrivet i kapitel 24 i Everest, som handlar om programvaror för akustiska mätningar.

# 1 Interferensfenomen

När två sinusvågor av samma frekvens samverkar kommer interferens att uppstå på grund av superpositionprincipen. Beroende på vågornas inbördes fas kommer förstärkning eller utsläckning att ske. Om vågorna ligger helt i fas med varandra kommer amplituden för den resulterande vågen bli summan av de båda samverkande vågornas amplitud. Om de ligger i motfas, dvs med ett fasskift på  $\pi$ , blir den totala amplituden differensen mellan de samverkande vågornas amplitud.

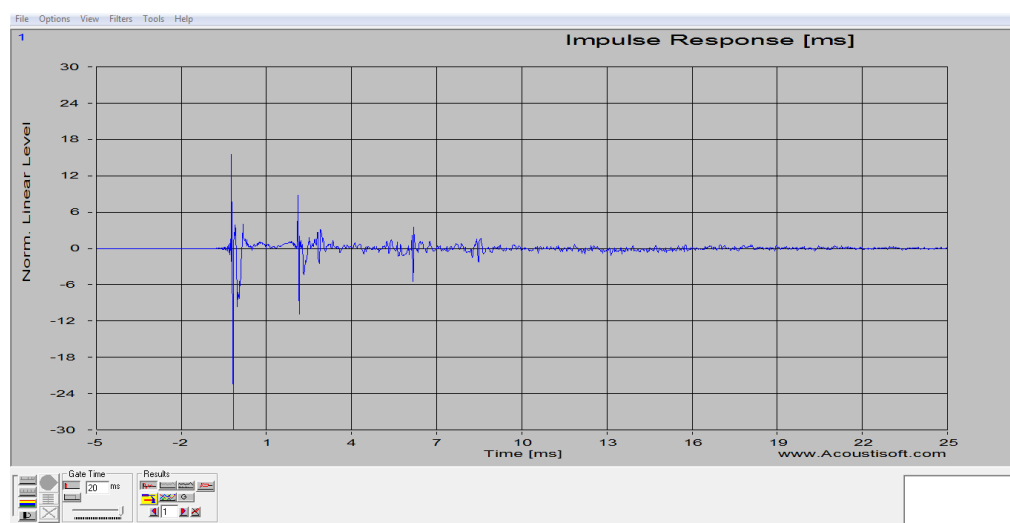
I den här laborationen skall vi studera en situation där interferens kan uppstå. Om vi har en ljudvåg som reflekteras mot en tillräckligt stor yta, av storleksordning ljudvågens våglängd, kommer den att reflekteras enligt reflexionslagen så att den infallande vinkeln är lika med reflexionsvinkeln. Om en mikrofon placeras i närheten av en ljudkälla och en reflekterande yta kan därmed interferens uppstå mellan det direkta ljudet från ljudkällan och det reflekterade ljudet.

I rummet finns en högtalare som ljudkälla och en tryckmikrofon för att ta upp ljudet. Det finns en mängd ytor i rummet som reflekterar ljud och som därmed kommer ge upphov till olika interferensfenomen, se figur 1. För att endast studera effekten av en isolerad reflekterande yta använder vi programvaran R+D.



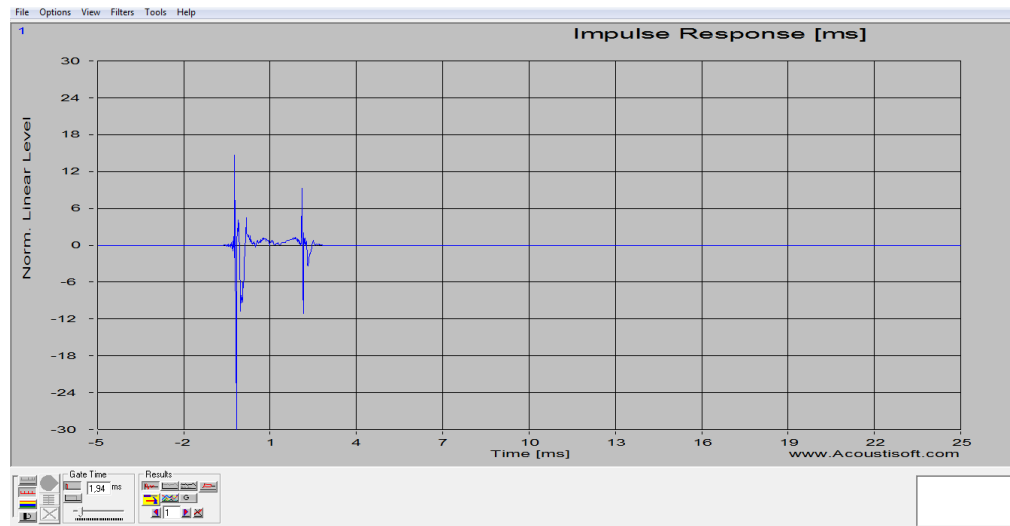
Figur 1. Ojämn frekvensrespons vid mikrofonpositionen på grund av interferens mellan direkt- och reflekterat ljud från olika rumsytor.

R+D fungerar så att en MLS-signal genereras och spelas upp i en högtalare för att sedan tas upp med en mätmikrofon. Den inspelade signalen kan sedan analyseras och ge en stor mängd information om rummets akustiska egenskaper. Genom en speciell transform kan vi med hjälp av programmet även studera och manipulera ljudet utifrån dess beteende i tidsdomänen, något som brukar benämnas impulsresponsen, se figur 2.



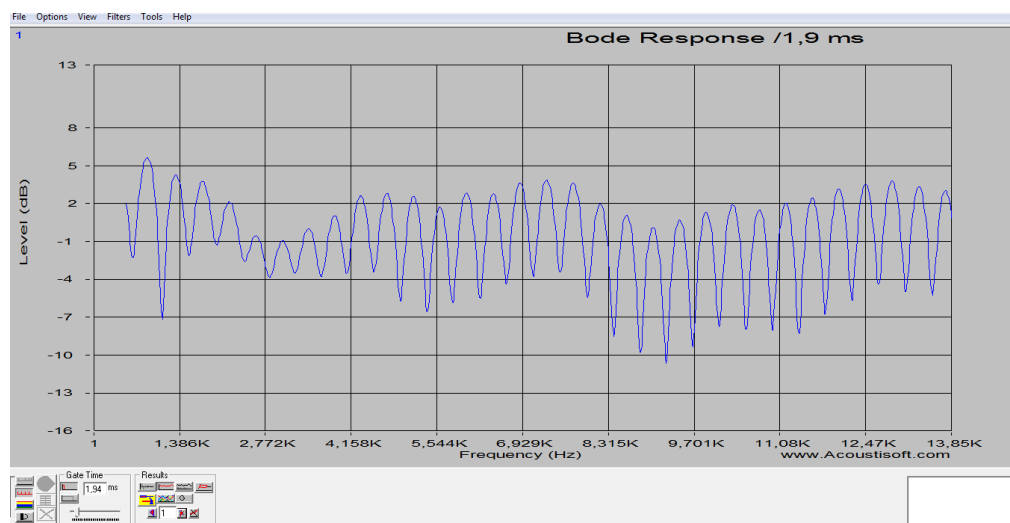
Figur 2. Impulsresponsen kan tolkas som ett impulsljuds utveckling över tiden vid mikrofonpositionen. I impulsresponsen kan reflekterande rumsytor ses som toppar.

Anledningen till att detta är så användbart för denna laboration är att vi kan manipulera impulsresponsen hos det inspelade ljudet och ta bort all energi som kommer efter en viss tidpunkt med en funktion som kallas *gate*, se figur 3. Sedan kan vi transformera tillbaks ljudet till frekvensdomänen för att studera hur stor energin är för olika frekvenser i det tidsintervall som ej är gateat.



Figur 3. Med gatefunktionen kan impulsresponsen manipuleras så att endast den första reflektionen finns med.

Med hjälp av gatefunktionen kan vi isolera den första reflektionen och därmed analysera den i detalj. Har vi endast en reflektion och en graf plottas upp med ljudtrycksnivån på den lodräta axeln och frekvensen på den horisontella axeln (med linjär skala) kommer ett karaktäristiskt mönster att uppstå, se figur 4. Grafen kommer att likna en hårkam och den här typen av interferensfenomen brukar kallas *kamfilter*.



Figur 4. Frekvensrespons för kamfiltret som uppstår vid interferens mellan direkt- och reflekterat ljud vid endast en reflekterande yta.

## Laborationsuppgift 1

Målet för denna del av laboration är att hitta ett uttryck för de frekvenser som ger upphov till optimal konstruktiv interferens respektive optimal destruktiv interferens när en ljudvåg reflekteras vinkelrätt mot en yta samt undersöka hur ljud reflekteras för höga frekvenser.

**Uppgift 1.1:** *Placera mikrofonen mellan en reflekterande yta och högtalaren. Variera avståndet mellan mikrofonen och ytan. Använd programmets gatefunktion i impulsresponsen för att isolera reflektionen från ytan. Studera frekvensresponsen och mät vilka frekvenser som ger optimal konstruktiv interferens och optimal destruktiv interferens. Gör även en teoretisk härledning av uttrycken och verifiera hur väl de överensstämmer med mätningarna.*

**Uppgift 1.2:** *Undersök om det går att eliminera kamfiltret med ett absorberande material.*

**Uppgift 1.3:** *Placera mikrofonen mellan högtalaren och en stängd dörr på ett avstånd om ca 2 m. Identifiera reflektionen från dörren i impulsresponsen. Vad händer med reflektionen om dörren öppnas på vid gavel? Går det att helt få bort reflektionen?*

**Uppgift 1.4:** *Välj en längre gatetid så att fler reflektioner finns med. Försök att identifiera vilka ytor de olika reflektionerna motsvarar och verifiera med måttbandet att avståndet till ytorna överensstämmer med de tider ni uppmäter i impulsresponsen.*

## 2 Rumsmoder

Antag att vi har ett rektangulärt rum med solida reflekterande väggar och att det finns en ljudkälla i rummet. På grund av reflektioner mot rummets väggar, tak och golv kommer ljudkällan att ge upphov till stående ljudvågor. Dessa stående vågor kallas med ett annat ord för rumsmoder (ej att förväxla med noder). Om vi studerar tryckvariationerna i de stående vågorna är ett randvillkor att de är maximala vid rummets väggar, dvs vi har en buk där. Att det blir så beror på att luftmolekylerna ej kan penetrera väggen och deras avstånd från jämviktsläget därmed måste vara noll. För att upprätthålla detta kommer trycket i stället att variera maximalt och det uppstår en tryckbuk. Det går att visa att det finns tryckbukar där det är elongations- och hastighetsnoder

och vice versa. I allmänhet är det tryckvariationerna vi är intresserade av eftersom det är dessa vår hörsel och mätmikrofoner registrerar.

Om vi avgränsar oss till så kallade axiella moder, som uppkommer mellan två parallella väggar, ges frekvenserna där vi har stående vågor av:

$$f_p = \frac{cp}{2L} \quad (1)$$

Där  $c$  är ljudhastigheten,  $L$  är avståndet mellan väggarna och  $p$  är ett heltal. Om  $p=1$  har vi grundfrekvensen  $f_1$ , vilket är den lägsta frekvensen som ger upphov till resonans för denna rumsdimension. Den svarar mot att rummets längd är en halv våglängd. Vi ser att övriga resonansfrekvenser är multiplar av grundfrekvensen.

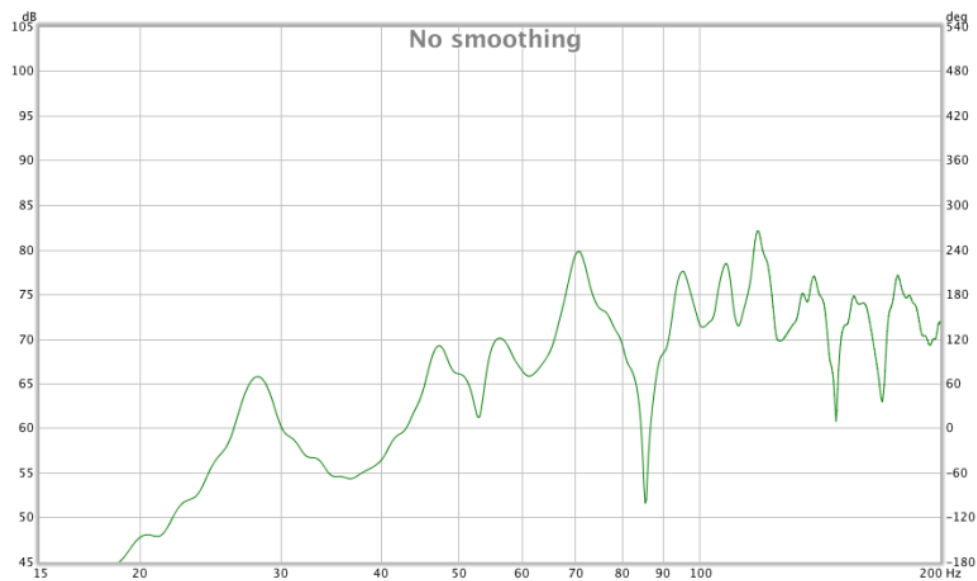
Eftersom ett rum är tredimensionellt uppstår även stående vågor där fler väggar är inblandade. De frekvenser de stående vågorna i tre dimensioner uppstår vid beskrivs av det mer komplicerade uttrycket:

$$f_{p,q,r} = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{p^2}{L^2} + \frac{q^2}{B^2} + \frac{r^2}{H^2}} \quad (2)$$

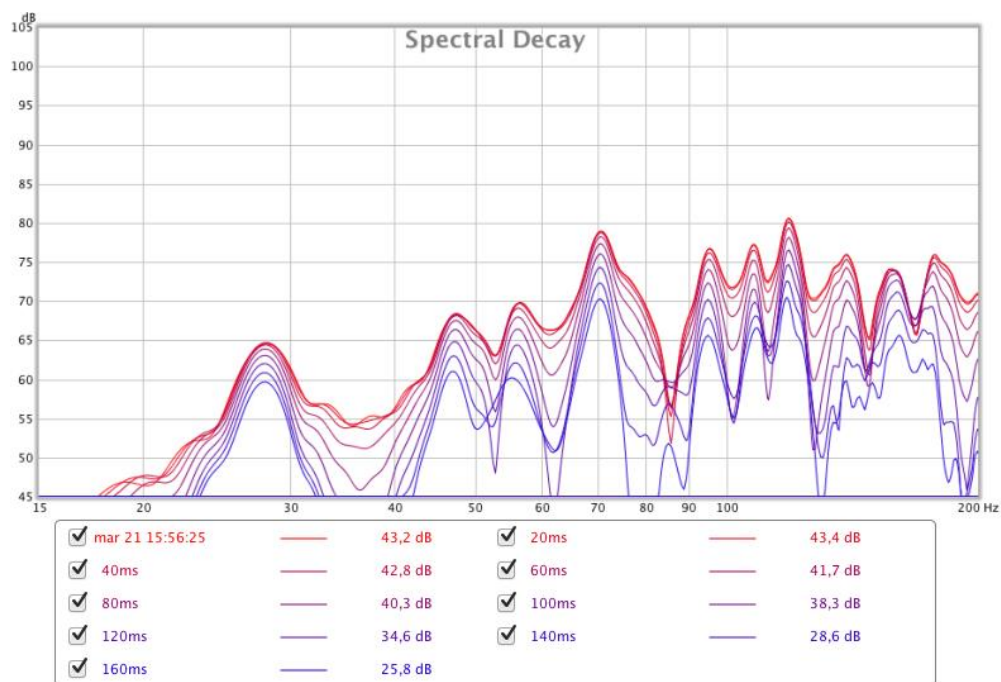
Där  $c$  är ljudhastigheten,  $L$  är rummets längd,  $B$  är rummets bredd,  $H$  är rummets höjd,  $p$ ,  $q$  och  $r$  är heltal. Om endast ett av heltalen är skilt från noll har vi axiella moder enligt (1). Är exakt två av heltalen nollskilda kallas moderna tangentiella och är alla tre heltalen nollskilda kallas moderna oblika. De starkaste resonanserna i rummet uppstår vid de axiella moderna, dvs mellan två parallella väggar.

Ett ljud med en frekvens som svarar mot en rumsmod kommer att förstärkas av resonans under förutsättning att ljudkällan befinner sig i närheten av en buk i den stående vågen. Däremot kommer vi inte att få någon förstärkning vid en nod. Eftersom vi har tryckbucar vid väggarna kommer samtliga moder att exiteras, dvs ge upphov till resonans, i rummets hörn. Vid låga frekvenser kommer moderna att ligga relativt glest i frekvens. Vi ska här studera dem närmare.

Akustiska mätningar i rummet utförs med programmet REW genom att ett frekvenssvep spelas upp i en högtalare och tas upp med hjälp av en tryckmikrofon. I programmet finns möjlighet att studera hur stark ljudnivån är för olika frekvenser vid mikrofonens position, se figur 5. Det går även att studera hur ljudnivån avtar med tiden efter ljudkällan har stängts av, se figur 6.

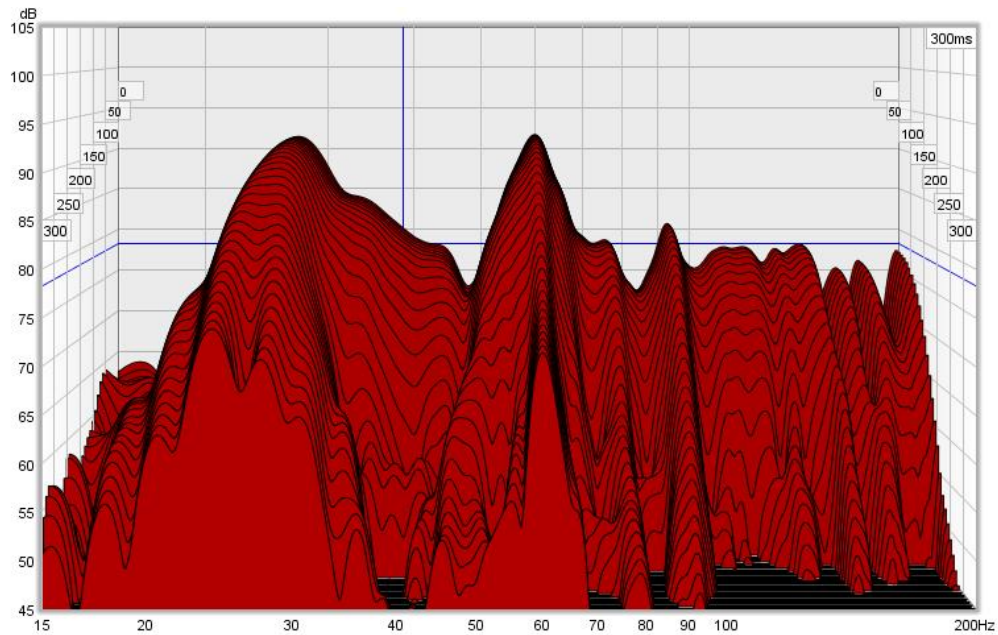


Figur 5. Ojämn frekvensrespons vid mikrofonpositionen på grund av rumsmoder.



Figur 6. Energin avtar med tiden då ljudkällan stängs av.

I programmet finns ytterligare en möjlighet att visa hur ljudnivån avtar med tiden för olika frekvenser med hjälp av funktionen "Waterfall", se figur 7. Vattenfallsdiagrammet illustrerar tydligt hur snabbt energin i rummet avtar vid olika frekvenser på grund av de olika rumsresonanserna.



Figur 7: Vattenfallsdiagrammet visar relativ ljudnivå i vertikal ledd, frekvens i horisontell ledd och tid i djupled.

Programmet har även en möjlighet att spela upp specifika sinustoner. Genom att förflytta sig i rummet går det att höra mycket tydligt hur ljudnivån varierar i bukarna och noderna i den stående vågen om en ton med samma frekvens spelas upp.

### Laborationsuppgift 2.1

Mät rummets dimensioner med måttbandet.

Längd: \_\_\_\_\_ Bredd: \_\_\_\_\_ Höjd: \_\_\_\_\_

Beräkna de axiella moder upp till 200Hz som uppkommer på grund av rummets längd, bredd och höjd.

L: \_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_

H: \_\_\_\_\_



För att alla moder skall exciteras placeras högtalaren lämpligen i rummets hörn. Börja med att göra mätningar på några positioner i rummet. Starta med att placera mikrofonen i ett motstående hörn för att få en uppfattning om vilka moder som finns i rummet. Undersök om de beräknade frekvenserna ovan stämmer med mätningarna. Kom ihåg att det även finns radiella och oblika moder som syns i mätningarna.

*Vilka moder av de ni beräknat kan ni identifiera utifrån mätningarna?*

---

### ***Laborationsuppgift 2.2***

Nu skall vi undersöka hur ljudnivån ändras vid olika mikrofonpositioner.

*Vid vilka positioner skall mikrofonen placeras för att dämpa den lägsta axiella moden och dess första överton? Hur mycket dämpas de?*

*Pos 1:\_\_\_\_\_Dämpning:*

*Pos 2:\_\_\_\_\_Dämpning:*

### ***Laborationsuppgift 2.3***

Nu skall ni *lyssna* på moderna. Det är ett bra sätt att illustrera effekten av moderna för att öka förståelsen.

Spela upp frekvensen för den lägsta axiella moden. Gå in i rummet och lyssna.

*Hur kan ni genom att lyssna verifiera att moden motsvarar det väggpar ni använt i beräkningarna?*

---

Testa att gå längs väggarna. Längs ett par väggar borde intensiteten vara i stort sett konstant medan vi längs med de andra väggarna får ett tydligt minimum i mitten av rummet. Om vi har ett symmetriskt rum borde detta minimum finnas längs ett plan tvärs över.

*Vid vilka väggar har ni minst variation i ljudintensitet?*

---

*Har ni ett minimum i ett plan genom rummets mitt och vilka väggar är i så fall parallella med planet?*

---

Var ligger bukarna och noderna för den första övertonen för rummets lägsta mod? Spela upp motsvarande frekvens och verifiera genom att lyssna i de platser ni tror de skall ligga i rummet.

*Frekvens:* \_\_\_\_\_

*Platser för noder:* \_\_\_\_\_

*Platser för bukar:* \_\_\_\_\_

### ***Laborationsuppgift 2.4***

Studera nu hur efterklangstiden beror på frekvens med funktionen waterfall.

*Vilka frekvenser lever kvar längst i rummet? Moderna eller frekvenser där vi ej har stöd från moder?*

---