

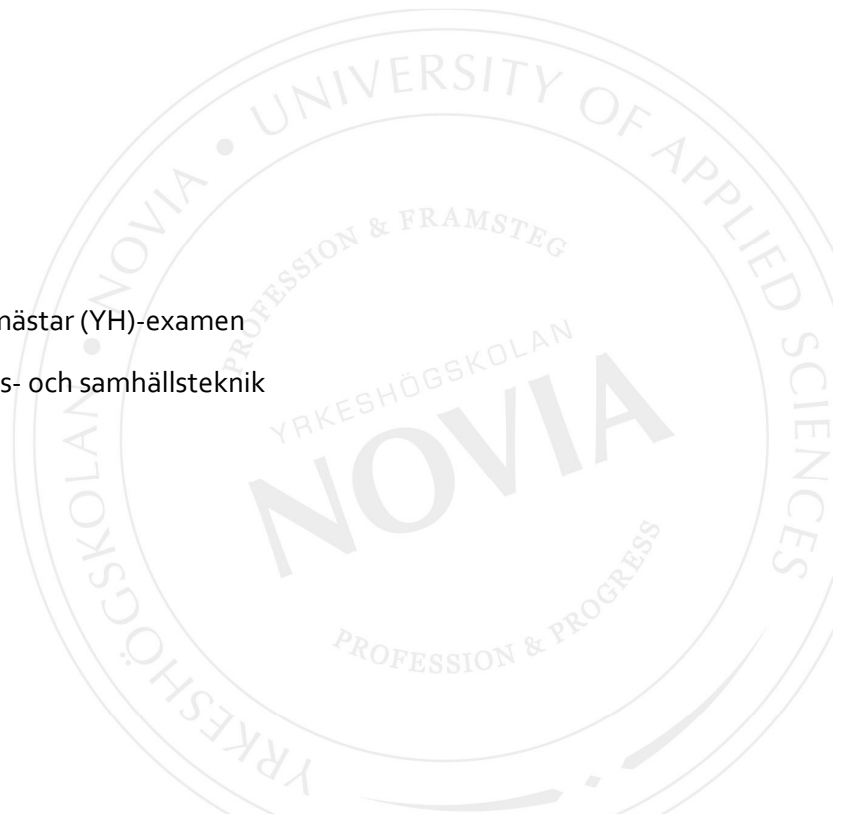
Traditionella träkonstruktioners ljudreduktionsförmåga

Patrik Berlin

Examensarbete för Byggmästar (YH)-examen

Utbildningen för bygnads- och samhällsteknik

Raseborg 2019



EXAMENSARBETE

Författare: Patrik Berlin

Utbildning och ort: Utbildningen för byggnads- och samhällsteknik, byggmästare (YH),
Raseborg

Handledare: Towe Andersson

Titel: Traditionella träkonstruktioners ljudreduktionsförmåga

Datum 27.11.2019

Sidantal 32

Bilagor 2

Abstrakt

Detta är ett examensarbete för byggmästare (YH)-examen. Examensarbetet är till sin omfattning 10 studiepoäng.

Ämnet för detta examensarbete är hur byggnadsakustiken fungerar i praktiken vid vanliga träkonstruktioner med träregelverk i Finland. Målet är att lära läsaren grundläggande teori kring ljud och buller samt byggnadsakustik överlag. Dessutom ska läsaren få information om hurdana egenskaper vanliga träväggar med träregelverk har att reducera ljud. Vid sidan om förekommer stödande teori på hur man skall räkna ut ljudisoleringen i väggar. Arbetet behandlar också hur man kan förbättra ljudisoleringen i en enskild väggs konstruktion, och vad som skall tas i beaktande vid planeringskedet för att få hela ljudmiljön i ett hus bättre. Därpå räknas även upp olika krav som byggbestämmelser i Finland har om ljudisolering.

Detta arbete omfattar huvudsakligen teori kring ljud och byggnadsakustik, men också en del prover görs i samband med detta examensarbete var det mäts luftljudsisoleringen i traditionella träväggar. Väggarna är till sina konstruktioner olika och mätningarna är utförda som fältmätningar.

Konstruktioner med hög vikt har i allmänhet visat sig ha bättre luftljudsisolering, och träkonstruktioner är vanligtvis ganska lätta. Detta leder till att träkonstruktioners luftljudsisoleringsförmåga beror mest på hur de är konstruerade. Träväggars ljudisolering förbättras då mängden beklädnadsskivor ökar, isoleringen ökar, då väggen är uppbyggd som dubbelt träregelverk eller dubbel stomme med tomt luftrum emellan. Vid planering bör flanktransmissionen tas i stor beaktande, eftersom den spelar en stor roll för luftljudsisoleringen i ett utrymme. Dessutom skall man placera olika utrymmen var det vistas eller sovs i så långt bort som möjligt från eventuella bullerkällor.

Språk: svenska

Nyckelord: byggnadsakustik, träkonstruktioner

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Patrik Berlin

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari, Raasepori

Ohjaajat: Towe Andersson

Nimike: Perinteisten puurakenteiden äänentorjuntaominaisuudet

Päivämäärä 27.11.2019

Sivumäärä 32

Liitteet 2

Tiivistelmä

Tämä on rakennusmestari (AMK)-tutkintoon kuuluva opinnäytetyö, joka on 10 opintopisteen laajuinen.

Tämän opinnäytetyön aiheena on, miten rakennusakustiikka toimii käytännössä perinteisissä puurakennuksissa Suomessa. Tavoitteena on että lukija saa perustiedot äänen ja melun sekä rakennusakustiikan teoriasta. Lukija saa myös tietoa siitä millaisia äänentorjuntaominaisuuksia tavallisilla puurakenteilla on, ja miten tämä lasketaan. Työssä käsitellään miten yksinäisen puuseinärakenteen äänentorjuntaa voi parantaa, ja mitä pitää ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa niin että saa ääniympäristön rakennuksissa paremmaksi. Suomen rakennusmääräyksissä esiintyviä vaatimuksia äänitorjunnan suhteesta on myös lueteltu.

Työ koostuu pääasiassa teoriasta, mutta työssä tehtiin myös pari ilmaäänieristyksen mittausta tavallisissa puurakennuksissa. Mitatuilla seinillä on erilaisia rakenteita ja mittaukset ovat kenttämittauksia.

Johtopäätös on mitä painavampi rakennus on sitä parempi ilmaäänieristys sillä on. Puurakenteet ovat yleensä aika kevyitä, ja tästä syystä niillä on aika huono äänieristys ja rakenne vaikuttaa äänieristyksen laatuun. Puuseinien äänieristys on parempi, jos sisäverhouslevyjä, eristystä tai tolppia on enemmän tai jos seinän runko on kaksinkertainen.

Suunnittelussa pitää ottaa huomioon sivutiesiirtymät, koska niillä on iso vaikutus ilmaäänieristykseen. Oleskelu- ja makuutilat pitää asettaa kauas erilaisista melulähteistä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: rakennusakustiikka, puurakennukset

BACHELOR'S THESIS

Author: Patrik Berlin

Degree Programme: Civil and Construction engineering, Construction Management,
Raasepori

Supervisor: Towe Andersson

Title: Sound Reduction Abilities in Traditional Wood Buildings

Date 27.11.2019 Number of pages 32

Appendices 2

Abstract

This is the Degree Thesis of the Bachelor's Degree in Construction Management. The extent of the Degree Thesis is in total 10 ECTS.

The topic of this Degree Thesis is about how acoustics in buildings work in practice within traditional wood buildings in Finland. The goal is to teach the reader the basics of sound and noise as well as theory about acoustics. The reader will also learn about what abilities in sound insulation traditional wood constructions have, and how to count it. How to improve a single wood walls sound insulation I explained, as well as what needs to be taken into consideration when planning a house to improve the sound environment. Even what requirements the Building Regulations in Finland have within sound insulation.

The methods in this Degree Thesis is mostly theory, but some measurement appears where the airborne sound insulation is measured in normal wood walls. The walls that are measured are constructed differently and the measurements are field measurements. In conclusion the heavier the structure is the better its sound insulation is, wood walls are usually pretty light which means their sound insulation is weak and is mostly better based on how it is built. Wood walls have better sound insulation when the amount of cladding panels is increased, the amount of insulation is increased, the amount of posts are increased or the structure is built by two separate frames with an air pocket in between.

Within planning the flanking should be taken into consideration, because they have a big impact on sound insulation. Also areas where dwells and sleeps in should be placed as far away from the noise sources.

Language: Swedish

Key words: Acoustics, woodbuildings

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Metoder	1
2	Teori kring ljud	2
2.1	Ljudets frekvens	3
2.2	Människors ljuduppfattning	4
2.3	Ljudhastighet	5
2.4	Ljudstorheter och ljudnivåer	6
3	Bullrets påverkan på människan	9
3.1	Hörselskador	9
3.2	Fysiologiska påverkningar	10
3.3	Andra påverkningar	10
4	Byggnadsakustik	11
4.1	Ljudövergångssätt	11
4.2	Luftljudsisolering	12
4.3	Stegisolering	14
4.4	Dörrar och fönster	15
4.5	Planering	16
5	Krav från ministerier på ljudbekämpning	17
5.1	Miljöministeriets förordning om ljudmiljön i byggnader	17
5.2	Social- och hälsoministeriet	18
6	Mätningar	19
6.1	Objekt	19
6.2	Mätredskap	24
6.3	Metoder	25
6.4	Resultat	25
7	Sammanfattning	31
8	Kritisk granskning	32
	Källförteckning	

Bilagor

Bilaga 1: Planritning av sommarstuga

Bilaga 2: Planritning av första våning i egnahemshuset

1 Inledning

Ljud uppkommer överallt och kan överföras i alla medier, därför är det viktigt att planera och bygga hus så att den största delen av bullren reduceras. För att kunna göra detta är det viktigt att förstå vad ljud är, hur det överförs i olika medier och hur akustiken i byggnader fungerar. I detta examensarbete förklaras om grundläggande teori ljud och teori om akustik i byggnaders konstruktioner med fokus på traditionella träkonstruktioner byggnadsakustik. Olika förbättringsförslag inom akustiken räknas även upp och hur man kan planera ett hus för att det skall reducera buller så bra som möjligt, och kunna skapa en trevlig känsla i olika utrymmen.

1.1 Metoder

Detta examensarbete är huvudsakligen baserat på teori kring ljud och akustik i traditionella trähus. I samband med arbetet har en del mätningar också gjorts var det mätts hur bra olika väggar reducerar ljud i olika frekvenser, med andra ord vilken luftljudsisolering de har. Proven som utförts har gjorts i traditionella trähus och är fältmätningar vilket lett till att resultatet har mindre värden än om samma väggar skulle vara mätta i laboratoriemiljö.

2 Teori kring ljud

Ljud är en form av mekanisk vågrörelse som framskrider i ett ämne genom att sätta de närliggande partiklarna i vibration som sedan bildar en tryckvåg. Människorna uppfattar dessa variationer i lufttrycket som ljud. Allt ljud kräver ett medium för att kunna framskrida, beroende på hurdant medium det är frågan om uppkommer ljudet som antingen en longitudinell eller transversell våg. (Lehto & Luoma & Havukainen & Leskinen & Waxlax 2009, 43)

Det som är kännetecknande för longitudinella eller med andra ord täthetsvågor är att partiklarna vibrerar antingen helt och hållet eller nästan i samma riktning som vågen själv framskrider i. Vid de longitudinella vågorna bildas tätningar och uttöjningar som följer varandra. Dessa vågor kan förekomma i gaser, vätskor och fasta ämnen. (Siikanen 1996, 115)

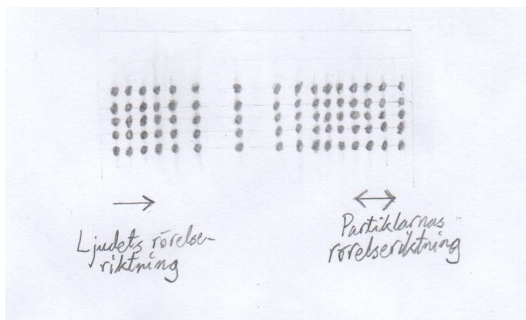


Bild 1: Illustration på longitudinell våg, vid bilden visas hur vågen ser ut och i vilken riktning partiklarna rör sig i jämförelse till ljudets riktning.

Vid de transversella eller med andra ord böjningsvågorna är det kännetecknade att partiklarna vibrerar vinkelrätt mot den riktning som vågen framskrider i. De transversella vågorna förekommer vanligtvis enbart i fasta ämnen, men kan också förekomma i gasers och vätskors gränssytor. (Siikanen 1996, 115)

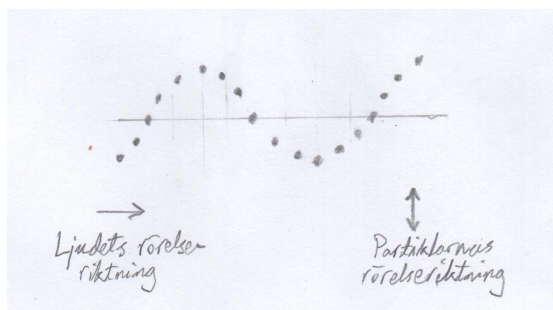


Bild 2: Illustration på transversell våg, vid bilden visas hur vågen ser ut och i vilken riktning partiklarna rör sig i jämförelse till ljudets riktning.

2.1 Ljudets frekvens

Ljudet uppstår alltid med en viss frekvens, vilket innebär hur ofta ljudets vibrationer uppstår under en viss tid i sekunder. Människor har som egenskap att höra ljud vid frekvensområdet 20–20 000 Hz. Vid tätare vibrationer, d.v.s. högre frekvenser, uppfattas ljud som högljudda, medan låga frekvenser däremot uppfattas som låga till sin ljudnivå. Ljudets frekvens bestäms med följande formel:

$$f = \frac{n}{T} \quad (1)$$

Variabeln f är frekvensen med enheten Hz, n är mängden vibrationer och T är tiden som vibrationerna skett i sekunder. (Kyllänen & Hongisto 2007, 35)

Vid frekvensområdet 1 000-5 000 Hz är människans hörsel känsligast. Ljudets mekaniska vågor med en frekvens under den nedre gränsen av frekvensområdet som örat uppfattar ljud i kallas infraljud, medan ljud med en frekvens över frekvensområdets övre gräns kallas ultraljud. (Lehto m.fl. 2009, 61)

2.2 Människors ljuduppfattning

Människor uppfattar tryckskillnaderna i luften som en ljudkälla skapar som ljud då de träffar öronens trumhinnor. Hörselbenen, som befinner sig bakom trumhinnan, omvandlar vibrationerna till elektriska impulser som leds till hjärnans hörselcentrum via hörselnerverna. (Lehto m.fl. 2009, 55)

Hur ljud uppfattas beror inte enbart på ljudnivån, utan ljudets frekvens har också en inverkan på det. Med andra ord uppfattas inte ljud med samma ljudnivåer som lika starka om de har olika frekvenser. För att kunna jämföra hur stor ljudstyrka ljud med olika frekvenser har, har det utvecklats en hörselnivåskala med enheten fon. Hörselnivåskalan visar hur stor ljudstyrka vi människor uppfattar ljud med vissa ljudnivåer och frekvenser inom hörseltröskeln och smärtröskeln samt frekvensområdet som människors öron klarar. Enligt hörselnivåskalan uppfattar en människa exempelvis ljud med en ljudnivå på 19 dB och frekvens på 5000 Hz lika starkt som ljud med ljudnivå på 34 dB och frekvens på 10 000 Hz. (Lehto m.fl. 2009, 61-62)

De ljud som en människa uppfattar kommer från en viss plats, har en viss ljudhöjd och en viss känsla i sig. Antingen kan en människa uppleva ljud som neutrala eller störande. Hur man uppfattar ljud kan fysikaliska storheter inte beskriva. Exakt samma ljud kan uppfattas olika beroende på exempelvis förändring av sinnestillståndet, omgivningen, ålder eller tiden. (Borenus & Jauhiainen & Lampio & Nuotio & Pesonen & Pyykkö 1981, 8-9)

2.3 Ljudhastighet

Ljud som färdas i luft har benämningen luftljud. Luftljudets hastighet beror inte på frekvensen, men luftens temperatur påverkar ljudhastigheten. Luftljudets hastighet har beteckningen c med enheten $\frac{m}{s}$. Ljudets hastighet i rumstemperatur är ca. $340\text{-}345 \frac{m}{s}$.

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273K}} \quad (2)$$

c_0 är ljudets hastighet i $0 \text{ }^\circ\text{C}$ och T är luftens temperatur i K. Vilket kan skrivas om till ungefär följande:

$$c \approx 331,4 + 0,6t \quad (3)$$

Var t är luftens temperatur i $^\circ\text{C}$. (Borenus m.fl. 1981, 17)

I övriga material kan ljudet också framskrida med olika hastigheter. Exempelvis i trä har ljudets hastighet ca $3400\text{-}5300 \frac{m}{s}$, i betong är ljudets hastighet ca. $4000 \frac{m}{s}$ och i glas är hastigheten ca $3500\text{-}5400 \frac{m}{s}$. (Siikanen 1996, 117)

2.4 Ljudstorheter och ljudnivåer

Ljudtryckets enhet är pascal, och förkortas Pa. Ljudtrycket är en viktig del inom akustiken, eftersom det är just det som sätter människornas trumhinnor i vibration och på detta sätt får till stånd en ljuduppfattning. Ljudtrycket är vanligtvis ett väldigt litet värde jämfört med det statiska lufttrycket, t.ex. normalt talljud orsakar ett ljudtryck som är ca en miljondel av lufttrycket. (Borenius m.fl. 1981, 16)

Då en ljudkälla är i gång överförs en del av den energi som den skapar till omgivningen med ljudvågen från ljudet den skapar. En annan viktig egenskap inom ljudkällor är dess akustiska strålningseffekt, med andra ord dess ljudeffekt. Ljudeffekten har enheten watt, förkortat till W. Ljudeffekten är vanligtvis till sin storlek ganska liten, exempelvis människornas prat har en effekt på 10 till 100 μ W. Dock kan ljudeffekten även vara hög, t.ex. en jetmotor kan vara i storhetsklassen kW. (Borenius m.fl. 1981, 18)

Till effektstorheterna hör också ljudintensiteten, vilket berättar hur stor ljudeffekt träffar en viss area. Ljudintensiteten har alltså enheten $\frac{W}{m^2}$. Intensiteten har ingen praktisk betydelse, eftersom man inte direkt kan mäta det, men det är en bra hjälpstorhet att kunna uppskatta ljudets reduktion i olika fall. Ljudintensitetens storhet beror på vilken infallsvinkel ljudet har mot ytan. (Borenius m.fl. 1981, 19)

Istället för att benämna de olika ljudstorheterna så som ljudtryckets, ljudintensitetens och ljudeffekternas absolutenheter benämns de vanligtvis som ljudnivån decibel, förkortat till dB. Ljudnivån beräknas med en logaritmisk formelbas var man jämför olika värden. Ljudintensiteten har ursprungligen varit grunden till formeln. Ljudtryckets formel fås genom att ta i beaktan att intensiteten är proportionell mot ljudtrycket i kvadrat. (Borenus m.fl. 1981, 19-20)

$$D_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (4)$$

$$D_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_2^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \quad (5)$$

För att komma från nivåskillnadernas formel till absolutformlerna används internationellt överkomna referensvärden, vilka är följande: ljudtryck $p_0 = 20 \mu Pa$, ljudintensitet $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ och ljudeffekt $P_0 = 10^{-12} W$. Då får vi följande formler:

$$\text{Trycknivå: } L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (6)$$

$$\text{Intensitetnivå: } L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (7)$$

$$\text{Effektnivå: } L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (8)$$

(Borenus m.fl. 1981, 20)

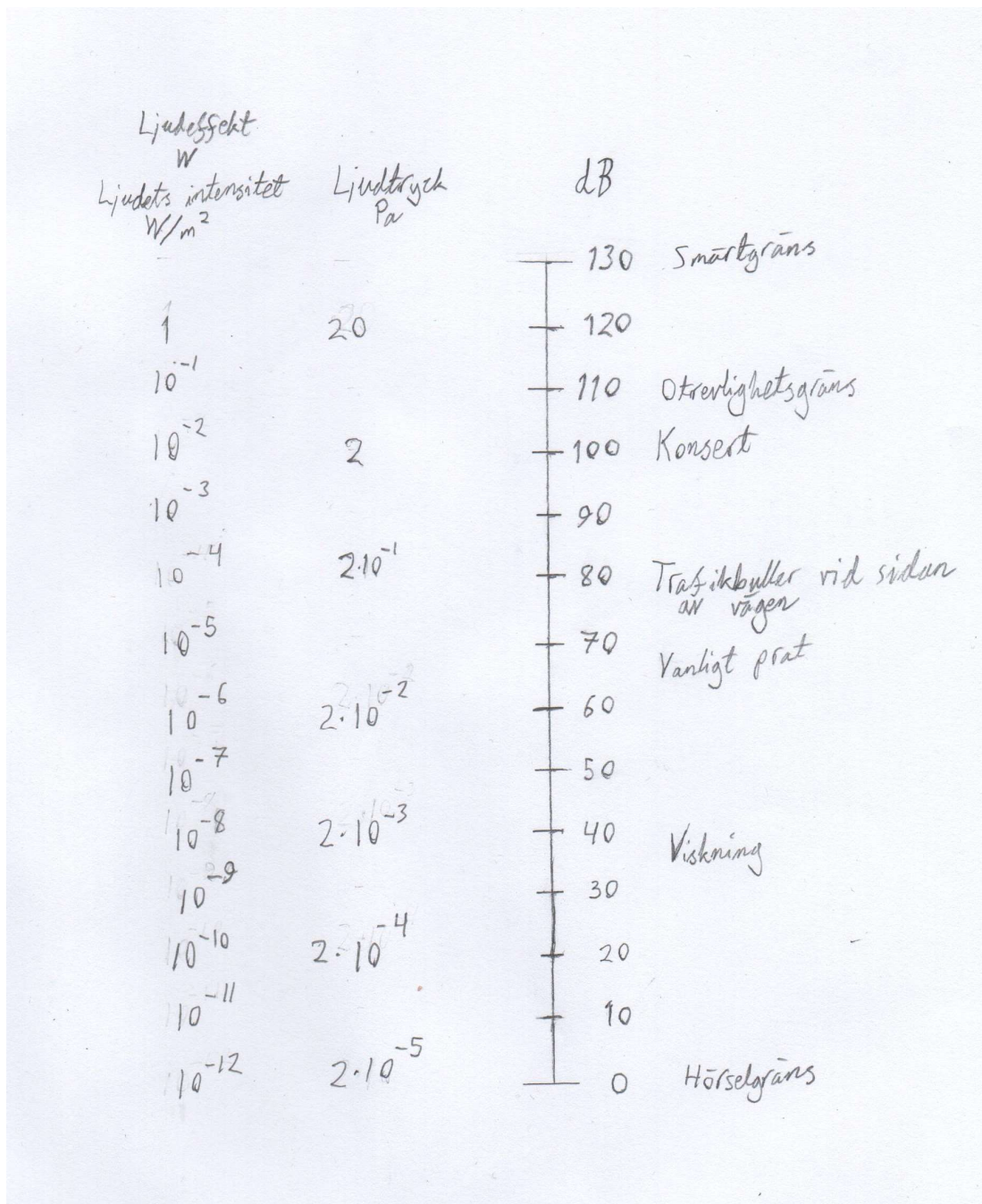


Bild 3: Bild på ljudstorheter och ljudnivåer med exempel. Bilden visar hur stora värden de olika ljudstorheterna har vid olika ljudnivåer. (Borenus m.fl. 1981, 20)

3 Bullrets påverkan på människan

Buller är en form av ljud som klassificeras som inte önskvärt. Det som kallas buller är ljud som stör människors påbörjade aktiviteter, eller som överhuvudtaget är onödigt och högljutt. Den allvarligaste påverkan som buller har på människor är hörselskador, vilket kan fås då man blir utsatt för högljudda och impulsiva ljud. Även lägre ljud kan störa i exempelvis sömnen. (Kyllänen & Hongisto 2007, 10)

3.1 Hörselskador

Människor som utsätts för buller kan få både plötsliga och kroniska hörselskador. Buller som orsakar plötsliga hörselskador kan vanligtvis framkomma från högljudda och kortvariga ljud och kan som resultat orsaka olika mekaniska skador i mellan- och innerörat. Kroniska hörselskador kan uppstå då man blir utsatt för buller en längre tid, t.ex. i flera år eller till och med årtionden. Skador som kroniska bullerskador högst antagligen orsakar på en människa är störning i innerörats blodcirkulation och sinnescellernas metabolism, vilket i sin tur orsakar att sinnescellerna förstörs lite åt gången och skapar nedsatt hörsel. (Borenus m.fl. 1981, 115)

Beroende på hur mycket man blir utsatt för buller kan den kroniska hörselskadan vara i början en tillfällig nedsatt hörsel, var hörseln returneras till normalt tillstånd efter ett par timmar eller efter till och med några dygn. Då man blir kontinuerligt utsatt för buller kan den tillfälligt nedsatta hörseln bli långvarigare även till att den blir permanent. Skador i sinnesceller som uppkommer p.g.a. hörselskador är en skada som inte har ett direkt läkarvetenskapligt sätt att botas. Dock finns det olika hjälpmedel som kan ta bort den praktiska handikappen. På basis av fler undersökningar har det internationellt bestämts att det finns risk för kronisk hörselskada då man blir kontinuerligt utsatt för en ljudnivå på 85 dB för åtta timmar under ett dygn. Vid högre ljudnivåer än 85 dB är tidsgränsen mindre än åtta timmar för att undvika att bli påverkad av hörselskador. (Borenus m.fl. 1981, 115-117)

3.2 Fysiologiska påverkningar

Högljudda buller kan orsaka aktivitet i hörselnerverna vilket stör andra delar i det centrala nervsystemet. På detta sätt har bullret en stor påverkan på människornas sömntillstånd. Den negativaste påverkan som kommer fram från buller är att det stör somnande och kan väcka till människor från sömnen, beroende på vilket sömnstadie de är i. (Borenus m.fl. 1981, 117)

Bullret har även en påverkan på andnings- och blodcirkulationssystemet via det centrala nervsystemets regleringscentrum. Detta kan orsaka tillfälliga förändringar i blodtrycket via blodcirkulationens och hjärtats funktion. Det är möjligt att människor som tidigare har hjärt- och blodcirkulationssjukdomar löper risk för att buller kan försämra dessa sjukdomar. (Borenus m.fl. 1981, 117)

3.3 Andra påverkningar

Fastän buller inte skulle direkt ge upphov till hälsoskador, har det en tendens att störa ljudmiljön och minska trivseln däromkring. Som följd kan det ha en psykologisk påverkan på människor och störa påbörjande arbeten eller överhuvudtaget vara i strid mot den önskade ljudmiljön. Byggnader med dålig akustik kan även ge upphov till andra hälsoskador, om ett utrymme är utsatt för buller eller ekar mycket tvingar det människor att prata med en högre röst. Detta kan leda till ett problem att prata med normal ljudnivå. (Kyllänen & Hongisto 2007, 10)

4 Byggnadsakustik

Med byggnadsakustik omfattas ljudets strömning mellan en byggnads olika utrymmen genom byggnadsdelarna. Byggnadsakustikens främsta uppgift är att med hjälp av ljudisolering minska och förhindra övergången av ljud mellan olika utrymmen, för att kunna skapa en bättre trivselmiljö och på detta sätt förbättra dagliga aktiviteter så som arbete, vila och sömn m.m. Byggnadsakustiken uppdelas i luft-, steg- och stomisolering. (Kyllänen & Hongisto 2007, 24)

4.1 Ljudövergångssätt

Förutom att ljudet går från rum till rum rakt genom väggen, finns det också andra rutter det kan ta, så kallade flanktransmissioner. Dessa kan i praktiken vara exempelvis andra byggnadsdelar i närheten, ventilationskanaler, fönster, m.m. (Siikanen 1996, 142)

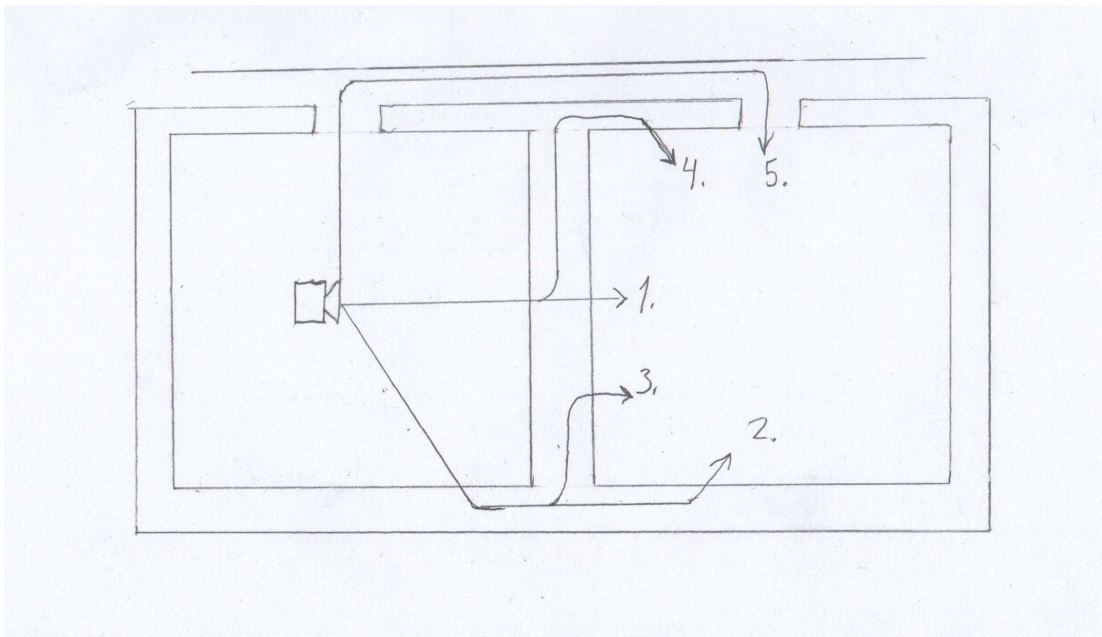


Bild 4: Illustration på ljudövergångssätt mellan två rum. 1 är direkt överföring och 2-5 är flanktransmission.

4.2 Luftljudsisolering

Luftljudsisolering är ett mått på hur bra förmåga en konstruktionsdel har att reducera ljud som träffar det från luften intill andra sidan av konstruktionsdelen. Luftljudsisoleringen har som begrepp R och enhet dB, samt mäts som ljudnivåskillnad mellan ett sändarrum och ett mottagarrum som sedan korrigeras med den delade byggnadsdelens area och mottagarrummets ljudabsorption. (Andersson 1998, 125)

Vid laboriemätningar bestäms en viss byggnadsdels luftljudsisolering trovärdigt. Uppbyggnaden av omgivningen vid laboriemätningarna är gjorda så att ljudet skall framgå från sändarrummet till mottagarrummet direkt genom konstruktionen som skall mätas. Alla möjliga flanktransmissioner är isolerade också. Laborievärden kan inte fås i byggnader om man inte isolerar flanktransmissionerna och om det inte finns andra ljudläckage. Vanligtvis bestäms byggnadsdelarnas luftljudsisolering i laborieomständigheter med följande formler:

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (9)$$

Var $L_{p,1}$ är lufttrycksnivån från sändarrummet i dB, $L_{p,2}$ är lufttrycksnivån från mottagarrummet i dB, S är delande byggnadsdelens area i m^2 och A_2 är mottagarrummets absorptionsyta ($m^2 - Sab$).

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \quad (10)$$

Var V_2 är mottagarrummets volym i m^3 och T_2 är mottagarrummets efterklangstid i s. (Kyllänen & Hongisto 2007, 58-59)

Luftljudsisoleringen i fältprover R' räknas på samma sätt enligt laboriemätningarna, med en skillnad på att den delade byggnadsytan S ersätts med referensvärdet $10 m^2$ om ytan i fråga saknas eller är mindre än $10 m^2$. (Andersson 1998, 126)

Efterklangstiden beskriver den tid som ljudtrycksnivån i ett utrymme minskar då man stänger av en ljudkälla. Under efterklangstiden skall ljudnivån i ett utrymme sjunka med 60 dB. Man kan mäta efterklangstiden genom att snabbt stänga av en ljudkälla och ta tid som ljudnivån sjunker med 60 dB. (Kyllänen & Hongisto 2007, 50)

Luftljudsisolering varierar beroende på frekvensen som ljudet har, tester utförs vanligtvis på frekvensområdena 100-3150 Hz eller hellre i 50-5000 Hz. Med detta fås endera 16 eller 21

mätresultat i en tredjedels oktavsband, d.v.s. följande frekvenser: 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 2000, 2500, 3150, 4000 och 5000. Detta sätt beskriver luftljudsvärdet på ett svårt sätt, vilket är varför ett ensiffrigt luftljudsisoleringsvärde R_w har skapats för att beskriva luftljudsvärdet i en konstruktion. I fältmätningar används den punktliga beteckningen R'_w , olika värden i byggbestämmelser visas i R'_w . (Kyllänen & Hongisto 2007, 59-60)

För att komma fram till luftljudsisoleringsvärdet R'_w används en standardiserad referenskurva från standarden SFS 717-1 som skall flyttas i lodrätt håll med 1dB intervall till den mätta byggnadens R' kurva så att följande villkor uppfylls angående differensen på kurvorna:

- Summan av differenserna som ligger under referenskurvan till mätkurvan vid de 16 olika mätfrekvenserna dividerat med 16 får inte överskrida 2 dB.
- Differensen av det som ligger under referenskurvan till mätkurvan vid en av de 16 mätfrekvenserna får inte överskrida 8 dB.

Luftljudsisoleringsvärdet R'_w fås genom att uppläsa referenskurvans värde vid 500 Hz efter att den är placerad enligt föregående punkter. (Andersson 1998, 127)

R'_w	Beskrivning
<30	Väggen hindrar inte ljud från andra sidan
>35	Vanligt prat hörs igenom väggen
>45	Vanligt prat hörs inte igenom väggen
>55	Högt prat hörs inte igenom väggen
>60	Högt skrik hörs igenom, men orden är oklara

Tabell 1: Exempel på olika luftljudsisoleringsvärden samt hur prat hörs igenom väggen vid de olika värden. (Lahtela 2004, 17)

I allmänhet gäller det att ju större massa en konstruktion har desto bättre luftljudsisolering de har. Vanliga träkonstruktioner med träreglar och beklädnadsskivor är till största delen relativt lätta och då beror dess luftljudsisolering för det mesta på hur konstruktionen är uppbyggd. Träregeleväggar som är isolerade med lätta material har till sin förmåga att bäst isolera ljud inom frekvensområdet ca 3000 Hz, medan tunga konstruktioner isolerar bättre lägre frekvenser. Vanligtvis ökar ljudreduktionen på en trävägg då:

- avståndet mellan beklädnadsskivorna ökar
- antalet beklädnadsskivor ökar
- mängden isolering ökar
- träväggen är uppbyggd med dubbelt träregelverk eller delat träregelverk utan genomföringar.

Luftljudsisoleringen försämras kraftigt om det finns springor och öppningar i en vägg, och det är därför viktigt att noggrant förtäta anslutningar och skarvar. (Johannesson 1992, 72)

4.3 Stegisolering

Ett viktigt delområde inom stomljuden är stegljuden. Förutom ljud som uppstår av fotstegen då man går ingår också alla andra stötar som träffar golvet till kategorin stegljud. Detta kan exempelvis vara flyttande av möbler o.s.v. (Borenus m.fl. 1981, 92)

Konstruktioners stegljudsisolering mäts genom att man använder sig av en hammarmaskin som skapar stötar i bjälklaget, därefter mäter man ljudnivån i underliggande rum. Då hammarmaskinen orsakar stötar i konstruktionen med en viss effekt skapar den en vibrationshastighet som är mindre desto större massa konstruktionen i fråga har. Detta beror på att vid tilläggande av massa i bjälklaget förbättrar det dess stegljudsisolering. (Borenus m.fl. 1981, 92-93)

4.4 Dörrar och fönster

Ljudtekniskt sett är dörrar och fönster de svagaste isolerande delarna av en byggnad. Vid fönster kan ljudet övergå genom glasdelen, karmen, fönsterbågen och via den vidliggande konstruktionsdelen. Glasets, fönsterbågens och karmens ljudisolering följer massalagen. Eftersom fönstrens glasskivor är relativt lätta kommer man till bra ljudisolering i fönster genom att använda sig av fler lager glas. (Siikanen 1996, 134)

Det största problemet vid ljudisoleringen i dörrar är att dörren skall vara tät, porösa förtätningars svagheter är att ljuden tränger sig genom porerna. Tröskelns täthet i dörrar orsakar mest ljudtekniska problem. Genom att öka på dörrens massa blir ljudisoleringen bättre, men i andra hand blir det svårare att öppna dörren. (Siikanen 1996, 136)

Dörrars ljudisolering påverkas av dörrskivans tjocklek, den förtätning som finns mellan dörrskivan och karmen, tätningen i installationsöppningen, postluckans uppbyggnad och glas. I vissa fall kan man uppfylla ljudisoleringskrav genom att använda sig av en kombination av två dörrar. (RT 42-11058, 12)

Höga ljudnivåer i rum kan påverkas av dåliga ljudisoleringar i fönster eller själva konstruktionen. Ljudisoleringen i fönster kan förbättras med att:

- ha tjockare glas
- ha tjockare ytterglas
- byta ut ett glas till ett laminerat glas
- ha större utrymme mellan glasen. (RT 41-10947, 10)

4.5 Planering

Vid byggande av bostäder och lokaler skall man ta i beaktan de störningskällor som finns, för att sedan kunna begränsa uppkomsten och spridningen av det ljud som skapas av källorna. (Johannesson 1992, 72)

Flanktransmissionen försämrar väggarnas luftljudsisolering relativt mycket och behövs därför tas i beaktan redan vid planeringsskedet. För att försäkra att flanktransmissionen inte sker i större omfattning bör man ta följande konstruktionslösningar i beaktande:

- Konstruktionen vid sidan om bör ha minst lika stor ljudisolering som den ursprungliga konstruktionen.
- Hörnpunkternas ljudisolering bör tas i beaktande.
- Tunna konstruktioner bör fästas hårt i tunga konstruktioner.
- Tunna konstruktioner bör inte fästas i andra tunna konstruktioner. (Siikanen 1996, 142-143)

En byggnads ljudomständigheter kan påverkas med hjälp av arkitekturplanering, med följande principer kan man minska på buller i byggnader:

- Vardagsrum och sovrum placeras bort från högljudda vägområden och andra bullerkällor.
- Rum som inte används till vistelse och sovande, exempelvis korridorer, kök, klädrum m.m., kan placeras framför vardagsrum och sovrum som ljudbuffert.
- Rum var det skapas en hel del ljud, exempelvis kök, kan placeras invid varandra.
- Bilparkeringsområden bör inte placeras vid sidan om sovrum. (Lahtela 2004, 16)

5 Krav från ministerier på ljudbekämpning

De krav som ministerier i Finland sätter för ljud- och bullerbekämpning i byggnader omfattar allt ljud som orsakas av människor eller tekniska maskiner. Kraven förekommer som antingen medelvärden för en viss tid eller gränsvärden i byggnader med olika användningsändamål.

Exempel på tekniska maskiner är hissar, avlopp och vattensystem, och andra maskiner som centrala dammsugare och tvättmaskiner m.m. Boenderum, patientrum, klassrum, barns sovrum, kontorsrum och andra liknande rums ljudisolering och bullerbekämpning skall planeras och framverka genom att man tar i beaktande tillräckligt bra ljudomständigheter för det som utförs i utrymmen. (Kyllänen & Hongisto 2007, 17-18)

5.1 Miljöministeriets förordning om ljudmiljön i byggnader

Miljöministeriets krav på ljudmiljön i byggnader omfattar bestämmelser om ljudisolering och bullerskydd vid nya byggnader, reparationer och ombyggnad för allt ljud också från tekniska maskiner. (Miljöministeriets förordning om ljudmiljön i byggnader, 2017)

Minsta tillåtna luftljudsisoleringsvärde	R'_w
Bostäder	
Boenderum och dess bredvidliggande utrymmen	55 dB
Boenderum och annat rum som fungerar som korridor	39 dB

Tabell 2: Tabell av krav som Miljöministeriets förordning sätter för minsta tillåtna luftljudsisoleringsvärden för olika utrymmen.

Högsta tillåtna ljudnivå av tekniska maskiner	$L_{Aeq,T}$	$L_{A,max}$
Bostads-, inkvarteringrum	28 dB	33 dB
Kök	33 dB	38 dB
Trapphus	38 dB	43 dB
Utrymme utomhus	45 dB	50 dB

Tabell 3: Tabell av krav som Miljöministeriets förordning sätter för högsta tillåtna ljudnivån som tekniska maskiner orsakar till olika utrymmen. $L_{Aeq,T}$ är medelljudnivån för en viss tid, $L_{A,max}$ är högsta tillåtna ljudnivån.

5.2 Social- och hälsoministeriet

De bestämmelser som förekommer i social- och hälsoministeriets anvisning om boendehälsa i byggnader tar till hänsyn de hälsopåverkningarna som ljud och buller har på sömn och trivsel. På basis av detta ger de gränsvärden av ljudnivåer i sin boendehälsoguide i utrymmen för boende, sjukhus, utbildning och kontor. Guiden omfattar allt buller som skapas av alla tekniska maskiner, eller annat buller från aktivitet i andra rum i byggnaden. (Kyllänen & Hongisto 2007, 19)

Utrymme	$L_{Aeq,7-22\text{ h}}$	$L_{Aeq,22-7\text{ h}}$
Bostadslägenheter		
Boningsrum, förutom kök	35 dB	30 dB
Bostadens andra rum och kök	40 dB	40 dB
Vårdanstalter och övernattningslokaler		
Patientrum, övernattningsrum	35 dB	30 dB
Daghem, rum menat för barns och personals vistelse	35 dB	30 dB
Samlingsrum och undervisningsrum		
Klassrum, uppläsningssalar, kyrkor och andra rum som en public skall uppfatta prat	35 dB	-
Andra samlingsrum	40 dB	-
Kontorsutrymmen	45dB	-

Tabell 4: Tabell över social- och hälsoministeriets gränsvärden för medelljudnivåer på buller under dag- och nattid i olika utrymmen.

6 Mätningar

Vid mätning av luftljudsisolering placeras högtalaren längst ut i rummets hörn från den uppmätta väggen. Ljudtrycksnivån mäts upp i båda rummen i 5 till 9 olika platser eller med en flyttbar mikrofon, resultatet bestäms som medelvärde av platserna. Mätningmikrofonen bör inte placeras närmare än 1 m till den uppmätta väggen, eller för nära högtalaren 1,5 till 2 m är en passlig distans. (RATU 1215-S, 27)

6.1 Objekt

Det första objektet var en liten sommarstuga i Lovisa, var ljudisoleringen mättes mellan ett vardagsrum och två sovrum. De exakta platserna var högtalarna med riktning var placerade och var ljudnivåerna mättes finns på bilaga 1: Planritning av sommarstuga. Vid bilagan är H högtalarnas placering, VR är var ljudnivån i vardagsrummet mättes, SR 1 är var ljudnivån mättes i sovrum 1 och SR 2 är var ljudnivån mättes i sovrum 2. Väggarna är uppbyggda av trästomme med glasullsisolering och träbeklädnad. Väggarnas uppbyggnad finns på bild 7.



Bild 5: En yttre bild på sommarstuga objektet i Lovisa.



Bild 6: En inre bild av sommarstugeobjektet. I bilden syns de utrymmen var mätningarna utfördes. I högra sidan finns vardagsrummet som fungerade som sändarrum. I mitten är sovrum 1 och till vänster sovrum 2, vilka båda fungerade som mottagarrum.

Väggskränningar



Mellanvägg mellan sovrummen

- 1: Träpanel 13mm
- 2: 66x39mm skålning (k600 mm) + glasull isol.
- 3: Träpanel 13mm



Mellanvägg mellan vardagsrum och sovrum 1

- 1: Träpanel 13mm
- 2: 125x50mm skålning (k600 mm) + glasull isol.
- 3: 66x39mm skålning (k600 mm) + glasull isol.
- 4: Träpanel 13mm

Bild 7: Skärningar på väggarna i sommarstugan med varje lager av den, lagerordningen går från vänster till höger i skärningen.

Det andra objektet var ett medelstort egnahemshus i Lovisa. var ljudisoleringen mättes mellan ett garage och kök. De exakta platserna var högtalarna med riktning var placerade och var ljudnivåerna mättes finns på bilaga 2: Planritning av egnahemshusets första våning. I bilagan är H högtalarnas placering, punkten Garage är var ljudnivån i garaget mättes, punkten Kök är var ljudnivån i köket mättes. Väggen är uppbyggd av trästomme med mineralullsisolering och dubbla gipsskivor som beklädnad. Väggens uppbyggnad finns på bild 11.



Bild 8: En yttre bild på egnahemshus objektet i Lovisa.



Bild 9: Bild på väggen vars luftljudsisolering mättes i egnahemshuset, sett från garaget. Garaget fungerade som sändarrum.



Bild 10: Bild på väggen vars luftljudsisolering mättes i egnahemshuset, sett från köket. Köket fungerade som mottagarrum.

Väggskärning



Mellanvägg mellan garage och kök

1: 2x Gipsskiva 13mm

2: 125x50mm stomme (k600 mm) + mineralull isol.

3: Fuktspärr

4: 50x50mm skålning (k600 mm) + mineralull isol.

4: 2x Gipsskiva 13mm

Bild 11: Skärning på väggen i egnahemshuset med varje lager av den, lagerordningen går från vänster till höger i skärningen.

6.2 Mätredskap



Bild 12: Bild på ljudnivåmätaren som användes vid proverna i detta arbete.

ET-933 ljudnivåmätaren har följande egenskaper:

Frekvensområde: 31,5 - 8000 Hz

Mätområde: 30 - 130 dB

Reaktionstid: FAST (Snabb) 125 ms, SLOW (Långsam) 1 sek

Noggrannhet: $\pm 1,4$ dB

6.3 Metoder

Vid mätningarna mättes först efterklangtiden i sovrum 1 vid sommarstugan och köket vid egnahemshuset genom att snabbt stänga av ljudkällan och mäta tiden då ljudnivån minskade med 60 dB. Detta gjordes 5 gånger varefter det togs medelvärde av dem. Sedan spelade man upp olika frekvenser vid en tredjedels oktav inom frekvensområdet 100-315 Hz med högtalare, vilka var riktade mot väggarna som testades. Vid varje frekvens mättes ljudnivån i både sändarrummet och mottagarrummet vid en plats. Sedan uträknades luftljudsisoleringen R' vid varje frekvens med formel 9. Till sist bestämdes luftljudsisoleringsvärdet R'_w med referenskurvan enligt reglerna i standarden SFS 717-1. I sommarstugan tömdes rummen på möbler för att få ett mer pålitligt resultat.

6.4 Resultat

Sommarstuga:

Den första kolumnen till vänster i tabell 5 nedan visar frekvenserna, $L_{p,1}$ visar ljudnivån i vardagsrummet som fungerade som sändarrum, $L_{p,2}$ visar ljudnivån i sovrum 1 som fungerade som mottagarrum, R' är luftljudsisoleringen beräknad enligt formel 6, och den sista kolumnen visar referenskurvas värden.

Sovrum 1	$L_{p,1}$ (dB)	$L_{p,2}$ (dB)	R' (dB)	Referens (dB)
100	64,8	43,5	33	18
125	70,2	46,2	36	21
160	74,5	45,2	41	24
200	78	50,6	39	27
250	73,7	56,2	29	30
315	74,4	61,1	25	33
400	69	51,9	29	36
500	89,4	53,9	47	37
630	84,3	50,6	45	38
800	83,3	54,6	40	39
1000	93,9	51,1	54	40
1250	96,2	52,8	55	41
1600	92,1	56,5	47	41
2000	80,1	49,8	42	41
2500	88,3	51,2	49	41
3150	88,2	47,3	52	41

Tabell 5: Tabell med mätresultaten från väggen mellan vardagsrummet och sovrum 1 i alla frekvenser som mättes.

Den första kolumnen till vänster i tabell 6 nedan visar frekvenserna, $L_{p,1}$ visar ljudnivån i vardagsrummet som fungerade som sändarrum, $L_{p,2}$ visar ljudnivån i sovrum 2 som fungerade som mottagarrum, R' är luftljudsisoleringen beräknad enligt formel 6, och den sista kolumnen visar referenskurvas värden.

Sovrum 2	$L_{p,1}$	$L_{p,2}$	R' (dB)	Referens (dB)
100	64,8	42,2	34	25
125	70,2	36,8	45	28
160	74,5	39,3	47	31
200	78	43,4	46	34
250	73,7	45	40	37
315	74,4	43,7	42	40
400	69	45,4	35	43
500	89,4	45	56	44
630	84,3	47,2	49	45
800	83,3	40,8	54	46
1000	93,9	52,5	53	47
1250	96,2	51	57	48
1600	92,1	50,1	53	48
2000	80,1	40,2	51	48
2500	88,3	40,1	60	48
3150	88,2	46,8	53	48

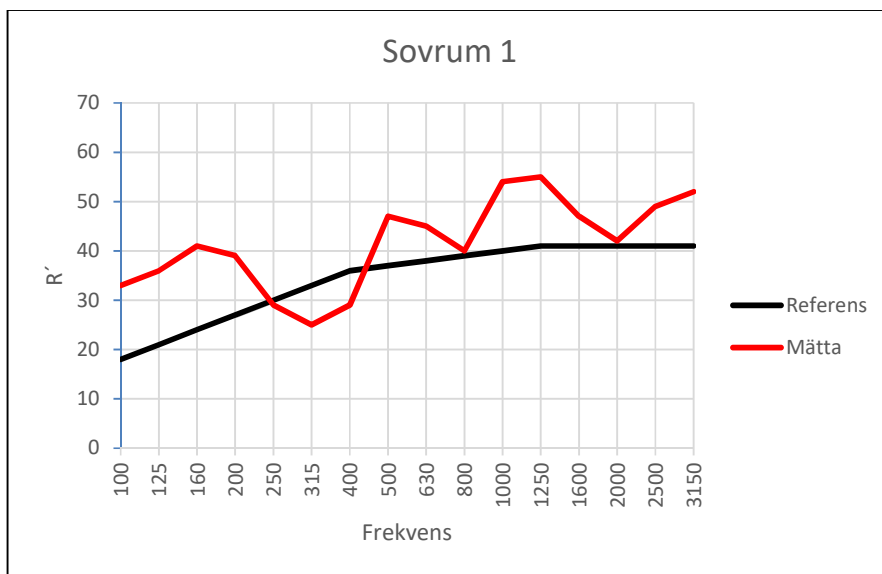
Tabell 6: Tabell med mätresultaten från vardagsrummet och sovrum 2 i alla frekvenser som mättes.

Ur tabellen 7 nedan framgår alla uppmätta efterklangstider, medelvärdet av efterklangstiderna, volymerna i båda sovrummen, absorptionsytorna i båda sovrummen samt den delande byggnadsdelens area (S), som blev mindre än 10 m^2 vilket ledde till att jag valde 10 m^2 i beräkningarna.

Efterklangstid (s)	Volym (m^3)
2,64	(SR1) 12,24
3,13	(SR2) 12,54
2,51	A ($A=0,16 \cdot V/T$)
2,76	(SR1) 0,703
2,89	(SR2) 0,720
Medel (T)	S (m^2)
2,786	5,92 < 10

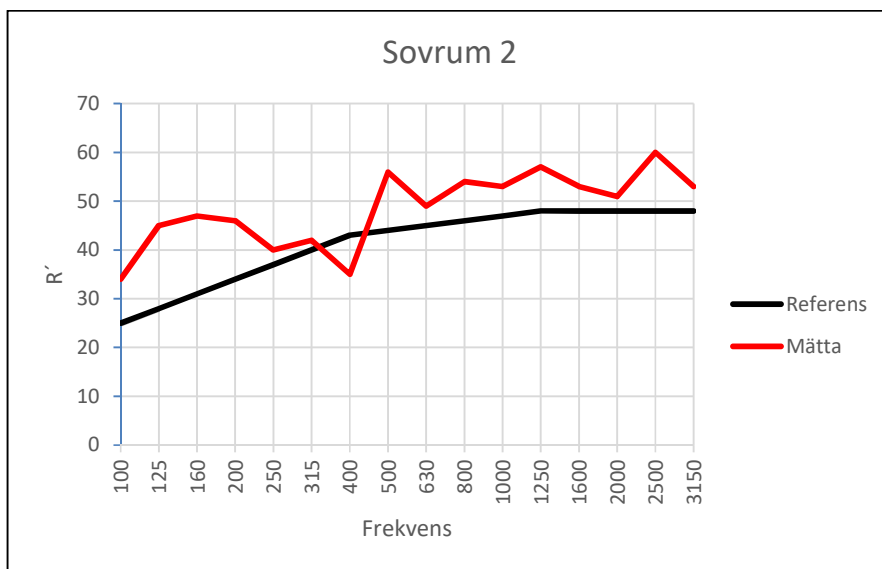
Tabell 7: Tabell med utgångsdata som krävs för beräkningen av luftljudsisoleringen.

Den röda kurvan i graf 1 nedan är luftljudsisoleringen av uppmätta data och den svarta kurvan är referenskurvan placerad enligt kraven. Denna vägg har ett luftljudsisoleringsvärde av 37.



Figur 1: En graf av luftljudsisoleringen i mellanväggen mellan vardagsrummet och sovrum 1.

I graf 2 nedan är den röda kurvan är luftljudsisoleringen av uppmätta data och den svarta kurvan är referenskurvan placerad enligt kraven. Denna vägg har ett luftljudsisoleringsvärde av 44.



Figur 2: En graf av luftljudsisoleringen mellan vardagsrummet och sovrum 2.

Sovrum 1 har ett luftljudsisoleringvärde på 37, vilket är ett svagt värde och nästan allt ljud kommer igenom. Detta är ganska dåligt eftersom då kommer det mesta ljudet från vardagsrummet att kunna störa eventuell sömn, speciellt högre ljudnivåer.

Sovrum 2 har ett luftljudsisoleringvärde på 44, vilket är ett relativt svagt värde och nästan allt ljud kommer igenom. Detta är ganska dåligt eftersom då kommer det mesta ljudet från vardagsrummet att kunna störa eventuell sömn, speciellt högre ljudnivåer.

Båda har svaga luftljudsisoleringar vid frekvensområdet 250-400 Hz. Frekvenserna därpå verkar vara ganska hoppande, kan vara på grund av mätfel. Dessutom förekom det höga efterklangstider i detta objekt, detta kan bero på att all beklädnad i konstruktionerna vid rummen är av trä och rummen är ganska ekande.

I detta objekt kommer flanktransmissionen att spela en stor roll och har kunnat påverkat mätresultaten. Detta beror på att huset i fråga till sin area är litet. Annat som kan påverka resultaten är att byggnaden i sig själv inte är planerad för ljudreduktion. Dessutom är byggnaden gammal, vilket kan leda till att isoleringen har försämrats under tiden och som följd har flanktransmissionen ökat.

Egnahemshus:

Den första kolumnen till vänster i tabell 8 nedan visar frekvenserna, $L_{p,1}$ visar ljudnivån i garaget som fungerade som sändarrum, $L_{p,2}$ visar ljudnivån köket som fungerade som mottagarrum, R' är luftljudsisoleringen beräknad enligt formel 6, och den sista kolumnen visar referenskurvans värden.

Kök	$L_{p,1}$ (dB)	$L_{p,2}$ (dB)	R' (dB)	Referens (dB)
100	68,9	35,8	38	37
125	69,3	36	38	40
160	70,5	35,8	40	43
200	75,5	35,8	45	46
250	77,1	36	46	49
315	85,2	35,9	54	52
400	87,2	35,7	56	55
500	87,2	35,8	56	56
630	86,9	36	56	57
800	88,3	36	57	58
1000	91	36,1	60	59
1250	92,3	36,9	60	60
1600	87,5	37,1	55	60
2000	90,8	36,6	59	60
2500	89	36,5	57	60
3150	88,7	36,5	57	60

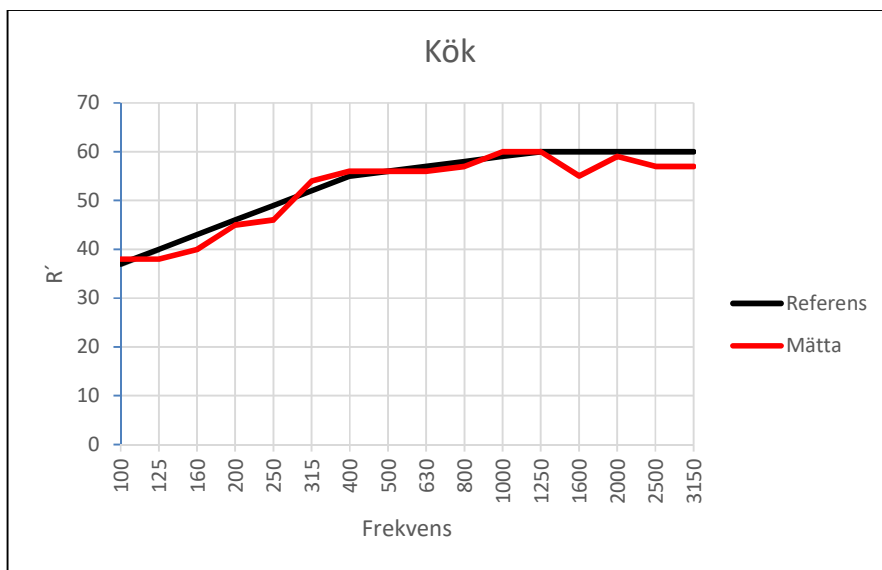
Tabell 8: Tabell med mätresultaten från väggen mellan garaget och köket i alla frekvenser som mättes.

Ur tabell 9 nedan framgår alla uppmätta efterklangstider, medelvärdet av efterklangstiderna, volymen i köket, absorptionsytan i köket samt den delande byggnadsdelens area (S), som blev mindre än 10 m^2 vilket ledde till att jag valde 10 m^2 i beräkningarna.

Efterklangstid (s)	Volym (m^3)
2,31	42,93
2,46	A ($A=0,16*V/T$)
2,22	3,165
1,84	S (m^2)
2,04	$6,79 < \underline{10}$
Medel (T)	
2,174	

Tabell 9: Tabell med utgångsdata som krävs för att beräkna luftljudsisoleringen.

I graf 3 nedan är den röda kurvan luftljudsisoleringen av uppmätta data och den svarta kurvan är referenskurvan placerad enligt kraven. Denna vägg har ett luftljudsisoleringsvärde av 56 dB.



Figur 3: En graf av luftljudsisoleringen mellan garaget och köket.

Med ett luftljudsisoleringsvärde på 56 dB, kommer största mängden av höga ljud inte att höras genom väggen. Denna vägg i fråga är till sin konstruktion ganska stor med mycket isolering, dessutom har den dubbla gipsskivor som beklädnadsskivor. Allt detta leder till en hög luftljudsisolering. Detta är ganska bra för objektets användningsändamål, för att höra mindre av bilar och annat arbete vilket eventuellt utförs i garaget.

Den uppmätta kurvan är relativt bra. De lägre frekvenserna har lite lägre värden, detta beror på att de lägre frekvenserna har lägre ljudnivåer i jämförelse med högre frekvenser. Vid de andra frekvenserna är kurvan nästan vågrät. Detta betyder att denna vägg har bra förmåga att reducera ljud över hela frekvensområdet.

7 Sammanfattning

Buller är en form av ljud som klassificeras som inte önskvärt. Det som kallas buller är ljud som stör människors påbörjade aktiviteter, eller som överhuvudtaget är onödigt och högljutt. Därför är det viktigt att få bort så stor del av bullret som möjligt på olika sätt och skapa en bättre ljudmiljö i byggnaden överlag.

Träkonstruktioner är till sin massa relativt lätta, vilket leder till att en bra luftljudsisolering i dem beror mest på hur konstruktionen är uppbyggd. För att få bättre ljudisolering skall trästommen vara dubbel eller delad med luftutrymme emellan, ha mera isolering helst mineralull eller ha mera beklädnadsskivor.

För att planera byggnadsakustiken väl skall man ta flanktransmissionen i beaktan, eftersom den har en stor påverkan på luftljudsisoleringen i konstruktioner överlag. Dessutom skall man känna till var olika bullerkällor kan förekomma för att lättare kunna förebygga dem. Vid planeringen är det även viktigt att placera olika utrymmen smart, utrymmen som kan vara högljudda skall inte sättas nära sovrum och vardagsrum var man vistas eller sover.

Vid dörrar och fönster skall man beakta tätheten i första hand, där kan de största ljudtekniska problemen förekomma om de installeras fel. Beroende på dörrarnas och fönstrens uppbyggnad kan man få olika ljudisoleringar i dem. Dörrar kan uppnå kraven då man använder dubbla dörrar. I fönster spelar mängden glas och avstånden mellan glasen en relativt stor roll för ljudisoleringen.

8 Kritisk granskning

Mätningarna som utfördes gjordes på ett förenklat sätt. Istället för att mäta från flera olika platser i rummen och sedan räkna ut medelvärdet gjordes mätningarna bara från en plats. Högtalaren borde ha placerats längst bort från väggen, vilket inte gjordes. Efterklangstiderna var ganska höga, vilket kan bero på att mätningarna av efterklangstiderna eventuellt gjordes fel. En del mätfel uppkom i sovrums 2 var värdet i frekvens 1 000 Hz är lägre än sovrums 1.

Med att göra flera mätningar från flera olika platser i rummen var mätningarna gjordes, kunde man sannolikt ha fått mera tillförlitliga svar. Dessutom skulle examensarbetet kunde ha haft flera objekt och flera slags olika konstruktioner för att komma till en mer tillförlitligare slutsats. Sommarstugeobjektet var inte det bästa mätobjektet. Den var väldigt liten, vilket leder till att flanktransmissionen är hög och det påverkade resultaten. Mer information kring bjälklag och hurdana strukturlösningar man skulle kunna utföra för att uppnå bra luftljudsisoleringar och stegljud i dem, samt en mera omfattande kartering av bestämmelser och krav på väggar, bjälklag, efterklangstider, fönster och dörrar kunde vara intressant som fortsättning på detta examensarbete.

Källförteckning

Andersson, J., 1998. *Akustik & buller: En praktisk handbok*. Stockholm: Elanders Svenskt tryck AB.

Anvisning om boendehälsa: Fysikaliska, kemiska och mikrobiologiska faktorer i bostäder och andra vistelseutrymmen. <https://www.valvira.fi/web/sv/-/anvisning-for-tillampning-av-forordningen-om-boendehalsa> (hämtat: 10.8.2019)

Borenus, J., Jauhiainen, T., Lampio, E., Nuotio, J., Pesonen, K. & Pyykkö, I., 1981. *Akustiikan perusteet*. Helsingfors: Insinööritieto Oy.

Johannesson, C. 1992. *Träbyggnadshandbok 3: Väggar*. Malmö: Tryckeriteknik i Malmö AB.

Kyllänen, M. & Hongisto, V., 2007. *RIL 243-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet*. Helsingfors: Hakapaino Oy.

Lahtela, T. 2004 *Ääneneristys puutalossa*. Helsingfors: Wood Focus Oy. <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/%C3%A4%C3%A4neneristys-puutalossa> (hämtat 22.10.2019)

Lehto, H., Luoma, T., Havukainen, R., Leskinen, J., Waxlax, J., 2009. *Fysik 3 Vågrörelse*. Jyväskylä: Gummerus Printing.

Miljöministeriets förordning om ljudmiljön i byggnader 24.11.2017/796 <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2017/20170796>

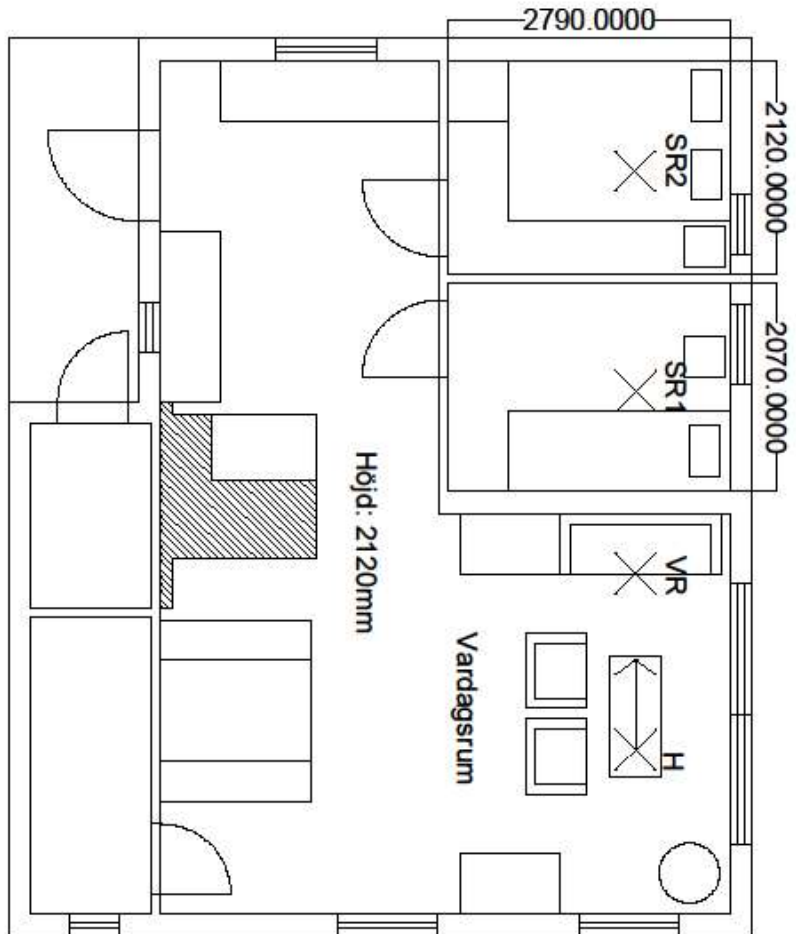
Siikanen U., 1996. *Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovellukset*. Helsingfors: Tammer Paino Oy.

RATU 1215-S, 2006. *Työmaateknikka: Työmaan laadunvarmistus, tarkastukset ja mittaukset*. © Rakennustietosäätiö RTS

RT 41-10947, 2009. *Puu- ja puualumiini-ikkunat sekä niiden asennus*. © Rakennustietosäätiö RTS

RT 42-11058, 2012. *Puuovet*. © Rakennustietosäätiö RTS.

Bilaga 1: Planritning över sommarstugan



Väggskärningar

Mellanvägg mellan sovrummen

- 1: Träpanel 13 mm
- 2: 66x39mm skåvring (k600 mm) + glasull isol.
- 3: Träpanel 13 mm

Mellanvägg mellan vardagsrum och sovrum 1

- 1: Träpanel 13 mm
- 2: 125x50mm skåvring (k600 mm) + glasull isol.
- 3: 66x39mm skåvring (k600 mm) + glasull isol.
- 4: Träpanel 13 mm

Bilaga 2: Planritning över egnahemshusets första våning

