



Auralisering i VR

Innehållsförteckning

Bakgrund.....	3
Viktigaste resultat.....	3
Fortsättning.....	3
Auralisering i VR.....	4
Skapa realistiska ljud.....	6
Simuleringsverktyg i VR.....	8
Urval av program.....	9
Val av scenario.....	9
Scenario.....	9
Data och tekniker.....	9
Val av Trafik och ljudkällor.....	12
Tester och feedback.....	13

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar projektet Auralisering i VR.

Projektet gick ut på att i ett VR scenario bestående av en OBOS villa och en trafikerad väg, kunna så nära som möjligt visa på hur mycket dämpande material (i det här fallet fönster) kan göra skillnad i trivsamt inomhus.

Med hjälp av spelmotorn Unreal engine med ett akustisk ljud plugin "Steam Audio" så simulerades verklighetstroget ljud med HRTF teknik. En trafikerad väg dämpades realistiskt med hjälp av data från tester av olika ljuddämpande fönster. Olika fönsterval och trafikscenario kan väljas.

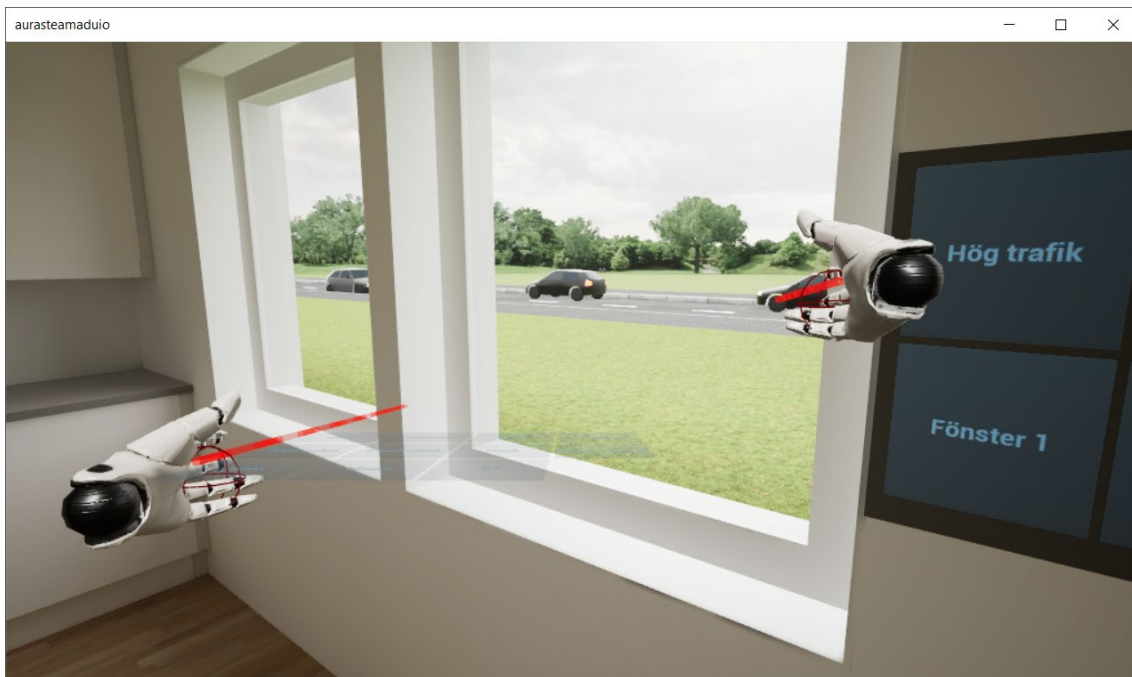
OBOS AB är nordens största bostadsutvecklare och man har i tidigare SHS-förstudier studerat både VR- och AR-verktyg för tillämpning i sin verksamhet. Studierna har gett mycket goda resultat och idag arbetar man med VR/AR som ett naturligt inslag i sitt arbete inom produktutveckling, internutbildning och sälj mot kund. OBOS har efterfrågat att undersöka potentialen i att kombinera den senaste ljudtekniken med de VR-verktyg som OBOS utvecklat för att återge en helhetsupplevelse av deras produkter. Ett sådant verktyg kan användas för att underlätta planering av husbyggnationer genom att interaktivt kunna välja och uppleva effekten av olika husplaceringar, byggmaterial och ljudmiljöer. Målet är att skapa ett komplett verktyg för användning vid utbildning, utveckling och som ett direkt hjälpmedel för att underlätta kundens val innan huset byggs.

Viktigaste resultat

Tester gjordes och det visade sig att kunder skulle kunna lägga över 10 000kr extra på att få ett luddämpat fönster då man fått testa att skifta fönster i en realistisk miljö.

Fortsättning

Resultatet kommer i första hand göra att OBOS kunder och husköpare enklare kan göra val om de vill kosta på extra pengar på ett luddämpat fönster. Med OBOS övriga VR-verktyg så har man skapat möjligheten att göra valmöjligheter lättare för kunden.



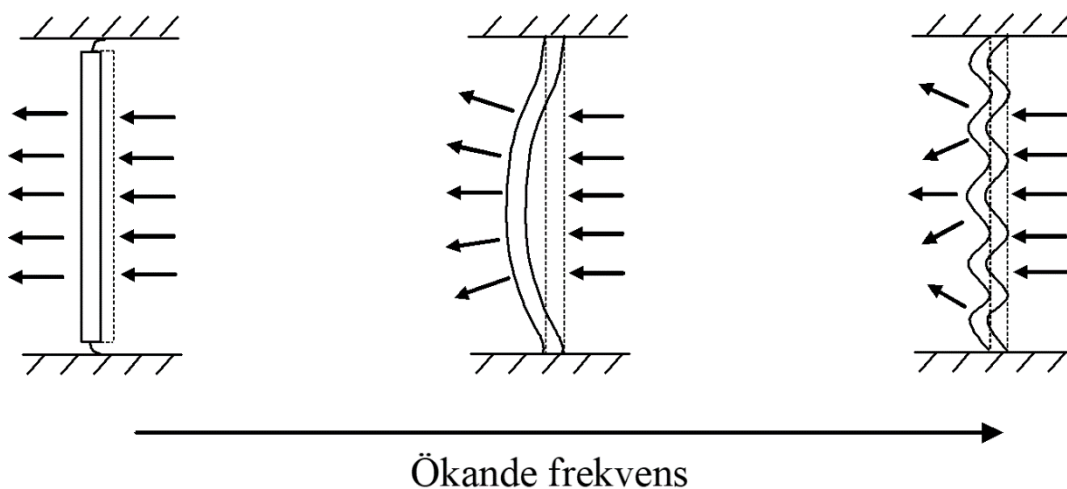
Figur 1 val av fönster och trafikbelastning

Ordförklaringar och fakta som uppkommit under projektets gång:

Occlusion: frekvensändring och dämpning av ett föremål mellan ljudkällan och den som lyssnar

Ljuddämpning : Generellt kan man säga att:

- Tyngre material ger bättre ljudisolering
- Högre frekvenser är lättare att ljudisolera



Figur 2 högre frekvenser lättare att isolera

Detta stämmer inte alltid, utan andra fenomen spelar även in så som koincidens.

Koincidens: uppstår när våglängden för ljudet i luften är densamma som egenfrekvensen i materialet. Vilket i detta fallet är glaset i fönstret.



Vid en viss frekvens och infallsvinkel kommer materialets svängning att förstärkas och den akustiska energin överförs genom materialet nästan utan dämpning.

Koincidens (kritisk frekvens)

- Böjvågshastighet i en platta

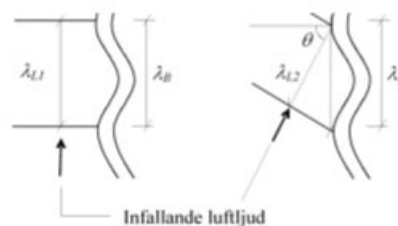
$$c_B = \sqrt{\frac{f}{2\pi}} \sqrt{\frac{B}{m''}}$$

- Vid $f = f_c$ är $c_B = c_o = 340$ m/s ($f_c =$ kritisk frekvens)

$$f_c = \frac{c_o^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B}}$$

- Eller uttryckt i koincidenstal

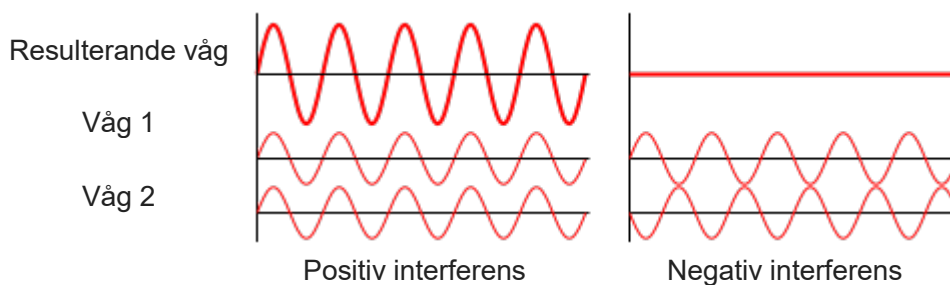
$$f_c = K / h$$



Figur 3 Koincidens

Resonanser: Om en vibrationsalstrande maskin placeras på ett elastiskt underlag alternativt på en fjäder skapas ett massa-fjädersystem och tre effekter kommer uppstå. 1. Frekvenser som är högre än systemets egenfrekvens kommer dämpas. 2. Frekvenser av med samma svängning som systemet kommer att förstärkas. 3. Frekvenser lägre än egenfrekvensen kommer fortplanta sig i materialet som att dämpningen inte vore där. Fjädern som nämns här går även ses som en tänkt fjäder. T.ex. kan luften i en gipsvägg ses som en fjäder. Vilka frekvenser som påverkar resonansen i väggen styrs till stor del av systemets utformning och i fallet med gipsväggen är det inte enkelt att peka på en specifik resonans då alla delar i systemet har en egen individuell resonans. Resonans finns i allt och detta gör att ett rum har en egen resonans som beror på rummets dimensioner, där en resonans beror på höjden och andra resonanser uppstår beroende på avståndet mellan väggarna.

Interferens: Uppstår när två ljudvågor kommer i fas



Upplevd ljudeffekt: Man brukar säga att 8–10 dB minskning eller höjning upplevs som en fördubbling av upplevd ljudnivå.

convolution reverb: är en process som används för digital simulering av efterklang i ett fysiskt eller virtuellt utrymme genom användning av programvaruprofiler; en mjukvara (eller algoritm) som skapar en simulering av en ljudmiljö. Man använder en tidigare känd impuls-respons från liknande rum och lägger sedan på det nya ljudet.



SMART
HOUSING
SMÅLAND

Skapa realistiska ljud

Människan kan uppfatta de extremt små tidsfördröjningar och frekvensändringar som blir mellan öronen då ljudvågen passerar huvudet. På detta vis kan hjärnan beräkna skillnaden och avgöra var ljudet kommer ifrån. Denna effekt saknas i de flesta återgivna ljuden i högtalare och hörlurar.

De senaste åren har Virtual Reality (VR) och Augmented Reality (AR) gjort stora framsteg då tekniken har mognat och blivit tillgänglig till en större massa. Den visuella tekniken i VR/AR har utvecklats mycket snabbt men återgivningen av ljud har inte prioriterats på samma vis. Det är inte förrän nu som ljudtekniken har blivit möjlig att simulera för att återge extremt naturtrogna riktade ljud. Detta ger helt nya möjligheter att skapa en helhetsupplevelse genom att kombinera VR- och AR-teknik med den senaste ljudtekniken HRTF (Head-related transfer function).

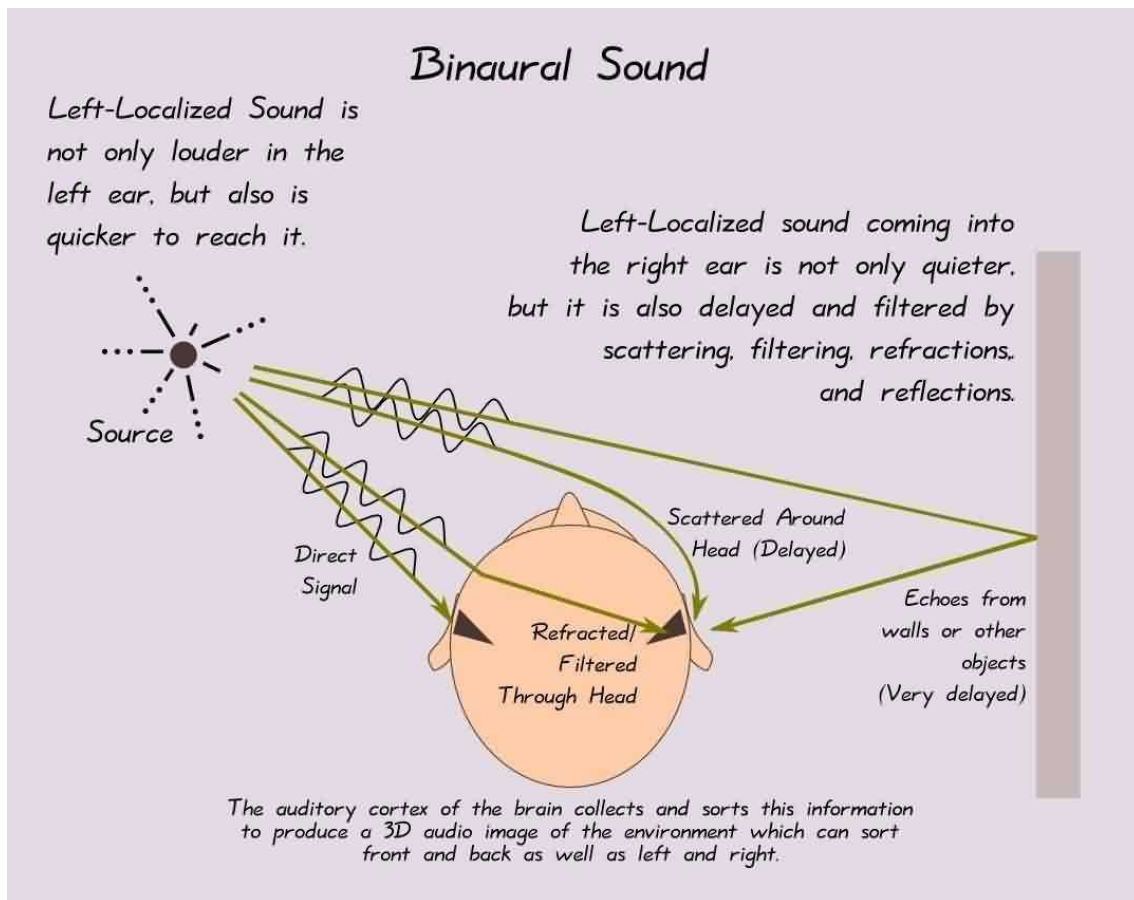
Det är näst intill omöjligt att kunna beskriva eller få en uppfattning av hur olika externa ljudkällor (trafikljud, gräsklippare, stegljud etc.) och val av byggmaterial och -komponenter påverkar ljudmiljön inomhus. Hur förklarar man exempelvis effekten av att installera ett ljudisolerande fönster för en potentiell kund? De som lever i huset kommer att påverkas av ljudet utanför varje dag och det är därför viktigt att kunna få en uppfattning av hur stor skillnad ljuddämpning och avstånd minskar buller inomhus innan huset är byggt.

Projektet avser att som slutprodukt ta fram ett verktyg som kommer kunna användas för OBOS produkter där buller är en viktig aspekt att ta hänsyn till innan konstruktion. Ett simuleringsverktyg som kan utnyttjas för att få en realistisk och verklighetstrogen ljudbild inkluderande riktning och reflektioner. För att ta fram detta verktyg samarbetar OBOS med RISE som kopplar in spetskompetenser inom akustik, interaktivitet, glas och digitalisering för utförandet av projektet. OBOS arbetar redan med AR och VR som verktyg i sin verksamhet. Man tror mycket på att en adderad ljudupplevelse kan tillföra ytterligare mervärde till teknologin och vill därför testa konceptet i deras High6-projekt som planeras att byggas i Kalmar under 2019. Denna förstudie lägger grunden för en sådan implementering. Tanken är då att spela in ljud i binaural sound (modellhuvud med mikrofoner i öronen) först utan någon barriär, sedan med OBOS olika varianter av vägglösningar och fönsterlösningar som barriärer med varierat avstånd. Dessa ljud används senare i HRTF simulering för att då få en verklighetstrogen ljudbild som ändras var du står och vilken riktning ljudet kommer ifrån. Enligt vår kännedom finns inget VR verktyg för husbyggnationer med verklighetstrogen ljudsimulering (HRTF), vilket ger OBOS möjligheten att genom detta förstudieprojekt ligga i absoluta framkanten av utvecklingen.

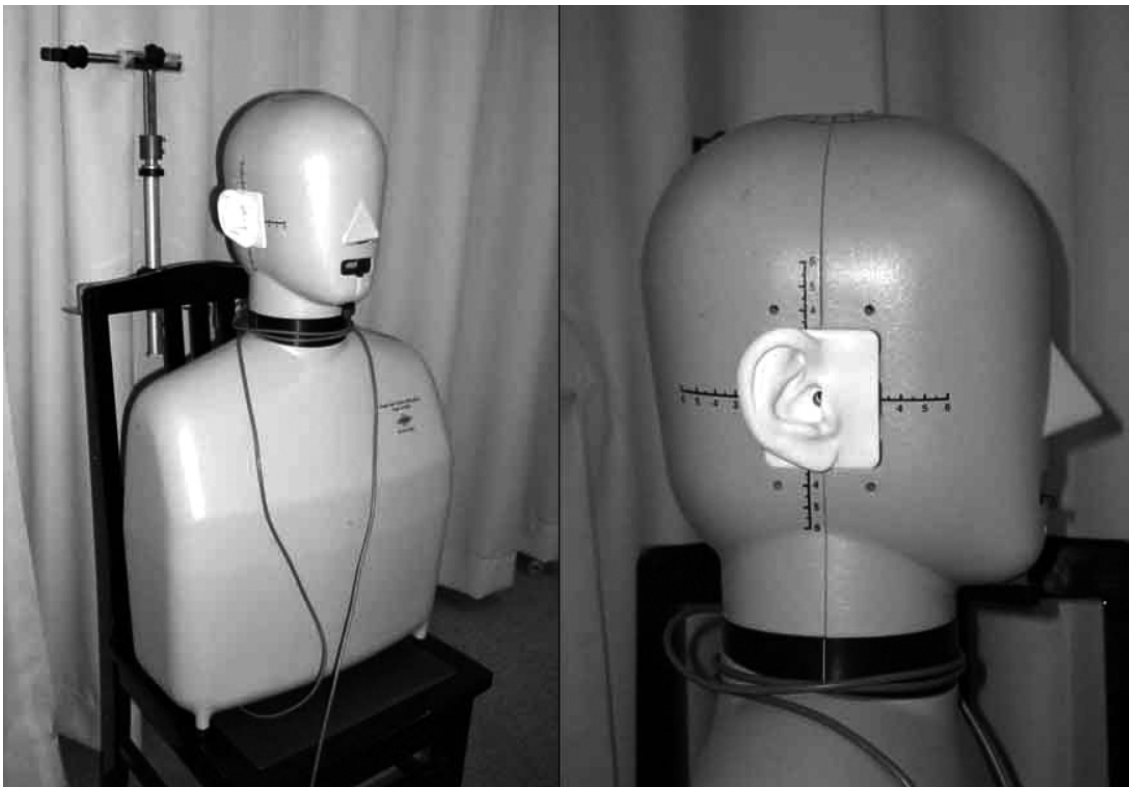
För att kunna skapa ett verkligt realistiskt ljud för personen som befinner sig i simulationen i VR behöver man få in väldigt mycket olika data om ljudet.

Det finns Mono och stereoljud, men ingen av dessa ljud innehåller tillräckligt med data för att få realistiska ljud där man kan få riktning och höra om något är i vägen.

Binaural sound recording där ett modellhuvud används för att få med frekvensändringen som bildas när ljudet passerar huvudet och även går igenom öron och hörselgångarna. Här får man även med echo från väggar och dämpning av föremål som står mellan ljudkällan och lyssnare. Mänskliga hjärnan kan uppfatta de små tidsfördröjningarna och frekvensändringarna för att kunna uppfatta riktning och omgivningens struktur och objekt som är i vägen för ljudet.



Figur 4 Binaural sound förklaring



Figur 5 modellhuvud med microfoner i öronen för inspelning av binaural sound

Simuleringsverktyg i VR

De senaste åren har Virtual Reality (VR) och Augmented Reality (AR) gjort stora framsteg då tekniken har mognat och blivit tillgänglig till en större massa. Den visuella tekniken i VR/AR har utvecklats mycket snabbt men återgivningen av ljud har inte prioriterats på samma vis. Det är inte förrän nu som ljudtekniken har blivit möjlig att simulera för att återge extremt naturtrogna riktade ljud. Detta ger helt nya möjligheter att skapa en helhetsupplevelse genom att kombinera VR- och AR-teknik med den senaste ljudtekniken HRTF (Head-related transfer function).

För att skapa Virtual Reality (VR) eller Augmented Reality AR scenarior så använder man ofta spelmotorer. De mest använda idag är Unreal engine och Unity.

Det vi såg som en stor risk var att det skulle bli svårt att få till ljud i rörelse utanför huset och få det att låta naturligt, det krävs mycket beräkningar i vanliga fall och även många olika dämpningar och frekvensförändringar. Det var därför mycket glädjande att de simuleringsplugin som fanns till spelmotorerna tog hänsyn till detta och beräknade själv ljudförvrängningarna.

Det finns flera olika "addons" eller "plugins" till dagens spelmotorer och det har nu kommit flera ljudsimulerings plugins som här simulerar ett verkligt ljud med samma funktion som binaural sound, och man kan här få ljudet även att fungera naturligt när både ljudkällan och lyssnare rör sig i scenariot.

Första beslutet att ta var vilken spelmotor som skulle användas för att bygga upp VR scenariot, valet stod mellan Unreal eller Unity

Unreal: kräver mindre programmering och använder mycket smidig drag and drop teknik. Unreal har även används tidigare av OBOS. Unreal programmet har möjlighet att konvertera CAD-modeller från byggritning till scenario modeller i Unreal utan lika mycket arbete som i Unity.

Därför valdes Unreal för att bygga scenariot i.

4

Det finns flera akustik-plugins till spelmotorer och dessa har möjlighet till HRTF. Dessa är väldigt avancerade och beräknar själva ut från en mono-ljudkälla hur frekvenser, echo, ljudreflexer, occlusion, interferens, koincidens och dämpningar för att få fram effekten av riktning och naturligt ljud. En undersökning gjordes vilket som skulle passa oss bäst och följande data kom fram.

Google resonance: lättare ljudplugin som är gjort för att passa mobiltelefoner vilket gör att det inte är lika exakt och lika avancerat. Därför ansågs det inte vara det mest lämpade för vår uppgift.

Steam Audio: Fungerade riktigt bra även med så avancerade funktioner så som Occlusions och ljudriktning även vid rörelse. Och kändes lagom nivå på vad vi behövde.

Oculus Audio: Var i klass med Steam Audio men svårare att få till occlusions och inställningar.

Val av scenario

Scenario

För att kunna visa på hur skillnaden mellan ljuddämpande material är så utreddes vad som var viktigast att visa. Det vanligaste scenariot för problem med ljud är att det är en högtrafikerad väg utanför huset. Därför var målet att skapa ett hus som ingår i OBOS standardval av villor och placera detta utanför en högtrafikerad väg i VR-scenariot.

Det visuella scenariot byggdes upp först, det bestod av att importera CAD-modeller och bygga upp en villa som säljs av OBOS standardsortiment. En tomt med en asfalterad väg byggdes upp och villan möblerades liknande det tänkte utförandet med soffa och TV i vardagsrum, radio i kök, och andra ljudkällor och naturliga dämpningsmaterial så som textiler. 3 större fönster vätte mot den stora vägen. Och en panel med knappar som man där kunde välja olika fönster och trafikbelastning.

Enligt ljudexperterna på RISE så är skillnaden försumbara i husets väggar i jämförelse med hur mycket ljud som kommer in genom fönstren. Därför fokuserades på att visa skillnaden mellan OBOS ljuddämpande fönster i jämförelse med normala fönster.

En VR-remote controller lades till för att även kunna kontrollera de olika ljudkällorna i huset så som en ringande mobiltelefon. Detta för att träna upp känslan att det verkligen är riktning och realistiskt ljud och inte bara vanligt stereoljud som normalfallet brukar vara.

Data och tekniker

Eftersom spelmotorernas plugin var så bra på att beräkna ljudeffekterna så behövdes det endast ett mono ljud. Eftersom RISE ljud och vibration hade tillgång till redan tidigare inspelade biljud med data om avstånd från väg och hastighet så söktes deras databas igenom och olika biljud testades för att få ett så lämpligt grundljud som möjligt. OBOS hade ljud tester från två olika institut för deras ljuddämpande fönster vilket gav oss dämpningskurvornas frekvens. Datat vi hade tillgång till var för 3st olika normala fönster och 3st olika ljuddämpande fönster.



SMART
HOUSING

SMÅLAND

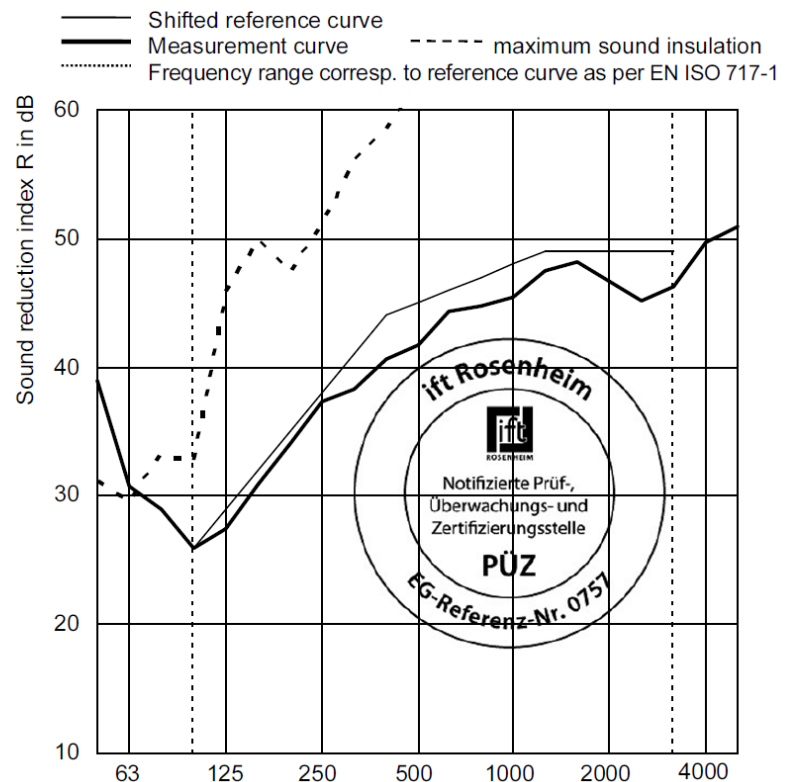
Dämpningskurvorna kan ses in nedanstående diagram, i tidigare förklaring har vi sett att det är de låga frekvenserna som är svåra att dämpa därför är skillnaden mellan fönstren endast i låga frekvenser, i högre frekvenser är den hörbara skillnaden inte lika stor därför visas endast frekvensen till 50-5000Hz

Dessa kurvor lades direkt på grundljudet vilket var mer exakt och även enklare än att modifiera ljudet i spelmotorerna. I VR-scenariot sattes möjligheter upp att switcha direkt mellan olika fönster med hjälp av knappar vid fönstret eftersom det är lättare att höra skillnad då det blir en direkt ändring av ljudet.

Biljudet som valts dämpades enligt kurvorna som vi fått från institutets ljudtester, vilket gjorde att vi samma ljud som vi då skulle fått i verkligheten.

f in Hz	R in dB
50	(≥ 39.0)
63	(≥ 30.8)
80	(≥ 29.0)
100	25.9
125	27.5
160	30.9
200	34.0
250	37.3
315	38.3
400	40.6
500	41.7
630	44.3
800	44.8
1,000	45.5
1,250	47.5
1,600	48.2
2,000	46.7
2,500	45.2
3,150	46.2
4,000	49.7
5,000	51.0

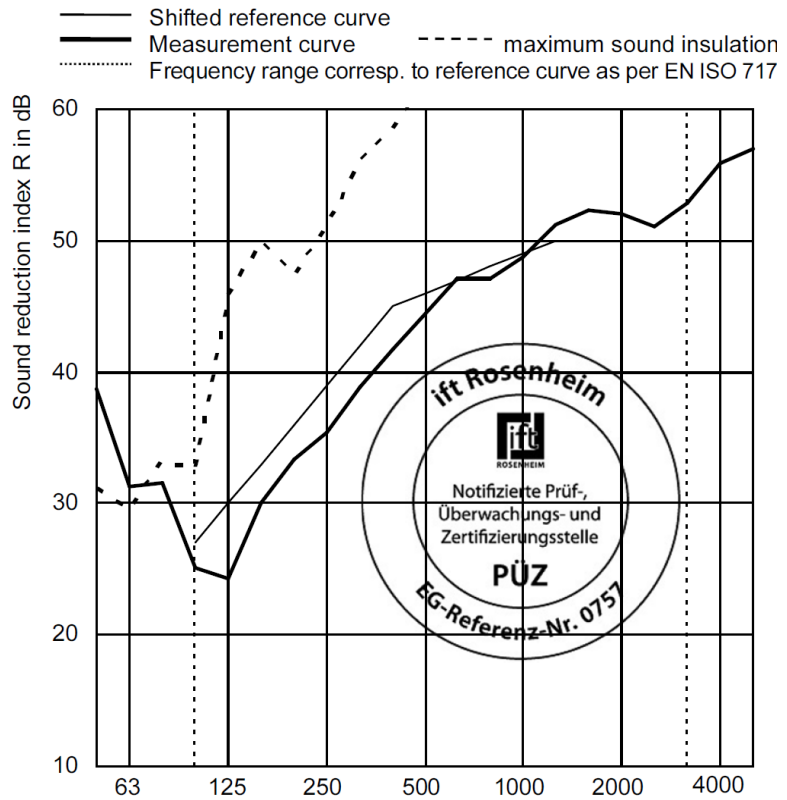
≥ maximum sound insulation corr



Figur 6 Dämpningsfrekvens fönster AFHO

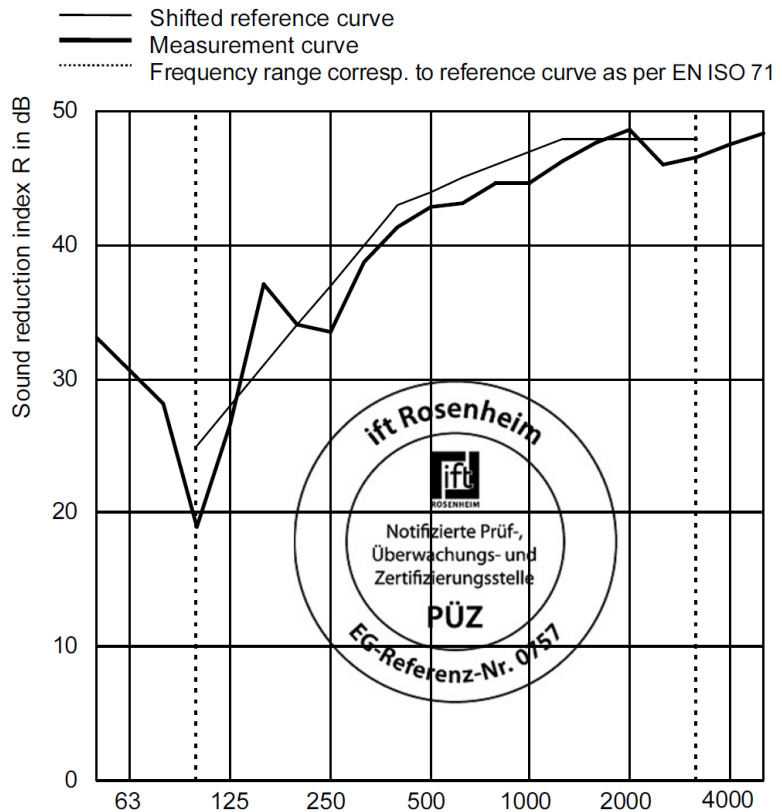
f in Hz	R in dB
50	(≥ 38.7)
63	(≥ 31.3)
80	(≥ 31.6)
100	25.1
125	24.3
160	30.0
200	33.3
250	35.4
315	38.9
400	41.7
500	44.5
630	47.1
800	47.1
1,000	48.7
1,250	51.2
1,600	52.3
2,000	52.1
2,500	51.1
3,150	52.8
4,000	55.9
5,000	57.0

≥ maximum sound insulation corr



Figur 7 Dämpningsfrekvens fönster AFKO

f in Hz	R in dB
50	33.1
63	30.6
80	28.2
100	19.0
125	26.7
160	37.1
200	34.0
250	33.5
315	38.7
400	41.4
500	42.9
630	43.1
800	44.7
1,000	44.7
1,250	46.3
1,600	47.6
2,000	48.6
2,500	46.0
3,150	46.5
4,000	47.5
5,000	48.3



Figur 8 Dämpningsfrekvens fönster ADOK



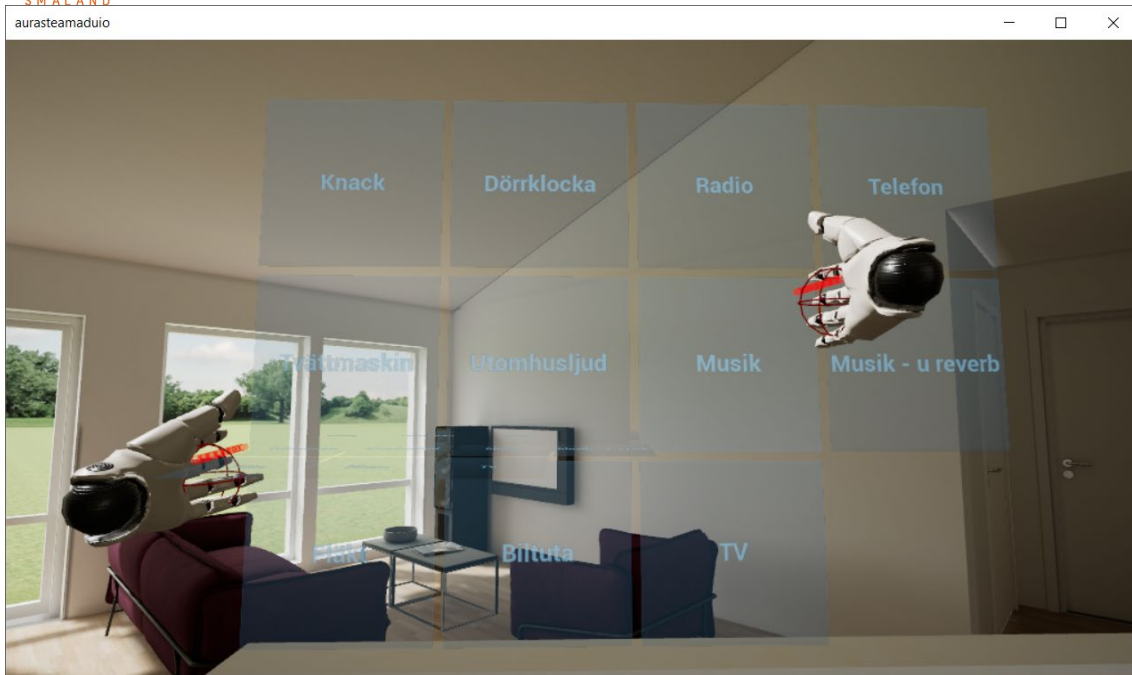
**SMART
HOUSING**
SMÅLAND

Val av Trafik och Ljudkällor

Först testades att jobba med ett redan inspelat trafik ljud och funderingar på att lägga på visuella bilar i VR-scenariot efter det ljudet var möjlig. Men för att få ett så verklighetstroget ljud så valdes att sätta ett individuellt ljud på varje bil och bygga upp ett trafikscenariot grundat på dessa. Valmöjlighet att välja luddämpat fönster med både hög och låg trafik.

I scenariot skapades även andra ljudkällor både i och utanför huset för att påminna lyssnare om att det verkligen är riktning på ljudet och skapa en wow-känsla. Så som att man kan välja att bilarna tutar utanför och rumsljudet förändras var man står i huset.





Tester och feedback

För att utvärdera det färdiga VR-scenariot gjordes en undersökning där totalt 30 personer deltog. Dessa försökspersoner var personer som ej jobbat med projektet.

Försökspersonerna var 15 personer från RISE i Borås och 10 personer från OBOS.

En online undersökning skapades, där försökspersonerna fick ge feedback.

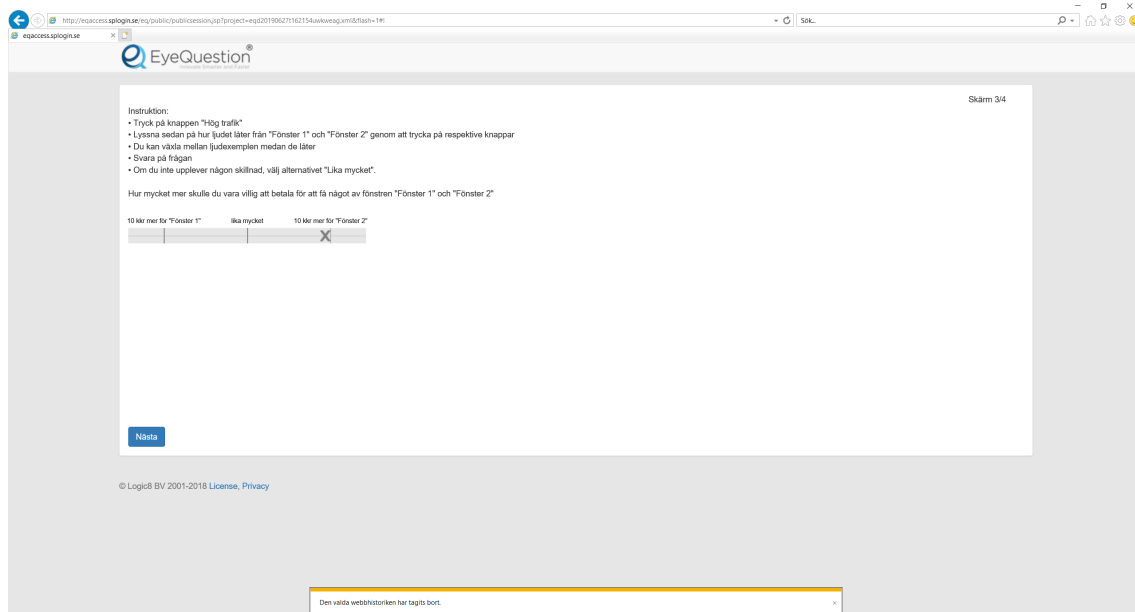
De flesta tyckte det var väldigt enkelt att jämföra ljuden i kontexten, men de flesta tyckte också att det var ett ganska kort prov när de väl hade fått kläm på upplägget (vilket gick kvickt). Man hade lätt kunnat stoppa in många fler fönster, och då hade man även kunnat göra parvisa jämförelser mm.

Nu var det inte meningsfullt att göra andra tester än värderingen, men den var å andra sidan tydlig. Alla värderade det tystare fönstret högre, vilket ju var väntat. Och de flesta värderade mervärdet till strax under 10 kkr. Intressant är att några värderade priset mycket högre.

Vi gav också instruktionerna att priserna inte gällde för hela huset utan för de fönster man såg bilarna genom, och att skalan var hoptryckt mot ändarna (logaritmisk). Tanken är att man kunde dela avståndet mellan likavärdering och 10 kkr (dvs mellan 0 kr och 10 kkr) i tre lika delar så kunde man märka skärningspunkterna med 100 kr och 1000 kr. På samma sätt kan man tänka sig att 100 kkr ligger 2–3 mm från kanten av skalan. Testet var upplagt enligt konventionen för subjektiv testning med försökspersoner som gör bedömningar. Man brukar bara ha ett ankare (vilket var 10 kkr denna gång) och följde den konventionen, men efter att ha kört igenom testerna och testparametern är så konkret som en summa pengar, så skulle fler ankare använts om testerna gjordes om. Men ännu bättre vore nog att låta testpersonerna bara notera summan utan att använda linjen.

Frågeformuläret var skapat på online plattformen: EyeQuestion

<http://eqaccess.slogin.se/eq/public4/pstart.jsp?p=eqd20190627t162154uwkweag>



Figur 9 Online test hur mycket mer köparna skulle kunna tänka sig betal

