



CHALMERS



Konstruktion av luftdon till en ventilerande, väggintegrerad luftvärmepump

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet design och produktutveckling

Emmy Silfverhjelm
Nina Silfverstrand

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

Konstruktion av luftdon till en ventilerande, väggintegrerad luftvärmepump
Emmy Silfverhjälm & Nina Silfverstrand

© Emmy Silfverhjälm & Nina Silfverstrand, 2022.

Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0)31-772 1000

Omslag:

Rendering av luftdon till en väggintegrerad, ventilerande luftvärmepump, se kapitel 7.1 – beskrivning av konceptet. Illustrerad av Emmy Silfverhjälm och Nina Silfverstrand, 2022.

Förord

Examensarbetet utförs på Chalmers tekniska högskola av studenter på programmet Design och produktutveckling under våren 2022. Arbetet utgör 15 av de totalt 180 högskolepoäng som utbildningen omfattar. Utbildningen kombinerar kurser inom design och produktutveckling vilka innefattar bland annat färg och form, ergonomi, användarstudier, designmetodik och 3D visualisering, såväl som tekniska kurser så som matematik, mekanik och hållfasthetslära. Målet med utbildningen är att lära sig att hantera produktutvecklingsprocessen, från idé till färdig produkt såväl som att skapa en förståelse för att kundens och brukarens krav och önskemål.

Examensarbetet utförs i samarbete med företaget Tre Ess Innovation AB, vilket är ett innovationsutvecklingsföretag inom teknik med inriktning på ventilation och energi. Rikard Bergsten är VD på företaget samt extern handledare för examensarbetet.

Vi vill tacka vår handledare, Ola Isaksson för det stöd han har bidragit med under examensarbetets gång. Vi vill även tacka Rikard Bergsten och Sven Hellestam för ett gott samarbete och för möjligheten att få göra examensarbetet hos Tre Ess Innovation AB.

Extern handledare:

Rikard Bergsten

rikard@treessinnovation.se

+46733740180

Handledare och examinator:

Ola Isaksson, Professor på avdelningen för Produktutveckling på Chalmers tekniska högskola

ola.isaksson@chalmers.se

+46317728202

Konstruktion av luftdon till en ventilerande, väggintegrerad luftvärmepump
Emmy Silfverhjälm & Nina Silfverstrand
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Tre Ess Innovation AB är ett innovationsutvecklingsföretag inom teknik vilket berör områden såsom ventilation, energieffektiva byggnader samt energieffektiv förvaltning. De utvecklar just nu en ventilerande väggintegrerad luftvärmepump, ett system som erbjuder möjligheten att effektivt skapa ett behagligt inomhusklimat genom att kombinera ventilation och temperaturreglering av luften i en och samma enhet. Produktutvecklingsprojektet har två huvudsakliga intressenter; företaget Tre Ess Innovation AB och en potentiell kund. Den potentiella kunden utgörs av en hotellkedja som är i behov av förbättrat inomhusklimat i en av deras hotellverksamheter. Det är av stor vikt att ventilationsenheten inte bidrar till oönskat buller som kan störa hotellgästerna, samt att den smälter in i användningsmiljön.

Syftet med examensarbetet är att konstruera ett förslag av ett luftdon för ventilationsenheten, vilken möter ställda krav gällande bullerreducering, luftflöde, estetik, tillverkningsmetod samt tillverkningskostnad. Vidare tas hänsyn även till att luftdonet utvecklas miljömässigt hållbart. Att minska mängden buller utgör det huvudsakliga fokuset under produktutvecklingsprocessen, då ljudnivån inte får överstiga vissa riktvärden. Detta medför att projektet centreras kring att hitta en lösning som når dessa riktvärden, som sedan får ligga till grund för utformning av övriga delfunktioner.

Examensarbetet följer en klassisk produktutvecklingsprocess vilken utgörs av delprocesserna problemundersökning, itererande idégenerering, funktionstester samt utvärdering och vidareutveckling av konceptalternativ. Resultatet inkluderar en luftdonsdesign på konceptnivå, där tillverkningsmetod och materialval bestäms på en generell nivå. Vidare så innefattar resultatet renderingar, materialrekommendationer, CAD-ritningar samt en feleffekts- och hållbarhetsanalys.

Projektets resultat utgörs av en definition av luftdonet i form av ritningsunderlag, en estetiskt tilltalande design samt förslag på hållbara materialval vilka beräknas uppnå de akustiska kraven. Rekommendationer för vidare utveckling inkluderar att verifiera akustisk prestanda samt detaljera material- och tillverkningsunderlag.

Nyckelord: Ventilation, ventilationsdon, luftdon, innerdon, akustik, akustisk design, bullerreducering, värmepump, värmeväxlare.



CHALMERS

Design of a diffuser for a ventilating, wall-mounted air source heater
Emmy Silfverhjelm & Nina Silfverstrand
Department of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

Tre Ess Innovation AB is an innovation development company within areas such as ventilation and energy-effective buildings, who are currently developing a wall-mounted, ventilating air source heater. The system allows for creating a pleasant indoor climate in terms of combining ventilation as well as temperature control in the same unit.

The product development project has two main stakeholders: the company Tre Ess Innovation AB and a potential customer. The potential customer is a hotel chain that need an improved indoor climate in one of their hotels. It is of great importance that the ventilating unit does not contribute to an increased amount of noise that might disturb the guests of the hotel. Another important factor is that the unit is aesthetically pleasing and follows the interior design of the hotel.

The purpose of the thesis is to create a design proposal for a diffuser for the ventilating unit, that meets the set requirements regarding sound reduction, aesthetics, method of manufacturing and cost of manufacturing. Furthermore, the diffuser will be developed considering environmentally sustainable methods. Reducing the sound emitted by the unit is the main focus during the product development process, as the noise level cannot exceed certain values. As a result, the project is centered around finding a solution that meets these values. This solution will be the basis for creating the other functions of the diffuser.

The thesis follows a product development process which includes the phases research, idea generation, prototyping and testing, evaluation, and development of the different concept alternatives. The result includes the design of a diffuser on a concept level, where the manufacturing processes as well as materials are defined on a general level. Furthermore, the result includes renderings of the diffuser, recommendations for materials, CAD-blueprints as well as an environmental analysis and an analysis of possible risks.

The result includes a definition of the diffuser in form of an aesthetically pleasing design, blueprints as well as suggestions of sustainable material combinations, which are expected to reach the acoustical requirements. Recommendations for further development include verifying the acoustical performance as well as define material and manufacturing processes.

The report is written in Swedish.



CHALMERS

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Syfte och mål	1
1.2. Avgränsningar	1
1.3. Företaget och potentiell kund	1
2. Bakgrund	3
2.1. Luftvärmepumpar, värmeväxlare och ventilation	3
2.2. Nuvarande situation och uppdragsbeskrivning	3
2.3. Ljud och akustik	5
2.3.1. Frekvens (f)	5
2.3.2. Våglängd (λ)	5
2.3.3. Ljudtryck (p)	6
2.3.4. Ljudeffekt (P)	6
2.3.5. Ljudintensitet (I)	6
2.3.6. Decibelskalan	6
2.3.7. Ljudeffekt- och ljudintensitetsnivå	6
2.3.8. Ljudtrycksnivå	7
2.3.9. Addition och subtraktion av olika nivåer	7
2.3.10. Oktavband	8
2.3.11. Akustiska fenomen	8
2.3.12. Diffraction	8
2.3.13. Reflektion	9
2.3.14. Resonans och egenfrekvens	9
2.4. Ljuddämpning och bullerkontroll	9
2.4.1. Absorption	9
2.4.1.1. Absorptionskoefficient	9
2.4.1.2. Ljudabsorberande material	10
2.4.1.3. Helmholtzabsorbent	10
2.4.2. Ljudisolering	11
2.4.2.1. Vibrationsisolering och vibrationsdämpning	11
2.4.3. Reaktiv ljuddämpning	11
2.4.4. Ljudbafflar	12
2.5. Luftflöde	12
3. Metod	13
3.1. Informationssamling	13
3.2. Problemundersökning	14
3.3. Idégenereringsmetoder	14
3.3.1. Brainwriting, gemensam brainstorming	14
3.3.2. Morfologisk matris	14
3.4. Analys och utvärdering av konceptalternativ	15
3.4.1. Positivt - Negativt - Intressant	15

3.4.2. Elimineringssmatris	15
3.4.3. Kesselringmatris	16
3.4.4. Feedback från företag	16
3.4.5. Simulering	16
3.4.6. Riskanalys med failure modes and effects analysis (FMEA)	16
3.4.7. Hållbar produktutveckling och hållbarhetsanalys	17
4. Undersökning av problem	20
4.1. Marknadsundersökning	20
4.2. Ljudnivå- och frekvensanalys	20
4.2.1. Slutsats av ljudnivå och frekvensanalys	23
4.3. Intressenters behovslista	24
4.4. Funktionsanalys / funktionsstruktur innerdon	24
4.5. Mood- och inspirationboard	25
4.6. Kriteriespecifikation	25
4.6.1. Parvis jämförelse av önskemål	28
5. Idégenerering	29
5.1. Söka dellösningar med brainwriting och brainstorming	29
5.2. Positivt, Negativt och Intressant med olika bullerreduceringsmetoder	29
5.3. Skapa funktionsmodeller	30
5.3.1. Rektangulär form med olika absorberande material	30
5.3.2. Rektangulär form med ljudlabyrint	31
5.3.3. Helmholtz	32
5.3.4. Rund form med olika absorberande material	33
5.4. Skapa helhetslösningar med morfologisk matris	34
5.5. Konceptkatalog	36
6. Utvärdering och vidareutveckling av konceptalternativ	37
6.1. Utvärdering med Elimineringssmatris	37
6.2. Vidareutveckling av konceptalternativ som uppfyller alla kriterier	37
6.3. Utvärdering med Kesselring	39
6.4. Test återstående konceptalternativ	39
6.5. Feedback från företaget	40
6.6. Val av koncept och vidareutveckling	40
6.6.1. Möjligt utförande designuttryck	41
6.6.2. Val av donets estetiska uttryck	43
6.6.3. Donets komponenter, placering av elektronik och montering	43
6.6.4. Egenfrekvens och dimensionering	44
7. Resultat	46
7.1. Beskrivning av koncept	46
7.1.1. Konceptets delkomponenter	47
7.2. Dimensioner	49
7.3. Materialval och tillverkningsmetod	49
7.3.1. Möjliga materialval för donet	49

7.3.2. Möjliga materialval för absorption	50
7.3.2.1. Bomullsisolering	50
7.3.2.2. Whisper foam	51
7.3.2.3. EcoAudit av materialalternativ för absorption	51
7.3.2.4. Materialrekommendation	51
7.4. Hållbarhetsanalys	52
7.5. Riskanalys i form av Failure Modes and Effects Analysis	53
7.6. Kravuppfyllelse	54
8. Rekommendationer	56
8.1. Funktionell prototyp, test av ljudtrycksnivå och eventuella felkällor	56
8.2. Närmare undersökning av luftflöde	56
8.3. Filtrering av luft	56
8.4. Funktionstest av absorptionsmaterial och dess montering	56
8.5. Komponenter och dess montering	57
8.6. Bullerrisker	57
8.7. Se över övriga risker	57
8.8. Genomgående hållbarhetsanalys	57
8.9. Undersöka alternativa lösningar för bullerreducering	58
9. Referenser	59
10. Bilagor	62

1. Inledning

Företaget Tre Ess Innovation AB utvecklar just nu en ventilerande väggintegrerad luftvärmepump. På så vis erbjuds möjligheten att effektivt skapa ett behagligt inomhusklimat genom att kombinera ventilation och temperaturreglering av luften i en och samma enhet. Detta genom ett decentraliserat system som vid installation ger lite åverkan på byggnaden. Företaget är i behov av en design av ett luftdon som är placerad på insidan av rummet, det så kallade innerdonet. Innerdonets huvudsakliga uppgift är att fördela luften i rummet och även reducera buller från enheten. Examensarbetet omfattar ett konstruktionsförslag av innerdonet och de huvudsakliga kraven, såväl som delkrav vilka presenteras utförligare i följande kapitel.

1.1. Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att utveckla ett konceptförslag på ett innerdon till ventilationsenheten vilket tar hänsyn till luftflöden, bullerdämpning, monterbarhet, tillverkningsbarhet, tillverkningskostnad, estetik, samt miljöpåverkan. Målet för studenterna är tillämpa de teoretiska kunskaper som utbildningen bidragit med i ett praktiskt sammanhang.

Resultatet utgörs av en konceptbeskrivning, som inkluderar ett konceptunderlag i form av CAD-modell, ritning och prototyp. Ambitionen med arbetet är att underlaget i kombination med rekommendationer för vidare utveckling ska kunna ligga till grund för en framtida konstruktion av innerdonet. Examensarbetet redovisas genom en skriftlig rapport, vilken beskriver insamlad information, problem samt lösningar. Detta presenterades även muntligt 10 Juni på Chalmers Lindholmen.

1.2. Avgränsningar

Vid en installation av ventilationenheten så kan fler aspekter än de som uppdraget beskriver förekomma, i form av luftkvalitet, luftflödesreglering, utrymmesbegränsningar, behov av filtrering, ljudnivå med flera, varför examensarbetet på grund av bland annat tidsskäl enbart kommer att omfatta huvudsakliga funktioner samt en typisk installation. Gällande hållbarhetsanalysen finns det flera aspekter att ta hänsyn till. Men då den förväntade leverabeln är ett konceptförslag har livscykelbeteendet uppskattats, detta pga. begränsad information om förväntad livscykel fanns att tillgå.

1.3. Företaget och potentiell kund

Tre Ess Innovation AB är ett innovationsutvecklingsföretag inom teknik vilket berör områden såsom ventilation, energieffektiva byggnader samt energieffektiv förvaltning. Rikard Bergsten är företagets VD, tillika extern handledare för examensarbetet. Tre Ess Innovation AB utvecklar en kompakt decentraliserad ventilationsenhet med värmeåtervinning till byggnader. Syftet med produkten är att tillåta effektiv ventilation och temperaturreglering, med minimal åverkan på byggnaden. Tekniken i produkten visar lovande resultat, men några

komponenter är fortfarande under utveckling, bland annat innerdonet, vilket är den komponent som placeras på insidan av byggnaden.

Kunden utgörs av en hotellkedja som är i behov av förbättrat inomhusklimat på ett av deras hotell. Hotellet är placerat i en äldre byggnad där den aktuella centraliserade ventilationen inte är tillräcklig. Det är av vikt att ventilationsenheten ger minimal åverkan på byggnaden, passar in i användningsmiljön och inte bidrar till oönskat buller som kan störa hotellgästerna.

2. Bakgrund

I följande kapitel beskrivs bakgrunden till produktutvecklingsprocessen, vilken inkluderar beskrivningar av företaget, uppdraget samt den nuvarande situationen. Ytterligare redovisas bakgrundsinformation gällande luftvärmepumpar, ventilationssystem samt ljud och akustik.

2.1. Luftvärmepumpar, värmeväxlare och ventilation

Grundprincipen för luftvärmepumpar är att de utnyttjar termisk energi som finns i luften och använder denna energi för att värma upp byggnader. Luften innehåller energi till och med den absoluta nollpunkten (NIBE, 2018). Det som skiljer olika luftvärmepumpar åt är varifrån luften hämtas och hur värmen distribueras ut i byggnaden.

En luft-luftvärmepump består av en utomhusdel och en inomhusdel. Utomhusdelen tar energi från utomhusluften och överför den energin till inomhusdelen som i sin tur reglerar inomhusluftens temperatur (Vattenfall AB, u.å.). En luft-vattenvärmepump tar också energi lagrad i utomhusluften, men istället överförs detta till ett vattenburet system, så som element eller värmeslingor. Det finns också frånluftsvärmepumpar, vilket liknar luft-vattenvärmepump, men som istället tar energi från ventilationsluften i huset och återför detta till husets värmesystem (Vattenfall AB, 2019).

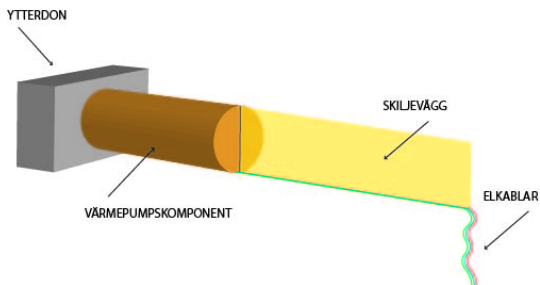
Med ventilation menas att man förser byggnaden med frisk luft, samtidigt som man transporterar ut förbrukad luft (Nationalencyklopedin, u.å.a). Generellt så bidrar inte värmepumpar till någon ventilation, då de inte tillför någon luft utifrån. Det finns olika system för ventilation, en allmänt förekommande system är ett självdragssystem. Dessa system bygger på att varm luft stiger uppåt och försvinner ut genom luftkanaler nära taket, detta skapar undertryck i byggnaden och på så vis skapas självdrag. Ny uteluft sugas då in genom en otätheter i huset eller ventiler under fönster. Det finns också system där undertrycket skapas genom att fläktar suger ut använd luft, detta kallas frånluftssystem (F-system). Om fläktar styr både till- och frånluft kallas detta ett från- och tilluftssystem (FT-system), vilket gör att man får bra kontroll över mängden friskluft. Det finns även från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX system). Då låter man använd varm luft passera genom ett värmeåtervinningsaggregat med en värmeväxlare (Svensk ventilation, u.å.). En värmeväxlare används för att överföra värmeenergi från ett medium till ett annat (Nationalencyklopedin, u.å.b). Detta gör att den kalla luften utifrån kan värmas upp med hjälp av den varma luften så transporteras ut.

FTX-system används oftast i ett centraliserat kanalsystem, där kanalerna i huset är sammanlänkade. Det finns även decentraliserad ventilation med värmeåtervinning. Där monteras ventilationsenheter med värmeåtervinning på ytterväggar och varje utrymme har sin egen enhet. Det är en variant av detta system som Tre Ess Innovation håller på att utveckla.

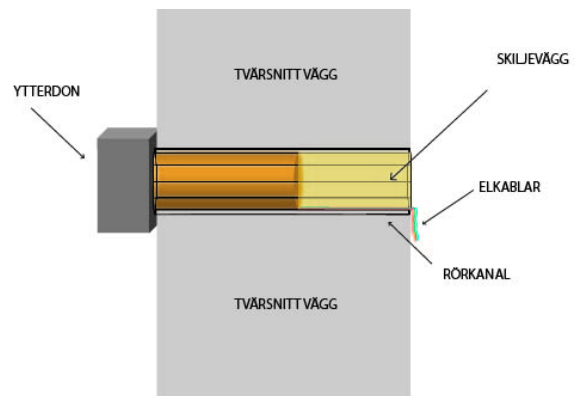
2.2. Nuvarande situation och uppdragsbeskrivning

Luftvärmepumpen som Tre Ess Innovation AB utvecklar består av en cylinderformad temperaturregeringskomponent och ett yttre luftdon som innehåller två fläktar. Värmepumpen drivs med 12 volt (V). Fläktarna drivs av varsin motor som har ett varvtal på

1000-6000 varv/min beroende på effekt. Effekten varierar beroende på temperaturskillnaden mellan inne och ute, men normal effekt är 20% av den totala effekten. Värmepumpen är placerad i ett rör som går från ytterväggen till innerväggen, diametern på detta rör är 125 mm. Från värmepumpen till innerväggen går även kablar och en skiljevägg som separerar till- och frånluft, se figur 1 och 2.

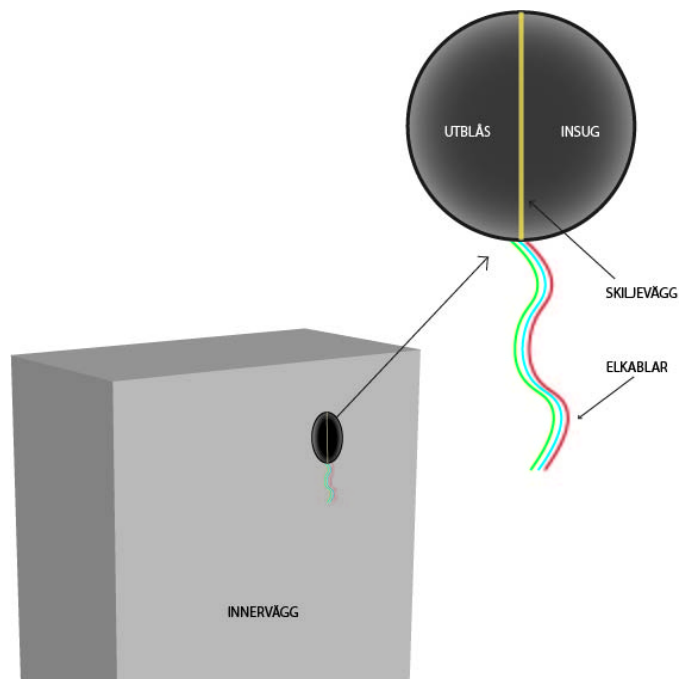


Figur 1: Ventilationsenhetens olika delar



Figur 2: Ventilationsenheten placerad i vägg

Det inre luftdonet placeras inuti den cirkulära luftmynningen, se figur 3. Luftdonet behöver placeras på vägg som vetter mot byggnadens fasad. Donets placering på denna vägg beror på rummets utformning.



Figur 3: Den luftmynning som är placerad på insidan av byggnaden (utan luftdon).

Huvudproblemet är att det i nuläget inte finns ett underlag för det inre luftdonet. Form, infästning, bullerreducering, luftkanaler och så vidare är ännu inte fastställt. Några delproblem är att:

- Till- och frånluft går i samma runda kanal, vilket medför att klassiska luftdon inte kan appliceras direkt, utan luftflödet måste skiljas åt även i luftdonet. Det krävs en lösning som motverkar sammanblandning av luftflödena och samtidigt tillåter ett energieffektivt luftflöde.
- Elkablar och elektronik har ingen självklar plats och hänger nu på väggen. Det krävs en avsedd plats för dessa.
- Värmepumpen har en viss ljudnivå, först och främst på grund av ljudet från fläktarna som sitter i ytterdonet men också på grund av luftströmmar. Lösningen behöver därmed ha en ljuddämpande funktion för att minska buller.
- Då användningsmiljön kan variera behöver donets utformning möjliggöra placering på olika ställen på väggen.

Ytterligare aspekter att ta hänsyn till är funktioner såsom monterbarhet och tillverkningsbarhet samt beaktning av tillverkningskostnad och miljöpåverkan. Vidare ska produkten vara estetiskt tilltalande och passa i användningsmiljön.

2.3. Ljud och akustik

Ljud utgörs av en mekanisk våg som rör sig genom ett medium, så som luft eller ett solitt material, genom att komprimera och öka avståndet mellan molekyler i mediet. En ljudvåg fortplantas genom kollisioner mellan molekyler. Ju tätare ett medium är, desto snabbare färdas ljudet genom mediet. Det beror på att molekylerna behöver färdas en kortare sträcka innan de kolliderar. Materialval, utformning och källan till ljudet påverkar därmed hur ljud transmitteras och emitteras. Det är således viktigt att utforma innerdonet med avseende på ljudets egenskaper.

2.3.1. Frekvens (f)

En våglängds frekvens kan beskrivas som antalet svängningar i ljudvågen per sekund (Adams, 2016). Antalet tryckskillnader som uppkommer per sekund utgör ljudets frekvens och uttrycks i Hertz (Hz), vilket motsvarar ljudets ton. Människan har inte förmågan att uppfatta alla frekvenser. Den lägsta uppfattningsbara frekvensen är cirka 20 Hz, vilket motsvarar en våglängd av cirka 17 meter. Den högsta frekvensen som kan uppfattas är cirka 20 000 Hz, vilket motsvarar våglängd av 0.02 meter. Olika frekvenser uppfattas inte heller lika intensivt, där frekvenser under 100 Hz upplevs mindre starka (Adams, 2016). Fläktbuller utgörs generellt av lägre frekvenser medan luftblåsning till största delen består av höga frekvenser (Program för Teknisk Standard, 2015).

2.3.2. Våglängd (λ)

Våglängd är den sträcka som en våg breder ut sig under en period, exempelvis mellan två vågtoppar eller vågdalar (Acoustics and noise control s 354). Våglängden (λ) beräknas

genom $\lambda = \frac{c}{f}$, där f är frekvensen och c är våghastigheten i luft som är 343 m/s vid 20 grader Celsius (Peters et al., 2013, s. 2).

2.3.3. Ljudtryck (p)

Ljudtrycket definierar de variationerna i lufttrycket som ljudet skapar. Detta ljudtryck mäts i Pascal. Människan kan uppfatta ljudtryck mellan 20 μ Pa till 20 Pa. Ljudtryck är avståndsberoende och avtar därmed med avståndet från ljudkällan (Peters et al., 2013, s.35). Generellt minskar ljudtrycket i omvänt proportion till avståndet. En fördubbling av avståndet minskar följaktligen ljudtrycket till hälften av det initiala värdet.

2.3.4. Ljudeffekt (P)

Effekt är ett mått på hur fort en energiomvandling sker. Ljudeffekt är den akustiska effekt som ljudkällan emitterar, denna ljudeffekt är oberoende avståndet till ljudkällan (Peters et al., 2013, s. 5).

2.3.5. Ljudintensitet (I)

Den fysikaliska storheten för ljud är intensitet. Ljudintensitet anger energin som en ljudvåg har per sekund när den passerar genom ett tvärsnitt. Det blir effekten per ytenhet, $I = P/A$ och enheten är W/m^2 (Peters et al., 2013, s. 4). Generellt vid helsfärisk utbredning, då ljudet breder ut sig från en centrumpunkt, så minskar ljudintensiteten med avståndet från ljudkällan i enlighet med inversa kvadratlagen. Detta innebär att den minskar omvänt proportionellt mot kvadraten på avståndet till källan. Exempelvis så minskar intensiteten till en fjärdedel om avståndet från ljudkällan fördubblas.

2.3.6. Decibelskalan

Decibelskalan är en logaritmisk skala för att mäta energi. När det gäller akustik så används den för att mäta ljudeffekt, ljudtryck och ljudintensitet. Skalan gör det lättare att hantera de stora området av hörbart ljud. Enheten decibel definieras allmänt som:

$$10 \cdot \lg\left(\frac{X}{X^0}\right)$$

Där x är den mätta storheten och x^0 är ett referensvärde uttryckt i samma enhet. Som referensvärde används förutbestämda standarder som baseras på lägsta ljudeffekt, ljudtryck eller ljusintensitet som människan kan uppfatta.

2.3.7. Ljudeffekt- och ljudintensitetsnivå

Ljudeffekt- och ljudintensitetsnivå anges ofta i en logaritmisk skala. Som referensvärde använder man som standard värdet på den lägsta ljudeffekt och ljudintensiteten som människan kan uppfatta.

Ljudeffektnivå respektive Ljudintensitetsnivå kan beskrivas med uttrycken (1) och (2) enligt (Peters et al., 2013, s. 11) som:

$$(1) L_W = 10 \cdot \lg\left(\frac{W}{W^0}\right), \text{ där } W \text{ är värdet man mäter upp och } W^0 \text{ är referensvärdet, alltså } 10^{-12} \text{ W}$$

$$(2) L_I = 10 \cdot \lg\left(\frac{I}{I^0}\right), \text{ där } I \text{ är värdet man mäter upp och } I^0 \text{ är referensvärdet, alltså } 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Människans upplevelse av ljud följer en logaritmisk skala, vilket medför att decibel är ett representativt verktyg för att mäta ljudnivån som den upplevs av det mänskliga örat. Varje tiofaldig ökning på ljudintensitetsnivån, det vill säga en ökning med 10 dB, bedöms för det mänskliga örat som en fördubbling av ljudnivån och varje hundra-faldig ökning, det vill säga 20 dB, uppfattas som att ljudnivån ökas fyrfaldigt. Detta innebär att en ökning från 10 dB till 40 dB uppfattas som att ljudnivån har blivit 8 gånger högre.

2.3.8. Ljudtrycksnivå

Ljudtrycksnivån är ljudtrycket i en logaritmisk skala och anges i decibel. Inom akustik är det oftast detta man menar när man diskuterar decibel (Peters et al., 2013, s. 34-35). Som referensvärde använder man som standard värdet på den lägsta ljudtrycket som människan kan uppfatta, vilket är 20 µPa. För att uttrycka ljudtrycket i decibel behöver det vara proportionellt med effekten. Detta görs genom att kvadrera värdet för ljudtrycket.

Ljudtrycksnivån definieras enligt Peters et al. (2013, s. 11) med uttryck (3):

$$(3) L_p = 10 \log\left(\frac{p}{p^0}\right)^2 = 20 \log\left(\frac{p}{p^0}\right), \text{ där } p \text{ är värdet man mäter upp och } p^0 \text{ är referensvärdet, dvs } 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

En generell regel för ljudtrycksnivå och avstånd är "6 dB regeln", vilken lyder: ljudtrycksnivån sjunker med 6 dB vid en fördubbling av avståndet (Peters et al., 2013, s. 35).

2.3.9. Addition och subtraktion av olika nivåer

Addition och subtraktion av logaritmerade nivåer kan inte adderas och subtraheras direkt. Det kombinerade värdet L_{Total} av flera nivåer $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ kan beräknas matematiskt med uttryck (4) enligt Peters et al. (2013, s. 12-13):

$$(4) L_{Total} = 10 \log \left[10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + \dots + 10^{L_n/10} \right]$$

Subtraktion av nivåer sker på liknande sätt enligt Peters et al. (2013, s. 12-13) genom uttryck (5):

$$(5) L_{A-B} = 10 \log \left[10^{L_A/10} - 10^{L_B/10} \right]$$

En generell regel som berör detta är "3 dB regeln". Regeln uttrycker att en dubbling av ljudenergin ger en ökning på 3 dB. Exempelvis, om man kör två likadana maskiner samtidigt, ger det 3 dB högre ljudtrycksnivå än då enbart den ena maskinen är på. Tio lika starka

ljudkällor ger en ökning på 10 dB och hundra likadana ljudkällor ger en ökning på 20 dB (Arbetsmiljöverket, 2022)

2.3.10. Oktavband

En ljudbild kan delas in i grupperingar av frekvenser med liknande fysiska egenskaper för att underlätta behandling av ljudbilden, så kallade oktavband (Program för Teknisk Standard, 2015). Ett oktavband kan delas in i $\frac{1}{3}$ oktavband, även kallat tersband. Vid byggnadsakustiska samband är frekvensintervallet 50-5000 Hz av störst intresse och dessa frekvenser grupperas som följer i tabell 1.

Tabell 1. Oktav- samt tersbandsintervall 50-5000 Hz

Oktavband	63			125			250			500			1000			2000			4000		
Tersband	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

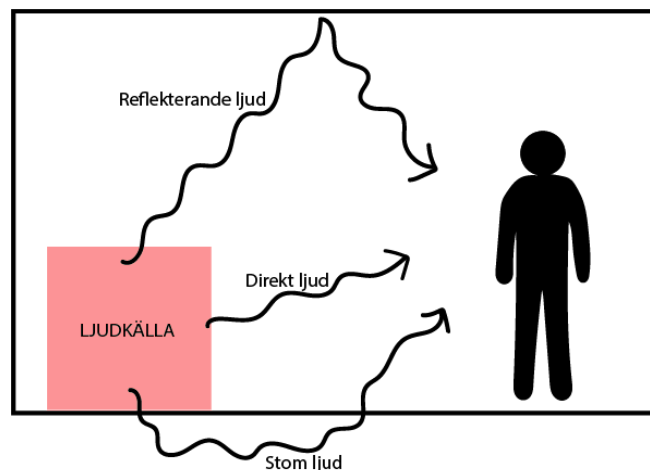
2.3.11. Akustiska fenomen

En akustisk miljö består av tre element; källa, väg och mottagare. När ljud alstras så når det mottagaren på olika sätt eftersom ljudet har olika spridningsvägar, se figur 4.

Direkt ljud: går direkt från ljudkällan till mottagaren som luftburet ljud.

Stomljud: Vibrationer från ljudkällan förs över till annat material som sedan omvandlas till luftburet ljud.

Reflekterande ljud: Luftljud från ljudkällan som reflekteras på ett material innan det når mottagaren.



Figur 4: Illustration av reflekterande ljud, direkt ljud och stomljud (baserat på en illustration av Andersson, J. & Svensk byggtjänst, 1998)

2.3.12. Diffraction

Diffraction berör interaktionen mellan ljudvågen och ett fast objekt. Genom diffraction så ändras ljudvågens riktning då den möter en skarp kant eller en spalt (Peters et al., 2013, s. 19). Diffractionen beror på förhållandet mellan storleken på objektet (D) och våglängden (λ).

Om objektet är större än våglängden reflekteras ljudvågorna på ytan och tillbaka i riktningen de kom ifrån. Om objektet är mycket mindre än våglängden åker vågorna näst intill oberört förbi objektet. Om ljudvägen passerar en öppning eller kant, sprider sig ljudet även runt hörnet. Hur mycket beror på hur stor öppningen är förhållande till våglängden (Peters et al., 2013, s. 20). Detta är av intresse vid innerdonsdesignen då fenomenet kan nyttjas för att rikta om ljudvågorna för att möjliggöra mer effektiv bullerreducering.

2.3.13. Reflektion

Reflektion kan beskrivas som ett specialfall av diffraktion, där ljudvågor möter en yta som är stor i jämförelse med våglängden, som då studsar tillbaka i samma riktning. Karaktären på reflektionen beror på ytans struktur. Om ytan är blank och jämn sker en speglade reflektion. Om ytan är grov och oregelbunden sker en mer diffus reflektion där ljudvågorna går åt spridda håll (Peters et al., 2013, s. 21). Detta fenomen bör tas i beaktning vid ljudmätningar. Var man placerar mikrofonen, hur omgivningen ser ut och vart personen som utför testet står kan påverka resultatet.

2.3.14. Resonans och egenfrekvens

Resonans är ett fenomen i svängande system som innebär att en periodisk extern kraft som matchar föremålets egenfrekvens leder till att föremålets svängningsamplitud ökar kraftigt (Nationalencyklopedin, u.å.c). Egenfrekvensen är den frekvens som ett system har tendens att svänga i när den exciteras från sitt jämviktsläge (Peters et al., 2013, appendix). Ett system kan ha flera egenfrekvenser, så kallade moder. Det är viktigt att innerdonets egenfrekvens hamnar utanför de frekvenser som värmepumpen avger, annars kan dessa förstärkas.

2.4. Ljuddämpning och bullerkontroll

Om en ljudkälla anses vara av en oönskad karaktär, benämns detta som buller. Det finns tre angreppssätt för att bemöta buller; utföra förändringar på ljudkällan i sig, påverka ljudet under överföring eller utföra förändringar hos mottagaren. Detta kan utföras på olika sätt, varav det enklaste är att öka avståndet till ljudkällan. Då denna metod inte alltid går att tillämpa, kan påverkan istället ske genom att förändra miljön eller ljudvägen så att ljudet dämpas eller blockerats (Adams, 2016). Metoder för detta utgörs av absorption, isolation eller dämpning.

2.4.1. Absorption

Ljudabsorption är en metod för att kontrollera direktljud, vilket är luftburet. Absorption är en process där akustisk energi från ljudvägen omvandlas till värmeenergi genom friktion. Energi i en ljudvåg är förhållandevis svag, vilket medför att värmen som bildas oftast är försumbar. Det finns tre typer av ljudabsorbenter; porösa, membranabsorbenter och helmholtzabsorbenter.

2.4.1.1. Absorptionskoefficient

Ett materials förmåga att absorbera ljud representeras av dess absorptionskoefficient α , vilket är procenten av ljud som absorberas på en skala 0.0-1.0, där 1.0 innebär att materialet fullkomligt absorberar ljudet. Absorptionskoefficienten varierar beroende på vilket oktavband

som avses. Det är inte representativt att ta ett genomsnitt över alla oktavband, då olika frekvenser dämpas olika bra av materialet. Däremot kan ett genomsnitt tas av frekvenserna 250, 500, 1000, 2000 Hz, då dessa frekvenser motsvarar frekvensen hos en röst. Detta genomsnitt benämns som NRC (Noise Reduction Coefficient). Då NRC inte visar hur ett material absorberar låga frekvenser är det ett dålig indikation på hur väl ett material dämpar dessa frekvenser.

2.4.1.2. Ljudabsorberande material

Porösa material så som skum, fiberglas och tjocka textilier är i nuläget de mest vanliga ljudabsorptionsmaterialen. Dessa material absorberar ljud genom att de inre porerna i materialet skapar en tröghet vilken omvandlar ljudenergi till värmeenergi. En förutsättning för att detta ska ske är att porerna sitter ihop sinsemellan samt att porerna är öppna gentemot den omgivande miljön. Det finns tre typer av porösa material: cellulära, fibrösa och granulära. Cellulära material kan till exempel vara skum av olika slag, fibrösa material kan till exempel vara fiberglas och granulära material kan till exempel vara en porös betong.

Ett tjockare absorberande material ger ökad absorption vid låga frekvenser. För viss minskning av ljudet så rekommenderas en tjocklek motsvarande 1/10 av våglängdens längd och för avsevärd reducering rekommenderas 1/4 av dess längd (Adams, 2016). Porösa material är därmed sällan effektiva när det kommer till att absorbera väldigt låga frekvenser då det vid 90 Hz krävs 1 meter material för att uppnå en betydande minskning av frekvensen, då våglängden är cirka 4 meter.

2.4.1.3. Helmholtzabsorbent

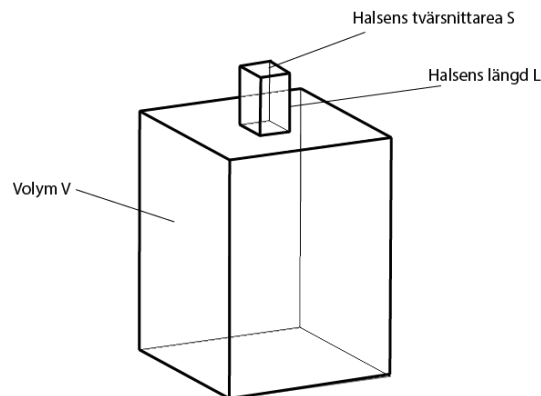
Helmholtzabsorbent är en absorbent av typen resonansabsorbent. Dessa absorberar inte ljud på samma sätt som porösa material utan absorberar istället ljud genom nyttjande av resonans. Resonansabsorbenter absorberar ett relativt snävt frekvensintervall.

Helmholtzabsorbenter utnyttjar egensvängningar hos avgränsande luftmassor (Peters et al., 2013). Den utgörs av en behållare med en smal hals, se figur 5. Då ljudvågorna möter halsens öppning så börjar luften inuti behållaren att röra sig upp och ner, vilket komprimerar och expanderar luften inuti behållaren. När luften rör sig så absorberas akustisk energi som sedan omvandlas till värme. Detta system kan jämföras med ett massa-fjäder system, där en massa upphängd i en fjäder utsätts för svängningar och som hela tiden strävar efter att få massan i ett jämviktsläge.

Helmholtzabsorbenter dämpar olika frekvensintervall beroende på dess utformning, där de minskar de frekvenser som sammanfaller med enhetens egenfrekvens. Därmed kan resonansljuddämpare designas på ett sådant sätt att de minskar en bestämd frekvens eller frekvensintervall. Dimensionerna för att minska en viss frekvens kan enligt Adams (2016) beräknas med hjälp av uttryck (6):

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}}$$

Där c är ljudets hastighet (343 m/s), S är halsens tvärsnittsarea (m^2), L är halsens längd (m) och V är behållarens volym (m^3), (Se figur 5).



Figur 5. Helmholtzabsorbent där frekvensintervall som reduceras beror på dimensioner som väljs.

För att ytterligare dämpa ljudet kan ett absorberande material placeras mot behållarens bottenyta såväl som i anslutning till dess hals. Denna addition kan även medföra att ett bredare frekvensintervall reduceras.

2.4.2. Ljudisolering

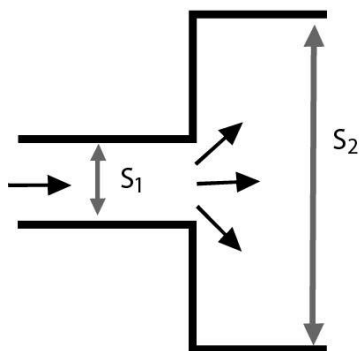
Ljudisolering är en metod för att kontrollera att det direkta, luftburna ljudet så det inte överförs mellan olika utrymmen. Ljudisolering är en materialegenskap som definierar hur mycket akustisk energi som överförs genom materialet, exempelvis genom en vägg eller andra strukturer (Peters et al., 2013, s.244). Eftersom det krävs öppna kanaler i innerdonet där luft passerar, är det problematiskt att isolera ljudet helt, men isolerande material kan användas där det finns möjlighet.

2.4.2.1. Vibrationsisolering och vibrationsdämpning

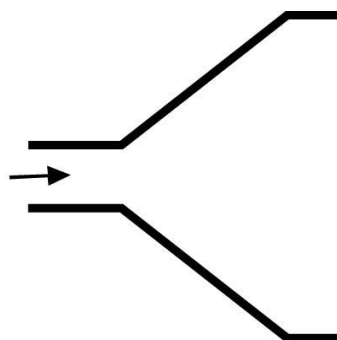
Vibrationer är det som orsakar stomljud, så genom att göra åtgärden mot vibrationer kan man också minska risken att få problem med stomljud. Vibrationsisolering är ett alternativ, vilket bygger på att man använder fjädrande material för att minska överföringen av vibrationer (Peters et al., 2013, s.244). Vibrationsdämpning är ett annat alternativ, vilket liknar ljudabsorption, men där vibrationer omvandlas till värmeenergi genom friktionsprocesser (Peters et al., 2013, s.244). Det är viktigt att ta i beaktning att värmepumpen är monterad i väggen, då det finns risk för stomljud i väggarna.

2.4.3. Reaktiv ljuddämpning

En plötslig ökning i tvärsnittsarean på en kanal kan påverka ljudets rörelse, vilket resulterar i att ljudenergin reflekteras tillbaka till ljudkällan. Hur mycket det påverkas beror på hur stor ökningen är på tvärsnittsarean (se figur 6). En mer konisk övergång fungerar med samma princip (se figur 7), men då inte lika effektivt. Däremot möjliggör den formen ett underlättat luftflöde, vilket är att föredra vid ventilationslösningar (Peters et al., 2013, s.252).



Figur 6: Ökningen av tvärsnittsarean mellan Area S1 och S2 (baserad på en illustration av Peters et al., 2013, s.252)



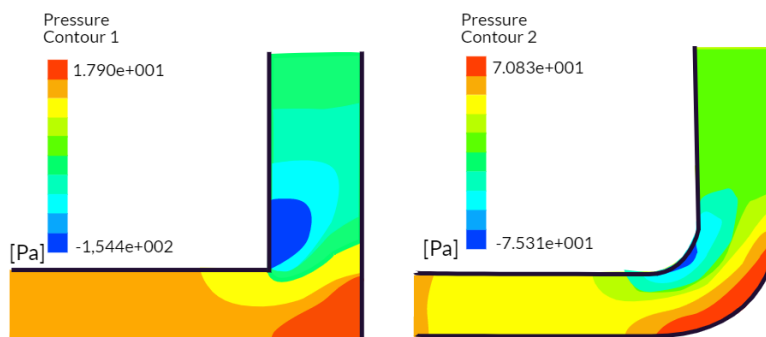
Figur 7: Ett mer konformad övergång av tvärsnittsarea (baserad på en illustration av Peters et al., 2013, s.252).

2.4.4. Ljudbafflar

Ljudbaffel är ett övergripande begrepp för att styra ljudet i en annan riktning och är ett grundläggande verktyg för bullerdämpning. Detta genom att placera paneler eller väggar på olika sätt och på så vis reflekteras ljudet på önskat sätt. Detta används oftast i kombination med ljudabsorberande material för bästa effekt (Peters et al., 2013, s.252).

2.5. Luftflöde

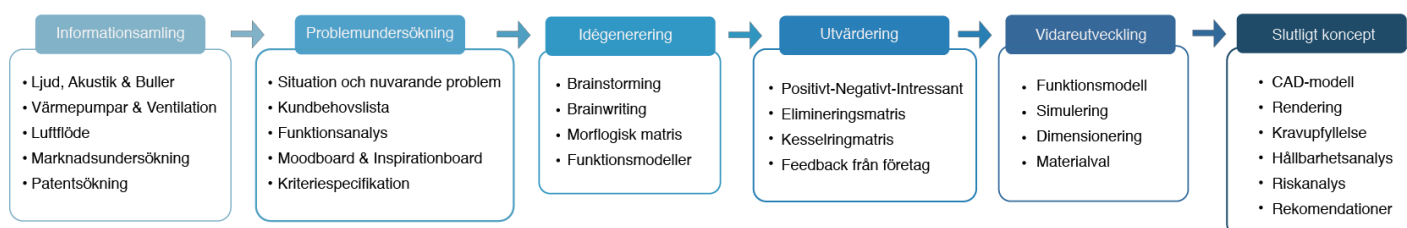
För att säkerställa gott luftflöde har företaget utfört beräkningar vilka visar att fri area inuti ventilationskanalerna hos innerdonet behöver vara 2400 mm², därmed är detta ett krav för innerdonsdesignen. Det är viktigt att innerdonet har ett fullgott luftflöde för att inte fläktarna ska överbelastas. Vid överbelastning kan en ökad mängd buller skapas såväl som att fläktarnas effektivitet och livslängd minskas. Utöver tillräcklig fri area så kan luftflödes underlättas genom att beakta luftkanalernas inre form. Exempelvis så skapas turbulens så väl som ett ökat tryck i hörnövergången i kanaler som böjer sig 90 grader (Chowdhury et. al., 2016). Genom att hörnövergången rundas av så reduceras dessa, se figur 8. Det är därmed viktigt att ha luftkanalens form i åtanke då innerdonet designas för att medge ett effektivt luftflöde.



Figur 8. Tryckfördelning i en skarp (mitred) hörnövergång, jämfört med tryckfördelning i en avrundad (smooth) hörnövergång (baserad på en illustration av Chowdhury et. al., 2016).

3. Metod

Nedan följer ett metodkapitel som beskriver projektets olika faser. Den initiala fasen innefattar insamling av information inom relevanta områden. Därefter följer en problemundersökning där den nuvarande situation och problem undersöks och kartläggs med olika metoder. Sedan påbörjas en fas vilken innefattar en iterering av idégenereringen, utvärdering samt vidareutveckling. Avslutningsvis så mynnar detta ut i ett slutligt koncept. I figur 9 ses en visuell representation av produktutvecklingsprocessen.



Figur 9. Visuell representation av produktutvecklingsprocessen för projektet.

3.1. Informationssamling

I syfte att få en grundläggande kunskap för ljud och dess egenskaper utfördes en litteraturstudie gällande relevanta ämnen. Ämnen som berördes speciellt var akustik, buller och metoder för att kontrollera buller. Den huvudsakliga källan till informationen bygger på litteratur. För att erhålla en bättre förståelse gällande produkten och dess användningssituation utfördes även en litteraturstudie av värmepumpar och ventilation.

En marknadsundersökning genomfördes, dels i syfte att skaffa inspiration gällande tidigare problemlösningar, dels för att kartlägga konkurrerande företag och existerande produkter. Undersökningen kompletterades med en patentundersökning.

3.2. Problemundersökning

I syfte att få en bättre bild av den nuvarande situationen granskades ventilationsenheter, dess olika delar och hur den fungerade i drift. Under problemundersökningsfasen gjordes även en analys av ljudnivån och ljudbilden. Ljudnivån mättes med hjälp av en decibelmätare och ljudbilden mättes med hjälp av ett frekvensanalysverktyg.

Projektet har utförts i nära dialog med företaget. Det utfördes även en enklare intervju med den potentiella kunden och besök i användningsmiljön. Förväntningar och krav från båda intressenterna sammanställdes i en behovslista.

En funktionsanalys skapades för att kartlägga de funktioner som behövdes i innerdonet. Syftet med funktionsträdet var att skapa en hierarki och att förtydliga de olika funktionerna. Detta underlättar vid idégenereringen samt vid definieringen av krav och önskemål, då de individuella funktionerna enklare kan bemötas. I samband med detta gjordes en moodboard i

syfte att visualisera känslan som innerdonet skulle uttrycka och även en inspirationboard med bilder som fokuserade på funktion, färg, detalj och textur.

Problemundersökningen mynnade ut i en kriteriespecifikation där krav listades och önskemål värderades. Önskemålen värderades genom att parvis jämföra och resonera gällande vilket önskemål vars uppfyllelse är viktigare, eller om de är av samma vikt. Varje jämförelse ger en poäng som sedan adderas då alla jämförelser är utförda och ger en slutgiltig viktningskoefficient. Det önskemål som erhåller högst poäng är det som värderas som av högst vikt att uppfylla. Poängskalan delades sedan in i tre segment, från 1 till 3 för att underlätta tolkning av kriteriespecifikationen, där de önskemål som erhåller värdet 3 är av störst vikt att uppfylla. Denna värdering utfördes av projektgruppen, där ta hänsyn togs till samtliga intressenter.

3.3. Idégenereringsmetoder

Idégenereringen delades upp i två faser, en initial fas där olika metoder för brainstorming användes i syfte att skapa en bred lösningsrymd, varefter systematiska metoder användes för att koppla samman alla idéer till helhetslösningar.

3.3.1. Brainwriting, gemensam brainstorming

Idégenereringsfasen påbörjades med en brainwritingsession kring innerdonet och samtliga delfunktioner. Brainwritingen utfördes genom att projektgruppen individuellt dokumenterade idéer under cirka 20 minuter. Detta gjordes för att skapa ett så brett underlag som möjligt baserat på två olika infallsvinklar. Ytterligare en metod som användes i detta skede brainstorming, där de båda gruppmedlemmarna tillsammans genererade idéer under en begränsad tid.

3.3.2. Morfologisk matris

För att med en systematisk metod komma fram till helhetslösningar gjordes en morfologisk matris. Delloösningar genererades kring varje delfunktion och kombinerades för att skapa helhetslösningar. Helhetslösningarna kategoriserades och sammanställdes sedan i en konceptkatalog. Denna katalog redigerades successivt under arbetets gång vartefter de olika lösningarna vidareutvecklades.

2.3.3. Funktionsmodeller

Det kan vara svårt att med enbart teori och beräkningar förutse hur väl ett koncept kommer prestera akustiskt så väl som ur luftflödessynpunkt, där ett möjligt angreppssätt är att bygga så kallade funktionsmodeller för att praktiskt kunna utvärdera dessa funktioner.

Funktionsmodeller är prototyper vilka används i syfte att utvärdera utvalda funktioner och används som ett redskap under designarbetet vilka möjliggör för att snabbt och med låg kostnad utvärdera dessa funktioner (Österlin, 2016, s. 93). I detta fallet skapades de i syfte att undersöka funktionerna bullerreducering, luftflöde och montering.

Eftersom det även var en viktig funktion att innerdonet skulle vara estetiskt tilltalande och passa in i dess användningsmiljö, så användes funktionsmodellerna även till viss del som så kallade skissmodeller. En skissmodell är en grov, fysisk modell vilken ger en uppfattning om konceptets dimensioner och form (Österlin, 2016, s. 94).

3.4. Analys och utvärdering av konceptalternativ

I följande kapitel beskrivs olika utvärderingsmetoder vilka används i syfte att undersöka, eliminera samt värdera dellösningar såväl som helhetskoncept.

3.4.1. Positivt - Negativt - Intressant

PNI-metoden (Positivt - Negativt - Intressant) innebär att de positiva och negativa aspekterna av varje idé observeras och noteras. Om någon egenskap inte faller inom ramen av endera positivt eller negativt antecknas det som intressant. Metoden användes vid olika tillfällen i projektets gång, bland annat vid första utvärderingen av lösningar. Syftet med metoden är att övergripigt se utmärkande egenskaper hos lösningarna, samt att urskilja huruvida positiva och intressanta aspekter överväger de negativa. Detta gör att man tidigt kan jämföra olika lösningar med varandra.

3.4.2. Elimineringmatris

Syftet med en elimineringsmatris är att sälla bort konceptalternativ som inte uppfyller vissa kriterier. De kriterier som beaktas var följande:

- Uppfyller konceptalternativet huvudfunktionen?
- Uppfyller konceptalternativet alla krav?
- Är konceptalternativet realiserbart (i alla praktiska avseenden)?
- Passar den företaget och kunden?
- Finns det tillräckligt med information för genomförande?

Om svaret är nej på någon av frågorna så kan helhetslösningen elimineras och därmed exkluderas för vidareutveckling.

3.4.3. Kesselringmatris

Kesselringmatrisens syfte är att ge en bild av hur konceptalternativen presterar i förhållande till varandra. I Kesselringmatrisen används de viktningskoefficienter som tagits fram i den parvisa jämförelsen som utfördes för kriteriespecifikationen. Vidare så behövs även betygskriterier för att värdera hur väl konceptet uppfyller önskemålen. Vissa av dessa betygskrav är intuitiva medan andra är mätbara. Exempelvis så är betygskraven för bullerreducering mätbara, medan de för hur väl konceptet passar in i användningsmiljön intuitiva.

Konceptalternativen analyseras och bedöms utifrån hur bra de uppfyller varje krav, här används betygskraven för lättare bedömning. Betyget multipliceras sedan med viktningskoefficienten för respektive krav, de krav som är viktigare har ett högre värde. När alla koncept bedömts kan man se hur koncepten presenterar utifrån kriteriespecifikationen och de koncept som presterar sämre kan elimineras. Kesselringmatrisen ämnar dock inte att ge en direkt hänvisning till ett vinnande koncept utan agerar som en riktlinje för att visa på starka koncept. Metoden ger också en indikation på svaga punkter som konceptet har. Resultatet av matrisen ligger till grund för sällning av koncepten, efter vilken ett eller två koncept återstår.

3.4.4. Feedback från företag

De återstående koncepten presenterades för företaget som uttryckte sina åsikter gällande alternativen. Med stöd av företagets feedback så togs ett beslut gällande vilket koncept som skulle vidareutvecklas.

3.4.5. Simulering

Det gjordes en modalanalys med finita elementmetoden (FE), detta gjordes i programmet ANSYS Workbench 2021 R1, med hjälp av en modell av innerdonet som konstruerats i modelleringsprogrammet Catia V5. I modalanalysen analyserades innerdonets egenmoder (dess svängningsformer) och vid vilka egenfrekvenser dessa ligger. Man vill undvika att dessa egenfrekvenser för innerdonet sammanfaller med andra svängningar i systemet, i detta fall motorns och fläktarnas varvtal. För att påverka detta kan man förstyyva konstruktionen eller lägga till någon typ av dämpare.

Under simuleringen utfördes även en enklare parameterstudie, där olika inre former på donet samt olika vägg tjocklekar testades för att se hur egenfrekvensen påverkades. Parameterstudien utfördes i ett sent skede av produktutvecklingsprocessen eftersom enkla åtgärder kunde implementeras utan någon större påverkan på innerdonets fysiska uttryck.

3.4.6. Riskanalys med failure modes and effects analysis (FMEA)

Metodens syfte är att undersöka möjliga fel som kan uppstå hos en produkt, i en process eller i ett system, och utförs genom att kritiskt lista och bemöta sannolikheten av att dessa fel uppstår och dess orsak. Varje möjligt fel utvärderas enligt tre faktorer: allvarlighetsgrad vid fel, sannolikhetsgrad att fel uppstår samt sannolikhet att felet förblir obemärkt. Dessa faktorer värderas vardera i skalan ett till tio och multipliceras sedan för att få ett riskprioritetsnummer (Risk Priority Number, RPN). RPN kan därmed variera mellan 1-1000, där 1000 innebär ett kritiskt fel med allvarliga konsekvenser, som är svårt att upptäcka (Snee & Rodebaugh, 2008).

I projektet så används metoden i syfte att utvärdera det slutgiltiga konceptet. Då produkten är ny så finns det ingen existerande data angående tidigare fel, vilket innebär att projektgruppen behöver göra vissa antaganden gällande sannolikheten att ett fel uppstår och dess allvarlighetsgrad.

3.4.7. Hållbar produktutveckling och hållbarhetsanalys

FN har tagit fram en agenda för hållbar utveckling, här finns globala mål som har som ambition att nås till 2030. Gällande produktutveckling så berörs alla mål i ett systemperspektiv, men det finns det några mål som berörs direkt inom avgränsningarna för detta projekt och som behöver tas hänsyn till. Det är delmål inom hållbarhetsmål 12; hållbar konsumtion och produktion (United Nations Development Programme, 2021). Specifikt mål 12.2 som lyder; "Senast uppnå en hållbar förvaltning och ett effektivt nyttjande av naturresurser". Även mål 12.5 som lyder; "Till 2030 väsentligt minska mängden avfall genom åtgärder för att förebygga, minska, återanvända och återvinna avfall".

För att nå målet om hållbar värld är det viktigt att dagens lösningar går i linje hållbar utveckling. Organisationen TNS (The Natural Step) har tagit fram en hållbarhetsmetodik för

organisationer, denna metodik är baserat på FSSD, "Framework for strategic sustainable development", vilket är ett vetenskapligt framtaget ramverk för strategisk hållbar utveckling (Broman, G.I., Robert, K.-H., 2017)

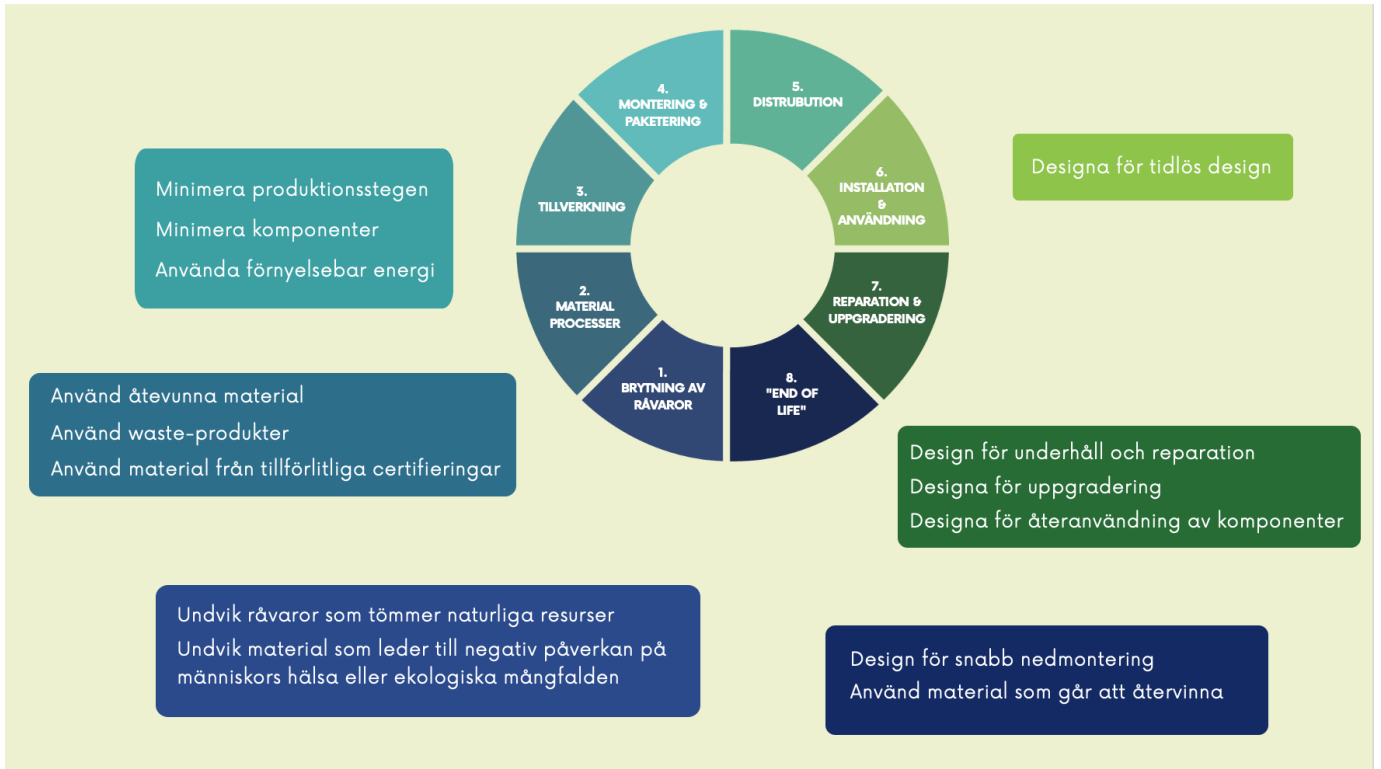
Enligt TNS (The Natural Step) börjar övergången till ett hållbart samhälle genom att öka medvetenheten, engagemanget och kompetensen hos individer. Det genom att först få förståelse om vad hållbarhet innebär och sedan integrera hållbarhetsprinciper i beslutsfattande och handlingar. Detta genom att först sätta upp långsiktiga mål utifrån givna hållbarhetsprinciper och sedan steg för steg kunna arbeta mot målet (The Natural Step International, u.å). TNS (The Natural Step) hållbarhetsprinciper lyder;

In a sustainable society, nature is not subject to systematically increasing...

- 1. ... concentrations of substances from the earth's crust (such as fossil CO₂, heavy metals and minerals)*
- 2. ... concentrations of substances produced by society (such as antibiotics and endocrine disruptors)*
- 3. ... degradation by physical means (such as deforestation and draining of groundwater tables).*
- 4. And in that society there are no structural obstacles to people's health, influence, competence, impartiality and meaning. (The Natural Step International, u.å)*

I detta arbete har dessa hållbarhetsprinciper använts som principer att sträva efter, och ett sätt att närma sig dessa är att använda sig av "eco design", där man använder sig av designmetoder som är avsedda att minska den ekologiska påverkan av en produkt. En grupp professorer inom industridesign som benämner sig som Okala har tagit fram ett designhjul med ecodesign strategier för varje fas i livscykeln (White, P., St. Pierre, L., & Belletire S., 2013). Med hela livscykeln menas från utvinning av material tills slutet av produktens livslängd. Hjulet är ett passande verktyg att använda tidigt i idégenereringsfasen och för att hitta hållbara förbättringar under utvecklingens gång.

Under projektets gång har i första hand de första stadierna behandlas som berör materialutvinning, hur materialen processas och tillverkning av komponenter. Även funderingar gällande senare stadier har berörts, såsom reparation och nedmontering. De strategier som använts i detta projekt kan ses i figur 10, men det finns flera att tillgå.



Figur 10: En illustration med enklare förklaring av livscykeln och även de strategier som använts i detta projekt. Figuren är baserad på Okalas strategi-hjul för eco design (White, P., St. Pierre, L., & Belletire S., 2014).

För att få en förståelse för material och jämföra dess tekniska, ekonomiska och miljömässiga egenskaper har Granta edupack används, närmare bestämt verktuget EcoAudit.

För att få en indikation, har en enklare hållbarhetsanalys utförts, detta med stöd från en ecodesign checklist (Brezet, 1997). Denna checklista består av kontrollfrågor angående en produkts påverkan på miljön och även rekommenderade eco designstrategier. Frågorna har delats in fem livscykelfaser, vilka är; tillverkning och leverans av material och komponenter, egen produktion, distribution, användning samt återvinning och bortskaffande. Relevanta frågor valdes ut från första och sista fasen (se figur 11 och 12).

Life cycle stage 1: Production and supply of materials and components	
<p>What problems arise in the production and supply of materials and components?</p> <ul style="list-style-type: none"> • How much, and what types of plastic and rubber are used? • How much, and what types of additives are used? • How much, and what types of metals are used? • How much, and what other types of materials (glass, ceramics etc.) are used? • How much, and which type of surface treatment is used? • What is the environmental profile of the components? • How much energy is required to transport the components and materials? 	<p>EcoDesign Strategy 1: Selection of low-impact materials</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clean materials • Renewable materials • Low energy content materials • Recycled materials • Recyclable materials <p>EcoDesign Strategy 2: Reduction in material usage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduction in weight • Reduction in (transport) volume

Figur 11: Till vänster är kontrollfrågor inom "Tillverkning och leverans av material och komponenter" listade. Till höger listas lämpliga ecodesign strategier (baserad på en illustration av Brezet, 1997).

Life cycle stage 5: Recovery and disposal	
<p>What problems arise in the recovery and disposal of the product?</p> <ul style="list-style-type: none"> ● How is the product currently disposed of? ● Are components or materials being reused? ● What components could be reused? ● Can the components be reassembled without damage? ● What materials are recyclable? ● Are the materials identifiable? ● Can they be detached quickly? ● Are any incompatible inks, surface treatments or stickers used? ● Are any hazardous components easily detachable? ● Do problems occur while incinerating non-reusable product parts? 	<p>EcoDesign Strategy 7: Optimisation of the end-of-life system</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Reuse of product (components) ● Remanufacturing/refurbishing ● Recycling of materials ● Safe incineration

Figur 12: Till vänster är kontrollfrågor inom "Återvinning och bortskaffande" listade. Till höger listas lämpliga ecodesign strategier (baserad på en illustration av Brezet, 1997).

4. Undersökning av problem

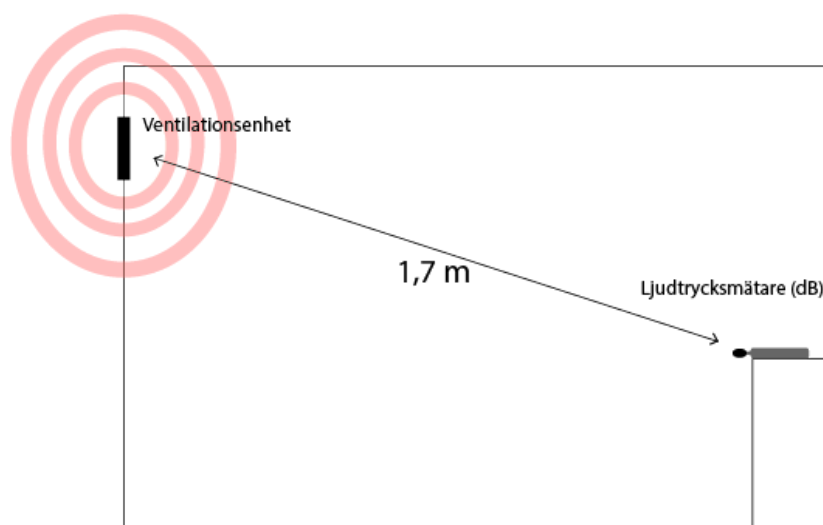
Nedan följer ett kapitel där genomförande och resultat av problemundersökningen presenteras. I problemundersökningen inkluderas en analys av frekvens samt ljudnivå, behovslista för intressenter, funktionsanalys, mood- och inspirationboard vilka mynnar ut i en kriteriespecifikation.

4.1. Marknadsundersökning

Vid marknadsundersökningen framgick det att det fanns liknande ventilationsenheter på marknaden idag och dessa innerdon var av speciellt intresse. Det fanns även olika varianter av ljuddämpande luftdon.

4.2. Ljudnivå- och frekvensanalys

Ventilationsenheten finns i dagsläget monterad i ett rum hos företaget. I denna testmiljö uppmättes ljudnivån och en ljudbild togs av frekvensspektrumet. Vidare så har även fläktarna undersökts i syfte att fastställa dess frekvensoutput. Initialt mättes ljudtrycksnivån och ljudbilden då ventilationsenheten var avstängd för att sedan mätas då den var i drift. Ljudtrycksnivån mättes med en ljudtrycksmätare, placerad 1,7 meter ifrån värmepumpen, se figur 13. Kravet "reducera buller till 28 dB" har mätavståndet 3 meter då det är det avstånd som företaget och kunden har bestämt i kriteriespecifikationen för den kompletta produkten. Testmiljö utgjordes utav ett mindre, omöblerat rum, där väggarna delvis bestod av kakel och delvis var övertäckta med ljudabsorberande material. Takhöjden bedömdes vara cirka 2,2 m och golvytan cirka 5 m². Eftersom utrymmet i testmiljön var begränsat mättes ljudet vid 1,7 meters avstånd istället för vid 3 meter. Då ljudtryck minskar med avstånd medför detta att den uppmätta ljudnivån sannolikt var högre än om det varit möjligt att mäta vid ett korrekt avstånd.



Figur 13. Visuell representation av testmiljön.

Genom att använda uttryck (5), som beskriver subtraktion för nivåer, så möjliggjordes fastställning av ljudnivån för endast värmepumpen. Värmepumpens ljudnivå uppmättes till cirka 36,5 dB. Ett exempel på en sådan beräkning kan ses i tabell 2. Då grundljudet i testmiljön inte var statistiskt mellan testtillfällena uppmättes nya startvärden för varje tillfälle, detta är relevant för att kunna jämföra funktionstester från olika tillfällen.

Tabell 2. Typisk beräkning av ljudnivån för värmepumpen där grundljudet har subtraherats genom beräkning med uttryck (5).

(5): $L_{B-A} = 10 \log [10^{37,4/10} - 10^{30/10}] = 36,5 \text{ dB}$	
L_A = Grundljud (värmepump av)	30 dB
L_B = Grundljud och ventilationsenhet(värmepump på)	37,4 dB
L_{B-A} = Ljud enbart värmepump	36,5 dB

Det huvudsakliga bullret kommer från ventilationsenhetens fläkt och fläktmotor. Den frekvens som fläktarna och motorn ger upphov till beror dels av motorns varvtal men även av antalet blad i fläkten, samt magneter i motorn (Kairouz & Price, 2017). Frekvensen som uppstår kallas för *Blade Passing Frequency* och kan beräknas med hjälp av uttryck (8) enligt Lobanoff & Ross (1992):

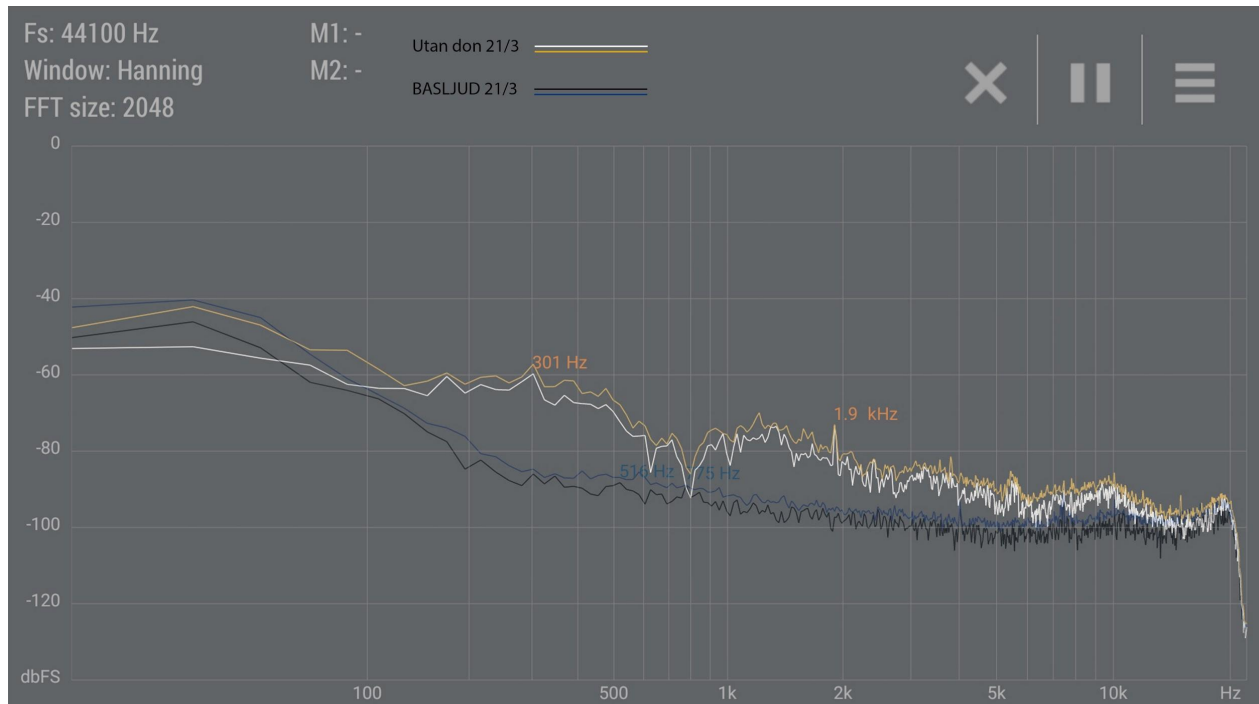
$$\text{Blade Passing Frequency (Hz)} = N * \text{vane number} / 60$$

Där N är varvtalet och vane number är antalet fläktblad. Motorns varvtal kan varieras mellan 1000 till 6000 varv per minut, motorn har fyra magneter och det är fem blad i fläkten. Detta resulterar i att fläktens frekvens kan variera mellan 83-500 Hz och motorns frekvens kan variera mellan 67-400 Hz. Den fläkt som används är av märket ebm-papst, med modellnummer 3212 J/2N, och kan ses i figur 14.



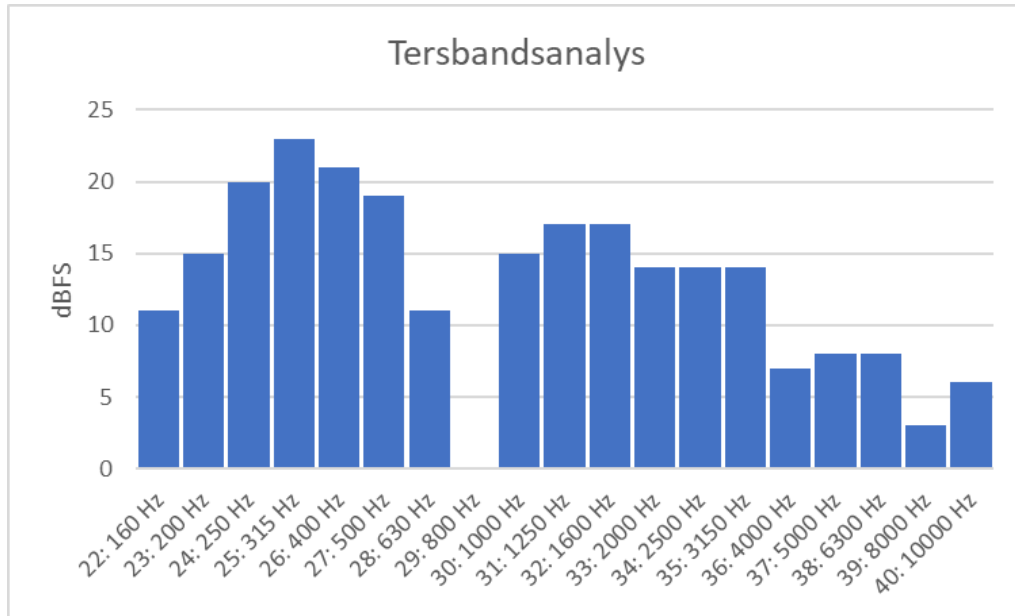
Figur 14. Produktens fläkt, ebm-papst 3212 J/2N.

Frekvensanalysen utfördes med hjälp av mobilapplikationen Advanced Spectrum Analyzer PRO (Czaplejewicz, 2017). Punkten för mätning var cirka 10 cm från värmepumpens öppning. Värmepumpens ljudbild jämfördes med rummets basljudbild, se figur 15. I frekvensanalysen så används enheten dbFS som amplitudskala. DBFS står för "Decibels Full Scale", det vill säga decibel i förhållande till full skala. DBFS beskriver förhållandet mellan ljudnivån och maxnivån, där 0 på skalan är den maximala ljudnivån som enheten kan uppfatta. Decibel i förhållande till full skala är till följd av detta relativ och kan inte omvandlas till decibel. Syftet med frekvensanalysen är därmed inte att visa på ljudnivån i decibel, utan för att jämföra olika ljudbilder.



Figur 15. Frekvensanalys av grundljud (blå linjer) och ventilationsenhet(gula linjer) med hjälp av applikationen Advanced Spectrometer PRO.

För att underlätta utvärderingen av ljudbilden så utfördes en tersbandsanalys, vilket innebär att frekvenserna delades in i tredjedels oktavband och amplituden på frekvenserna inom varje spann noterades, se figur 16. Analysen visade att det 25:e tersbandet (315 Hz) och de två intilliggande tersbanden utgör de band med störst amplitud. Problemområden existerar även vid tersband 30 till och med 40, där 37-40 är av lägre amplitud. Vid undersökning av ljudbilden kan frekvenserna delas in i två kategorier; lågfrekventa ljud (tersband 22-28) samt högfrekventa ljud (tersband 30-40). Denna kategorisering underlättade under idégenereringen då det krävs olika angreppssätt för att reducera olika frekvensintervall. Det lågfrekventa problemområdet överensstämmer med de frekvenser som fläkten skapar, medan det höga frekvensområdet antogs vara ett resultat av luftblåsning.



Figur 16. Tersbandsanalys av frekvensanalysen.

För att ett material ska absorbera en viss frekvens till viss del så krävs generellt en materialtjocklek av 1/10 frekvensvåglängd, medan det generellt krävs en tjocklek av ¼ våglängd för betydande absorption (Adams, 2016). För att beräkna våglängden hos en frekvens enligt Adams (2016) så används uttryck (7):

$$\text{Våglängd } (\lambda) = \frac{\text{Ljudets hastighet } (c)}{\text{Frekvens } (Hz)}$$

Genom att använda ekvationen ovan med det lägsta tersbanden i varje kategori fås en indikation på hur tjockt ljudabsorberande material som krävs för att absorbera de låga respektive höga frekvenserna, se tabell 3. Slutsatsen av detta är att det är svårt att avsevärt reducera det låga frekvensintervallet med ljudabsorberande material och samtidigt bibehålla en liten dimension på innerdonet. Det höga frekvensintervallet kan reduceras avsevärt vid användande av cirka 8 cm absorberande material.

Tabell 3. Våglängd i relation till tjocklek hos absorberande material.

Tersband	Våglängd	Materialtjocklek 1, Viss dels absorption	Materialtjocklek 2, Avsevärd absorption
22	$\frac{343 \text{ m/s}}{160 \text{ Hz}} = 2,14375 \text{ m}$	$\frac{2,144}{10} = 0,214 \text{ m}$	$\frac{2,144}{4} = 0,536 \text{ m}$
30	$\frac{343 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} = 0,343 \text{ m}$	$\frac{0,343}{10} = 0,0343 \text{ m}$	$\frac{0,343}{4} = 0,0857 \text{ m}$

4.2.1. Slutsats av ljudnivå och frekvensanalys

I samband med att värmepumpens ljudnivå samt ljudbild faställdes, så tydliggjordes grundförutsättningarna för projektet. Genom att undersöka orsaken till bullret samt de kritiska frekvensintervallen så kunde idégenereringen gällande bullerreducering riktas mot att reducera de specifika frekvenserna. Detta skedde bland annat genom att undersöka

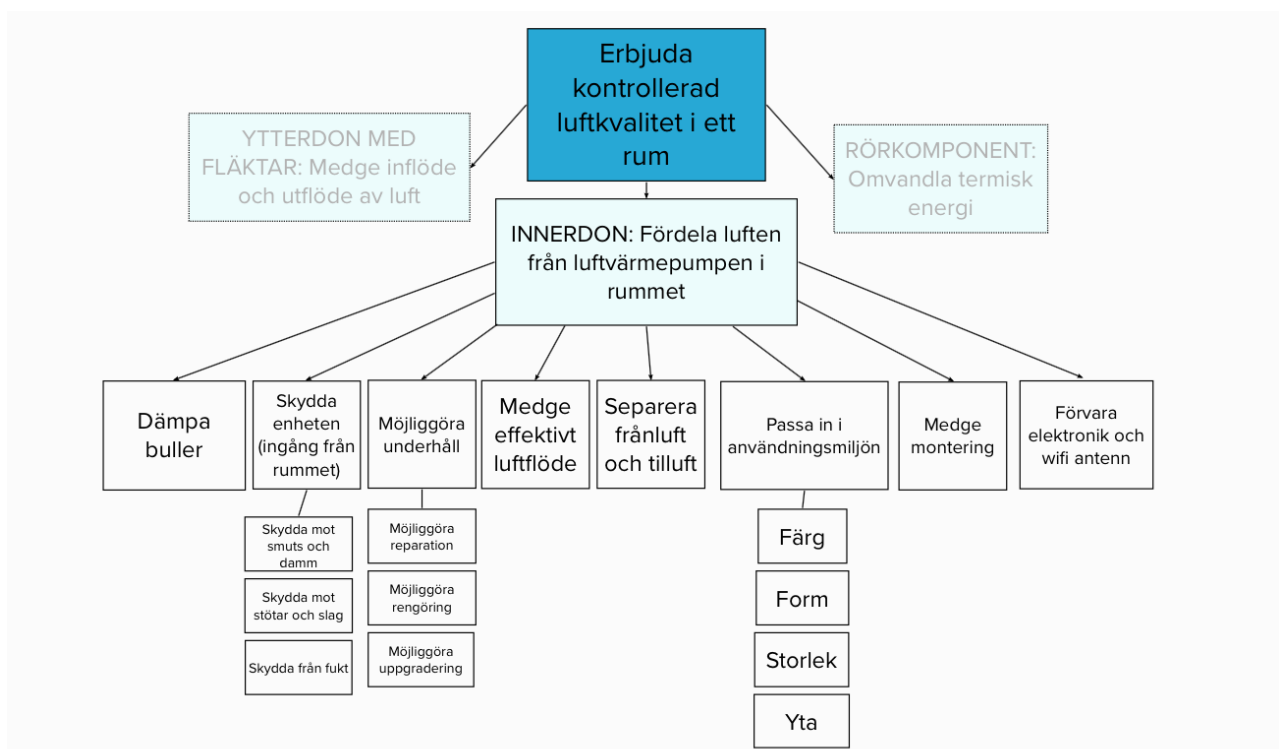
behövd tjocklek hos absorberande material. En annan slutsats är att innerdonets egenfrekvens bör överstiga fläktarnas maximala frekvensoutput, det vill säga 500 Hz. En optimal egenfrekvens för innerdonet är mellan 700-900 Hz, vilket kan ses i tersbandsanalysen.

4.3. Intressenters behovslista

Projektets intressenter är företaget, Tre Ess Innovation AB, samt den tilltänkta kunden som består utav en hotellkedja. Genom intervju med båda intressenterna så kunde förväntningar och behov kartläggas och sedan sammanställas i en behovslista. De aspekter som var viktiga för företaget var; tekniska krav, tillverkningsmöjlighet samt tillverkningskostnad så väl som att innerdonet var estetiskt tilltalande. De tekniska kraven inkluderade bland annat att innerdonet skulle medge en bullerreducering till 28 dB eller mindre. Kunden värderade de estetiska aspekterna högst, vilket bland annat innefattade att innerdonet inte skulle störa den nuvarande inredningen. Behovslistan kan ses i sin helhet i bilaga 1. Behovslistan tydliggjorde de huvudsakliga förväntningarna på innerdonet, vilka låg till grund för krav och önskemål som sedan fastställdes i kriteriespecifikationen.

4.4. Funktionsanalys / funktionsstruktur innerdon

En funktionsanalys gjordes och beskrivs i form av ett funktionsträd. Vid skapandet av funktionsträdet fastställdes de olika delfunktionerna, vilket underlättade idégenereringen. Delfunktionerna kan ses i figur 17. Två motstående delfunktioner var "dämpa buller" samt "passa in i användningsmiljön". Avkall kan behöva göras på någon av dessa funktioner eftersom det i många fall krävs utrymme inuti donet för att dämpa bullret, medan ett litet och diskret innerdon passar bättre in i användningsmiljön än ett stort don.



Figur 17. Funktionsträd för ventilationsenheten med fokus på innerdonets funktion.

4.5. Mood- och inspirationboard

Mood- och inspirationboards är bildkollage där attribut och teman samlas som motsvarar en stämning och bidrar med inspiration som visar det uttryck som eftersträvas hos den slutgiltiga produkten (Österlin, 2016). Moodboarden fokuserar på känslan som produkten ämnar att uttrycka. Inspirationsboarden var mer fokuserad på det praktiska, så som funktion, färger, detaljer och texturer. I projektet användes dessa i syfte att erbjuda en inspirationskälla såväl som att ge projektgruppen en gemensam bild av den känsla som produkten ämnade uttrycka. Moodboarden skapades med hotellrummet i åtanke efter att projektgruppen tagit in miljön på plats. Eftersom innerdonet placeras i en miljö som redan har en bestämd interiördesign är det av vikt att den följer hotellrummets känsla. Hotellet som helhet har ett modernt, italienskt uttryck.

Inspirationboarden präglades av färgval så som ljus creme, bränd umbra, koppar samt mörkt trä. Dessa hade sitt ursprung i de färger som återfanns i användningsmiljön. Ytterligare inkluderades inspiration av olika former, där vissa gav en svävande känsla, medan andra innehöll material i olika lager vilka skapade djup och en exklusiv känsla.

4.6. Kriteriespecifikation

I kriteriespecifikationen inkluderades företagets krav och önskemål, utöver dessa adderades lagkrav och byggstandarder. Syftet med kriteriespecifikationen var att ge en mätbar uppdragsbeskrivning som vid projektets slut används för att säkerställa att produkten uppfyller kraven. Kraven i kriteriespecifikationen är hårda krav vilka kräver uppfyllelse, medan önskemålen är värderade enligt vikt av uppfyllelse i skalan 1-3, där 3 motsvarar högst vikt.

Kraven har kategoriserats beroende på ämne, närmare bestämt under kategorierna prestanda, omgivande miljö, livslängd, säkerhet, material samt underhåll. I kategorin prestanda ingår funktionerna att minska buller från 36,6 dB till 28 dB, samt att tillåta tillräckligt luftflöde. Inom området omgivande miljö ingår krav som säkerställer att innerdonet tål temperaturen i användningsmiljön samt tål rengöring och fukt. Innerdonet ska ha en livslängd om 5 år samt ska ej utsöndra miljöfarliga ämnen vid användning. Kriteriespecifikationen kan ses i sin helhet i tabell 4 .

Tabell 4. Kriteriespecifikation för innerdonet.

Kriterier	Kommentar	Målvärde	K/Ö	Viktning för önskemål	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
Funktioner						
Fördela luften från ventilationsenheten i rummet			K			
1. Prestanda						

1.1 Tillåta luftflöde: Tvärsnitt av kanalarea medger luftflödesvolym 38 kubikmeter/h	För att ej strypa luftflödet.	≥ 2400 mm ²	K		Mätning	Företag
1.2 Tillåta luftflöde: Donet medger god spridningsbild	God spridningsbild enligt standard SS-EN 12238.		K		Teori	Projektgrupp
1.3 Minska buller	Mäts i största möjliga mål enligt standarden SS-EN ISO 5135:2020. Ljudnivån avser i decibel ljudnivån från donet, då grundljud är subtraherat.	Från 36,6 dB till 28 dB	K		Test och teori	Företag
1.4 Minska buller	Ljudnivån avser i decibel ljudnivån från donet, då grundljud är subtraherat	Från 36,6 dB till under 28 dB	Ö	3	Test och teori	
1.5 Medge täthet	Undvika läckage enligt standard SS-EN 15727:2010		K		Test och teori	Projektgrupp
2. Miljö (omgivande)						
2.1 Tåla temperatur i användningsmiljö		-10 - 45°C	K		Materialinformation	Företag
2.2 Tåla fukt	I luften, kondens		K		Materialinformation Granta	Projektgrupp
2.3 Tåla rengöring	Rengöringskemikalier, motstå repning etc		K		Materialinformation Granta	Projektgrupp
2.4 Robusthet: Tåla slag/stötar	Inte placerad på utsatt ställe, medger liten risk för stötar och slag	Lätt stöttålig	K		Test	Företag
3. Livslängd						
3.1 Erbjud livslängd		5 år	K		Teori	Företag
3.2 Erbjud livslängd		Mer än 5 år	Ö	2	Teori	Projektgrupp
4. Dimensioner (Måttnoggrannheten hos den del som gränsar till kanalnätet ska uppfylla standarden SS-EN 1506:2007)						
4.1 Inre diameter	Passform mot värmväxlare.	128 mm i diameter	K		Test	Företaget
4.2 Höjd * Bredd * Djup	Ska kunna placeras mot en yttervägg i	max 300 * 500 * 200	K		Mätning	Företag/kund

	rummet.	mm				
4.3 Höjd * Bredd * Djup	Ska kunna placeras mot en yttervägg i rummet.	< 300 * 500 * 200 mm	Ö	3	Mätning	Företag/kund
4.4 Erbjud utrymme för styrsystem, antenn och kraftelektronik och sladdar	Ska kunna placeras inuti donet.	< 75 * 50 * 15 mm	K		Mätning	Företaget
5. Massa						
5.1 Minimera massa	Ur tillverkningskostnad- samt miljösynpunkt.		Ö	1		Företag/projektgrupp
6. Ergonomi						
6.1 Tydligt gränssnitt	Underlätta installation och användning. Utformningen indikerar funktionen.	Ja	Ö	1	Användarstudie	Projektgrupp
7. Säkerhet						
7.1 Donet ska på ett säkert sätt kunna förvara elektriska komponenter	Ej strömförande		K		Teori	Företag
7.2 Donet ska vara brandsäkert	Ej lättantändligt material Försiktighetsåtgärder mot brand (för kanalsystem) enligt standard SS-EN 15423:2008.		K		Materialinformation	Standard
7.3 Ytor saknar skarpa kanter	Minimerar risk för skärskada vid underhåll och städning	radie >0,5 mm	K		CAD-modellering	Projektgrupp
8. Estetik och ytfinish						
8.1 Passa in i användningsmiljö			Ö	3	Dialog med kund och företag	Kund
9. Material						
9.1 Återvinningsbart		Ja	Ö	2	Materialinformation Granta	Projektgrupp
9.2 Utsöndrar ej miljö- eller			K		Materialinformation	Standard

hälsosofarliga ämnen					Granta	
9.3 Smutsavvisande			Ö	1	Teori	Projektgrupp
9.4 Yttermaterial är ej i metall	Produkten kräver WiFi-anslutning vilken blockeras av metallmaterial		K		Materialinformation	Företaget
10. Underhåll						
10.1 Medge underhåll	Luftdonets fästmetoder medger losstagning		K		Test	Projektgrupp
10.2 Medge underhåll	Luftdonets fästmetoder medger underlättad losstagning		Ö		Funktionstest	Projektgrupp
10.2 Möjliggöra reparation	Luftdonet har utbytbara komponenter		Ö	2	Funktionstest	Projektgrupp
10.3 Möjliggöra städning	Kunna torkas av, rengöras inuti		Ö	1	Funktionstest	Projektgrupp
11. Tillverkning						
11.1 Nyttja enkla tillverkningsmetoder			Ö	3	Teori	Företaget
11.2 Nyttja befintliga komponenter			Ö	3	Teori	Företaget
11.3 Nyttja material som är enkelt tillgängliga			Ö	3	Teori	Företaget

4.6.1. Parvis jämförelse av önskemål

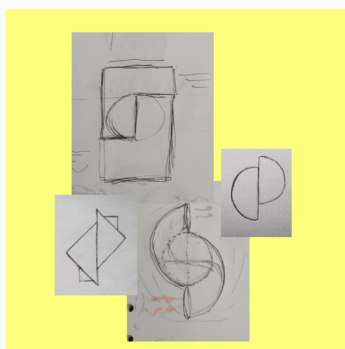
I syfte att möjliggöra för en värdering av önskemålen i kriteriespecifikationen så utfördes en parvis jämförelse. Värderingen av önskemålen är utmanande då olika intressenter värderar olika aspekter olika högt. Generellt så har de önskemål som berör tillverkningsbarhet, dimensioner, estetik samt hållbarhet och miljö värderats högt då de bedömdes vara viktiga aspekter för intressenterna. Samtliga önskemål inkluderas i kriteriespecifikationen, men prioriteras under konceptframtagningen i enlighet med de enskilda önskemålen värdering. Den parvisa jämförelsen kan ses i sin helhet i bilaga 2.

5. Idégenerering

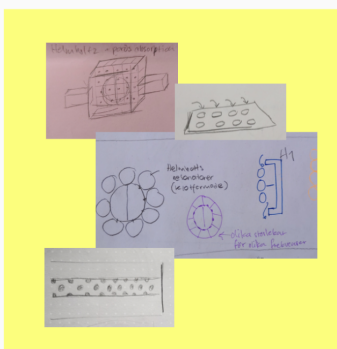
I följande kapitel beskrivs idégenereringsprocessen, där det första steget var att söka dellösningar genom metoderna brainwriting och brainstorming med syftet att få en bred lösningsrymd. Nästa steg var att skapa funktionsmodeller av olika delkonceptalternativ i syfte att undersöka effektiviteten hos de olika bullerreduceringsmetoderna. Sedan skapades helhetslösningar genom att skapa en morfologisk matris. Samtliga helhetskoncept sammanställdes slutligen i en konceptkatalog, där de kategoriserades efter bullerreduceringsmetod.

5.1. Söka dellösningar med brainwriting och brainstorming

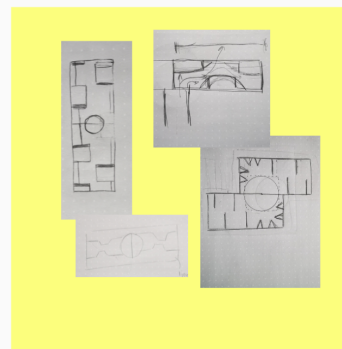
Första sessionerna av brainwriting och brainstorming försökte frågor kring hela innerdonets konstruktion besvaras, där alla funktioner var inkluderade. Men efter de första brainstormingssessionerna kunde slutsatsen dras att funktionerna bullerreducering och delning av luftflödet var de funktioner som huvudsakligen skulle komma att påverka utformningen av innerdonet. Detta innebar att dessa funktioner behöver fastställas innan resterande funktioner bestämdes. Beslutets tog att göra fler brainstormingssessioner, men där fokus låg på dessa funktioner. Skisser med olika kanalutformningar och bullerreduceringsmetoder kan ses i figur 18, 19 och 20.



Figur 18. Tidiga skisser för hur luftflödet delas och har varsin kanal.



Figur 19. Tidiga skisser på hur helmholtz absorbenter kan utformas och placeras på olika sätt



Figur 20. Tidiga skisser för luftkanaler med väggar för att reducera buller.

5.2. Positivt, Negativt och Intressant med olika bullerreduceringsmetoder

I syfte att få en uppfattning om utmärkande egenskaper av olika bullerreduceringsmetoder så utfördes en utvärdering med metoden Positivt, Negativt, Intressant. De bullerreduceringsmetoder som undersöktes var; Helmholtzabsorbent, absorption, isolation, reaktiv dämpning samt diffraktion. Slutsatsen av var att de mest intressanta bullerreduceringsmetoderna var; Helmholtzabsorbenter och absorption. Det framgick även att koncept som inkluderande isolation, diffraktion och i viss mån reaktiva dämpare även behöver absorberande material för att maximal effekt ska uppnås.

5.3. Skapa funktionsmodeller

I detta stadiet utfördes funktionstester med tillgängliga material. Dessutom utforskades olika former på innerdon som sedan vidareutvecklades. Detta gjordes i syfte att underlätta idégenereringen och snabbt få respons på vad som fungerar och vad som är praktiskt genomförbart. Funktionsmodellerna byggdes med hjälp av enklare ventilationskanaler och rör med standardmått. De material som användes vid skapandet av funktionsmodellerna valdes utifrån att de fanns enkelt tillgängliga att beställa, fanns i butik eller fanns tillgängliga hos företaget Tre Ess Innovation. De material som företaget hade införskaffat var filt, olika typer av skummaterial, pvc-rör samt -kanaler i olika dimensioner. Hos funktionsmodeller med ett rektangulärt tvärsnitt så utgjordes övergången mellan rörkanal och funktionsmodell av en komponent som företaget hade tillverkat, se figur 21. Denna övergång limmades fast på funktionsmodellernas baksida.

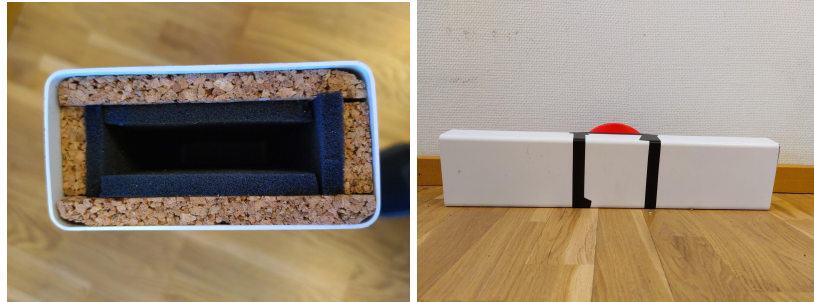


Figur 21. Övergång mellan funktionsmodell och rörkanal.

5.3.1. Rektangulär form med olika absorberande material

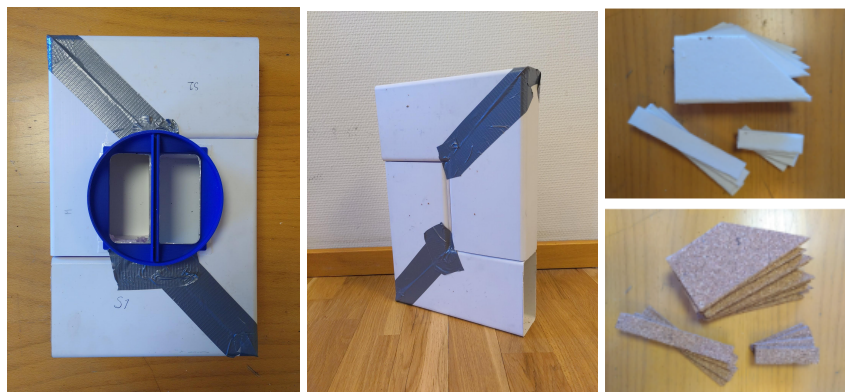
Först testades funktionsmodeller av olika utformningar av rektangulära kanaler. Detta gjordes i syfte att undersöka om tillräcklig bullerreducering var möjlig med hjälp av relativt enkla kanalutformningar. En positiv aspekt av att använda existerande kanaler är att tillverkningen underlättas då inga verktyg eller formar behöver skapas för att tillverka själva luftkanalerna för innerdonet. Båda kanalutformningarna utgjordes av kanaler med dimensionerna 110*55 mm.

Den enklaste funktionsmodellen bestod av en rak kanal med olika materialkombinationer, se figur 22. Kombinationerna som testades var; skum 10 mm och filt 10 mm, samt kork 10 mm och skum 10 mm. Kork testades som ett alternativ till filt då det har miljömässiga fördelar, har goda brand- samt antimikrobiella egenskaper (Gonçalves et al., 2015; Mestre & Gil, 2011). Kork uppvisade dock något sämre resultat än filt, om cirka 0,5 dB.



Figur 22. Funktionsmodell bestående av rak kanal med dimensionerna 110*55 mm

Därutöver undersöktes en annan utformning, "Tetris", vilken bygger på kanaler som fästs i vinkel på varandra, se figur 23. Detta utförandet var intressant dels då det möjliggjorde för en mindre bred design, vilket skulle underlätta installation vid nära anslutning till en vägg, dels då en lång kanal kunde komprimeras på en liten yta. Metoden för bullerreducering var diffraktion i kombination med absorberande material. Efter ljudmätning så medförde inte den vinklade kanalen någon fördel i bullerhänseende jämfört med den raka kanalen, utan testresultaten var identiska.



Figur 23. Funktionsmodell "Tetris" med insatser av filt samt kork.

Efter genomförda tester så drogs slutsatsen att den kanal som använts hade för små dimensioner för att möjliggöra för tillräcklig bullerreducering. Mer absorptionsmaterial krävdes för att uppnå en större bullerreducering, men det saknades utrymme inuti kanalerna för att bibehålla tillräcklig fri area. Med anledning av att en liten kanal hade värderats högt av intressenterna då den färdiga produkten inte skulle vara onödigt skrymmande och passa in i hotellmiljön, var det inte aktuellt att testa en kanal med en större diameter. Därmed utforskades andra alternativ till inre kanalutformning, vilket kan ha en effekt på bullernivån.

5.3.2. Rektangulär form med ljudlabyrint

En annan utformning på innerkanal utforskades i form av olika sorters ljudlabyrinter. Dessa utgjordes av en mer avancerad innerkanal där olika typer av raka kanaler användes som yttre skal. I funktionsmodellerna används inre paneler som använder sig av bullerreduceringsmetoderna diffraktion samt absorption. Konstruktionen medför att ljudvågorna ändrar riktning vid panelernas kanter. Ljudet kolliderar sedan med kanalens

innerväggar, vilket leder till att ljudet absorberas i högre grad jämfört med om kanalen hade varit rak.

I den första funktionsmodellen som testades, "Maze", användes en rak kabelkanal med dimensionerna 110*55*600 mm, se figur 24. Inuti kanalen användes ett tätt filtmaterial till både innervägg samt paneler. Funktionsmodellen reducerade buller effektivt, men gav ett skrymmande intryck.



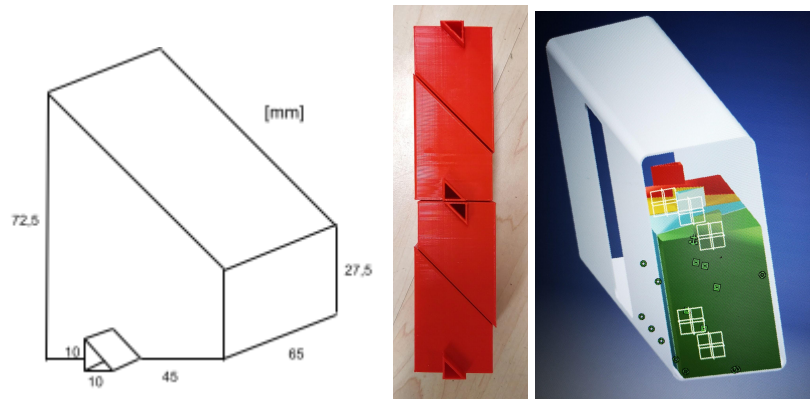
Figur 24. Funktionsmodell av "Maze".

Andra varianter av labyrintutformningen testades även, där andra material samt kanalutformningar användes. Dessa gav liknande bullerreduceringsresultat som funktionsmodellen "Maze". Sammanfattningsvis så framgick det av testningen att labyrintutformningen var en mer effektiv bullerreduceringsmetod än då raka och öppna kanaler används. Däremot bedömdes det att den inre kanalen skulle vara svår att tillverka eftersom den utgjordes av en komplicerad geometri. En komplicerad luftkanal med många riktningsändringar i form av böjar kan även ge upphov till negativa effekter såsom tryckfall. Tryckfall uppstår vid kanalböjar och innebär ett minskat luftflöde (Molander, 2012). Detta kan innebära att fläktarna behöver drivas med en högre effekt för att uppnå ett tillräckligt effektivt luftflöde vid luftkanalernas mynning.

5.3.3. Helmholtz

Helmholtzabsorbenter 3D-printades med dimensioner anpassade för att dämpa ljud i i frekvensen 315 Hz. Denna frekvens valdes då det var ett av huvudproblemområdena som tydliggjordes vid tersbandsanalysen. Absorbenterna skapades med en vinkel för att möjliggöra för 3D-printning och inte av funktionsmässiga skäl. Denna utformning möjliggjorde även så att absorbenterna kunde placeras på ett yteffektivt sätt inuti en

ventilationskanal med dimensionerna 55 * 110 * 500 mm. I figur 25 kan måtten på Helmholtzabsorbenten ses, samt dess placering inuti ventilationskanalen. Fyra Helmholtzabsorbenter placerades i inluft- samt utluftskanaler, det vill säga totalt åtta i innerdonet, antalet bestämdes utifrån hur många som fick plats. Fullständiga beräkningar för Helmholtzabsorbenten kan ses i bilaga 3.



Figur 25. Mått Helmholtzabsorbent, samt placering inuti ventilationskanal med dimensionerna 55*110*500 mm.

5.3.4. Rund form med olika absorberande material

Den cirkulära formen har fördelen att den erbjuder flexibilitet vid placering av donet i dess användningsmiljö, då mindre hänsyn behöver tas till distans till väggar än vid avlånga, horisontella former. I figur 26 kan en funktionsmodells-evolution ses av olika funktionsmodeller som utforskades, dessa beskrivs utförligare nedan.



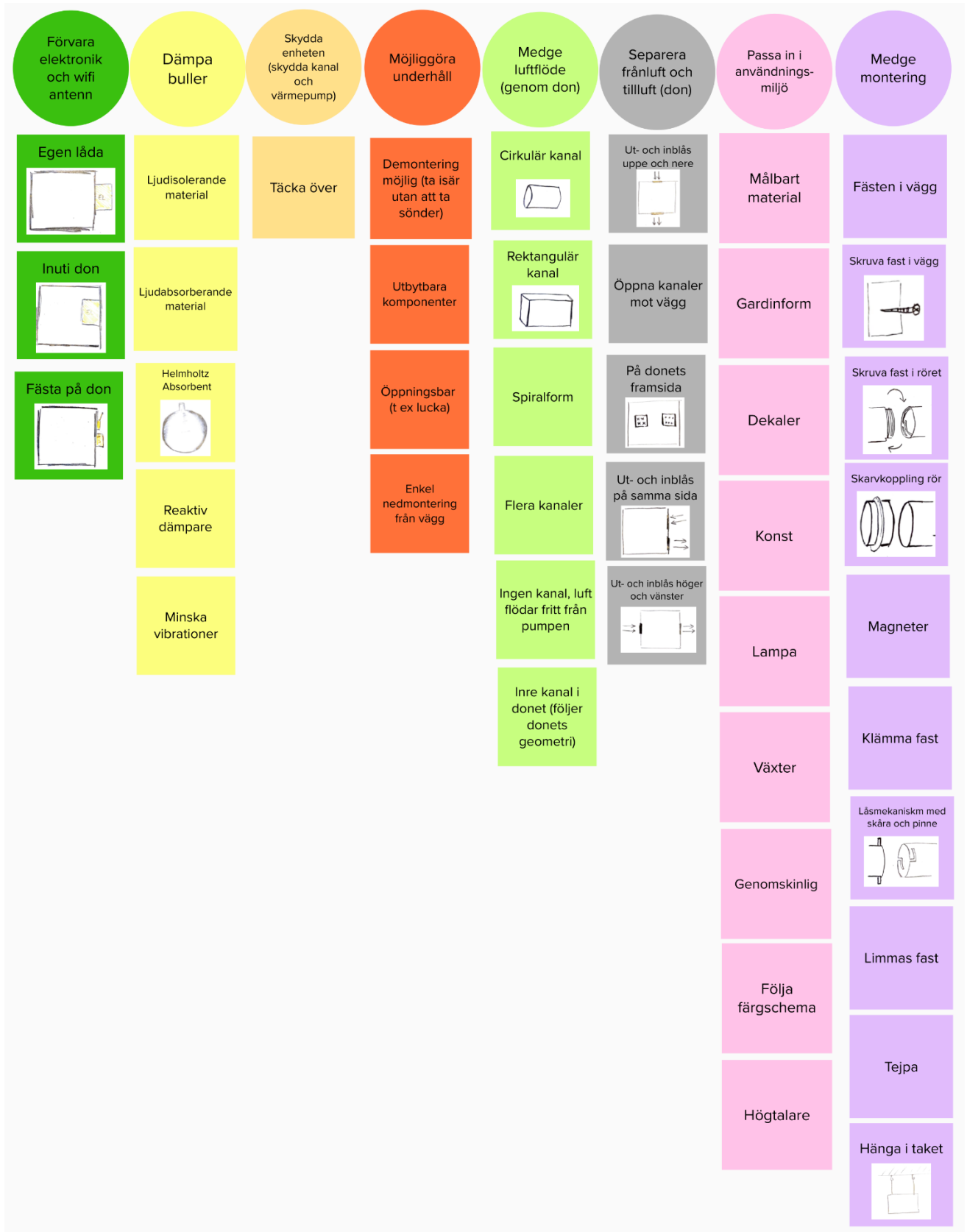
Figur 26. Funktionsmodellsevolution rund form.

Under projektets gång har ett antal funktionsmodeller med rund kanal testats. Dessa varierade i dimension, antal lager, material samt utformning på inre luftkanal. Samtliga

funktionsmodeller har en fri area för luftflöde på minst 2400 mm² i enlighet med kriteriespecifikationen, en inre kanal med diametern 128 mm² samt en mellanvägg i den inre kanalen som separerar luftflödet. Till en början användes enbart ett rör som isolerande vägg, detta utökades sedan till två rör med olika diameter. Övergången från ett rör till två berodde på att bullerreduceringen inte mötte uppställda kriterier och avsedd verkan var att bullerreduceringen skulle öka. Detta genom att dels öka luftkanalens längd så väl som att bidra med ytterligare ljudisolation samt absorption. De absorberande material som testades i funktionsmodellerna var skum med både öppna och slutna celler, filt, kork samt mineralull. Mineralull av tjockleken 80 mm som gav bäst ljudabsorberande resultat, där tjockleken av materialet var $\frac{1}{4}$ av de högre frekvensspannet. Detta var förenligt med den av Adams (2016) specificerade regeln gällande avsevärd ljudabsorption vid $\frac{1}{4}$ våglängd.

5.4. Skapa helhetslösningar med morfologisk matris

En morfologisk matris skapades i det digitala verktyget Mural, där dellösningar till varje delfunktion skrevs ner och i vissa fall illustrerades, se figur 27. Dessa dellösningar kunde sedan kombineras för att skapa helhetslösningar.



Figur 27. Morfologisk matris där alternativa dellösningar (fyrkantig textruta) till de olika delfunktionerna (rund textruta) visas.

5.5. Konceptkatalog

En konceptkatalog skapades för att organisera helhetskoncepten som togs fram med de olika ideegenereringsmetoderna. Helhetslösningar namngavs, kategoriserades och sammanställdes, i detta stadié slogs också liknande lösningar ihop. Konceptalternativen grupperades beroende på vilken ljudämpningsmetod som lösningen huvudsakligen nyttjade. Dessa kategorier var; ljudisolerande material, ljudabsorberande material, Helmholtzabsorbenter, reaktiva dämpare eller övrigt. Konceptkatalogen kan ses i bilaga 4.

6. Utvärdering och vidareutveckling av konceptalternativ

I följande kapitel beskrivs de utvärderingar som utförts med metoden Positivt-Negativt-Intressant, elimineringsmatris samt kesselringmatris. Metoden Positivt-Negativt-Intressant undersöker för- och nackdelar med olika bullerreduceringsmetoder. Syftet med elimineringsmatrisen var att eliminera de konceptalternativ som inte uppfyllde huvudfunktionen samt kraven från kravspecifikationen, så väl som de koncept som inte passade intressenterna. Därmed minskar mängden konceptalternativ och en Kesselringmatris kan utföras. Kesselringmatrisen är verktyg som kan underlätta analysen av olika konceptalternativ genom att tydliggöra hur de presterar i förhållande till varandra. Då Kesselringmatrisen enbart tar hänsyn till önskemålen från kriteriespecifikationen är det avgörande att de konceptalternativ som inte uppnår kraven har eliminerats vid ett tidigare stadie. Matrisen gav projektgruppen en riktlinje för de bäst lämpade alternativen för vidareutveckling.

Därefter presenteras ytterligare utvärderingar av funktionsmodeller varefter företaget lämnade feedback och ett beslut kunde fattas gällande vilket koncept som valdes till slutgiltig vidareutveckling. Vid vidareutveckling av det valda konceptet utvärderades olika material ur bland annat miljö- samt kostnadsperspektiv, och det skapades skisser av innerdonets yttre design.

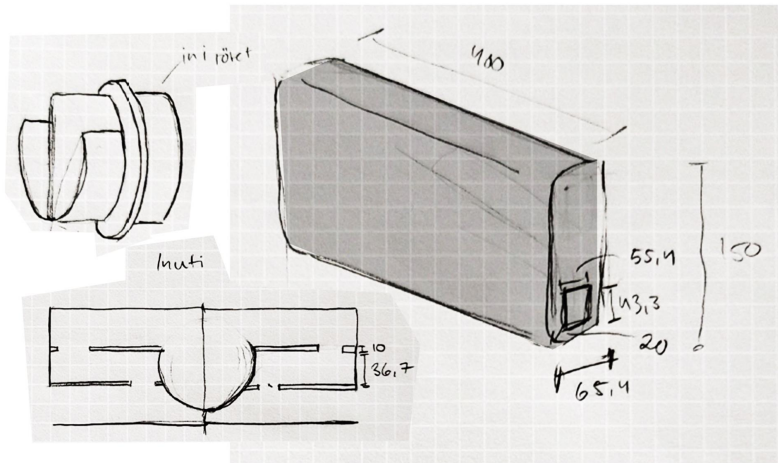
Då det på grund av tidsbegränsning i projektet inte funnits möjlighet att skapa funktionsmodeller av samtliga konceptalternativ, baserades antaganden om kravuppfyllelse gällande bullerreducering på tester av liknande koncept samt teori. De koncept som återstod efter elimineringsmatrisen gick vidareutvecklades och utvärderades sedan i en Kesselringmatris.

6.1. Utvärdering med Elimineringsmatris

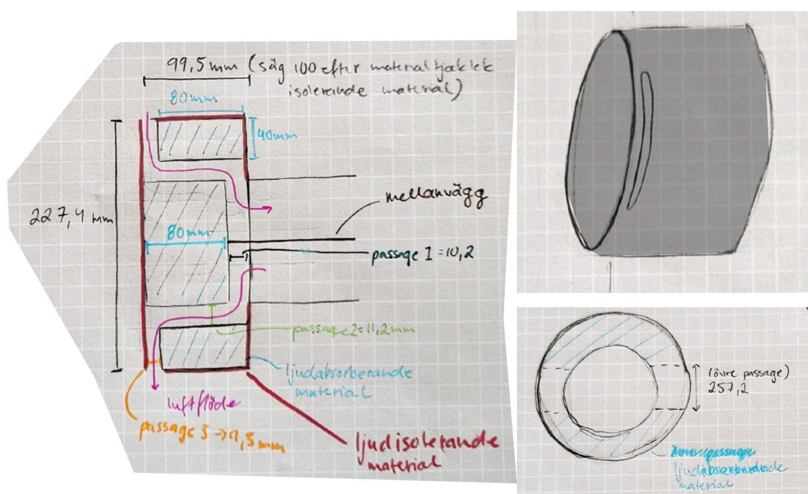
När delkonceptlösningarna sammanställts till helhetslösningar så utfördes en Elimineringsmatris. I bilaga 5 kan matrisen ses i sin helhet. Genom elimineringsmatrisen så kunde fem koncept sållas bort.

6.2. Vidareutveckling av konceptalternativ som uppfyller alla kriterier

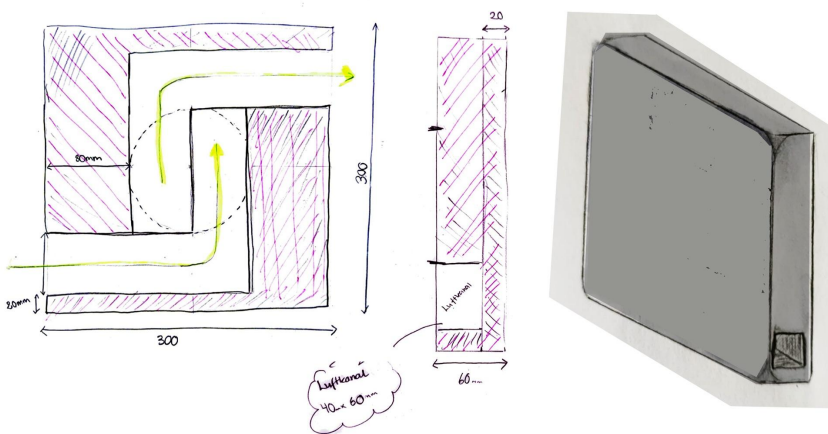
De koncept som uppfyllde alla kriterier vidareutvecklades, några kombinerades och av de koncept som inte uppfyllde alla kraven kunde vissa positiva aspekter inkluderas i andra konceptalternativ. Denna vidareutveckling ledde till fem konceptalternativ vilka gick vidare till utvärdering med Kesselringmatrisen. I figur 28-32 ses de olika koncepten, inklusive en kortare beskrivning.



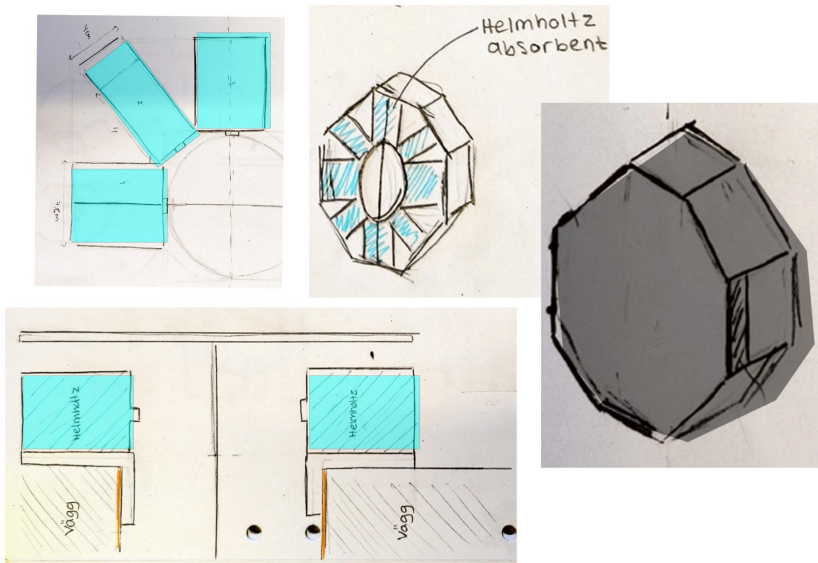
Figur 28: LABYRINT
 En rektangulär form. Väggarna inuti luftdonet är tänkt att vara paneler med hål på olika ställen, detta skapar en luftkanal som är formad som en labyrint, den fästs i väggen m.h.a en rörkoppling.



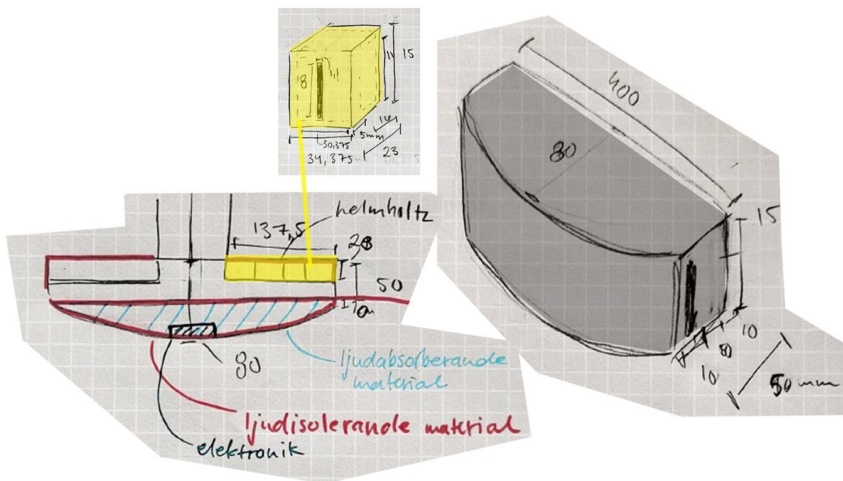
Figur 29: ABSORBERANDE RUND
 En rund form med diametern 300mm och djup 100mm. Konstruktionen består av två rör, ett inre rör som har absorberande material i sin mitt och ett yttre rör som har absorberande material i en cirkel, skalet är gjort i ett ljudisolerande material.



Figur 30: ABSORBERANDE KVADRAT
 En kvadratisk form i dimensionerna 300mmx300mm och ett djup på 60mm. Luftkanalerna har en L-form. Reducering av buller sker genom att absorberande material är placerat runt om kanalerna och skalet är gjort i ett ljudisolerande material.



Figur 31: CIRKULÄR HELMHOLTZ
En hexagonal form, där rätblockformade Helmholtzabsorbenter är placerade i en cirkel. Det finns 3 olika storlekar, som absorberar frekvenser på 315, 250 och 400 Hz. Skalet består av ett ljudisolerande material.



Figur 32: BÅGE HELMHOLTZ
En rektangulär form där framsidan är välvd. Här sker bullerreducering med kombination av Helmholtzabsorbenter som är placerade i donet närmast väggen, ljudabsorberande material är placerat i främre delen av donet och skalet är gjort i ett ljudisolerande material

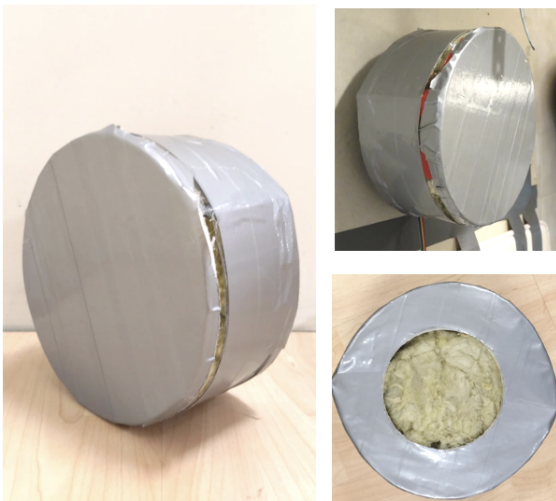
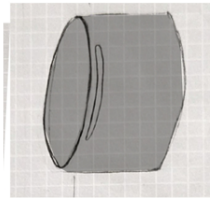
6.3. Utvärdering med Kesselring

De återstående konceptalternativen utvärderades med hjälp av Kesselringmatrisen i syfte att få en bild av hur konceptalternativen mätte sig mot varandra. Betygskrav för önskemålen upprättades och kan ses i bilaga 6. De två konceptalternativen som erhöll högst poäng var "Abs. Rund" samt "Abs. Kvadrat", dessa koncept hade också minst mängd svaga punkter. En stor fördel med båda dessa koncepten är att de är symmetriska, vilket möjliggör för mer flexibel placering på väggen. Tillsammans med detta och resultaten från kesselring ansågs de som de mest lovade koncepten. Kesselringmatrisen kan ses i sin helhet i bilaga 7.

6.4. Test återstående konceptalternativ

För att jämföra koncepten förmåga att dämpa buller samt för att få en uppfattning om dess formuttryck byggdes funktionsmodeller av "Absorberande Rund" och "Absorberande Kvadrat". Ljudtrycksmätningen visade att "Abs. Rund" nådde kravet gällande bullerreducering, medan "Abs. Kvadratisk" inte uppfyllde kravet till fullo. Att "Abs. Kvadratisk"

inte uppfyllde kravet grundar sig sannolikt i att ett för tunt lager av absorberande material användes. "Abs. Kvadratisk" byggdes underdimensionerad då en lämplig storlek på kanal inte fanns tillgänglig vid tillverkningen. Vid korrekt dimensionering beräknas konceptalternativet uppnå bullerreduceringskravet, då det nyttjar samma teoretiska princip gällande materialtjocklek som "Abs. Rund". Bilder samt skisser på båda funktionsmodeller kan ses i figur 33 och 34.



Figur 33. Skiss och funktionsmodell samt skiss av "Absorberande. Rund".

Figur 34. Funktionsmodell samt skiss av "Absorberande Kvadratisk"

6.5. Feedback från företaget

När resultatet avseende de två slutliga konceptalternativen presenterades för företaget ansåg de att "Abs. Kvadratisk" var det bästa alternativet. Detta baserades på att den upplevdes mindre skrymmande, samt att den bedömdes vara enklare att tillverka. Detta trots att funktionsmodellen inte nådde kravet för ljudnivån. Kravet beräknas dock uppnås för det slutliga konceptet för innerdonet, under förutsättning att korrekt täthet och dimensioner tillämpas. Detta baserades på att "Abs. Rund" uppnår kraven och "Abs. Kvadratisk" nyttjar samma bullerreduceringsmetod.

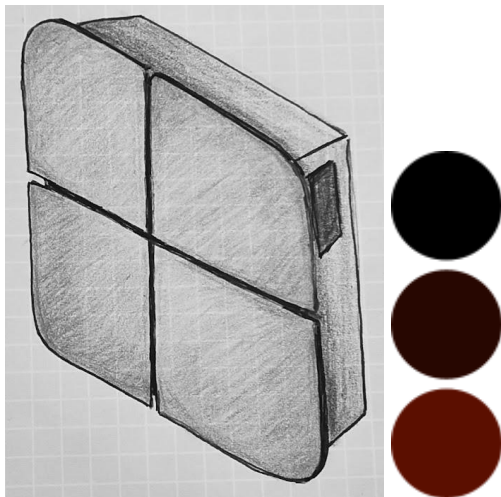
6.6. Val av koncept och vidareutveckling

Det koncept som valdes för vidareutveckling var "Abs Kvadratisk", vilket baserades på att konceptet upplevs mindre skrymmande i användningsmiljön samt enklare tillverkning. Synpunkterna från företaget vägde tungt vid valet av koncept, då de anses vara den

huvudsakliga intressenten. Då val av koncept fastställdes så började projektgruppen idégenerera gällande ett designuttryck med hjälp av den framtagna inspirationboarden för användningsmiljön. Det utfördes även en idégenerering gällande hur absorptionsmaterialet ska fästas inuti innerdonet, där alternativ var limning samt olika typer av paneler. Ytterligare så utförde projektgruppen en undersökning av donets egenfrekvens och en parameterstudie kring donets dimensioner. Lämpliga materialval undersöktes, både gällande donet och dess absorptionsmaterial.

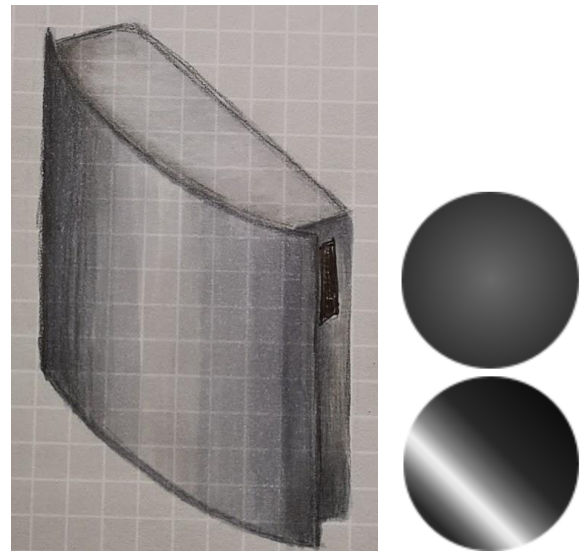
6.6.1. Möjligt utförande designuttryck

Baserat på inspiration- samt moodboarden skapades 9 alternativ för den yttre designen av innerdonet. Skisserna inklusive färgalternativ och en kortare beskrivning kan ses i figur 35-42. Skisserna presenterades för företaget och det diskuterades gemensamt vilket uttryck som valdes som slutgiltigt koncept.



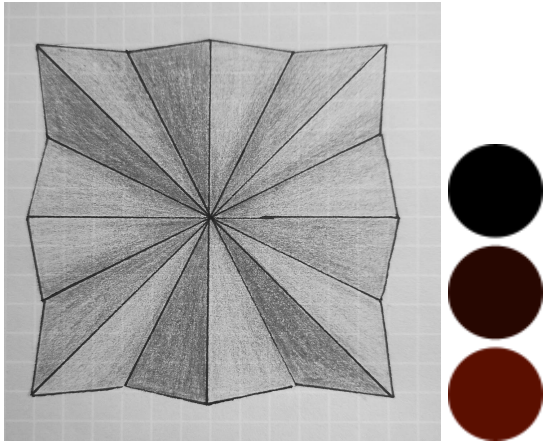
Figur 35. Konceptalternativ "**Square²**".

En kvadrat uppdelad i 4 sektioner. Främre lock består av mörkt trä som matchar de trädetaljer som finns i användningsmiljön i form av hyllor samt paneler. Denna del kan tillverkas av passande val av plast, med fanér likväl som i solitt trä. Tillverkning skulle underlättas av plastalternativet, då paneler för fastsättning av absorptionsmaterialet planeras fästas i innerdonets lock. Den bakre delen av innerdonet, "lådan", består av plast.



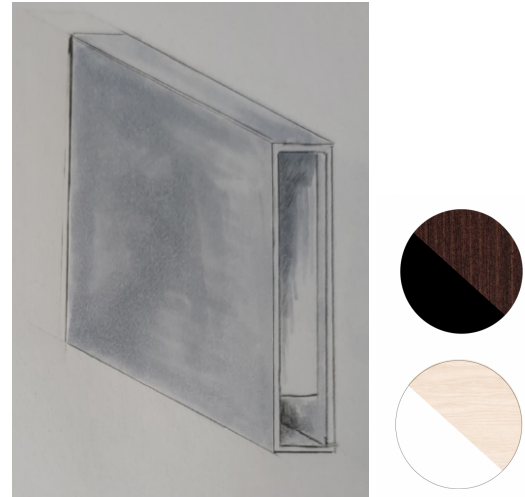
Figur 36. Konceptalternativ "**Båge vertikal**".

Detta don består av två komponenter, främre "lock", och bakre "låda". Båda komponenter består av mörk plast. Paneler av något slag placeras på lockets innersida. Locket kan beklädas med folie alternativt fanér för ett alternativt uttryck



Figur 37. Konzeptalternativ **"Origami"**.

En form inspirerad av vikt papper. Detta don består av två komponenter, främre "lock", och bakre "låda". Främre del, alltså locket kan tillverkas i trä eller plast beroende på vilket uttryck som önskas. Bakre del tillverkas passande val av plast.

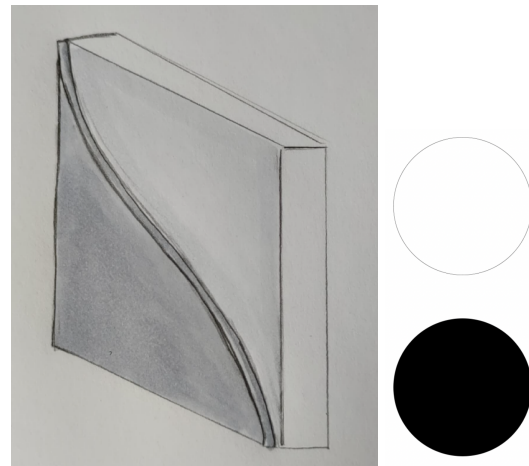


Figur 38. Konzeptalternativ **"Ihålig låda"**. Dess form utgörs av en tunnelformad låda, där sidoväggarna är placerade en bit in för att ge ett mer svävande, lätt uttryck. Majoriteten av donet är tänkt att tillverkas i trä, antingen mörkt eller ljust. Resten av delarna är tillverkat i passande val av plast. Innerväggarna är tänkt att var i vitt eller svart, beroende på val av trä, detta för att bryta av.



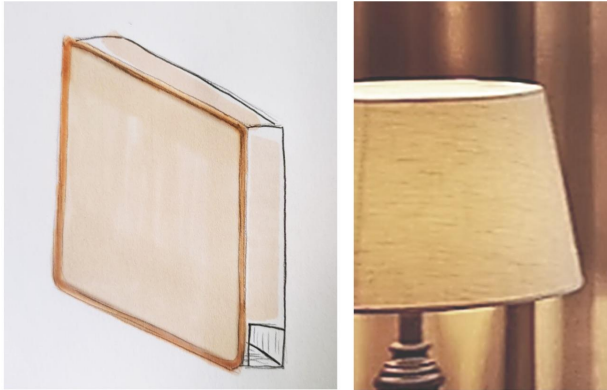
Figur 39. Konzeptalternativ **"Träpaneler"**.

Detta don består av två komponenter, främre "lock", och bakre "låda". Lådan är tillverkad i passande plast men locket utgörs av paneler i trä, mörkt eller ljust beroende på önskat uttryck.

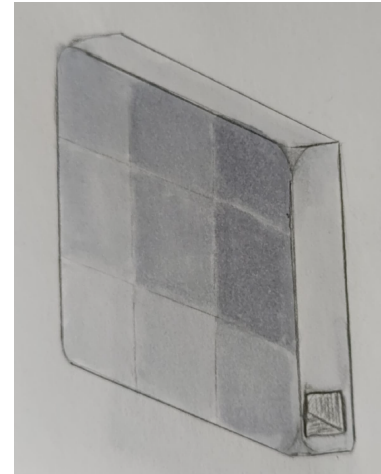


Figur 40. Konzeptalternativ **"Vågen"**.

Detta don består av ett främre "lock", och bakre "låda". Både lådan är tillverkad i passande plast, mörkt eller ljust beroende på önskat uttryck. Locket har en form som mha olika distanser skapar ett våg som går diagonalt över det kvadratiske donet.



Figur 41. Konceptalternativ **“Lampskärm”**.
Donet är i grunden en låda tillverkat i passande plast. Men den täcks av en metallram och sedan ett tyg som liknar lampskärm. Detta gör att den passar in i den befintliga miljön.



Figur 42. Konceptalternativ **“Nyanserat rutmönster”**.
Donet är i grunden en låda tillverkat i passande plast. På framsidan är dekaler placerade så de skapar ett rutmönster med fina nyanser i valfri färg. Detta gör att donets färg inte behöver matcha väggfärgen till exakthet.

6.6.2. Val av donets estetiska uttryck

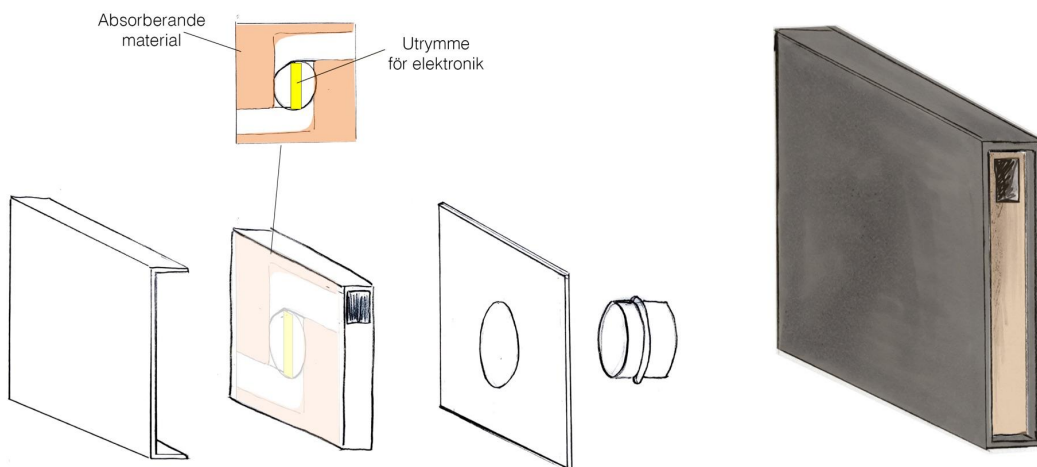
Genom diskussion med företaget Tre ess innovation kunde designuttryck väljas. Det som valdes var “Ihålig låda”, men med en mörkare ytterlåda och ljusare innerväggar (Se figur 43). Detta alternativ valdes för att de ansågs ha ett diskret uttryck och på så vis passa bra in i användning miljön. Tillverkningen bedömdes också att kunna ske på ett smidigt sätt.

6.6.3. Donets komponenter, placering av elektronik och montering

Donet består i huvudsak av en ljudisolerande låda med innerväggar som förvarar ljudabsorberande material. På baksidan finns ett rör med skarvkoppling, vars funktion är att koppla samman rörkanalen med luftdonet. Elektroniken är placerad i en hålighet mitt i luftdonet i änden på röret, i närheten av kablarna som kommer från röret i väggen.

Framsidan på donet är en separat del och fungerar som ett lock som går att monteras av. Detta gjordes i syfte att underlätta för reparation eller byte av komponenter. Detta möjliggör att man kan undersöka donets inre komponenter, såsom elektronik och absorptionsmaterial utan att behöva montera ner hela donet från väggen.

Ett första utförande var att donet skulle utgöras av endast en låda. Men efter övervägande beslutades det att det var mer fördelaktigt att ha en inner och en ytterlåda. Detta eftersom det under vidareutvecklingen ansågs vara svårt att få en tät konstruktion kring luftkanalerna och samtidigt behålla det designuttryck som valts. Då donets innerväggar och yttre skal förmodas vara i två olika material, kan det även vara till en fördel att ha dessa som två komponenter, då det kan underlätta tillverkning och även återvinning i slutet av produktens livslängd. Innerlådans funktion blir att förvarar absorptionsmaterial och hålla luftkanalerna täta och och funktionen för ytterlådan är att få luftdonet att passa in i användningsmiljön. Se alla delar i figur 43.



Figur 43: Donets alla delar till vänster och donet i sin helhet till höger

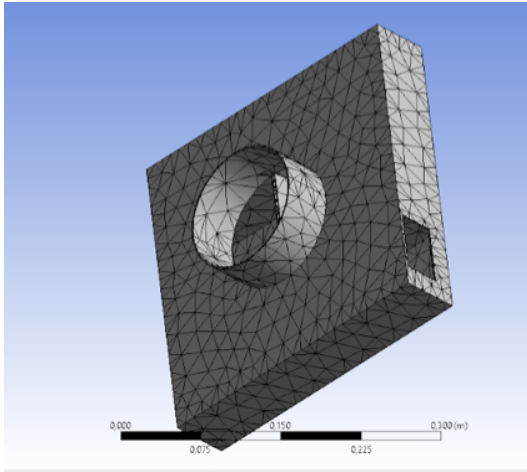
6.6.4. Egenfrekvens och dimensionering

I syfte att undersöka donets egenfrekvens så utfördes en simulering i ANSYS workbench 2021 R1. Simulering gjordes på en CAD-modell för hela donet, inklusive innerväggar. En parameterstudie utfördes för att undersöka hur materialtjocklek påverkade och även hur olika infästningar i väggen påverkade egenfrekvensen.

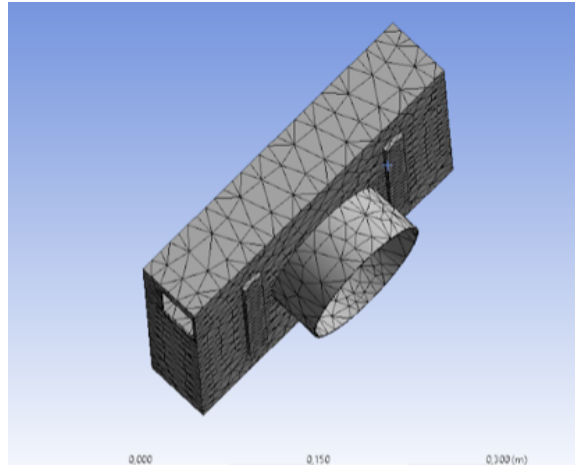
Beroende på infästningsmetod varierade egenfrekvensen. Då infästning skedde i enbart röret, låg de tre lägsta egenmoderna låg mellan 300 och 600 Hz, vilket inte var önskvärt, detta eftersom det finns risk att det sammanfaller med frekvensen för fläktarna. Infästning i rör och där även baksidan på donet var infäst i väggen gav en högre egenfrekvens på runt 1000-1800 Hz i de tre första moderna, se figur 44. En variant av detta där infästning med hjälp av två distanser på luftdonets baksida gav en egenfrekvens på 700-1000 Hz i de tre första moderna, se figur 45.

Detta visade att olika vägg tjocklekar (1,5-2,5mm) inte gav stor påverkan på egenfrekvensen. Det gjordes försök att förstiva donets framsida genom stödpaneler i olika former, men det gav inte en tillräcklig skillnad.

Simulering och parameterstudien visade på att infästning i endast i röret inte var något alternativ, eftersom detta medförde att egenfrekvensen låg i ett problemområde. Infästning i väggen, antingen hela bakplattan eller med hjälp av paneler på baksidan anses som lovande alternativ. Det visade även att materialtjocklek i detta fall inte påverkade donets lägre egenfrekvenser.



Figur 44: Enkel Modell av innerdonet som simuleras i Ansys. Här är tanken att både rör och bakplattan ska fästas i väggen.



Figur 45: Enkel Modell av innerdonet likt den tidigare, men där tanken är att rör och endast paneler ska fästas i vägg.

7. Resultat

I följande kapitel presenteras resultatet. Detta inkluderar en beskrivning av det slutgiltiga konceptet, där kraven från kriteriespecifikationen bemöts, såväl som ritningar samt renderingar av konceptet. Ytterligare så beskrivs föreslagna materialval samt möjliga tillverkningsmetoder såväl som en hållbarhets- samt riskanalys. Riskanalys utförs genom en feleffektsanalys (FMEA) och hållbarhetsanalysen berör de globala hållbarhetsmålen (United Nations Development Programme, 2021), Okalas strategi för ecodesign (White, P., St. Pierre, L., & Belletire S., 2013) och med hjälp av Ecodesign checklist (Brezet, 1997).

7.1. Beskrivning av koncept

Det slutgiltiga konceptet kombinerar ljusa och mörka toner, mjuka och hårda linjer och har en symmetrisk design. Detta ger en stilren känsla som för bort tankarna från klassisk luftdonsdesign. Ett yttre skal av mörkt trä uttrycker exklusivitet och kvalitet, och medför att innerdonet sömlöst smälter in i användningsmiljön. De olika distanserna i designen ger en svävande och tyngdlös känsla. Det renderade konceptet ses bland annat i figur 46. I figur 47 ses konceptet i en typisk användningsmiljö. Där ses konceptets färg- och materialval återkomma i hotellrummets interiördesign.



Figur 46. Rendering av slutligt koncept, till vänster snett från sidan och till höger rakt framifrån



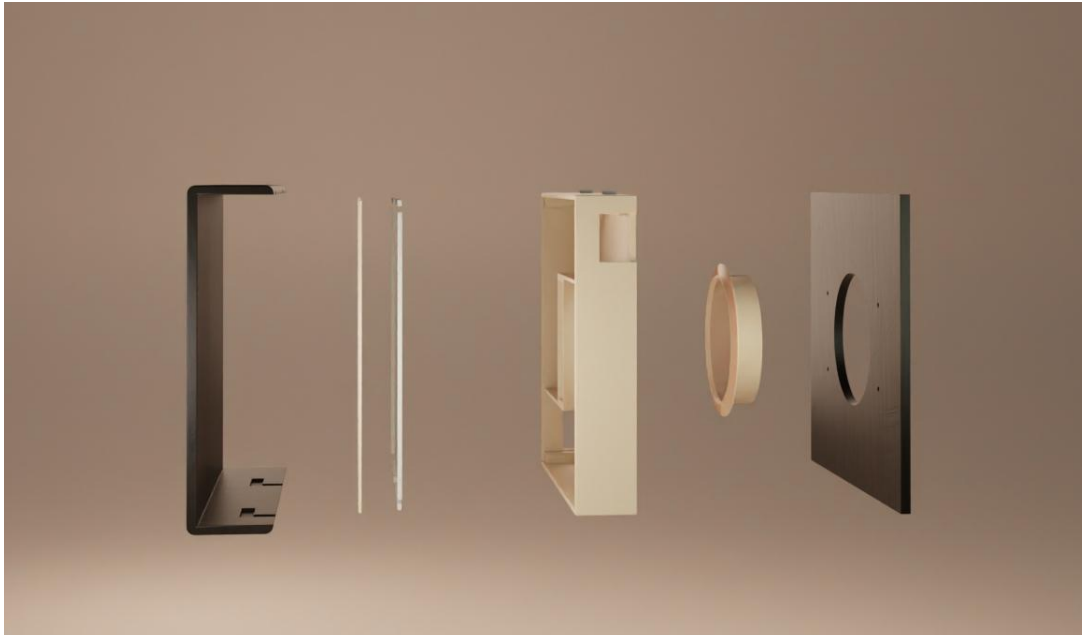
Figur 47. Renderat koncept i en typisk användningsmiljö.

7.1.1. Konceptets delkomponenter

Konceptet utgörs av en modulär design bestående av ett antal delar, dessa ses namngivna i figur 48. Den inre lådan innehåller funktionerna; reducera buller, dela luftflöde, förvara elektronik samt erbjuda montering i vägg. Innerlådan består av två delar; låda och lock. Dessa monteras ihop med hjälp av skruv. Locket har tätningslister längs insidan och kan öppnas med hjälp av enklare verktyg, vilket möjliggör för underhåll av lådans inre komponenter. Elektroniken, det vill säga kretskort och WiFi-antenn, har en avsedd plats inuti innerdonet, i en elektroniklåda. Övergången mellan låda och lock utgörs av en rörövergång som har en fin passning mot rörkanalen, vilket medger täthet. Rörövergången så väl som elektroniklådan fästs i innerlådan genom fastlimning, se figur 49.

Ytterlådan består av två delar; främre lock och bakplatta. Den yttre lådan bidrar med ett estetiskt tilltalande uttryck, vilket kan varieras beroende på materialval. Detta medför att donet kan anpassas till olika användningsmiljöer, samt tillverkas i olika prisklasser. Det främre locket fästs genom att skjutas från sidan i skåror, se figur 50.

Innerdonet monteras på plats genom att bakplattan och innerlådan inklusive elektroniklåda och rörövergång placeras mot rörkanalen. Dessa säkras sedan mot väggen genom skruv genom avsedda skruvhål. Elektroniken kopplas sedan in genom ett avsett hål i elektroniklådan. Därefter fästs innerlådans lock med skruv, samt den yttre lådan.



Figur 48. Sprängskiss av koncept. Från vänster till höger: Främre lock, lock innerlåda, tätningslist, elektronklåda, innerlåda, rörövergång, bakplatta.



Figur 49. Innerlådans utformning med integrerad elektronklåda samt rörövergång monterad.



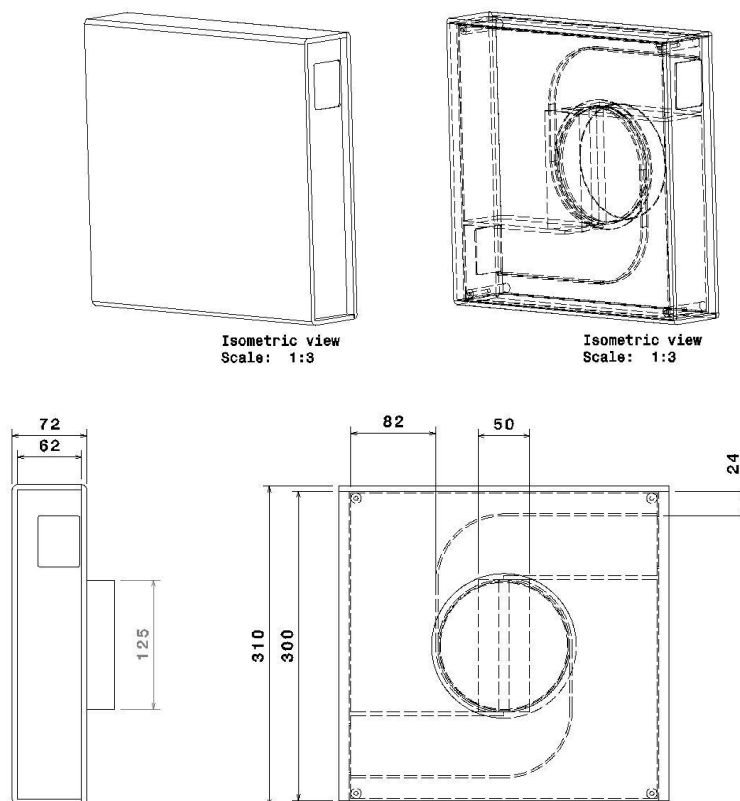
Figur 50. Fästmetod främre lock och innerlåda.

Konceptet nyttjar främst absorption som bullerreduceringsmetod, där 80mm av ljudabsorberande material är placerat i innerdonet. Luftkanalerna består av vinklar i 90 grader, vilka har avrundade hörn i syfte att underlätta luftflödet. Innerlådan består av plast som agerar som ett isolerande material. Ytterligare isolerande effekt fås av den yttre trälådan. Täthet uppnås genom fin passning mellan rörövergång och don, samt mellan

rörövergång och rörkanal. I innerlådans lock placeras en tätninglist vilket hindrar luft- och ljudläckage i skarven mellan låda och lock.

7.2. Dimensioner

Innerlådan kommer ha dimensionerna 300mm x 30mm x 60mm. Den yttre lådan i trä kommer ha en tjocklek på 5mm. Den totala dimensionerna för hela luftdonet blir således 310mm x 310mm x 62mm. Platsen för elektronik kommer ha en dimension på 125mm x 50mm x 15mm och vara placerad i mitten av donet. Måttssatta vyer av konceptet kan ses i figur 51.



Figur 51. Måttssatta vyer med dimensioner

7.3. Materialval och tillverkningsmetod

Det krav som ställs på innerdonet är att det ska finnas möjliga tillverkningsmetoder, men då företaget ämnar att eventuellt ta över designen på konceptnivå så har inte specifika tillverkningsmetoder definierats. Därmed bestäms även materialet på en generell nivå då materialval kan komma att bero av tillverkningsmetoden.

7.3.1. Möjliga materialval för donet

Tanken är att innerlådan med dess innerväggar och rörkopplingen ska tillverkas i plast. Här är propylen ett passande alternativ, polypropen (PP) är en av de vanligaste termoplasterna och förekommer ofta i interiörer. Att det är en termoplast menas att den blir formbar vid

uppvärmning, detta gör att den är återvinningsbar genom omsmältning (Nationalencyklopedin, u.å.d). På marknaden finns återvunnet PP att köpa som rivna flingor eller som granulät, som sedan kan användas till exempelvis formsprutning. Enligt med Okalas strategi för hållbar produktutveckling bör återvunnet material användas, vilket medför att återvunnen PP-plast ses som ett lämpligt alternativ.

Det yttre skalet planeras att tillverkas i svenskt trä. Trä är en förnyelsebar råvara, vilket gör det till ett bra alternativ ur hållbarhetssynpunkt (Naturvårdsverket, u.å). I enlighet med Okalas strategi för hållbar produktutveckling ska certifierad material användas. I Sverige finns det idag två standarder, FSC-standard och PEFC-standard (Skogsstyrelsen, 2022). Både FSC, Forest Steward Council och PEFC, Programme for the Endorsement of Forest Certification är internationella organisationer som arbetar för att skogarna i världen ska brukas hållbart (FCS, u.å) (PEFC, 2022). Vid tillverkning av yttre skalet ska virke med någon av dessa certifieringar användas.

Träet kommer behöva behandlas, detta för att tåla yttre påfrestningar såsom städning, men också för att passa in i användnings miljön. Behandling kommer ske antingen genom målning, oljning eller betsnings, beroende på önskat uttryck. För att minimera material som skadar ekologisk eller mänsklig hälsa, som är en av Okalas strategi för hållbar produktutveckling, ska Svanenmärkta produkter väljas. Svanenmärkning nordisk miljömärkning, denna märkning ställer krav på av produkter kring användning av kemikalier, vilka råvaror som används, hur de framställs samt vad avfallet blir. Svanen märkning finns för färger och lacker både för snickeri och för industri (Miljömärkning Sverige AB, 2022).

7.3.2. Möjliga materialval för absorption

Det material som används vid funktionstesterna är glasull, vilket innehar ett NRC-värde av 1,15. Materialet är dock inte lämpligt för användning inuti ventilationsdonet då det kan utsöndra hälsofarliga fibrer.

Det finns ett antal likvärdiga material som kan användas istället för glasull, men som inte finns enkelt tillgängliga att handla i butik, utan kräver beställning från en leverantör. Därför användes mineralull som ett jämförbart alternativ ur funktionssynpunkt vid funktionstesterna. De material som undersöktes var Stratocell Whisper foam och bomullsisolering. Dessa utvärderas relativt till varandra ur aspekterna funktionalitet, tillgänglighet, brandsäkerhet, miljö samt tålighet mot fukt.

7.3.2.1. Bomullsisolering

Bomullsisolering är ett relativt nytt material som används istället för mineralull. Materialet har en liknande utformning och visar goda ljudabsorberande egenskaper med ett NRC-värde av 1,05. Materialet är inte hälsofarligt och alternativ finns som är brandresistent såväl som resistent mot mikrobiell tillväxt. En ytterligare positiv aspekt med materialet är att det nyttjar ett naturligt material som kan vara återvunnet. Vid applikation i ventilationssystem kan det krävas någon typ av barriär som håller materialet på plats då materialet är löst ihopsatt. Det finns inga producenter i Sverige, men materialet finns tillgängligt att beställa från olika tillverkare inom Europa. Prisuppgifter efterfrågades för ett panel som utgörs av 100% återvunnen bomull från producenten Euro Acoustics™, där ingen återkoppling gavs. Däremot så gav den engelska producenten Inno-Therm® prisuppgift för deras produkt

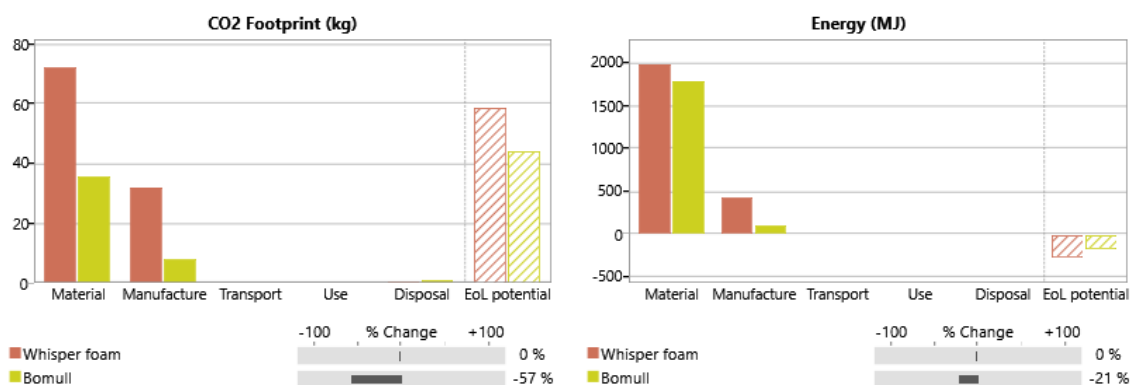
“Acoustic eko batt 45mm”, vilket var 93,42 kr/m². Denna produkt utgörs dock enbart av 85% återvunnen bomull, där det resterande materialet utgjordes av polyester. Då det är fördelaktigt ur hållbarhetssynpunkt att använda sig av komponenter vilka består av samma material så rekommenderas det att använda Euro Acoustics™ bomullspaneler, varför materialet från Inno-Term® enbart används som prispreferens.

7.3.2.2. *Whisper foam*

Whisper foam är ett material som utgörs av polyetylenskum, med stängda celler vilka perforeras för att medge ljudabsorption. Materialet uppnår ett NRC värde av 1 vid 50 mm och klassificeras som ett klass A material i enlighet med ISO 11654 (Adams, 2016). Materialet är hydrofobiskt och bibehåller sina akustiska egenskaper även då det utsätts för fukt. Materialet är även brandresistent och kan tillverkas i olika former. Möjliga återförsäljare finns belägna i Sverige såväl som i Europa. Vid kontakt med den svenska återförsäljaren Kuntze lämnades prisuppgiften 2511,25 kr för Whisper foam med dimensionerna 1200*2400*40 mm, vilket medför en kostnad av 871,96 kr/m².

7.3.2.3. *EcoAudit av materialalternativ för absorption*

En EcoAudit i Granta utfördes där hänsyn togs till framställning av materialet såväl som initiala tillverkningsmetoder så som tillskärning. Jämförelsen avser samma volym av material, men inte den faktiska mängden som används i produkten. Därav är endast den procentuella jämförelsen relevant och inte mängden koldioxid i kg och energiåtgång i MJ. Den procentuella jämförelsen av miljöpåverkan kan ses i figur 52. Bomullsisolering uppvisade bättre resultat för både koldioxidavtryck samt energiåtgång, där det uppvisade 57 respektive 21% bättre resultat än Whisper Foam.



Figur 52. Koldioxidavtryck- samt energijämförelse av materialalternativ för absorption, där hänsyn tagits till tillverkning samt tillverkningsmetoder för materialen i dess grundutformning utförd i med hjälp av Granta EcoAudit.

7.3.2.4. *Materialrekommendation*

Materialen har liknande absorberande egenskaper, där bomullsisolering presterar något bättre. Bomullsisolering presterar även bättre ur miljösynpunkt. Ur användningssynpunkt innehar Stratocell Whisper foam bättre fukttegenskaper då det är hydrofobiskt och bibehåller sin förmåga att minska buller även vid fuktiga förhållanden, medan bomullsisolering enbart

är fuktreglerande till en viss nivå. Fuktreglerande innebär i sammanhanget att isoleringen drar åt sig fukt, men frigör den sedan igen. Därmed kan en fuktbarriär krävas för att materialet ska prestera optimalt. Ur mikrobiell samt brandsynpunkt så är materialen likvärdiga. Prismässigt så väntas kostnaden för absorptionsmaterial per innerdon då bomullsisolering används vara cirka 13 kr, och 137 kr då Stratocell Whisper foam används.

Båda materialen anses vara möjliga alternativ för användning som absorptionsmaterial inuti innerdonet. Projektgruppen anser att det lämpligaste materialet utgörs av bomullsisolering då de miljömässiga såväl som prismässiga fördelarna anses överväga de aspekter där materialet presterar sämre än Stratocell Whisper foam. Därmed rekommenderas bomullsisolering som absorptionsmaterial för innerdonet.

7.4. Hållbarhetsanalys

I syfte att sträva mot en mer hållbar produkt har de globala målen (United Nations Development Programme, 2021) och TNS hållbarhetsprinciper tagits i beaktning (The Natural Step International, u.å). Då det endast är ett koncept i nuläget så har inte en fullständig livscykelanalys gjorts. Analysen har utförts genom att välja ut relevanta frågor från ecodesign checklist och diskutera kring dessa.

Frågor som berör Livscykelphas 1: Tillverkning, material och komponenter

Vilka typer av plaster används och hur mycket?

Plasten som används är ren återvunnen polypropylen (PP). Genom att använda återvunnen plast, bidrar inte detta till utvinning av ny fossil olja, utan ger möjligheten till ett tekniskt kretslopp. Detta är enligt TNS en del av strategierna för ett hållbart samhälle (The Natural Step International, u.å).

Vilka typer av metaller används?

De skruvar som används är gjorda av stål och det beräknas behövas 8 stycken. Stål är ett material som i kan återvinnas om och om igen, samtidigt som det behåller sina egenskaper (Stena recycling, u.å). Stål är ett material som har en hög återvinningsgrad, i Sverige återvinns ca 92% (Sveriges geologiska undersökning, 2022). Därmed ingår det i ett effektivt återvinningskretslopp.

Hur mycket och vilken typ av andra material har används?

Som absorptionsmaterial har återvunnen bomull används. Bomull är växtfibrer, vilket innebär att det är en förnyelsebar råvara, vilket är att föredra, då det inte är en ändlig resurs så som fossila råvaror. Bomull är dock en växt som behöver mycket vatten vid odling, bomull besprutas även med bekämpningsmedel. Dessa bekämpningsmedel sprids vidare och kan göra skada i ekosystemet (Naturskyddsforeningen, 2022). Detta går inte hand i hand med TNS Hållbarhets princip 2, som gäller utsläpp som skadar den ekologiska mångfalden. Ett sätt att förhindra detta är att välja ekologisk bomull, men eftersom bomullen som ska användas ska vara återvunnen kan detta vara svårt att kontrollera.

Hur mycket och vilken typ av ytbehandling har använts?

Ytan som ska behandlas är cirka ½ m² och det behövs ca 0,3-0,5 liter färg/olja/bets som ska vara svanenmärkt.

Frågor som berör Livcykelfas 8: Återvinning och bortskaffande

Vilka komponenter kan återanvändas?

Då komponenterna till viss del går att ta isär så kan de återanvändas i reservdelssyfte, men inte i annat syfte. Ytterlådan kan möjligtvis återanvändas till att göra andra trädetaljer.

Kan komponenter tas isär utan att de skadas? Går det att ta isär fort?

Tanken är att alla komponenter ska kunna monteras isär, dels för att enkelt kunna byta ut delar om någon del går sönder, eller om man vill göra en uppdatering. Inga komponenter av olika material är ihoplimmade, utan komponenter av olika material är ihopsatta med skruv och kan enkelt skruvat isär. Detta gör också att komponenter kan återvinnas vid slutet av dess livslängd.

Går det att identifiera materialet?

Ja, plasten kommer markeras vid tillverkning, så att den ska återvinnas korrekt. Skruvar och trä kan också identifieras.

Vilka material kan återvinnas?

Polypropylenplasten (PP), går att återvinna. Samma gäller stålet i skruvarna. Träet kan återvinnas som det är till nya produkter, eller göras till träflis. Träflis kan sedan användas som bränsle för att producera energi. Bomullsmaterialet kan också återvinnas igen (Adams, 2016, s. 61).

Är skadliga komponenter lätta att ta bort?

Skadliga komponenter i detta fall kommer vara elektroniken, då avgränsningar för detta projekt endast avser att det ska finnas en plats för elektroniken, har inte fästmetod för dessa undersökts närmare.

Finns det några inkompatibla bläck, ytbehandlingar eller använda klistermärken?

Träet ska ytbehandlas med olja/bets/ färg, men det bedöms inte vara inkompatibelt med återvinningsprocessen. Detta eftersom den ska vara svanenmärkt och alltså inte innehålla miljöfarliga ämnen.

7.5. Riskanalys i form av Failure Modes and Effects Analysis

En riskanalys utfördes i form av en feleffektanalys (Failure Modes and Effects Analysis) för det slutgiltiga konceptet där eventuella risker evalueras. Då det är ett koncept och inte en färdig produkt så utförs riskanalysen med detta i åtanke, vilket bland annat inkluderar att inga nuvarande kontroller finns i dagsläget. Analysen kan ses i tabell 5. Det diskuterades gällande vilka möjliga fel som kan uppstå hos konceptet, hur det kan påverka innerdonets funktion samt vilken effekt det kan få på donets funktion. Det resonerades även kring hur allvarligheten kring eventuella fel, sannolikheten att de uppstår samt sannolikheten att de

förblir oupptäckta. Allvarligheten hos ett fel bedömdes ur synvinkeln personfara och inte ur perspektivet hur allvarligt felet var för innerdonets funktion.

Sammanfattningsvis så medgav inga av de eventuella felen ett större risktal och bedöms vara av mindre allvarlig karaktär. Det fel som gav upphov till störst risktal berörde brandrisk i det fall fel uppstod i den låda där elektroniken förvaras. Detta bedömdes som det mest allvarliga felet då brand är en allvarlig konsekvens, samt att sannolikheten för upptäckt innan felet uppstod var av medelstor karaktär. Sannolikheten att felet skulle uppstå bedömdes dock som liten baserat på att risken för ansamling av damm i elektroniklådan var liten.

FMEA - Feleffektanalys									
Projekt: Examensarbete 2022	Produkt: Innerdon luftvärmepump		Utförd av: Emmy Silfverhjem, Nina Silfverstrand			Datum: 20/5-22		FMEA nr: 1	
System/ komponent	Möjligt felsätt	Möjlig feleffekt	Möjlig felorsak	Nuvarande kontroll/ test	Sannolikhet för händelse	Allvarlighet	Sannolikhet för upptäckt	Risktal	Rekommenderade åtgärder
Rörmuff	Ej tät	Buller och sämre luftflöde	Dålig passform, ej monterad korrekt	-	3	2	4	24	Tillskott av tätningslist eller tätningsmassa.
Elektroniklåda	Ej tät. Intrång av damm och kondens	Elektronik slutar fungera, brand	Ej monterad korrekt	-	3	7	8	168	Tillskott av tätningslist eller tätningsmassa, regelbunden kontroll.
Innerlåda	Sprickbildning i plasten	Delar faller ner, innerlåda förlorar tätet	Defekter i plasten, underdimensionerad e väggar	-	2	4	6	48	Utökad infästning, utöka dimensionering av väggar
Absorptionsmaterial	Underdimensionering	Reducerar ej buller tillräckligt	Underdimensionerad	-	2	3	4	24	Utökad dimension
Absorptionsmaterial	Samlar damm/fukt	Absorptionsförmåga minskar	Avsaknad av filterning av luft eller skyddande membran som täcker absorptionsmaterial	-	6	3	4	72	Filterning av luft, skyddande membran, annat materialval.
Ytterlåda	Misformning/sprickbildning i trä/misfärgning	Förörlor uttryck, går inte att fästa i innerlådan	Fukt, städkemikalier, ljus	-	2	3	2	12	Se över kvalitetskontroll vid lackering
Väggfästen	Vibrationer som överförs	Skapar stömljud	Bristfällig montering	-	3	4	8	96	Se över infästningsmetod, addera vibrationsdämpande material mellan vägg och don
Väggfästen	Fel passning på vägg	Don sitter löst, går ej att fästa	Defekter, felaktig montering	-	2	4	8	64	Kvalitetskontroll skruv, underlätta placering av skruvhål
Lådor i donet	Vibrationer	Skapar buller	Innerlåda och ytterlåda ligger för tätt emot varann	-	3	5	5	75	Ändra infästningarmellan lådorna eller addera vibrationsdämpande material emellan
Infästningskomponenter i don	Fel passning i don	Delar sitter löst och det kan skapa buller	Defekter, feldimensionering, felplacering	-	2	5	5	50	Kvalitetskontroll skruv, ändra dimensionering och placering av skruv/plugg

Tabell 5. Utförd feleffektanalys (FMEA).

7.6. Kravuppfyllelse

Innerdonet uppfyller majoriteten av de i kriteriespecifikationen satta kraven. Innerdonet bemöter kravet "tillåta luftflöde" genom att de inre luftkanalerna har en minimal fri area av 2400mm², samt kraven gällande de yttre såväl som inre dimensionerna. På grund av begränsad tid har en funktionell prototyp inte kunnat tillverkas, vilket försvårar tester av vissa krav så som täthet, spridningsbild av luften samt bullerreducering. Eventuella åtgärder i form av tätningslister eller tätningsmassa kan krävas i det fall läckage uppstår vid skarvar i innerlådan eller vid övergången mellan innerdon och rörkanalen. Bullerreduceringen har undersökts vid test av funktionsmodellen "Abs. Kvadratisk", vilken inte fullt ut nådde bullerreduceringskravet. Genom att fler lager av isolerande material i form av yttre trälåda, samt mer ljudabsorberande material tillfördes, såväl som att krav om täthet uppfylls bedömer projektgruppen att målet om 28 dB nås. Detta behöver dock testas ytterligare då en funktionell prototyp kan tillverkas.

Vidare så bemöter innerdonet kravet om att sakna skarpa ytor, då alla kanter överstiger radien 0,5 mm. De fastställda materialen utsöndrar ej miljö- samt hälsofarliga ämnen. Inuti innerdonet finns en avsedd plats som rymmer kretskort samt WiFi-antenn. Innerdonet medger underhåll, då trälock samt innerlådans lock kan plockas av med handkraft samt med enklare verktyg i syfte att få tillgång till elektronik, ljudabsorberande material samt rörkanal. Då innerdonet placeras i ett hotellrum är det viktigt att nedmontering inte sker med för stor lätthet på grund av eventuell stöldrisk.

Innerdonet bedöms vara tillräckligt robust för att tåla lättare stötar, men detta kräver vidare utforskning då en funktionell prototyp kan testas i användningsmiljön. Eventuella åtgärder kan vara att förändra vägg tjocklek hos den inre lådkomponenten. Genom att innerdonet fästs i väggen förhindras vridning av innerdonet vid rengöring samt lättare stötar. Detta är viktigt då vridning av innerdonet kan ge upphov till skador på mellanväggen i ventilationsröret.

De valda materialen i innerdonet uppfyller krav gällande brandsäkerhet då de ej är lättantändliga, det är viktigt att ha brandsäkerheten i åtanke vid val av resterande material. Livslängden hos innerdonet bedöms vara över 5 år på de yttre komponenterna, men det krävs vidare undersökning gällande huruvida absorptionsmaterialets funktion minskar över tid. Infästning av absorptionsmaterialet är designat på ett sådant sätt att det är enkelt att byta ut i det fall försämring sker.

8. Rekommendationer

I följande kapitel presenteras ytterligare rekommendationer än de tidigare nämnda i kravuppfyllelsen. Rekommendationerna berör områdena; Test av ljudtrycksnivå, luftflöde, bullerrisker, filtrering av luft, materialval, montering och hållbarhet.

8.1. Funktionell prototyp, test av ljudtrycksnivå och eventuella felkällor

En första rekommendation är att skapa en funktionell prototyp, med korrekta dimensioner, material och tätning. När en funktionell prototyp skapats behöver den undersökas vidare i en anpassad testmiljö för ljudmätning. De mätningar som utförts under projektet var på distansen 1,7 meter, medan kravet från kriteriespecifikationen fastställde mätning på 3 meters avstånd. Det finns svårigheter i att avgöra hur mycket ljudet minskar under 1,3 meter, då mätningar skett i en miljö där reflektion från olika ytor och ljud utifrån kan ha påverkat testresultatet.

Projektets fokus lagts på att dämpa buller från fläktarna, men i en verklig situation kommer det ske buller från gatan, vilket är viktigt att ta i beaktning och göra ytterligare tester på, för att se om det behövs en utökning av bullerreducering i innerdonet.

8.2. Närmare undersökning av luftflöde

Det kan vara lämpligt att undersöka huruvida den av företaget specificerade fria arean på 2400 mm² är tillräcklig eller överdimensionerad, då detta påverkar innerdonets utformning. Vidare så behöver luftens spridningsbild undersökas vidare, då inga tester har utförts under projektets gång.

8.3. Filtrering av luft

Det rekommenderas att någon typ av filter appliceras i ventilationsenheten. En fördel med ett filter är att det förlänger absorptionsmaterialens funktionella livslängd genom att minska mängden partiklar som kan täppa till porerna i materialet. Andra fördelar med ett filter är att det möjliggör för förbättrad luftkvalité i rummet, samt kan bidra med ytterligare bullerreducering. Anledningen till att filter inte undersöktes under projektet var att företaget inte uttryckte att det var en prioritet i dagsläget då filtrering inte förmodas ske i luftdonet utan i kanalen. Därmed föll filtrering utanför projektets ramar, vilka var begränsade till innerdonet.

8.4. Funktionstest av absorptionsmaterial och dess montering

Gällande absorptionsmaterialet så är det i dagsläget är det inte fastställt huruvida något typ av membran krävs för att leda bort fukt, detta behöver undersökas vidare vid funktionstest av den färdiga produkten. Huruvida detta krävs beror till stor del på hur mycket fukt som uppstår i innerdonet, samt hur väl absorptionsmaterialet reglerar den mängd fukt som uppstår. Om materialet blir fuktigt kan detta bland annat leda till minskad funktion hos materialet. Även monteringen av absorptionsmaterialet behöver undersökas närmare för att se om spalten i innerdonets innerlåda är tillräcklig för att hålla materialet på plats.

8.5. Komponenter och dess montering

Monteringen av innerdonets olika komponenter rekommenderas att undersökas vidare praktiskt, där upphängningar och fästmetoder evalueras. Framförallt så behöver fästmetoden av det yttre trälocket undersökas, i syfte att se om upphängningen är tillräcklig. Vissa åtgärder i form av andra upphängningsmetoder eller ökad dimensionering av till exempel skruvar och plugg kan behöva appliceras.

En smidigare lösning att fästa innerlocket rekommenderas även undersökas, helst i form av en snäppmekanism, detta för att slippa skruva i plasten och på så vis minska risken för skador i materialet som kan påverka livslängden. Detta skulle även underlätta vid reparation och underhåll i användningssynpunkt, då verktyg inte skulle behövas för att montera av innerlocket.

8.6. Bullerrisker

Bullerrisker angående innerdonets utformning bör undersökas mer praktiskt. Detta speciellt gällande infästningen i väggen och eventuella stomljud som kan uppkomma. Eventuella vibrationer hos donets komponenter bör också undersökas vidare, framförallt mellan donets inre och yttre låda. Dessa vibrationer kan ge upphov till en ökad mängd buller, vilket bör undvikas.

8.7. Se över övriga risker

Generellt så behöver även de risker som tagits upp i riskanalysen ses över. Framförallt så behöver det undersökas vidare huruvida det föreligger en brandrisk i det fall dammbildning uppstår i nära anslutning till elektroniken, och lämpliga åtgärder bör tas i det fall en risk föreligger. Andra risker kan vara att det inte finns tillgängliga leverantörer för de material som rekommenderas eller tillverkare som kan producera innerdonet.

8.8. Genomgående hållbarhetsanalys

Hållbarhetsanalysen av materialval bör ses över gällande transport och materialprocesser. Fossilfria transporter bör väljas och då material behöver processas bör fossilfri energi användas. Då projektet fokuserade till att se över materialval ut ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv måste detta också ses över ur ett socialt och ekonomiskt hållbarhetsperspektiv, detta genom att se till att brytning och produktion av dessa material sker i enlighet med de globala målen, specifikt mål 8: Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt och även TNS hållbarhetsprinciper (The Natural Step International, u.å), specifikt strategi 4, som berör mänskliga behov.

En övergripande livscykelanalys bör utföras, som tar hänsyn till luftdonets hela livscykel i ekologiskt, socialt och ekonomiskt perspektiv. Utöver materialval bör man se till att tillverkning, distribution, installation, användningstiden, reparation och återvinning/återanvändning vid slutet av livscykeln tar hållbarhetsprinciperna i beaktning. Genom att erbjuda en produkt vilken tar hänsyn till hållbar produktutveckling kan detta även innebära en försäljningsfördel för företaget.

8.9. Undersöka alternativa lösningar för bullerreducering

En alternativ lösning som visade lovande resultat, speciellt vid reduktion av låga frekvenser var Helmholtzabsorbenter. Absorbenterna kan med lite åtgång på material och med liten yta designas på ett sådant sätt att de reducerar låga frekvenser. De låga frekvenserna är de som är mest problematiska då det ofta krävs en stor mängd, tjockt material för att reducera dessa. Denna lösning gick inte vidare i projektet på grund av tidsbegränsning, då det bedömdes att det krävdes avsevärt mycket mer efterforskning för att skapa en fungerande lösning. En framgångsrik lösning inkluderande Helmholtzabsorbenter kan möjliggöra för ett litet innerdon som skulle kunna marknadsföras som en avancerad och effektiv lösning, som även kan rikta in sig på kritiska frekvenser. Därmed rekommenderas det att vidare undersökning görs på denna typ av bullerreducering vid eventuella uppgraderingar eller nya modeller av innerdon till värmepumpen.

9. Referenser

Adams, T. (2016). *Sound materials: A compendium of sound absorbing materials for architecture and Design*. Frame.

Arbetsmiljöverket. (2022). Fördjupning om buller och ljud. Hämtad 27 maj, 2022, från <https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/buller/fordjupning-om-buller-och-ljud/#4>

Brezet, H. (1997). The Ecodesign Checklist. Hämtad 27 maj, 2022, från https://issuu.com/acunar/docs/delft_design_guide/55

Broman, G.I., Robert, K.-H. (2017). A framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 140, 17-31.

Chowdhury, R.R, Alam, M.M. & Islam, A.K.M. Sadrul Islam. (2017). Numerical Modeling of Turbulent Flow Through Bend Pipes. *Mechanical Engineering Research Journal*, 10, 14-19.

Czaplejewicz, W. (2017). Version (2.1 Build 217). Advanced Spectrum Analyzer PRO. Retrieved 2022, from www.vuche.com.

Forest Steward Council Sverige (u.å). Vår organisation. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://se.fsc.org/se-sv/var-organisation>

Gonçalves, F., Correia, P., Silva, S. P., & Almeida-Aguiar, C. (2015). Evaluation of antimicrobial properties of Cork. *FEMS Microbiology Letters*, 363(3). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv231>

Kairouz, K., & Price, D. (2017, June 20). Understanding fan acoustics. *Processing Magazine*.

Lobanoff, V. S., & Ross, R. R. (1992). *Centrifugal Pumps*. Gulf Professional Publishing.

Mestre, A., & Gil, L. (2011). Cork for Sustainable Product Design. *Ciência e Tecnologia Dos Materiais*, 23(3-4), 52-63. <https://doi.org/http://repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/1383/1/corkfor%20sustainable10%20%283%29.pdf>

Miljömärkning Sverige AB. (2022). Så arbetar vi - varför miljömärkt?. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.svanen.se/svanens-arbete/hur-funkar-det/>

Molander, M. (2012). Beräkningsmetoder för ventilationskanalsystem (examensarbete).

Naturskyddsföreningen. (2022). Naturfibrer: bomull, lin och hampa. Hämtad 27 maj, 2022, från <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-miljovanliga-ar-materialen-i-vara-klader/>

NE Nationalencyklopedin AB (u.å.a). Ventilation. I Nationalencyklopedin. Hämtad 22 maj, 2022, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/ventilation>

NE Nationalencyklopedin AB (u.å.b). Resonans. I Nationalencyklopedin. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/resonans>

NE Nationalencyklopedin AB (u.å.c). Värmeväxlare. I Nationalencyklopedin. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/värmeväxlare>

NIBE. (2018). Energi i luften är häpnadsväckande. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.nibe.eu/sv-se/om-nibe/nyheter/press/2018-07-09-energin-i-luften-ar-hapnadsvac-kande>

The natural step international (u.å). Approach. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://thenaturalstep.org/approach/>

Peters, R. J., Smith, B. J., & Hollins, M. (2013). *Acoustics and noise control*. Routledge.

Programme for the Endorsement of Forest Certification (2022). What is PEFC?. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://pefc.org/discover-pefc/what-is-pefc>

Program för Teknisk Standard. (2015, June 12). *Bilaga A, Akustiska Begrepp*. Locum, värden för vården. Retrieved May 9, 2022, från <https://www.locum.se/globalassets/global/3.verktygen/styrdokument-fastigheter/overgripande-anvisningar/akustik/bilaga-a-akustiska-begrepp.pdf>

Skogsstyrelsen. (2022). Certifiering av skog. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.skogsstyrelsen.se/aga-skog/du-och-din-skog/certifiering/>

Snee, R. D., & Rodebaugh, W. F., Jr. (2008). Failure Modes and Effects Analysis. *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470061572.eqr411>

Socialstyrelsen. (2008). Buller: Höga Ljudnivåer och Buller Inomhus. Edita.

Svensk ventilation (u.å). Olika sätt att ventilera . Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/>

United Nations Development Programme. (2021). Mål 12: Hållbar konsumtion och produktion. Hämtad 27 maj, 2022, från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-12-hallbar-konsumtion-och-produktion/>

Vattenfall AB. (u.å). Så fungerar en värmepump. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.vattenfall.se/varmepumpar/luftvarmepump/hur-fungerar-en-luft-luftvarmepump/>

Vattenfall AB. (2019). Så fungerar en värmepump. Hämtad 22 maj, 2022, från <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/olika-varmekallor/>

White, P., St. Pierre, L., & Belletire S. (2014). Okala Perceptioner, Integration ecological design. Okala Team.

Österlin, K. (2016). Design I Fokus - Varför Ser Saker ut som de gör? Liber.

Andersson, J. & Svensk byggtjänst. (1998). Akustik och buller. AB Svensk byggtjänst.

Sveriges Geologiska Undersökning. (2022). Metall och mineralåtervinning. Hämtad 27 maj, 2022, från <https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/>

Stena Recycling. (u.å). Metallåtervinning. Hämtad 27 maj, 2022, från <https://www.stenarecycling.se/hallbar-atervinning/atervinning-av-material/metallatervinning/>.

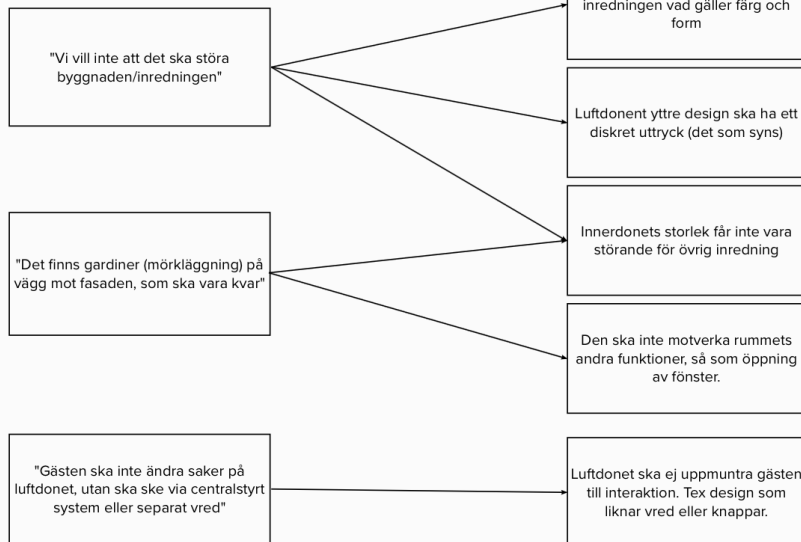
10. Bilagor

Bilaga 1: Behovslista

TILLTÄNKT KUND (hotellkedja)

Kundförväntning

Designuttryck



Kundbehov

FÖRETAGET (Tre Ess innovation)

Förväntning



Behov

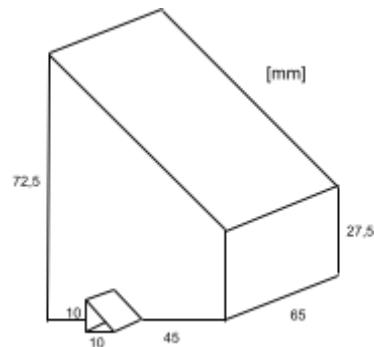
Bilaga 2: Parvis jämförelse

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.	J.	K.	L.	M.	N.	O.	Summa	Relativ summa	Viktning kriteriespecifikation
A. Minska buller	-	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5	12,5	0,11904761	3
B. Tåla fukt	0	-	0	0	0,5	0,5	1	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0	3	0,02857142	1
C. Livslängd	0	1	-	0	0,5	1	1	0	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	8	0,07619047	2
D. Höjd * Bredd * Djup	0,5	1	1	-	1	1	1	0,5	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	11	0,10476190	3
E. Medge underhåll	0	0,5	0,5	0	-	1	1	0	0,5	1	0,5	0,5	0	0	0	5,5	0,05238095	2
F. Minimera massa	0	0,5	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,00476190	1
G. Tydligt gränssnitt	0	0	0	0	0	1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00952380	1
H. Passa i användningsmiljö	0	1	1	0,5	1	1	1	-	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	10,5	0,1	3
I. Återvinningsbar	0	1	0,5	0	0,5	1	1	0	-	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	8	0,07619047	2
J. Smutsavvisande	0	0,5	0	0	0	1	1	0	0	-	0	0,5	0	0	0	3	0,02857142	1
K. Möjliggöra reparation	0	1	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	1	-	1	0,5	0,5	0,5	9	0,08571428	2
L. Möjliggöra städning	0	0,5	0	0	0,5	1	1	0	0	0,5	0	-	0	0	0	3,5	0,03333333	1
M. Nyttja enkla tillverkningsmetoder	0,5	1	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	1	-	0,5	0,5	10	0,09523809	3
N. Nyttja befintliga komponenter	0	1	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	-	0,5	9,5	0,09047619	3
O. Nyttja material som är enkelt tillgängliga	0,5	1	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	-	10	0,09523809	3

Bilaga 3: Mått och beräkningar Helmholtzabsorbent

Ekvation för beräkning av mått för reduktion av specifik frekvens Helmholtzabsorbent

(uttryck 6): $f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{LV}}$



$$\text{Volym (V)} = \left(\frac{45}{2} + 27,5\right) * 45 * 65 = 146250\text{mm}^3 = 1,4625 * 10^{-4} \text{m}^3$$

$$\text{Tvärarea hals (s)} = \frac{10*10}{2} = 50 \text{mm}^2 = 5 * 10^{-5} \text{m}^2$$

$$\text{Längd hals} = 10,26 \text{mm} = 1,026 \text{m}$$

$$\frac{343}{2\pi} \sqrt{\frac{5*10^{-5}}{1,026*10^{-2}*1,4625*10^{-4}}} = 315 \text{Hz}$$

Bilaga 4: Konceptkatalog

ABSORPTIONSMATERIAL	
<p>A1: TETRIS</p> <p>En låda med ljudabsorberande material placerat L-format, dessa skapar en vinkel i luftkanalen. In- och utluft hål är placerade på respektive sida. På lådan placeras passande dekal.</p>	
<p>A2: RUND Singel</p> <p>Rund kanal som fortsätter, där 8cm absorptionsmaterial är placerat. Dessa kanal täcks sedan med ytterligare en kanal. In och utluft hål är placerade på respektive sida.</p>	
<p>A3: Rund dubbel</p> <p>Rund kanal som fortsätter, där 8cm absorptionsmaterial är placerat. Dessa kanal täcks sedan med ytterligare en kanal likt A2, men här är även 4 cm absorption material placerat i det yttre röret. In och utluft hål är placerade på respektive sida.</p>	
HELMHOLTZ	
<p>H1: Cirkulär helmholtz</p> <p>Donet består av ett rör som fortsätter ut från väggen. Här är helmholtzabsorbenter placerat cirkulärt runt de båda luftkanalerna. In och utluft hål är placerade på respektive sida. Donet har ett öppningsbart lock.</p>	

<p>H2: Helmholtz SPIRALTUB VERTIKAL</p> <p>Donet består av två vertikala tuber, där en spiralvariant av helmholtz funkar som ljudämpare. In och ut luft ingångar är placerade uppe och nere. Luftdonet fungerar även som lampa.</p>	
<p>H3: Spiraltub horisontell</p> <p>Donet består av två horisontella tuber, där en spiralvariant av helmholtz funkar som ljudämpare. In och ut lufthål är placerade på respektive sida.</p>	
<p>H4: Vålvd båge</p> <p>Donet består i grunden av en rektangulär form, men där framsidan är vålvd. Här är olika typer av helmholtzabsorbenter placerade och även absorberande material.</p>	
<p>H5: Växt</p> <p>Donet är en halv cylinder, in och utluftkanal är placerat på ovansida och undersida. Utanpå finns en nätstruktur där växter kan placeras. Bullerreducering sker med helmholtzabsorbenter som är placerade på insidan.</p>	
<p>REAKTIVDÄMPARE</p>	

<p>R1: Blomman</p> <p>En cirkulär grundform där luftkanaler består av flera mindre rör, där tvärsnittsarean går från större till mindre och på så vis skapar en reaktiv dämpare. Framsidan är formad som en blomma för att täcka dessa rör</p>	
<p>R2: Kupol</p> <p>Donet består av flera kupoler i olika storlekar där lufthål varierar i storlek, detta för att tvärsnittsarea som går från större till mindre och på så vis skapa en reaktiv ljuddämpare.</p>	
<p>R3: Välvd reaktiv</p> <p>En halv cylinderform med väggar där luftkanalerna tvärsnitt varierar. För att skapa en reaktiv dämpare.</p>	
<p>LABYRINT</p>	
<p>L1: Labyrintpanel</p> <p>Ett don där väggarna placeras då det blir en labyrint. Dessa väggar är olika typer av paneler som placeras i donet. I kombination med absorptionsmaterial och diffraktion blir det ljuddämpande.</p>	

Bilaga 5: Elimineringssmatris

Chalmers		Elimineringsmatris för LUFTDON					
Utfärdad av: <i>Emmy Silfverhjelms, Nina Silfverstrand</i>					Skapad: 2022-04-27 Modifierad: yyyyyy		
	J = JA N = NEJ					Behåll eller eliminer lösning ? Sök (mer) information	
Alternativ	Löser huvudproblemet	Uppfyller alla krav	Realiserbar (i alla praktiska avseenden)	Passar företaget	Passar kund	Tillräcklig information finns	
FOKUS ABSORPTIONS MATERIAL							
A1: Absorptionsmaterial TETRIS	J	N	J	J	J	J	Den blir för hög med nuvarande dimensioner, osäkert om det fungerar.
A2: Absorptionsmaterial RUND SINGEL	J	J	J	J	J	J	
A3: Absorptionsmaterial RUND DUBBEL	J	J	J	J	J	J	
FOKUS HELMHOLTZ							
H1: Helmholtz CIRKULÄR	J	J	J	J	J	J	
H2: Helmholtz SPIRALTUB VERTIKAL	J	J	N	N	N	N	Tillverkning, vet ej hur vi ska få ihop den, många tekniska aspekter som ska fungera, lampa placering och lampa sammanfaller ej, spiral helmholtz ej tillräcklig information
H3: Helmholtz SPIRALTUB HORISONTELL	J	J	N	J	J	N	Tillverkning svår, spiral helmholtz ej tillräcklig information.
H4: Helmholtz BÅGE	J	J	J	J	J	J	
H5: Helmholtz VÄXT	J	J	N	N	N	N	Kombination vatten och teknik, design och placering sammanfaller ej (malplacerad).
FOKUS LJUDLABYRINT							
L1: Labyrint PANELER	J	J	J	J	J	J	
L2: Labyrint MAZE	J	J	J	J	J	J	
FOKUS REAKTIV DÄMPARE							
R1: Reaktiv dämpare BLOMMA	N	J	J	J	N	J	Passar inte in i användningsmiljön, även malplacerad eventuellt ovanför fönster, inte tillräckligt delat luftflöde.
R2: Reaktiv dämpare KUPOL	J	J	J	J	J	J	
R3: Reaktiv dämpare VÄLVD	J	J	J	J	J	J	

Bilaga 6: Betygskrav för Kesselringmatrisen

Minimera massa	Betyg		Minska buller	Betyg		Tåla fukt	Betyg
Max: 4 kg		1	Tillräcklig: 28		1	Vattenavisande: Tål kondens	1
Max: 3 kg		2	Bra: 26		2	Vattentålig: Tål spray och kondens	2
Max: 2 kg		3	Över: 24		3	Vattentät: Helt spolbar	3
Tåla rengöring	Betyg		Robusthet:slag stötar	Betyg		Livslängd	Betyg
Avtorkningsbar med torr trasa		1	Tål lättare stötar		1	5 år	1
Avtorkningsbar med vatten		2	Tål stötar till viss del		2	8 år	2
Avtorkningsbar med städprodukter		3	Tål hårdare stötar		3	10 år	3
Dimensioner (H*B*D)	Betyg		Medge underhåll	Betyg		Återvinningsbar	Betyg
≤ 300 * 500 * 200 mm		1	kräver verktyg och krångligt att byta delar		1	mindre än 50%	1
≤ 200 * 300 * 100 mm		2	Kräver verktyg med smidig byta delar		2	75%	2
≤ 150 * 150* 100 mm		3	Enkel att plocka ner och byta delar		3	90%	3
Tydligt gränssnitt	Betyg		Passa användningsmiljö	Betyg		Smutsavvisande	Betyg
Okej		1	Diskret design		1	Samlar lite smuts	1
Bra		2	Följer interiördesign i användningsmiljö		2		2
Väldigt lättförståeligt		3	Smälter in i användningsmiljön		3	Samlar ingen smuts	3
Möjliggöra reparation	Betyg		Möjliggöra städning	Betyg		Nyttja enkla tillverkningsmetoder	Betyg
Komponenter kan bytas ut		1	Svårstädad		1	50%	1
Komponenter kan snabbt/enkelt bytas av fackman		2			2	75%	2
Komponenter kan bytas ut utan kunskap		3	Lättstädad		3	90%	3
Nyttja befintliga komponenter	Betyg		Nyttja material som är enkelt tillgängliga	Betyg			
50%		1	50%		1		
75%		2	75%		2		
90%		3	90%		3		

Bilaga 7: Kesselringmatrix

Tabellen nedan är en tillämpning av metoden med absolut beslutsmatrix, även känd som Kesselringmetoden och Weighted Objectives Method.
Observera att alla beräkningar inte nödvändigtvis är relevanta i alla situationer!

Chalmers		Kesselringmatrix									
Utfärdare:		Skapad: 2022-04-28					Modifierad: yyyyyy				
Kriterier		Alternativ									
		Helmholtz RUND		Helmholtz BÄGE		Abs. KVADRAT		Abs. RUND		MAZE	
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
A. Minska buller	0,119	1	0,119	1	0,119	1	0,119	2	0,238	1	0,12
B. Tåla fukt	0,029	2	0,057	1	0,029	1	0,029	1	0,029	1	0,03
C. Livslängd	0,076	3	0,229	2	0,152	2	0,152	2	0,152	2	0,15
D. Höjd * Bredd * Djup	0,105	2	0,210	1	0,105	2	0,210	2	0,210	1	0,10
E. Medge underhåll	0,052	3	0,157	3	0,157	3	0,157	3	0,157	3	0,16
F. Minimera massa	0,005	3	0,014	2	0,010	3	0,014	3	0,014	2	0,01
G. Tydligt gränssnitt	0,010	2	0,019	2	0,019	2	0,019	2	0,019	1	0,01
H. Passa i användningsmiljö	0,100	2	0,200	1	0,100	2	0,200	2	0,200	1	0,10
I. Återvinningsbar	0,076	2	0,152	2	0,152	3	0,229	3	0,229	2	0,15
J. Smutsavvisande	0,029	2	0,057	2	0,057	2	0,057	2	0,057	2	0,06
K. Möjliggöra reparation	0,086	2	0,171	2	0,171	2	0,171	2	0,171	2	0,17
L. Möjliggöra städning (utanpå)	0,033	3	0,100	3	0,100	3	0,100	3	0,100	3	0,10
M. Nyttja enkla tillverkningsmetoder	0,095	1	0,095	1	0,095	3	0,286	3	0,286	1	0,10
N. Nyttja befintliga komponenter	0,090	1	0,090	1	0,090	2	0,181	2	0,181	1	0,09
O. Nyttja material som är enkelt tillgängliga	0,095	2	0,190	2	0,190	3	0,286	3	0,286	3	0,29
<i>T (Totalt viktat värde)</i>		31	1,862	26	1,548	34	2,210	35	2,329	26	1,63
Medel		2,07	0,12	1,73	0,10	2,27	0,15	2,33	0,16	1,73	0,11
Standardavvikelse		0,50	0,06	0,59	0,04	0,59	0,07	0,53	0,07	0,68	0,05
Median		2,00	0,12	2,00	0,10	2,00	0,16	2,00	0,17	2,00	0,10
Antal svaga punkter		3		6		2		1		7	
Rangordning			3		5		2		1		4
Beslut											