



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Jämförelse av inbyggd klimatpåverkan för VAV och CAV-system med kylbafflar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Linnea-Louise Joo
Moa Normark

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Jämförelse av inbyggd klimatpåverkan för VAV och CAV-system med kylbafflar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Joo Linnea-Louise

Normark Moa

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Jämförelse av inbyggd klimatpåverkan för VAV och CAV-system med kylbafflar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Joo Linnea-Louise

Normark Moa

© JOO LINNEA-LOUISE, NORMARK MOA 2023

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2023

Jämförelse av inbyggd klimatpåverkan för VAV och CAV-system med kylbafflar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Joo Linnea-Louise

Normark Moa

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Klimatpåverkan har en allt större betydelse i dagens samhälle. Byggsektorn står i nuläget för en stor andel av våra totala utsläpp av växthusgaser, där en förklaring till detta är att det finns brist på kunskap och information kring klimatpåverkan inom branschen. Det finns därför idag ett behov att minska klimatpåverkan från byggnationer, dessutom finns det idag inom installationsbranschen en ökad efterfrågan av miljödokumentation gällande materialval och komponenter. Mot den bakgrunden har följande examensarbete gjorts i syfte att studera klimatpåverkan avseende materialåtgång för att undersöka skillnaden mellan ett VAV-system och ett CAV-system med kylbafflar.

Klimatpåverkan jämfördes för kanaler, rör, don och kylbafflar för ett våningsplan. För att möjliggöra en generell bild av en kontorsbyggnad med 4 våningar multiplicerades de beräknade värdena med fyra. Luftbehandlingsaggregaten jämfördes utifrån centraliserad ventilation där ett aggregat är placerat på ett våningsplan som sedan försörjer alla våningsplan eller rum, och decentraliserad ventilation där aggregaten placeras på respektive våningsplan eller rum som aggregatet ska försörja. Systemen är utformade för att uppfylla kraven gällande hygien- och komfortluftflöde och använder sig av till exempel standardmaterial och dimensioner för branschen. Ingen hänsyn har tagits till hur respektive system skiljer sig från varandra på lång sikt med hänsyn till klimatpåverkan för underhåll och livslängd. Detsamma gäller respektive system avseende kostnad.

Avslutningsvis kan vi fastställa att examensarbetet innefattar flertalet antaganden och det är ett stort antal parametrar som påverkar klimatpåverkan med avseende på materialåtgång. VAV-systemet är en bättre systemlösning för kontorsbyggnader i Sverige med avseende på total klimatpåverkan samt klimatpåverkan per m² A-temp. Minst total materialanvändning har VAV-systemet. De största andelen material som systemlösningarna innehåller är stål och stenull. Produktkategorierna som bidrar till störst klimatpåverkan är ventilationskanalerna för de båda systemen, därefter kommer kylbafflarna i kylbaffelsystemet och tilluftsdonen i VAV-systemet.

Nyckelord: Installationsteknik, kylsystem, luftburen kyla, vattenburen kyla, VAV-system, kylbaffel, materialanvändning, kontorsbyggnad, luftbehandlingsaggregat, klimatdata, klimatpåverkan, koldioxidekvivalenter, systemlösning,

Comparison of built-in climate impact for VAV and CAV systems with chilled beams

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

Joo Linnea-Louise

Normark Moa

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Services Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Climate impact has an increasing importance today. Currently, the construction sector accounts for a large proportion of our total emissions of greenhouse gases due to deficiencies in knowledge and information about climate impact within the industry. Therefore, the climate impact needs to be reduced. In addition to that there is an increased demand for environmental documentation regarding material selection and components within the installation industry. The aim of the study is to make a system analysis of the climate impact regarding material consumption to investigate the difference between VAV-system and CAV-system with chilled beams.

The reference building of this project is Johanneberg Science Park office building located in Gothenburg, where there is currently an existing VAV- system that is being redesigned into a CAV- system with chilled beams. The building is only for reference where a floor plan has been used in planning and calculation. Using the following thesis, assessment of the overall climate impact from product and material can be made by designers. The climate impact was compared for ducts, pipes, and chilled beams for one floor of the building. To enable a general picture of an office building with 4 floors, the calculated values were multiplied by four. The air handling units (AHU) were compared based on centralized ventilation where a unit is placed on one floor which then supplies all floors or rooms and decentralized ventilation where the units are placed on the floor or room that it is supposed to supply. The systems are designed to meet similar requirements for both thermal comfort and use. For example, standard materials and dimensions for the industry are used. No consideration has been given to how the systems differ from each other in the long-term regarding climate impact for maintenance and lifespan. The same applies to the systems regarding cost.

In conclusion, we can determine that the degree project includes a few assumptions and several parameters that influence the climate impact regarding material consumption. Regarding total climate impact and climate impact per m² A-temp, the VAV system is a better system solution for office buildings in Sweden. The VAV system has the least total material use. The largest proportion of materials that the system solutions contain are steel and stone wool. The product categories that contribute to the greatest climate impact are the ventilation ducts for both systems, followed by the cooling baffles in the cooling baffle system and the supply air devices in the VAV system.

Key words: Installation technology, cooling system, air-borne cooling, water-borne cooling, VAV system, chilled beam, material use, office building, air handling units, climate data, climate impact, carbon dioxide equivalents, system solution,

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
FIGURFÖRTECKNING	IX
TABELLFÖRTECKNING	X
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	3
2 FÖRUTSÄTTNINGAR	4
2.1 Referensobjekt	4
2.2 Förutsättningar kontorsbyggnad	4
2.3 Inomhusklimat och dess upplevelse	4
3 SYSTEMUPPBYGGNAD	6
3.1 Luftburen kyla	6
3.1.1 VAV-system	6
3.1.2 CAV-system	6
3.2 Vattenburen kyla	6
3.2.1 Kylbaffel	7
3.3 Luftbehandlingsaggregat	7
4 KLIMATPÅVERKAN	8
4.1 Livscykelanalys	8
4.2 Klimatdeklaration	9
4.2.1 Funktionell enhet	10
4.3 Environmental Product Declaration	10
4.4 Byggvarudeklaration	10
5 METOD	11
5.1 Studiebesök	11
	V

5.2	Beräkning av kyleffektbehov	11
5.3	Projektering i Auto CAD	12
5.4	Resurssammanställning	13
5.5	Klimatberäkning för ett våningsplan	14
5.6	Klimatberäkning luftbehandlingsaggregat	15
6	RESULTAT	17
6.1	Total klimatpåverkan för respektive systemlösning	17
6.2	Klimatpåverkan för ett våningsplan för respektive systemlösning	18
6.3	Systemlösningarnas klimatpåverkan per produktkategori för ett våningsplan	19
6.4	Materialanvändning i respektive systemlösning	20
6.5	Täckningsgrad av det totala materialet	21
6.6	Klimatpåverkan för luftbehandlingsaggregat och storlek på schakt	21
7	DISKUSSION	23
7.1	Projektering enligt branschens standarder	23
7.2	Känslighetsanalys av projekteringen	23
7.3	Kontroll av tryckfall för respektive systemlösning	24
7.4	Användning av klimatdata i klimatberäkningar	24
7.5	Säkerhet i beräkningen	25
7.6	Luftbehandlingsaggregatets klimatpåverkan	26
7.7	Klimatpåverkan per m ² A-temp	26
7.8	Vidare studier	27
8	SLUTSATS	28
9	REFERENSER	29
10	BILAGOR	31

Förord

Följande examensarbete utfördes av två studenter som studerar Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet utfördes under VT 2023 och motsvarar 15 högskolepoäng vilket är 20 veckor halvtidsstudier. Tillsammans med Bengt Dahlgren AB Göteborg kunde arbetet utföras. Vi vill rikta ett stort tack till vår examinator Anders Trüschel och handledare Torbjörn Lindholm för hjälp med stöd och handledning. Tack till vår handledare Andreas Fränne på Bengt Dahlgren AB som hjälpt oss med vägledning och diskussioner men även ett stort tack till Kasper Mörtzell som var till stor hjälp under projekteringen av VAV-systemet.

Göteborg juni 2023

Linnea-Louise Joo
Moa Normark

Beteckningar

AFS	Arbetsmiljöverkets författningssamling
AHU	Air handling unit
A-temp	Summan av invändig area för respektive våningsplan
BOM	Bill of materials
BVD	Byggvarudeklaration
CAD	Computer-Aided Design
CAV	Constant air volume
CO _{2e}	Koldioxidekvivalenter
EPD	Environmental Product Declaration
JSP	Johanneberg Science Park
LCA	Livscykelanalys
LCI	Livscykelinventering
MAB	Miljöanpassat byggande
M ²	Kvadratmeter
PMV	Predicted Mean Vote
PPV	Predicted Percentage of Dissatisfied
VAV	Variable air volume
VVS	Värme, ventilation, sanitet

Figurförteckning

Figur 1. Förväntad procentuell missnöjda som funktion av den upplevda termiska komforten.....	5
Figur 2. Illustration av skeden för en byggnads livscykel	8
Figur 3. Illustration av generisk- och specifika klimatdata.....	9
Figur 4. Urklipp från Auto CAD av projekteringen kylbafflar luft.	13
Figur 5. Urklipp från Auto CAD av projekteringen kylbafflar rör.	13
Figur 7. Beräkningsgång klimatberäkning	14
Figur 8. Decentraliserad ventilation - Total klimatpåverkan [kg CO ₂ e].....	17
Figur 9. Centraliserad ventilation - Total klimatpåverkan [kg CO ₂ e].....	18
Figur 10. Total klimatpåverkan för ett våningsplan för respektive systemlösning [kg CO ₂ e].....	18
Figur 11. Klimatpåverkan för ett våningsplan per produktkategori i VAV-systemet.	19
Figur 12. Klimatpåverkan för ett våningsplan per produktkategori i kylbaffelsystemet.	19
Figur 13. Andel material av total vikt för ett våningsplan i VAV-systemet [%].....	20
Figur 14. Andel material av total vikt för ett våningsplan i kylbaffelsystemet [%]. ...	20
Figur 15. Total klimatpåverkan luftbehandlingsaggregat för decentraliserad ventilation	22
Figur 16. Total klimatpåverkan luftbehandlingsaggregat för centraliserad ventilation.	22

Tabellförteckning

Tabell 1. Beräkningsgång av hygienluftflöde	11
Tabell 2. Beräkningsgång av komfortluftflöde	12
Tabell 3. Beräkning av kylkapacitet, luftflöde och dimensioner för CAV-systemet med kylbafflar	12
Tabell 4. Resurssammanställning för ett tilluftsdon	14
Tabell 5. Exempel klimatberäkning	15
Tabell 6. Exempel klimatdata	15
Tabell 7. Klimatberäkning för luftbehandlingsaggregat	16
Tabell 8. Total klimatpåverkan för ett våningsplan samt kg CO ₂ e/ m ² A-temp för respektive systemlösning	18
Tabell 9. Täckningsgrad [%]. Beräkning av täckningsgrad för VAV-system baserad på total vikt och beräknad vikt av material	21
Tabell 10. Täckningsgrad [%]. Beräkning av täckningsgrad för kylbaffel-system baserad på total vikt och beräknad vikt av material	21
Tabell 11. Schaktets, aggregatets och fläktrummetts storlek för decentraliserad ventilation	21
Tabell 12. Schaktets, aggregatets och fläktrummetts storlek för centraliserad ventilation	22
Tabell 13. Klimatpåverkan för VAV-systemet med en uppskalad huvudkanal.	24
Tabell 14. Klimatdata som används för klimatberäkningarna för materialet stål.....	25
Tabell 15. Jämförelse av klimatpåverkan beroende på klimatdata	26

1 Inledning

I följande kapitel behandlas bakgrunden, syftet, frågeställningar och avgränsningar till examensarbetet

1.1 Bakgrund

Installationsbranschen har en avsevärd roll i det samhälle vi lever i idag (Kuldkepp, 2021). Installationer har i uppgift att förse våra byggnader med värme, ljus, rent vatten och frisk luft. Detta sker genom att till exempel filtrera bort pollen från uteluften, ta bort luftföroreningar inomhus och hantera avloppsvatten. Trots alla viktiga och komplexa funktioner är ett bra installationssystem utformat för att ta så lite plats som möjligt och vara tyst. Förutom att systemet ska vara estetiskt tilltalande är det fördelaktigt om det är automatiserat, energieffektivt och har en så liten klimatpåverkan som möjligt. För att uppfylla alla ovan nämnda villkor krävs en hög kunskapsnivå inom branschen samt förståelse för hållbarhet. Hållbar utveckling definieras av FN 1987 som: ”hållbar utveckling är en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att riskera kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov” (Svanström, Gruvstad, & Everitt, 2018). FN:s medlemsländer antog 2015 agenda 2030 vilket omfattar 17 globala mål för hållbar utveckling. En stor del av målen har en omedelbar anknytning till samhällsbyggnadssektorn och därav har installationsbranschen en betydelsefull roll i fullbordandet av dessa.

Företag inom installationsbranschen upplever en ökad efterfrågan på miljödokumentation när det kommer till produkter och materialval (Svanström, Gruvstad, & Everitt, 2018). Företagen beskriver hur viktigt det är för dem att vara medveten om vad som byggs in i deras byggnader och att det därför är problematiskt att det finns bristande dokumentation om installationsprodukters innehåll av olika ämnen och material. Det uppstår problem när deklARATIONER saknas, det tvingar entreprenören att avstå från beställarkrav. Det har ifrågasatt varför installationsprodukter inte deklarerar och bedöms i samma omfattning som andra byggvaror. För att kunna utvärdera sina materialflöden och fastställa hållbarhetsprestanda för installationsprodukter använder företag ibland egna schabloner om deklARATIONER saknas.

I dagens samhälle är det av allt större betydelse att minska på klimatpåverkan. Den största bidragande orsaken till den ökade uppvärmningen av klimatet är på grund av utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket, 2022). Detta bidrar till en ökning av växthuseffekten vilket i sin tur leder till en ökad medeltemperatur på jorden. En av de främsta orsakerna till klimatförändringarna är utsläppen av koldioxid. Ur ett livscykelperspektiv står byggsektor för omkring 20 procent av de totala utsläppen av växthusgaser i Sverige idag (Naturvårdsverket, u.å.). Utsläppen uppstår främst vid tillverkningen av material men även från utsläpp kopplade till energianvändning i driftfasen (Fossilfritt Sverige, 2018). Tillverkningen av material står för 80% av

klimatpåverkan i byggskedet samtidigt som byggproduktionen och transportererna till byggarbetsplatsen endast står för 20% av påverkan.

Ett långsiktigt ramverk har satts av Riksdagen för att minska Sveriges klimatpåverkan innehållande en klimatlag, ett klimatpolitiskt råd och nya klimatmål (Regeringskansliet, 2017). Syftet med detta är att det skall ske en omställning i samhället där vi på lång sikt skall kunna lösa klimatutmaningarna. Klimatmålet syftar till att Sverige år 2045 skall ha ett nettoutsläpp noll och därefter gå mot ett negativt utsläpp. Den stora utmaningen blir att anpassa byggsektorns höga byggtakten till de satta klimatmålen i Sverige. En lösning på den höga klimatpåverkan är att reducera materialproduktionen och uppvärmningen, vilket bidrar till att utsläppen på sikt minskar genom en reduktion av produktion och användning av material som är mer hållbara.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att jämföra den inbyggda klimatpåverkan för ett VAV-system och ett CAV-system med kylbafflar. Systemen består av olika material och kyler byggnader på olika tillvägagångssätt, det ena genom luftburen kyla och det andra genom kombinerad luft- och vattenburen kyla. Dessa två systemlösningar är de vanligaste metoderna att använda sig av i kontorsbyggnader i Sverige.

Klimatpåverkan från produktskedet är högst relevant att utvärdera i dagsläget och att jämföra vilken av dessa två systemlösningar som har lägst klimatpåverkan. Det är även intressant att utvärdera vilka material som används mest och vilka produktkategorier som bidrar till den största klimatpåverkan. Finns det något samband mellan total materialanvändning och klimatpåverkan eller är det vilket material som systemlösningarna använder sig av som styr klimatpåverkan? Det görs klimatberäkningar för systemlösningarna. Examensarbetet är en fortsättning på tidigare arbete där systemjämförelse gjorts på samma system men med hänsyn till energianvändning och effektoppar. Följande studie hjälper projektörer att bedöma de övergripande miljöeffekterna av dessa två kylsystem.

1.3 Frågeställningar

1. Vilken systemlösning har minst total materialanvändning?
2. Vilken systemlösning ger minst total CO₂e-utsläpp?
3. Vilka material ingår i respektive system?
4. Vilka produktkategorier i respektive systemlösning bidrar till störst klimatpåverkan?

1.4 Avgränsningar

Rapporten studerar ett kylsystem på en referensbyggnad placerad i Göteborg. Undersökningen av ett CAV-system med kylbafflar och ett VAV-system kommer göras med avseende på materialåtgång och klimatpåverkan. Systemjämförelsen begränsas till ett våningsplan i byggnaden. Systemlösningarna är utformade för att uppfylla samma krav på termisk komfort och använder sig av exempelvis standardmaterial och dimensioner för branschen. Ingen hänsyn har tagits till hur respektive system skiljer sig från varandra på lång sikt med hänsyn till klimatpåverkan för underhåll och livslängd. Detsamma gäller respektive system avseende kostnad. LCA-beräkningen begränsas till produktionsskedet A1-A3 i byggskedet.

2 Förutsättningar

I följande kapitel ges en kort beskrivning av Johanneberg Science park samt krav, riktlinjer och drivkrafter som bidrar till en god arbetsmiljö.

2.1 Referensobjekt

Johanneberg Science Park (JSP) är en kontorsbyggnad som uppfördes år 2013. Byggnaden är belägen på Chalmers Campus Johanneberg i Göteborg. JSP är projekterad för att uppnå kravet på miljöklassning enligt Miljöbyggnad Nivå Guld och byggnadens energiprestanda skall maximalt uppgå till 50 kWh/ m²*år. Miljöbyggnad är ett miljöcertifieringssystem för byggnader och en byggnad bedöms med upp till sexton indikatorer inom områdena energi, inomhusmiljö och material (Sweden Green Building Council, 2020). Vid utförandet eftersträvades det att följa Göteborgs program för Miljöanpassat byggande (MAB) avseende kraven för materialval. Inga produkter eller byggmaterial skulle innehålla riskminskning och utfasningsämnen över satta gränshalter. Kriterier för val av material och produkter som är långsiktigt hållbara även ur ett förvaltningsperspektiv sattes upp där återanvänt och återvunnet material skulle prioriteras.

2.2 Förutsättningar kontorsbyggnad

I en kontorsbyggnad finns dels krav på ventilation anpassat till stillasittande arbete och krav på att ventilationen skall vara lämplig utefter hur många personer som befinner sig i lokalen (Arbetsmiljöverket, 2021). Arbetsmiljöverkets författningssamling (AFS) 112 § säger att vid stillasittande arbete skall uteluftflödet tillföras med lägst 7 l/s/person, vilket är ett krav till för att merparten skall acceptera lukt som kommer från andra befinnande i lokalen (AFS, 2020). Det skall även vara ett flöde på 0,35 l/s/m² då emissioner från inredning och byggnadsmaterial skall ventileras bort. Det är därför viktigt att dimensionera systemet rätt för att uppnå dessa krav för ventilation samtidigt som hänsyn till drag också behöver tas.

Förutsättningarna för utformning av ventilationen i en kontorsbyggnad påverkas av strukturen på arbetsplatsen. I ett öppet kontorslandskap sitter medarbetare gemensamt i en öppen lokal där avskiljande väggar inte finns, vilket underlättar samarbetet mellan kollegor och kan bidra till spridning av kunskap och ökad gemenskap på en arbetsplats (Arbetsmiljöupplysningen, u.å). Till skillnad från det öppna kontorslandskapet har medarbetarna ett eget kontorsrum i det stängda kontorslandskapet. Där finns möjligheten att stänga dörren vid tillfällen när en medarbetare inte vill bli störd, däremot gör det att kontaktmöjligheterna till de andra kollegorna minskar. Skall en flexibilitet finnas där möjligheten att skifta från ett öppet kontorslandskap till ett stängt behöver även detta tas hänsyn till i projekteringen av systemet.

2.3 Inomhusklimat och dess upplevelse

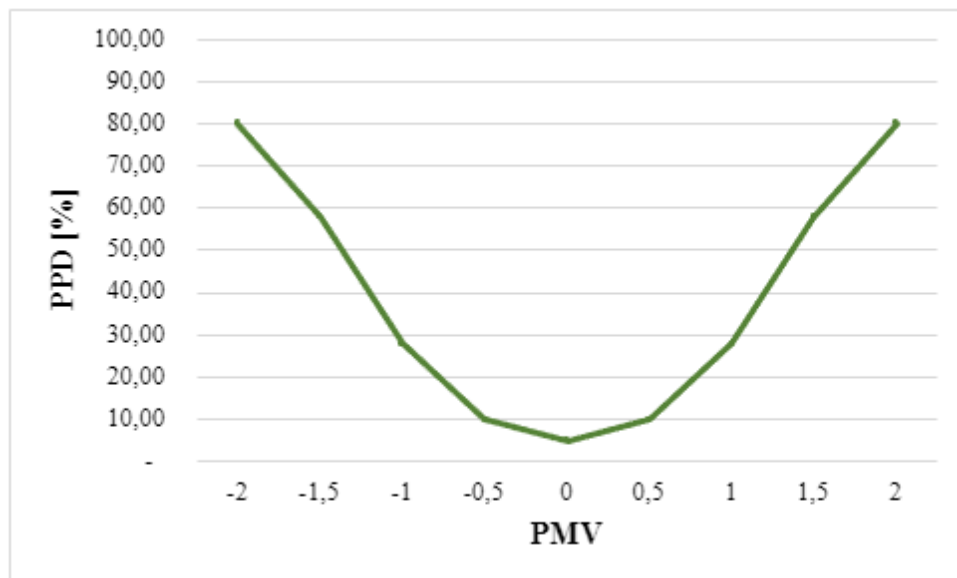
Upplevelsen av en arbetsmiljö styrs till stor del av inomhusklimatet vilket innebär ventilation, luftfuktighet, luftföroreningar och inomhustemperatur (Arbetsmiljöverket, 2022). Människans upplevelse av detta klimat kallas för termisk komfort. Faktorer som påverkar den termiska komforten är en samverkan av flertalet faktorer (Swegon, 2007):

- Relativ fuktighet i luften

- Relativ hastighet i luften
- Temperatur på omgivande ytor
- Temperatur på den omgivande luften
- Aktivitetsnivå
- Klädsel

En god arbetsmiljö påverkar de flesta människor upplever klimatet olika (Swegon, 2007). Det har därför tagits fram ett PMV index som bedömer den samlade påverkan av alla faktorer. Vilket är en skala som sträcker sig mellan -3 och +3, där 0 anses vara neutralt. PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) den förväntade procentuella mängden missnöjda som funktion av PMV (Predicted Mean Vote). PPD ger en uppskattning av andelen som skulle vara missnöjda med den termiska komforten. I figur 1 illustreras förhållandet mellan PPD och PMV.

Figur 1. Förväntad procentuell missnöjda som funktion av den upplevda termiska komforten.



3 Systemuppbyggnad

I följande kapitel förklaras den grundläggande teorin bakom de ingående systemens uppbyggnad.

3.1 Luftburen kyla

Den huvudsakliga uppgiften för ett ventilationssystem är att rena luften som tillförs in i ett rum eller byggnad (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Skulle det vara ett värmeöverskott kan även luften användas för kylning. Kapaciteten att föra bort värme (kyla) styrs till del av skillnaden mellan tilluftstemperaturen och rumstemperaturen men även tilluftsflödets storlek. Risken för drag i vistelsezonen ökar vid större ventilationsflöden och kallare luft som tillförs. Med följande samband kan ventilationsluftens förmåga att föra bort värme beräknas:

$$P = \rho \cdot c_p \cdot q \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{W})$$

3.1.1 VAV-system

I den befintliga byggnaden existerar det ett VAV-system, vilket står för Variable Air Volume och innebär att ventilationen regleras för att uppfylla rätt behov av luftflöde (Swegon, u.å.a). Behovet av ventilation styrs av krav på luftkvalitén alternativt/samt det termiska klimatet medan luftflödet styrs av flertalet indikatorer exempelvis, temperatur, koldioxidhalt och aktivitet (Ekberg, o.a., 2022).

Genom att använda ett system som anpassas utefter en stillasittande aktivitet kan både energibehovet minska samtidigt som kostnaderna för systemet kan minska eftersom mindre kapacitet krävs (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Rum som är fria från aktivitet kommer därför ventileras ytterst lite. Ventilationsflödet styrs av en närvarodetektor som avgör rörelsen i rummet där styrningen av flödet sker med motordrivna spjäll eller tilluftsdon. Tryckgivare och tryckhållande utrustning behövs för att det variabla flödet i ett rum inte skall störa ventilationen i övriga rum.

3.1.2 CAV-system

CAV står för Constant Air Volume vilket innebär att oberoende av värmealstring och aktivitetsnivå i ett rum kommer tilluftsflödena vara konstanta (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I den här typen av system är det enligt Arbetsmiljöverkets hygieniska kvalitetskrav som styr det luftflöde som väljs, dvs minst $7 \text{ l/s} + 0,35 \text{ l/s, m}^2$. Till skillnad från ett VAV-system hålls tilluftstemperaturen omkring $+18^\circ\text{C}$.

3.2 Vattenburen kyla

Med vattenburen kyla är det möjligt att reglera termisk komfort och luftkvalité oberoende av varandra, därför är det möjligt att anpassa klimatet bättre efter individen (Swegon, u.å.b). Vattenburen kyla delas in i våt och torr kyla. Våt kyla innebär att det distribuerande vattnet ut i byggnaden är under daggpunkten, vilket bidrar till att det bildas kondens som kräver hantering. Kyleffekten blir större då skillnaden i temperatur mellan luften och vattnet är större. Det påverkar inte luftens temperatur eftersom mycket av värmen som transporteras bort kommer från att luften torkas.

För kylbafflar är det endast torr kyla som är applicerbart. I examensarbetet utgår därför beräkningarna utifrån torr kyla, vilket innebär att vattnet håller sin temperatur över daggpunkten då framledningstemperaturen regleras, vilket gör att kondens i rummet kan undvikas.

3.2.1 Kylbaffel

Ett exempel på hur värme kan transporteras bort från ett rum eller byggnad är med en kylbaffel. Den maximala kyleffekten hos en kylbaffel styrs av risken för kallras och kondens (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I kylbaffeln brukar framledningstemperaturen ligga runt $+14^{\circ}\text{C}$ och returtemperaturen på ungefär $+18^{\circ}\text{C}$. Skulle framledningstemperaturen understiga daggpunktstemperaturen kommer fukt fällas ut från kylbaffeln vilket riskerar att hamna i vistelsezonen. Reglering av kylvattnets temperatur relativt daggpunktstemperaturen sker med kondensreglering för att hålla kylvattnet på en högre temperatur. I och med att man normalt även kyler luften (våt kylning) centralt avfuktas tilluften och även detta bidrar till mindre risk för kondens i kylbafflarna då rumsluftens daggpunkt därmed sänks.

3.3 Luftbehandlingsaggregat

Luftbehandlingsaggregatet har till uppgift att behandla tilluften på de ställda krav som finns i byggnaden (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det är det totala ventilationsflödet som styr storleken på utrymmet som krävs för ett luftbehandlingsaggregat. Ju mer ventilationsluft, desto större utrymme krävs. Fläktrummetts storlek styrs inte bara av måttet på luftbehandlingsaggregatet utan det finns även krav på tillgänglighet för skötsel. När det kommer till placering av luftbehandlingsaggregat finns det två alternativ - decentraliserad- eller centraliserad ventilation (Airmaster, 2022). Decentraliserad ventilation betyder att projektören placerar varje enskilt luftbehandlingsaggregat på respektive våningsplan eller rum som aggregatet ska försörja. Centraliserad ventilation innebär att projektören placerar ett luftbehandlingsaggregat på ett våningsplan som sedan försörjer alla vångsplan eller rum.

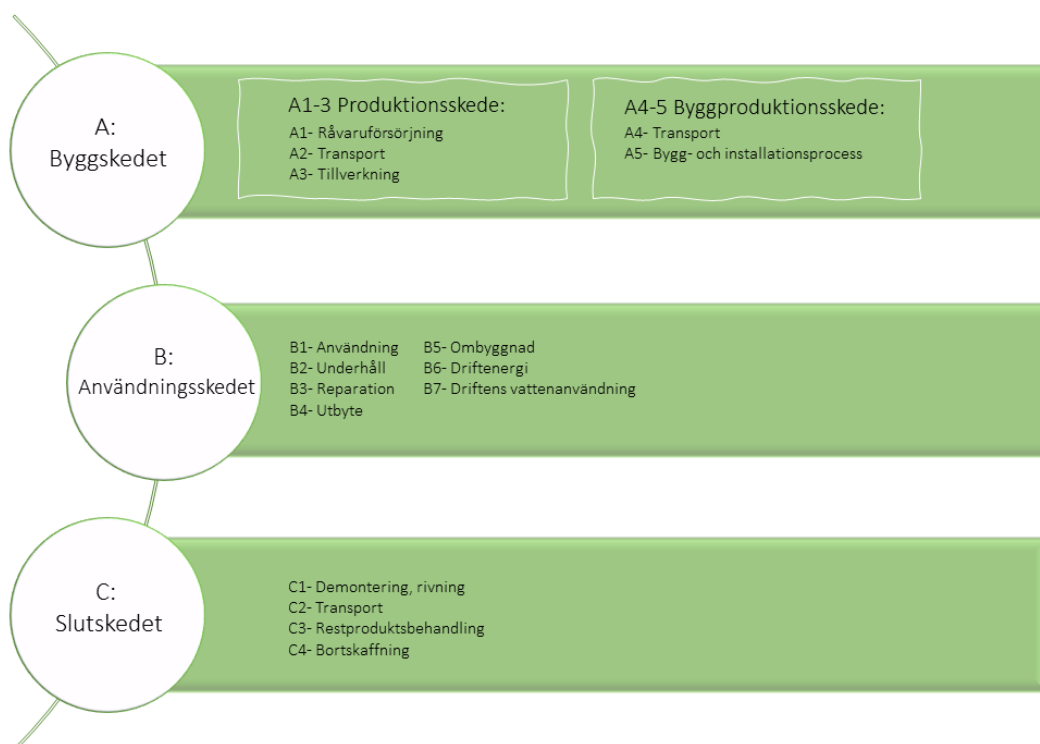
4 Klimatpåverkan

I följande kapitel ges information och beräkning av klimatpåverkan används.

4.1 Livscykelanalys

För att beräkna en byggnads miljöpåverkan används metoden livscykelanalys (Boverket, 2019a), se figur 2. Metoden tar hänsyn till alla aktiviteter från det att naturresurser utvinns till det att byggnaden inte längre är brukbar och behöver tas omhand. En byggnads livscykel består av tre skeden enligt standarden EN15878 (Boverket, 2021b):

Figur 2. Illustration av skeden för en byggnads livscykel



Byggskedet omfattas av dels produktion av byggprodukter och resurser som kommer användas, dels transporten av dessa till byggplatsen och byggnadens färdigställande (Boverket, 2019a). LCA beräkningar i projekteringskedet bidrar till projektörer har större möjlighet att påverka och föreslå miljöförbättringar tidigt i arbetet. I användningsskedet ingår underhåll, användning, drift och reparationer av byggnaden. Till sist i slutskedet innefattar detta processerna som krävs för att frakta och riva bort byggnaden då den nått upp till sin livslängd. Här omfattas deponering, återvinning och återanvändning. Med hjälp av LCA underlättar helhetsbedömningen av miljöpåverkan från en byggnad.

4.2 Klimatdeklaration

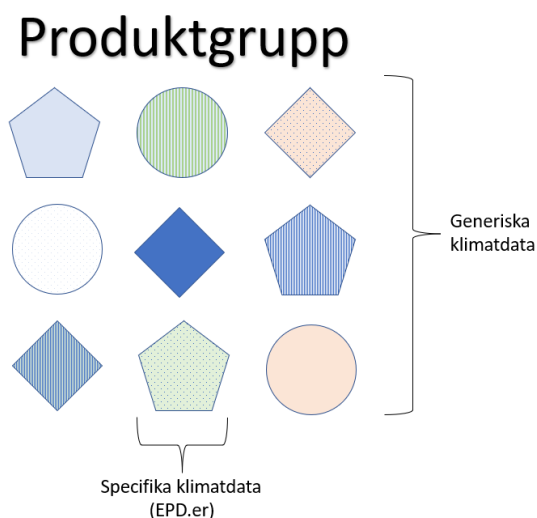
Att utföra en klimatdeklaration har till syfte att ge större kunskap om klimatpåverkan av nybyggnationer vilket har gällt sedan den 1 januari 2022 (Boverket, 2021a). Det är byggherren som redovisar hur stor klimatpåverkan en nybyggnation har och deklarationen görs för att minska klimatpåverkan under byggskedet för varje byggnad. I klimatdeklarationen redovisas klimatpåverkan från Byggskedet (A1-5), däremot följer den inte standarden EN 15978 fullt ut då endast de delar i modulerna som är obligatoriska att beräkna ingår i deklarationen.

Global warming potential (GWP) innebär att alla utsläpp förutom koldioxid multipliceras med global uppvärmningspotential (Boverket, 2021b). Detta för att möjliggöra att jämföra växthusgaser. En växthusgas GWP fås ett värde på gasens totala påverkan på den globala uppvärmningen. Utifrån GWP-värdet kan värdena räknas om till koldioxidekvivalenter. Den andra parametern är Greenhouse gases (GHG) alltså växthusgaser, vilka bidrar till växthuseffekten. Påverkan på klimatet beräknas genom GWP-GHG som innefattar sammantagna effekten utsläpp växthusgaser men inte utsläpp och upptag av biogen koldioxid.

Ska klimatdeklarationen spegla den faktiska påverkan på klimatet för en byggnad används specifik klimatdata (Boverket, u.å). Figur 3 illustrerar att den specifika klimatdata som är produkt- och leverantörsspecifik och visar klimatpåverkan. Till skillnad från den specifika klimatdatan är den Generiska klimatdatan den genomsnittliga datan för en produkt.

Det finns två olika metoder att använda sig av när det kommer till hämtning av klimatdata. Ena metoden använder sig av Proxy data och ett annat alternativ är att använda sig av generiska data. Skillnaden är att generiska data är representativa för byggprodukter som används på den svenska marknaden, medan Proxy data är produktspecifika miljödata som hämtas från EPD:er.

Figur 3. Illustration av generisk- och specifika klimatdata



4.2.1 Funktionell enhet

För att kunna jämföra och utvärdera olika byggnader eller byggnadsutformningar måste man använda sig av samma metodval, datakvalitet och omfattning. Byggnadsutformningarna måste även uppfylla samma grundläggande funktioner – funktionell enhet. Detta begrepp representerar den funktion den utvärderade byggnaden levererar och specificerar beroende på syftet med jämförelsen. I vårt fall ska de båda systemlösningarna uppfylla liknande krav gällande termiskt komfort, vara planerade att fungera för samma planlösning och antal personer.

4.3 Environmental Product Declaration

Environmental Product Declaration (EPD) är en miljövarudeklaration för en byggprodukt och beskriver miljöpåverkan av en produkt under hela livsryteln som utgörs av följande delar (Boverket, 2019b):

- Metodval
- Produktdatablad
- Resultat från bedömning av miljöpåverkan

En EPD skall innehålla miljödeklarationer, produktspecifika regler och följa standarden för hållbarhet hos byggnadsverk. Den gäller i 3-5 år. Det är en viktigt källa för att undersöka LCA i en byggnad då produktspecifik information fås.

4.4 Byggvarudeklaration

Till skillnad från en EPD som ur ett livsryteloperspektiv beskriver en produkts miljöpåverkan redogör en byggvarudeklaration (BVD) produktens innehåll. Informationen i en BVD framför en byggprodukts miljöbeskrivningar i olika faser av dess livsryteln för att möjliggöra valet av byggprodukter ur en miljösynpunkt. Den innehåller även information om hur hantering av produkten i konstruktion-, användning och avfallsskeden. Med hjälp av en BVD möjliggör det att göra miljövänliga och långsiktiga val av produkter i en byggnad, vilket gör det möjligt att valet av produkter kan prioriteras sett till miljön samtidigt som det förenklar drift och administration som följer.

5 Metod

Följande kapitel beskriver tillvägagångssättet för att besvara examensarbetets syfte och frågeställningar. Jämförelse görs på inbyggd klimatpåverkan för VAV- och CAV-system med kylbafflar där ett våningsplan projekteras. Det är ventilationen och de ingående rör, kanaler, don och kylbafflar som studerats. Förenkling görs där våningsplanet multipliceras med 4 och aggregat läggs till för att uppnå en motsvarighet för hela systemet i byggnaden. Storlek på fläktrum och schakt har inte tagits med i klimatberäkningen.

5.1 Studiebesök

För att få en grundläggande förståelse för problematiken inom installationsbranschen och den ingående tekniken i komponenterna genomförde författarna ett studiebesök på Installationslabbet Chalmers tekniska högskola.

5.2 Beräkning av kyleffektbehov

Då examensarbetet utgick från ett våningsplan i referensbyggnaden JSP med ett redan befintligt projekterat VAV-system utgick beräkningarna från beskrivningar, ritningar och handlingar som tillhandahölls av Bengt Dahlgren AB. Ritningarna gav information om det luftflöde VAV-systemet var dimensionerat för. Vidare gav beskrivningar och handlingar information om exempelvis antal personer på ett våningsplan, fönsterareor och byggnadens placering i förhållande till väderstrecken.

Storleken på komfortkylsystemet styrs av det dimensionerande kyleffektbehovet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Våningsplanet delades in utifrån de olika utrymmen som angavs på ritningen. För att beräkna det dimensionerande luftflödet och kyleffektbehovet togs hygienluftflödet fram utifrån de givna värdena vilket är beroende av antal personer, golvyta och komfortluftflödet som i sin tur är beroende av solinstrålning, internvärme, transmissionsförluster och ventilationsförluster i form av luft som läcker ut ur byggnaden. Antagande om temperaturen på till- och frånluften gjordes för att sedan baklänges beräkna kyleffektbehovet vilket möjliggjorde en översättning av VAV-systemet till ett CAV-system med kylbafflar. Tabell 1 visar beräkningen av hygienluftflödet och tabell 2 visar komfortflödet där det dimensionerande flödet väljs som lägst till hygienluftflödet och maximalt till komfortluftflödet.

Tabell 1. Beräkningsgång av hygienluftflöde

Rum	Golvarea [m ²]	Antal personer [st]	Hygienluftflöde [l/s]
Kontor 1	9,1	2	17,2
Kontor 2	9,1	2	17,2
Kontor tele 6	3,6	1	8,3
Grupprum 1	5,1	2	15,8
Grupprum 2	5,4	2	15,9
Grupprum 3	9,9	4	31,5

Tabell 2. Beräkningsgång av komfortluftflöde

Rum	Golvarea [m ²]	Längd vägg [m]	Area vägg [m ²]	Area fönster [m ²]	Antal personer [st]	Solinstrålning [W]	Internvärme [W]	Transmissionsförluster [W]	Ventilationsförluster [W]	Q total [W]	Komfortluftflöde [l/s]
Kontor 1	9,1	2,7	5,3	4,41	2	331,1	443,3	-3,2	-1,9	779,5	65,0

Trots att det dimensionerande flödet redan var givet på ritningarna för VAV-systemet gjordes beräkningar för de båda systemlösningarna som kontroll. Det tilluftsflöde till tilluftsdonen på de befintliga ritningarna visade sig ligga över det beräknade värdet för hygienluftflödet men under komfortluftflödet. Det totala dimensionerande luftflödet för ett våningsplan i VAV-systemet var 3020 l/s och vi dimensionerade kylbafflarna för ett totalt luftflöde på 2000 l/s för samma våningsplan. Det dimensionerande luftflödet för CAV-systemet valdes utifrån att konsulterna på Bengt Dahlgren AB angav att systemet uppnår 60–70 procent av ett VAV-system. För att göra en översättning av VAV-systemets funktion till kylbafflarna förhöll sig luftflödet för varje utrymme sig detta i beräkningarna. Tabell 3 visar beräkningen av kylkapaciteten för respektive systemlösning. CAV-systemets luftflöde per kvadratmeter uppgår till ungefär 65 procent av VAV-systemet. I vårt fall är transmissions- och ventilationsförluster negativa vilket innebär att klimatskärmen i form av tak och väggar värms upp samt att varm luft läcker in i byggnaden.

Tabell 3. Beräkning av kylkapacitet, luftflöde och dimensioner för CAV-systemet med kylbafflar.

Befintligt VAV	Luftflöde [l/s] ritning	Total kylkapacitet [W]	Kylkapacitet per kvadratmeter [W/m ²]	Luftflöde per kvadratmeter [l/s/m ²]			
Totalt för ett våningsplan	3020	36 200	39	3,3			
Kylbafflar	Luftflöde från produktblad kylbafflar [l/s]	Total kylkapacitet [W]	Kylkapacitet per kvadratmeter [W/m ²]	Luftflöde per kvadratmeter [l/s/m ²]	Storlek kylbaffel [mm]	Anslutning diameter [mm]	Ljudnivå [dB(a)]
Totalt för ett våningsplan	2000	47 000	50	2,15	Varierar mellan 1200 och 2400	Varierar mellan 125 och 160	Varierar mellan 21 och 26
Våningsplanet	Totalt Kylbehov [W]	Kylbehov per kvadratmeter [W/m ²]	Kylbafflarnas andel av VAV-systemets luftflöde per kvadratmeter. [%]				
Totalt för ett våningsplan	34 300	37	65,2%				

5.3 Projektering i Auto CAD

Det befintliga VAV-systemet var projekterad i programvaran Auto CAD, vilket är ett CAD-program som används för att producera design, ritningar i 2D och 3D, modeller med mera. Programmet innefattar funktioner som automatiserar uppgifter och produktiviteten genom att till exempel räkna, skapa tabeller, jämföra ritningar och lägga till komponenter. Befintliga produkter från branschen kan användas i programmet under projekteringen som sedan kan användas av beställaren. Därför gjordes även projekteringen av kylbaffelsystemet i samma program för att möjliggöra så lika förutsättningar som möjligt med det befintliga systemet. I figur 4 och 5 kan

Tabell 4. Resurssammansättning för ett tilluftsdon

Class	Produkt	Storlek	Series	Product	Antal	Leverantör	Material	Vikt för 1 komponent [kg]
Supply air device	Aktivt taktilluftsdon och donlåda	160	TD41	TTC-250 + HTK-160/250	54			
				TTC-250		Lindinvent AB	Galvaniserat stål: 47 % = 2,632 kg Aluminium plåt: 47 % = 2,632 kg Silikon: < 0,1 % = < 0,0056 kg Polyeten: < 0,1 % = < 0,0056 kg EPDM (20 % paraffinolja): 1 % = 0,056 kg FE, Zn (Ej rostfri): < 0,25 % = < 0,014 kg Elmotor: 3,75 % = 0,21 kg (se uppdelning) Kretskort: 1 % = 0,056 kg (se uppdelning)	5,6
				HTK-160/250		Lindinvent AB	Galvaniserad stålplåt: 95 % = 2,185 kg Termiskt bunden polyesterfiber: < 1 % = < 0,023 kg Polyeten: < 1 % = < 0,023 kg EPDM (15 % paraffinolja): < 1 % = < 0,023 kg Zink, Fe: < 1 % = < 0,023 kg	2,3

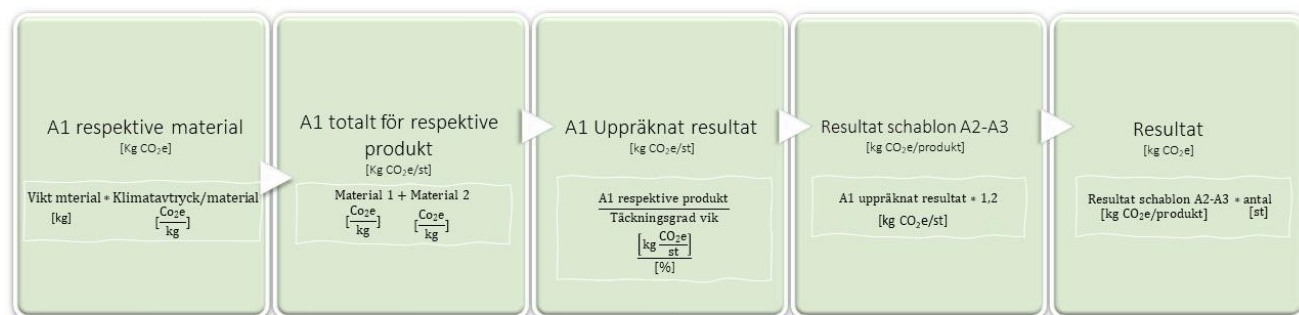
5.5 Klimatberäkning för ett väningsplan

Figur 7 illustrerar beräkningsgången för klimatberäkningarna som gjordes för att beräkna den totala klimatpåverkan. När resurssammansättningen var komplett för systemlösningarna var det möjligt att beräkna klimatpåverkan i produktionsskedet (A1) för respektive material. För beräkning av A1 för varje enskilt material multiplicerades vikten för materialet med andel vikt och sedan med generiska klimatdata från tre olika databaser beroende på materialet:

- Boverket
- CO2data
- Ökobaudat

A1 summeras sedan för de produkter bestående av flera material. Beräkningen av den totala klimatpåverkan skedde genom beräkning av full täckningsgrad där A1 för respektive produkt delades med täckningsgraden. Därefter togs A2-A3 fram genom att multiplicera det uppräknade resultatet av A1 med schablonvärdet 1,2. Slutligen kunde det totala resultatet för varje komponent beräknas genom att multiplicera med det totala antalet produkter i hela systemet.

Figur 6. Beräkningsgång klimatberäkning



Beräkningsexempel: För att beräkna den totala mängden CO₂-ekvivalenter för en ventilationskanal gjord i varmförzinkad plåt multiplicerades först vikten för plåten med andelen av vikten i hela produkten och slutligen med klimatdata från CO₂data. Då produkten endast består av ett material motsvarar även detta A1 för hela produkten som i sin tur divideras med täckningsgraden för produkten för att få ett uppräknat resultat. Detta resultat multipliceras sedan med schablonvärdet 1,2 för att få det totala utsläppet för A1-3. Slutligen multipliceras det totala utsläppet A1-3 med antalet produkter. Se tabell 5 för beräkning av totala klimatpåverkan för en kanal med varmförzinkad stålplåt. Tabell 6 visar ett utdrag av klimatdata vid beräkning av klimatpåverkan.

Tabell 5. Exempel klimatberäkning

Class	Antal	Längd	Vikt [kg/st]	Material	Andel vikt [%]	Täckningsgrad av produkt [%]	A1 material [Kg CO2e]	A1 produkt [kg CO2e/st]	Uppräknat resultat [kg CO2e/st]	Resultat med Schablon A1-A3 [kg CO2e/produkt]	Total [kg CO2e]
Duct	1	3,6	69,20	Varmförzinkad stålplåt	100%	100%	214,520	214,520	214,520	257,424	257,424

Tabell 6. Exempel klimatdata

Material	kg CO ₂ e/kg	Klimatdatabas
Stål	3,15	Boverket
Mässing	1,386	Ökobaudat
Plast	2,78	Boverket
Cellgummi	4,56	Boverket
Varmförzinkad stålplåt	3,1	CO ₂ data

5.6 Klimatberäkning luftbehandlingsaggregat

Valet av luftbehandlingsaggregat gjordes utefter placering och systemlösning. När klimatpåverkan för luftbehandlingsaggregatet beräknades användes en EPD. Alla luftbehandlingsaggregat är från Swegon i modell GOLD RX med varierande storlek beroende på det totala luftflödet för respektive systemlösning. EPD:n som användes var utförd på modellen GOLD RX men inte på någon av storlekarna som används i jämförelsen. För att kunna beräkna klimatpåverkan var vi tvungna att ta GWP-total för luftbehandlingsaggregatet som EPD:n var utförd på, genom vikten för luftbehandlingsaggregatet som EPD:n var utförd på (488 kg) och till sist multiplicera med vikten för den verkliga vikten på luftbehandlingsaggregatet vi valt.

Vid användning av ett centraliserat luftbehandlingsaggregat behöver det dimensionerande flödet för hela byggnaden beräknas. Det gjordes genom att multiplicera det totala flödet med 4 för att få ett värde som motsvarar hela byggnaden. För ett decentraliserat luftbehandlingsaggregat används ett aggregat för varje våning vilket utgår från det dimensionerande flödet. Tabell 7 visar klimatpåverkan för luftbehandlingsaggregaten.

Tabell 7. Klimatberäkning för luftbehandlingsaggregat

Decentraliserat	Luftflöde [m ³ /h]	Produkt	Aggregatets kapacitet [m ³ /h]	Aggregatets vikt [kg]	GWP total [A1-A3]	Klimatpåverkan [kg CO ₂ e/aggregat]	Klimatpåverkan aggregat [kg CO ₂ e]
Kylbaffel	7 200	GOLD-RX 020	7 560	746	2 460	3 760	15 000
VAV	11 880	GOLD-RX 035	14 040	1 096	2 460	5 524	22 000

Centraliserat	Luftflöde [m ³ /h]	Produkt	Aggregatets kapacitet [m ³ /h]	Aggregatets vikt [kg]	GWP total [A1-A3]	-	Klimatpåverkan aggregat [kg CO ₂ e]
Kylbaffel	28 800	GOLD-RX 080	34 200	2 649	2 460	-	13 300
VAV	47 520	GOLD-RX 120	50 400	4 128	2 460	-	21 000

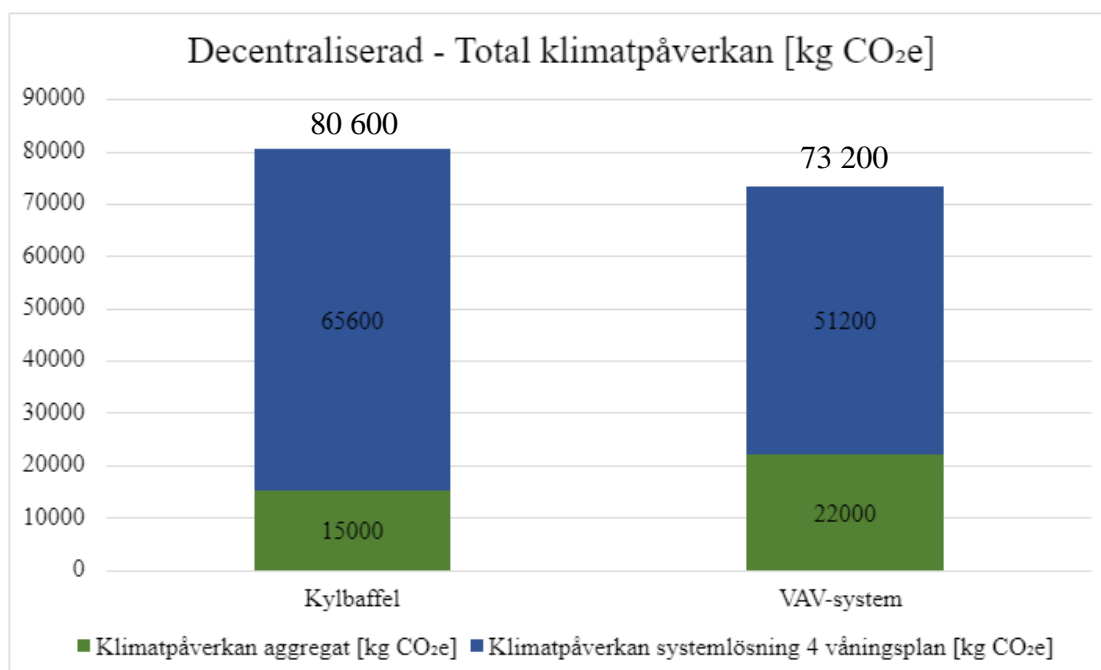
6 Resultat

Resultatet av examensarbetet redovisas i följande del. Jämförelsen är gjord på klimatpåverkan för VAV- och CAV-system med kylbafflar där ett våningsplan projekterats. Systemlösningarna innefattar ventilationen och de ingående rör, kanaler, don och kylbafflar som studerats. Förenkling gjordes där våningsplanet multipliceras med fyra och aggregat läggs till för att uppnå en motsvarighet för hela systemet i byggnaden. Storlek på fläktrum och schakt togs inte i hänsyn vid klimatberäkningen.

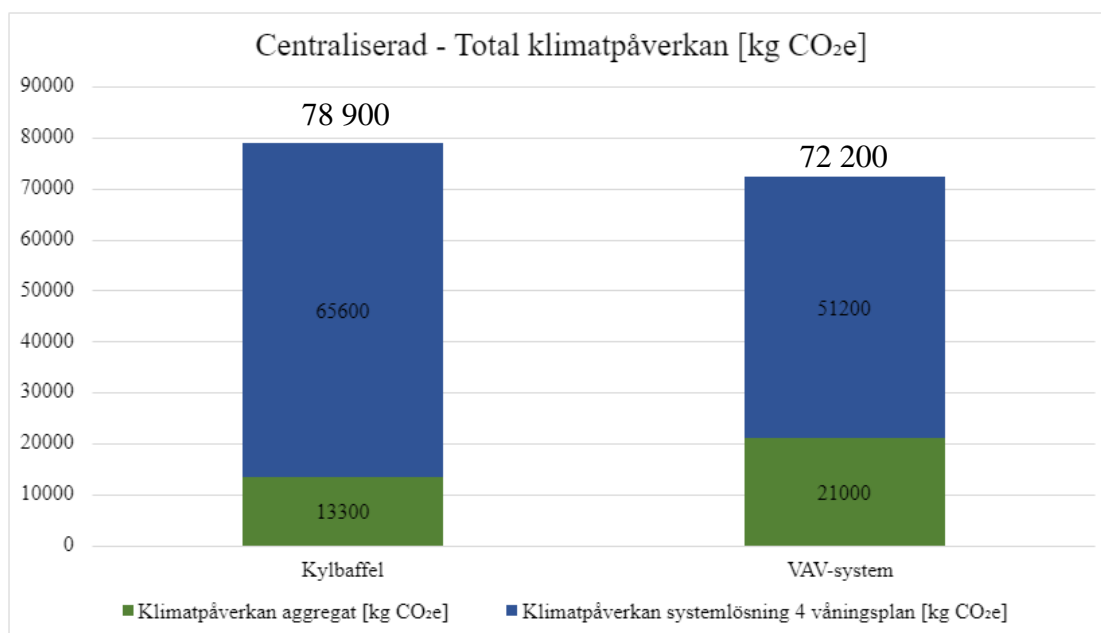
6.1 Total klimatpåverkan för respektive systemlösning

Här presenteras den totala klimatpåverkan för fyra våningsplan inklusive luftbehandlingsaggregatet för respektive systemlösning. Resultatet är även uppdelat mellan decentraliserad ventilation där ett luftbehandlingsaggregat är placerat på respektive våningsplan och centraliserad ventilation där luftbehandlingsaggregatet befinner sig på ett plan och försörjer resterande plan därifrån, se figur 8 och 9. Den gröna delen av staplarna visar andelen av klimatpåverkan som luftbehandlingsaggregaten står för och den blådelen motsvarar systemlösningarna.

Figur 7. Decentraliserad ventilation - Total klimatpåverkan [kg CO₂e]



Figur 8. Centraliserad ventilation - Total klimatpåverkan [kg CO₂e]



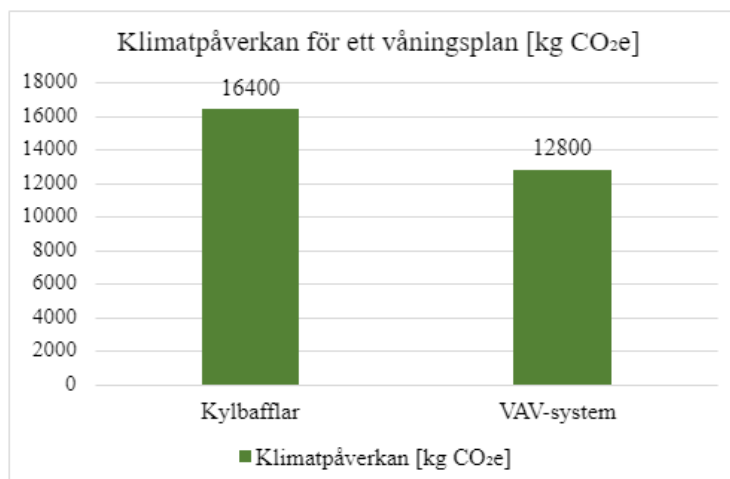
6.2 Klimatpåverkan för ett våningsplan för respektive systemlösning

För ett våningsplan står VAV-systemet för minst materialanvändning och CO₂e-utsläpp utan aggregat och schakt. Däremot har de båda systemen ungefär lika mycket kg CO₂e per kg material. VAV-systemet har en lägre klimatpåverkan per m² A-temp än kylbaffelsystemet. I tabell 8 och figur 10 kan läsaren se ovan nämnda resultat.

Tabell 8. Total klimatpåverkan för ett våningsplan samt kg CO₂e/ m² A-temp för respektive systemlösning

Systemlösning	Total vikt [kg]	Klimatpåverkan [kg CO ₂ e]	kg CO ₂ e/kg material	A-temp [m ²]	kg CO ₂ e/A-temp
Kylbafflar	4361	16 400	3,76	923	17,76
VAV-system	3448	12 800	3,71	923	13,86

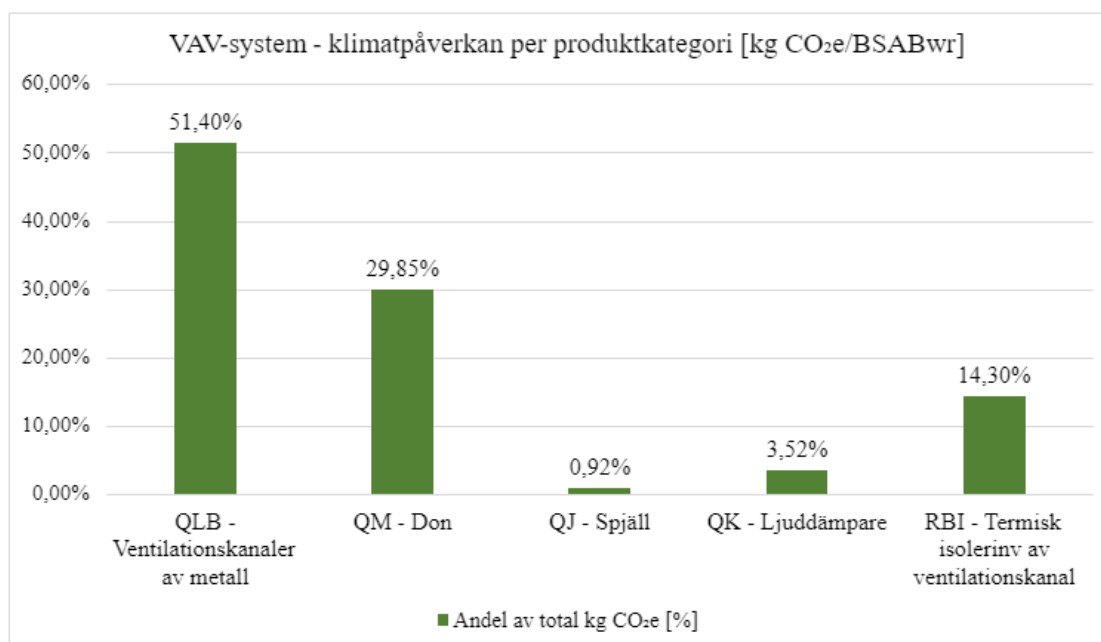
Figur 19. Total klimatpåverkan för ett våningsplan för respektive systemlösning [kg CO₂e].



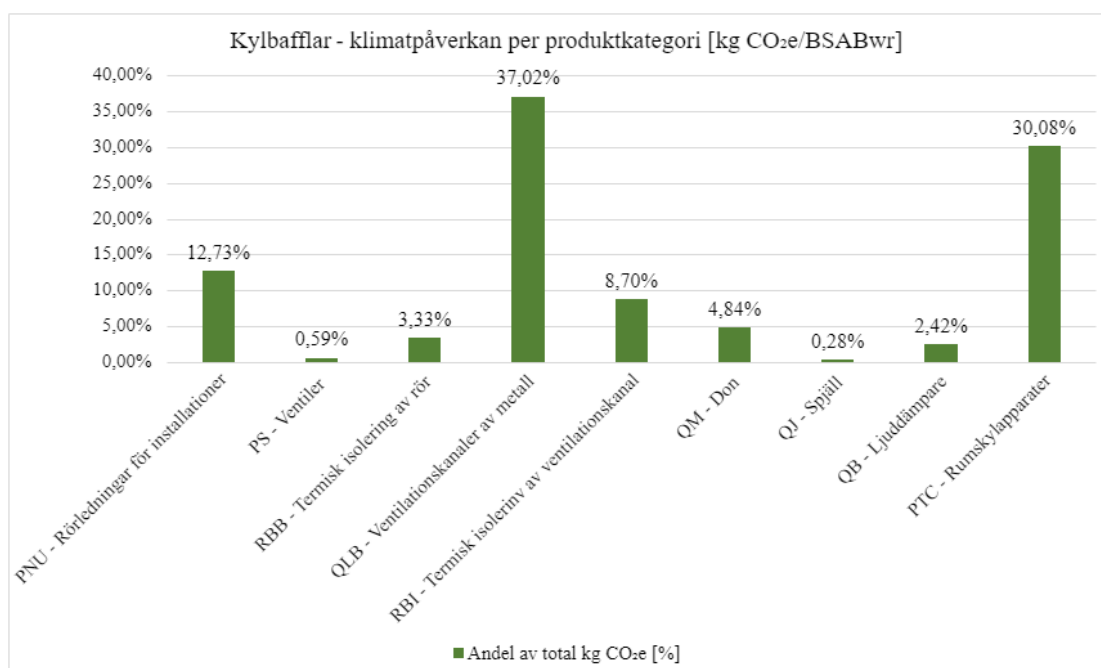
6.3 Systemlösningarnas klimatpåverkan per produktkategori för ett våningsplan

Sett till ett våningsplan står produkten ventilationskanaler av metall för VAV-systemet den största klimatpåverkan och tilluftsdonen som näst största, vilket visas i figur 11. I kylbaffelsystemet står även produkten ventilationskanaler av metall för den största klimatpåverkan men den näst största klimatpåverkan i det systemet är kylbafflarna. Se figur 12 för uppdelning av klimatpåverkan per produktkategori för CAV-systemet med kylbafflar.

Figur 10. Klimatpåverkan för ett våningsplan per produktkategori i VAV-systemet.



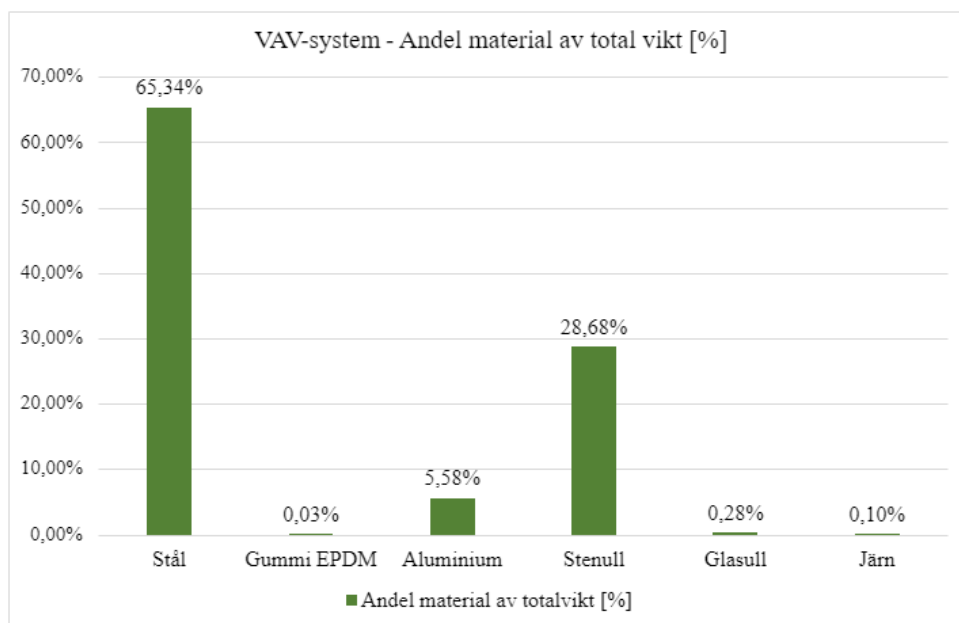
Figur 11. Klimatpåverkan för ett våningsplan per produktkategori i kylbaffelsystemet.



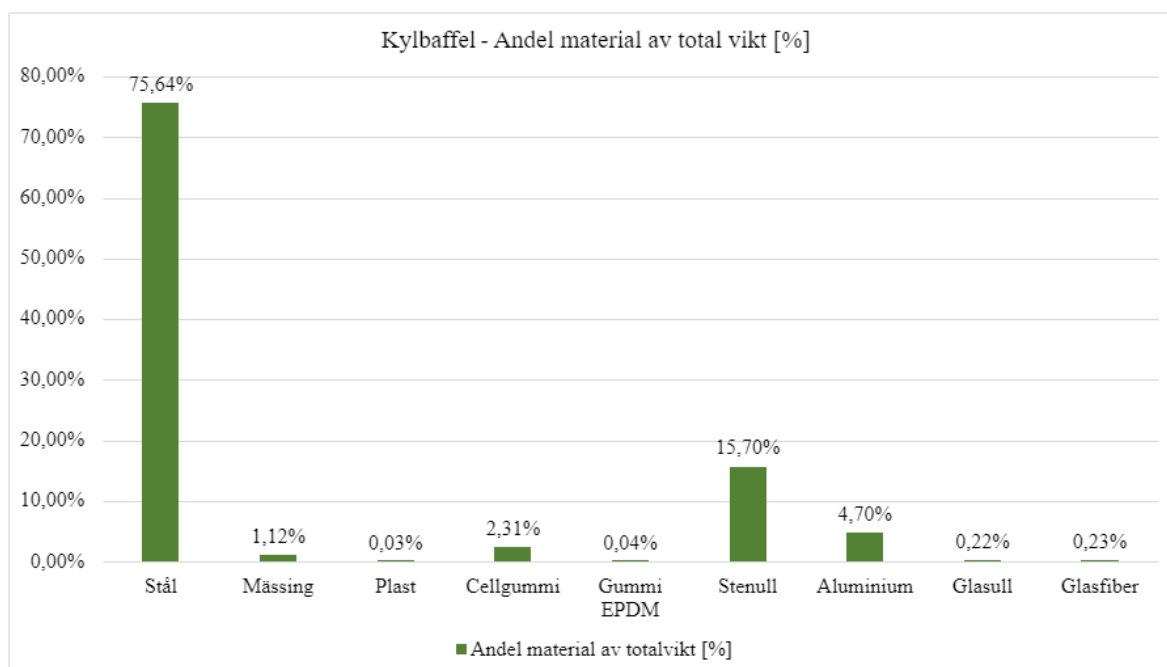
6.4 Materialanvändning i respektive systemlösning

Resultatet från beräkning av materialanvändning för systemen på ett våningsplan visar att VAV-systemet består till största del av stål och stenull. Kylbaffelsystemet består även det till största del av stål och stenull. Se figur 13 och 14 för uppdelning av de olika materialen som respektive systemlösning innehåller.

Figur 12. Andel material av total vikt för ett våningsplan i VAV-systemet [%].



Figur 13. Andel material av total vikt för ett våningsplan i kylbaffelsystemet [%].



6.5 Täckningsgrad av det totala materialet

Tabell 9 och 10 visar procentuell andel av den totala massan som har använts vid beräkning av total klimatpåverkan för ett våningsplan. I beräkningarna för vikten ingår vikten för samtliga material ingående i respektive systemlösning för ett våningsplan. I den beräknade vikten ingår endast vikten för de materialen med täckningsgrad över 80% av för varje komponent i respektive system.

Tabell 9. Täckningsgrad [%]. Beräkning av täckningsgrad för VAV-system baserad på total vikt och beräknad vikt av material

Täckningsgrad	98%
Total vikt i kg	3504,43
Beräknad vikt av material	3448,28
Ej beräknad vikt av material	56,16

Tabell 10. Täckningsgrad [%]. Beräkning av täckningsgrad för kylbaffel-system baserad på total vikt och beräknad vikt av material

Täckningsgrad	95%
Total vikt i kg	4573,51
Beräknad vikt av material	4361,43
Ej beräknad vikt av material	212,08

6.6 Klimatpåverkan för luftbehandlingsaggregat och storlek på schakt

I tabell 11 och 12 presenteras storlekar på aggregat för respektive system samt storleken på schakten för ventilationen. För ett kylbaffelssystem tillkommer även ett schakt för rören. I tabell 11 visas den utrymmesbehovet för ett decentraliserat luftbehandlingsaggregat där ett aggregat är placerat på respektive våningsplan. Vid beräkning av klimatpåverkan gjordes beräkning på endast luftbehandlingsaggregatet. Vidare visas den totala klimatpåverkan för en hel byggnad i figur 15. För ett centraliserat luftbehandlingsaggregat där ett aggregat är placerat på ett våningsplan som i sin tur försörjer resterande våningsplan med luft visas utrymmesbehovet i tabell 12 respektive den totala klimatpåverkan för en hel byggnad i figur 16.

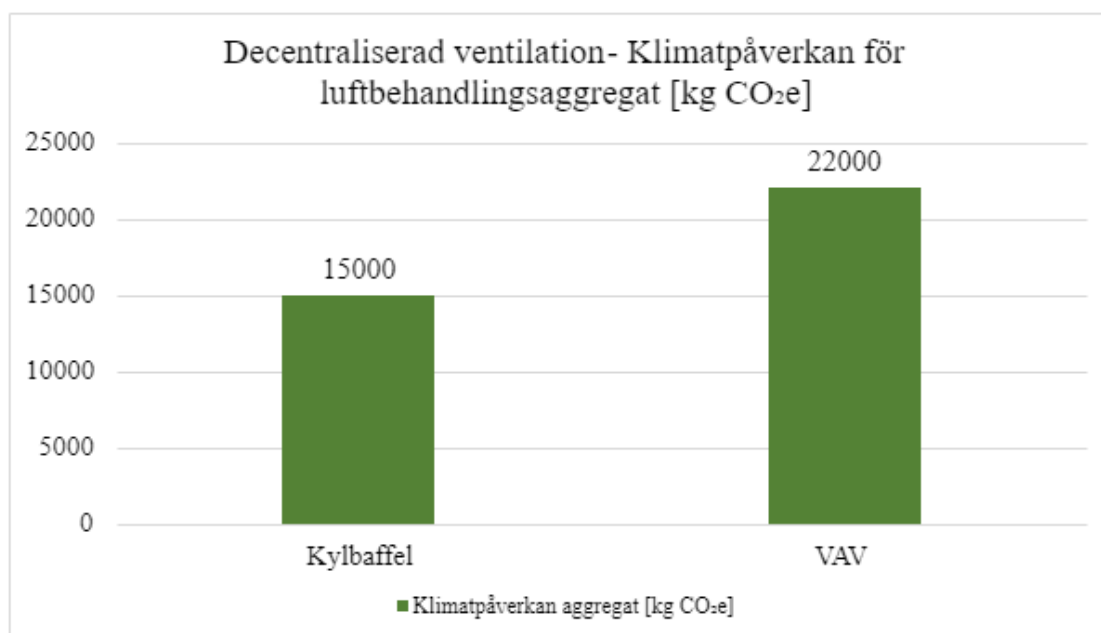
Tabell 11. Schaktets, aggregatets och fläktrumets storlek för decentraliserad ventilation

Decentraliserad	Schaktets storlek [m ²]	Plats ett aggregat [m ²]
Kylbaffel	2,5	5,1 (Ca 50 m ² stort fläktrum på respektive våningsplan)
VAV	4	8 (Ca 70 m ² stort fläktrum på respektive våningsplan)

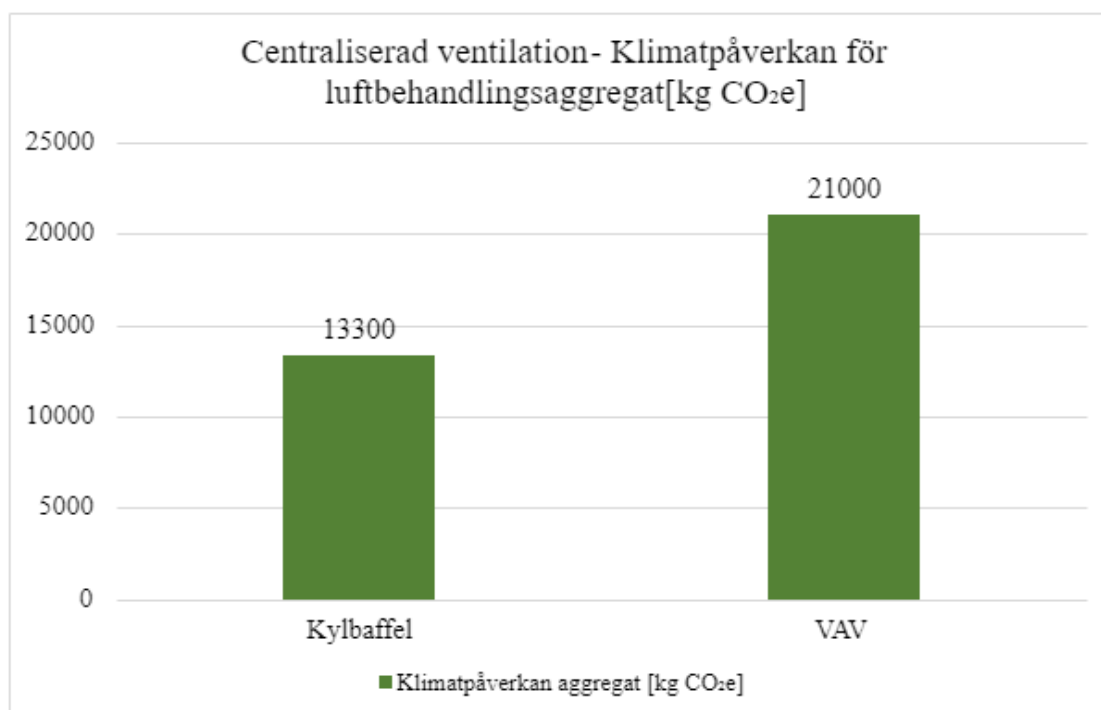
Tabell 12. Schaktets, aggregatets och fläktrumets storlek för centraliserad ventilation

Centraliserad	Schaktets storlek [m ²]	Plats aggregat [m ²]
Kylbaffel	8	11,1 (Ca 83 m ² stort fläktrum på en våning)
VAV	12	14,4 (Ca 105 m ² stort fläktrum på en våning)

Figur 14. Total klimatpåverkan luftbehandlingsaggregat för decentraliserad ventilation



Figur 15. Total klimatpåverkan luftbehandlingsaggregat för centraliserad ventilation.



7 Diskussion

Resultatet visar att CAV-systemet med kylbafflar har högst klimatpåverkan sett till total klimatpåverkan samt klimatpåverkan per m^2 A-temp. De produktkategorier som bidrar till störst klimatpåverkan i de båda systemen är ventilationskanalerna. Även donen i VAV-systemet och kylbafflarna i CAV-systemet har en stor inverkan på resultatet. Detta visar sig även vid undersökning av materialen med störst bidrag där stenull som isolerar ventilationskanalerna och stål som finns både i donen och kylbafflarna dominerar. Vid val av systemlösning för en kontorsbyggnad behöver hänsyn tas till luftbehandlingsaggregatets utrymmeskrav.

7.1 Projektering enligt branschens standarder

Den första tanken vi hade vid examensarbetets start var att vi ville projektera kylbaffelsystemet enligt branschens standarder och nivåer, detta med anledning att uppnå en så rättvis bedömning av klimatpåverkan och materialjämförelsen som möjligt. Det visade sig vara utmaning att jämföra ett kylbaffel- och VAV-system när vi utgick från ett redan befintligt system. Vid projekteringen har ingen materialoptimering gjorts utan vi följde endast standarddimensioner. Antaganden gjordes med hjälp av VVS-projektörerna på Bengt Dahlgren AB kunde arbetet utföras, exempelvis skedde detta under kontinuerlig diskussion om komponent och materialval som används dagligen i branschen och hur rördragning görs mest effektivt. Det skall sägas att det finns en osäkerhet översätta systemen med samma funktion utifrån att vi behövt göra antaganden.

Då arbetet utfördes på en befintlig byggnad har vi utgått från de redan befintliga ritningarna vid projektering av kylbaffelsystemet, därför har ingen hänsyn tagits till respektive systems påverkan på byggnadens klimatskärm utan enbart sett till att uppfylla liknande kraven för termisk komfort i en kontorsbyggnad. Placeringen av huvudstammarna på ventilationskanalerna är densamma i de båda systemen, orsaken till detta är att placeringen av tilluftsdonen och kylbafflarna skall vara nästintill identiska. Även det befintliga frånluftssystemet som var projekterat i VAV-systemet är kopierat till CAV-systemet med kylbafflar, anledningen är för att utformningen av systemen är lika till utseende och därav kan frånluftssystemet utföra sin funktion i båda systemen. Det är viktigt att komma ihåg att projekteringen av ett kylsystem kan utformas på flera olika sätt men samtidigt uppfylla samma önskade krav på termisk komfort och klimat. Därför är vår projektering av kylbaffelsystemet endast ett exempel på hur ett utförande kan se ut.

7.2 Känslighetsanalys av projekteringen

Det är intressant att diskutera hur stor påverkan de antaganden och val som gjorts angående dimensioneringen av kylbafflarna och kyleffektbehovet och dess påverkan på resultatet. I tabell 3 redovisar vi att kylbafflarna har en större kylkapacitet än VAV-systemet. Kylbehovet för det beräknade våningsplanet är 37 W/m^2 och båda systemlösningarna har en högre kylkapacitet än 37 W/m^2 . Vi har dimensionerat kylbafflarna för att täcka kylbehovet, uppfylla kravet på hygienluftflödet och ha ett luftflöde som är ca 60–70 procent av VAV-systemets luftflöde. Kylbafflarna hade dock kunnat dimensionerats för ett lägre flöde vilket hade inneburit ett bättre resultat för systemet gentemot VAV-systemet eftersom det påverkar fläktaggregatet, kanalstorlek och energianvändning. Den totala klimatpåverkan för kylbaffelsystemet påverkas av de ovan nämnda antagandena.

7.3 Kontroll av tryckfall för respektive systemlösning

Det är dessutom intressant att diskutera tryckfallet som uppstår i respektive systemlösning för ett våningsplan. När tryckfallet i det befintliga VAV-systemet studerades insåg vi att det var mycket högt. Kylbaffelsystemet som vi projekterat har ett totalt tryckfall på 233 Pa för ett våningsplan jämfört med det befintliga VAV-systemet som har ett totalt tryckfall på 399 Pa. Detta beror på att huvudkanalen ut på våningsplanet i det befintliga VAV-systemet är underdimensionerat. Tillsammans med konsulterna på Bengt Dahlgren AB kom vi fram till tryckfallet på kylbaffelsystemet är ett bra värde men normalt sett håller sig projektörer i branschen till ett maximalt tryckfall på 1 Pa/m kanal, dock är individuellt från system till system.

Ett högt tryckfall resulterar i att fläkten i luftbehandlingsaggregatet får arbeta mer än nödvändigt, vilket leder till en hög effekt som i sin tur ger högre energianvändning. Tilläggs kan att energianvändningen för systemen inte undersöks i arbetet, därför var inte syftet med projekteringen av kylbaffelsystemet att effektivisera energianvändningen. Däremot var det viktigt att kontrollera kylbaffelsystemets totala tryckfall, för att säkerställa att systemet fungerar i praktiken och är korrekt projekterat. En åtgärd som genomfördes för att minska tryckfallet i kylbaffelsystemet var exempelvis att använda dimensionen 125 mm i stället för 100 mm på kanalerna ut till kylbafflarna i kontoren, för att en kanal med större dimension och samma flöde ger ett lägre tryckfall.

Det skall även tilläggas att om VAV-systemet hade dimensionerats om för att skapa ett bättre totalt tryckfall hade detta påverkat den totala resurssammanställning, vilket i sin tur även påverkar klimatberäkningarna. Detta på grund av att mängden ventilationskanal hade ökat i VAV-systemet och medfört en större klimatpåverkan. I tabell 13 kan läsaren se en uppskattning som genomförts för att visualisera hur stor klimatpåverkan VAV-systemet hade fått om huvudkanalen hade skalats upp för att skapa ett bättre totalt tryckfall. Trots att huvudkanalen skalas upp i VAV-systemet har kylbafflarna fortfarande en högre klimatpåverkan.

Tabell 13. Klimatpåverkan för VAV-systemet med en uppskalad huvudkanal.

	Total vikt [kg]	Klimatpåverkan [kg CO ₂ e]
Befintligt VAV	3448	12 800
VAV uppskalad huvudkanal	3698	13 800
Kylbafflar	4332	16 400

7.4 Användning av klimatdata i klimatberäkningar

Vid beräkning av klimatpåverkan använde vi oss av generiska data från tre olika klimatdatabaser när EPD:er inte gick att tillgå. De tre klimatdatabaser som vi använt oss av är sådana som miljökonserter ständigt tar hjälp av i sitt dagliga arbete med klimatberäkningar. Den klimatdata som vi använts från boverkets klimatdatabas är konservativt satta, vilket innebär att de är ungefär 25 procent högre än genomsnittet (Boverket, 2023). Orsaken var att uppmåna användning av specifika klimatdata och för att det inte ska vara en fördel att använda generiska data som kan indikera en lägre klimatpåverkan för de byggprodukter som har hög klimatpåverkan. Målet med

klimatberäkningarna var att använda specifika data i så hög grad som möjligt för att kunna reflektera över systemets faktiska klimatpåverkan. Vi märkte att i dagsläget är utbud av EPD:er är litet, men användningen av konservativt satta klimatdata uppmanar byggprodukttillverkare att erbjuda specifika klimatdata och EPD:er.

7.5 Säkerhet i beräkningen

Resurssammanställningen utfördes genom att bearbeta en BOM-lista som Auto CAD automatiskt skapar. Det finns en risk att programmet missar någon eller några komponenter vilket skapar en osäkerhet i klimatberäkningarna. Vi har kontrollräknat några komponenter för att säkerställa att inga misstag skett men vi kan inte vara hundra procent säkra. Dock har vi väldigt hög täckningsgrad för båda systemen vilket visar på att beräkningarna är tillräckligt noggranna för att dra en slutsats mellan klimatpåverkan för respektive systemlösning.

Vidare gjordes en förenkling vid uppdelningen av olika material och komponenter i klimatberäkningen, vilket gjordes för att översiktligt redovisa klimatpåverkan. Som exempel på detta har olika typer av stål adderats ihop till en gemensam parameter, detsamma gäller för parametern don som innehåller tilluftsdon, frånluftsdon och överluftsdon. Orsaken till det är att förenkla redovisningen av resultatet, detta underlättar för läsaren att urskilja vilket material som bidrar till den största klimatpåverkan i de båda systemlösningarna. Det bidrar även till att underlätta ett fortsatt arbete med att ge förslag på åtgärder som sänker klimatpåverkan. En projektör kan då fokusera på att förbättra de faktorer som har störst påverkan på resultatet och som gör störst skillnad.

Exempelvis, det hade varit intressant att undersöka skillnaden vid användning av en annan typ av stål med lägre klimatavtryck använts. Företaget SSAB har gjort en stor satsning och planerar att lansera fossilfritt stål år 2026 (SSAB, 2023). Företaget menar att det fossilfria stålet kommer att kunna användas för alla slutprodukter och branscher. Systemen har ungefär lika mycket kg CO₂e per kg material, vilket visar att förhållandet mellan kg CO₂e och kg material är ungefär densamma för de båda systemlösningarna. Detta beror på att systemen använder sig av ungefär samma typ av, däremot varierar materielmängderna. Hade ett stål med mindre klimatpåverkan använts för de båda systemlösningarna skulle förhållandet mellan klimatpåverkan för VAV-systemet och kylbaffelsystemet fortsatt vara densamma. VAV-systemet hade troligtvis fortfarande haft en lägre klimatpåverkan. I tabell 14 ser läsaren vilka värden för stål som används i klimatberäkningarna.

Tabell 14. Klimatdata som används för klimatberäkningarna för materialet stål.

Material	kg CO ₂ e/kg	Klimatdatabas
Stål	3,15	Boverket
Varmförzinkad stålplåt	3,1	Co2data
Galvaniserat stål	2,8	Co2data
Förzinkad stålplåt	3,24	Boverket
Prelackerad stålplåt	3,1	Co2data
Kallvalsad stålplåt	3,387	Ökobaudat

Lindab har planerat att 2026 använda ett stål med betydligt mindre klimatpåverkan vilket hade gjort stor skillnad på det totala klimatavtrycket från de båda systemlösningarna (Lindab, 2023). Det framtagna stålet har ett värde på 0,904 kg CO₂e /kg vilket är ungefär en tredjedel av den klimatdata från beräkningarna av stål gjorda i examensarbetet. Tabell 15 visar skillnaden i klimatpåverkan från stålet vid användning av den betydligt lägre data jämfört med den data som använts vid beräkningarna i arbetet.

Tabell 15. Jämförelse av klimatpåverkan beroende på klimatdata

Systemlösning	Klimatpåverkan [kg CO ₂ e]	Klimatpåverkan med lägre klimatdata värde [kg CO ₂ e]	Minskning av klimatpåverkan [kg CO ₂ e]
Kylbafflar	16 400	7 350	9 050
VAV-system	12 800	6 617	6 183

7.6 Luftbehandlingsaggregatets klimatpåverkan

I resultat avsnittet 6.5 redovisas klimatpåverkan för luftbehandlingsaggregaten för respektive systemlösning med alternativen centraliserad- och decentraliserad ventilation. Flertalet parametrar behöver tas hänsyn till vid val av systemlösning och placering av luftbehandlingsaggregat.

För det första om endast klimatpåverkan för luftbehandlingsaggregatet tas i hänsyn är det bästa valet ett kylbaffelsystem med centraliserad ventilation, detta i jämförelse med ett VAV-system med decentraliserad ventilation som är det sämsta alternativet.

Vidare är det även betydelsefullt att studera utrymmet som krävs för respektive aggregat och driftrum, alltså hur stor yta som inte är uthyrbar. Vid beräkning av storleken på fläktrummen har krav enligt (Kling, 2012) följts. Här visar resultatet att ett VAV-system med decentraliserad ventilation skapar en total icke uthyrbar yta på 280 m² och är därmed sämst i denna aspekt, jämfört med ett kylbaffelsystem med centraliserad ventilation kräver en total icke uthyrbar yta på 83 m².

Även schaktens storlek har en påverkan på resultatet. Vid beräkning av schaktens storlekar har hänsyn tagits till kanalernas dimension och tillägg från isolering på 50 mm och fri yta på 20 mm. I båda fallen visade det sig att decentraliserad ventilation kräver störst schaktstorlek, däremot är det en fördel vid användning av olika hyresgäster på ett våningsplan. Det är då möjligt att styra driften utefter enskilda önskemål och aktiviteter. En parameter som även behöver lyftas upp i denna situation är att det tillkommer ett schakt för rör i ett kylbaffelsystem.

7.7 Klimatpåverkan per m² A-temp

Slutligen sammanställdes klimatpåverkan per m² A-temp för CAV-systemet med kylbafflar och VAV-systemet. Dessa värden jämfördes med referensvärden då det underlättar beräkning av klimatpåverkan. Enligt dessa referensvärden bör kyla och luft i en kontorsbyggnad befinna sig på 20 kg CO₂/m² A-temp (Malmqvist, Borgström, Brismark, & Erlandsson, 2021). Båda resultaten i beräkningen visade att systemlösningarna ligger under detta värde, vilket kan bero på att vi enbart har

beräknat klimatpåverkan på ett våningsplan och sedan skalat upp det för 4 våningsplan. Denna förenkling gjordes för att uppnå en övergripande bild av respektive systemlösningens klimatpåverkan.

7.8 Vidare studier

I ett tidigare examensarbete av Reza Ahmadi och Esmaeil Saeedi 2022 genomfördes en systemanalys av luftburet VAV och vattenburet CAV avseende energianvändning och effekttoppar. Även 2017 genomförde Lisa Holgersson och Yonatan Tekle en systemanalys för dessa system med avseende på energi- och ekonomi. I detta examensarbete har en analys gjorts med avseende på klimatpåverkan och materialåtgång för samma typ av system.

En eventuell vidare studie hade varit att jämföra hur de olika systemen påverkar den termiska komforten och klimatet inuti kontorsbyggnaden. Exempelvis genom att jämföra koldioxidhalten i luften och dess påverkan på arbetsmiljön i en kontorsbyggnad. Vidare hade det varit intressant att studera de aktiva kylbafflarnas förmåga att även värma en byggnad. Genom användning av även värme från kylbafflarna bidrar detta till en minskad mängd radiatorer. Hur stor påverkan har detta med hänsyn till både energi- och klimatpåverkan. Det hade även varit intressant att undersöka designförbättringar för att kombinera både klimatpåverkan och energianvändning.

8 Slutsats

Avslutningsvis kan vi fastställa att examensarbetet innefattar flertalet antaganden och det är ett stort antal parametrar som påverkar klimatpåverkan med avseende på materialåtgång. VAV-systemet är en bättre systemlösning för kontorsbyggnader i Sverige med avseende på total klimatpåverkan samt klimatpåverkan per m² A-temp. Minst total materialanvändning har VAV-systemet. De största andelen material som systemlösningarna innehåller är stål och stenull. Produktkategorierna som bidrar till störst klimatpåverkan är ventilationskanalerna för de båda systemen, därefter kommer kylbafflarna i kylbaffelsystemet och tilluftsdonen i VAV-systemet.

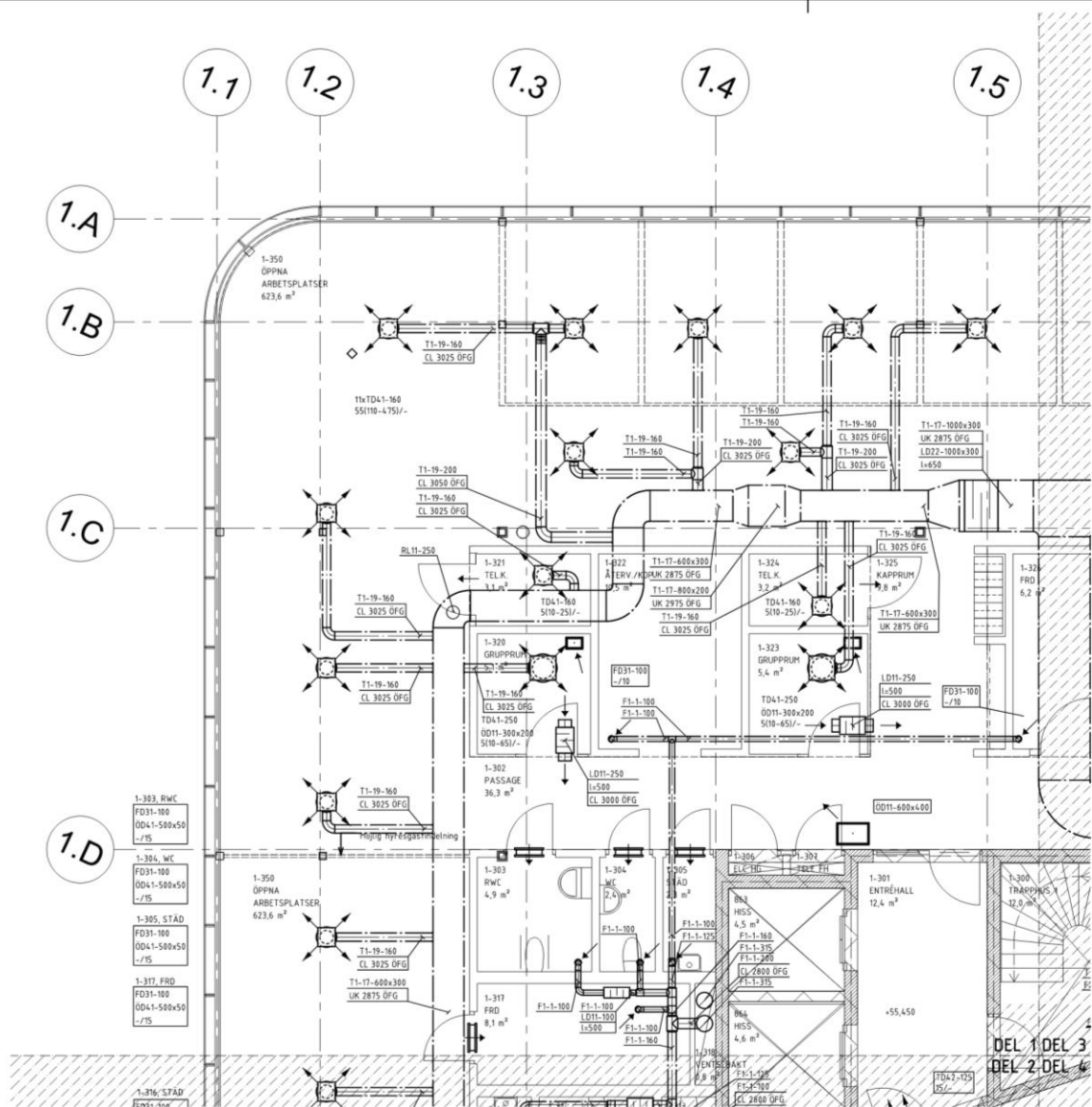
9 Referenser

- AFS. (2020). *Arbetsplatsens utformning*. Hämtat från Arbetsmiljöverket:
<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs2020-1.pdf?hl=arbetsplatsens%20utformning>
- Airmaster. (den 26 Januari 2022). *Airmaster*. Hämtat från Decentraliserad ventilation: Stöd för cirkulära byggnader:
<https://www.airmaster.se/nyheter/decentraliserad-ventilation-stoed-foer-cirkulaera-byggnader/>
- Arbetsmiljöupplysningen. (u.å). *Kontorsutformning*. Hämtat från Arbetsmiljöupplysningen:
<https://www.arbetsmiljoupplysningen.se/Amnen/Oppet-kontorslandskap/>
- Arbetsmiljöverket. (den 5 januari 2021). *Lokalernas storlek beror på verksamheten*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/inomhusmiljo/lokaler-och-arbetsutrymme/lokalernas-storlek/>
- Arbetsmiljöverket. (den 10 januari 2022). *Luft och ventilation*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/>
- Boverket. (2019a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (den 20 februari 2019b). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljo-varudeklaration-for-byggprodukter-epd/>
- Boverket. (den 1 oktober 2021a). *Klimatdeklaration av byggnader*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/>
- Boverket. (den 30 september 2021b). *Klimatdeklarationens omfattning*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/>
- Boverket. (den 24 Januari 2023). *Boverket*. Hämtat från Om Boverkets klimatdatabas: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>
- Boverket. (u.å). *Använd rätt klimatdata*. Hämtat från Boverket: <https://boverket.infab.io/5-anvand-ratt-klimatdata>
- Ekberg, L., Fagergren, T., Hjelm, P.-E., Kempe, P., Ruud, S., & Persson, M. (2022). *Ventilation i Sverige - en kunskapssammanställning*. Hämtat från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1633271/FULLTEXT01.pdf>
- Fossilfritt Sverige. (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Bygg- och anläggningssektorn*. Byggföretagen.
- Kling, R. (2012). *Rätt arbetsmiljö för VVS-montörer och driftpersonal*. VVS Företagen. Hämtat från https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/2e4e74f1-13a6-4d62-9db0-59a4832b45fd/FinalReport/SBUF%2012241%20Slutrapport%20Ratt_arbetsmiljo_for_montorer_och_driftspersonal.pdf
- Kuldkepp, T. (2021). *Hållbarhetsarbete i Installationsbranschen*. Stockholm: Svenska byggbranschens utvecklingsfond.
- Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J., & Erlandsson, M. (2021). *Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader. Version 2, 2023*. Hämtat

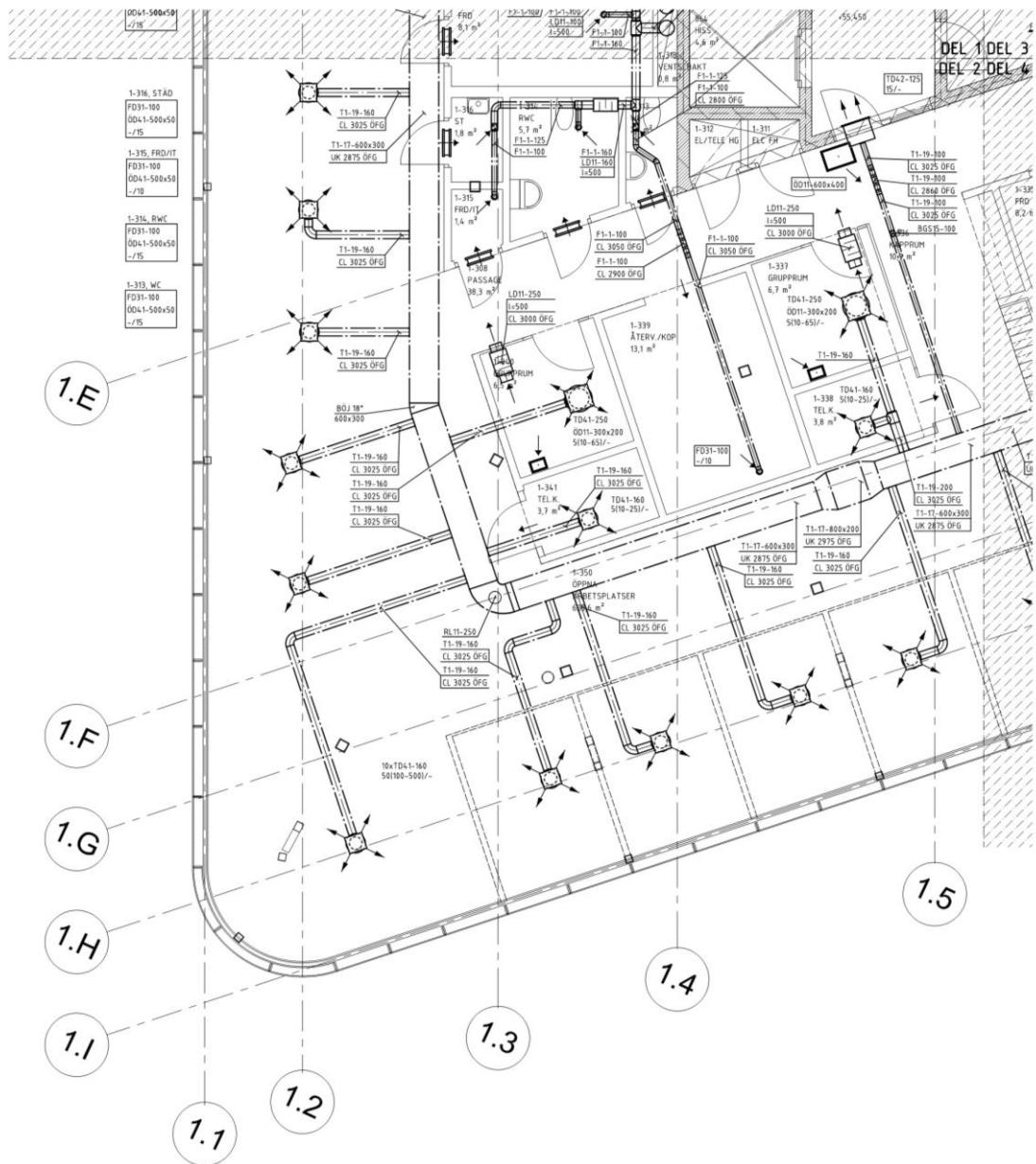
- från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/referensvarden-for-byggandets-klimatpaverkan/>
- Naturvårdsverket. (den 1 december 2022). *Därför blir det varmare*. Hämtat från Naturvårdsverket: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/>
- Naturvårdsverket. (u.å.). *Klimatet och bygg- och fastighetssektorn*. Hämtat från Naturvårdsverket: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/omraden/klimatet-och-bygg--och-fastighetssektorn/>
- Regeringskansliet. (den 12 juni 2017). *Det klimatpolitiska ramverket*. Hämtat från Regeringskansliet: <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>
- SSAB. (2023). *Ssab.com*. Hämtat från Allt du behöver veta om SSAB:s fossilfria stål: <https://www.ssab.com/sv-se/fossilfri/faqs-the-big-questions-answered>
- Svanström, L., Gruvstad, C., & Everitt, M. (2018). *Förstudie av hållbarhetsarbetet i installationsbranschen*. Svenska byggranshens utvecklingsfond.
- Sweden Green Building Council. (2020). *Miljöbyggnad, Metodik och Manual befintliga byggnader*. Hämtat från sgbc: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2020/05/Milj%C3%B6byggnad-3.1-Befintlig-byggnad.pdf>
- Swegon. (2007). *Vattenburna klimatsystem*. Hämtat från Swegon: https://www.swegon.com/siteassets/_products-documents-archive/waterborne-climate-systems/general/_sv/climate-tech.pdf
- Swegon. (2009). *Systemteknik*. https://www.swegon.com/siteassets/_products-documents-archive/flow-control/wise/_sv/wise-tech_gen1.pdf: Swegon.
- Swegon. (u.å.a). *Vi förklarar behovsstyrd ventilation*. Hämtat från Swegon: <https://www.swegon.com/sv/kunskapsportal/tekniska-guider/vi-forklarar-behovsstyrd-ventilation/>
- Swegon. (u.å.b). *Kyla ett rum*. Hämtat från Swegon: <https://www.swegon.com/sv/guider/manniskan-och-rummet/inomhusklimat/viktiga-principer-for-inomhusklimat/hur-regleras-temperaturen-i-byggnaden/att-kyla-ett-rum/>
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur.

10 Bilagor

Bilaga 1. Ventilationsritning ett VAV-system.



Bilaga 2. Ventilationsritning två VAV-system.





CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY