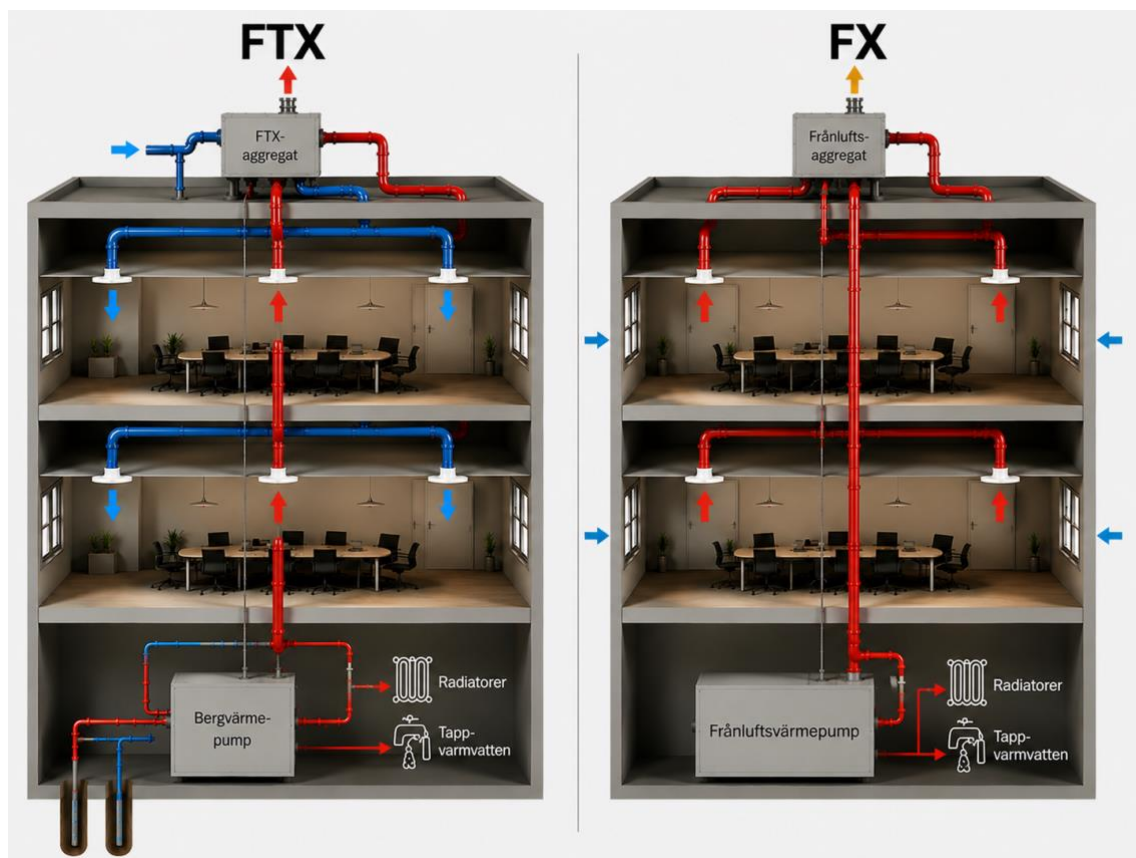




CHALMERS



# Klimat effektiv bostadsventilation – En jämförande studie av FTX och FX

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Ashhab Al-Aini  
Mahamed Beshr

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026  
www.chalmers.se



EXAMENSARBETE ACEX20

# Klimateffektiv bostadsventilation – en jämförande studie av FTX och FX

En studie om klimatnytta, energianvändning och materialpåverkan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Ashhab Al-Aini

Mahamed Beshr

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Examinator & Handledare

Anders Trüschel, universitetslektor [anders.truschel@chalmers.se](mailto:anders.truschel@chalmers.se)

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

# Klimat effektiv bostadsventilation – En jämförande studie av FTX och FX

En studie om klimatnytta, energianvändning och materialpåverkan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik*

Ashhab Al-Aini

Mahamed Beshr

© Ashhab Al-Aini Mahamed Beshr, 2026

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bild som visar ett ventilationsystem (ChatGPT, OpenAI, 2026)

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg, 2026

# Klimateffektiv bostadsventilation – En jämförande studie av FTX och FX

En studie om klimatnytta, energianvändning och materialpåverkan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Affärsutveckling och entreprenörskap inom samhällsbyggnadsteknik*

Ashhab Al-Aini

Mahamed Beshr

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

## **Sammanfattning**

I dagens byggbransch blir energieffektivitet och klimatpåverkan allt viktigare faktorer vid planering och projektering av flerbostadshus. I detta examensarbete har fokus lagts på att jämföra två olika ventilationssystem, värmeåtervinningssystemet FTX och frånluftsvärmepumpsystemet FX, för att analysera skillnader i energianvändning, klimatpåverkan och materialåtgång. För att få en bredare förståelse har vi valt att studera två referensbyggnader som båda är belägna i sydvästra Göteborg. Genom att inkludera två byggnader kunde vi observera hur olika tillämpningar av beräkningsmetoder och antaganden påverkar resultaten och identifiera variationer mellan systemen. Studien syftar till att ge insikter i hur val av ventilationssystem påverkar byggnaders totala klimatavtryck och hur dessa skillnader kan beaktas i framtida projekt.

I detta examensarbete jämförs två systemlösningar för bostadsventilation och uppvärmning: FTX-system med bergvärmepump och FX-system med frånluftsvärmepump samt fjärrvärme. Analysen omfattar systemens energianvändning, materialåtgång och klimatpåverkan. Byggnadens övriga påverkan, brukarbeteende och byggnadsdesign ingår däremot inte som egna beräkningsdelar.

Resultaten visar tydliga skillnader mellan systemlösningarna. FTX-systemet har generellt lägre energianvändning under drift, eftersom systemets värmeåtervinning minskar det återstående värmebehovet. FX-systemet har i stället lägre materialpåverkan, men ett högre energibehov under drift. Detta gör att driftenergin får större betydelse för FX-systemets totala klimatpåverkan över tid.

Materialrelaterad klimatpåverkan är högre för FTX-systemet, eftersom systemlösningen innehåller fler komponenter och större materialmängder. För FX-systemet är materialpåverkan lägre, men energianvändningen under drift bidrar i högre grad till det totala klimatavtrycket. Över en längre tidsperiod minskar skillnaden mellan systemen, men FTX-systemets högre materialpåverkan kvarstår.

Slutsatsen av studien är att valet av ventilationssystem har stor betydelse för byggnaders totala klimatpåverkan. FTX-systemen erbjuder fördelar i form av lägre energianvändning, men med högre initial påverkan från material, medan FX-systemen ger lägre materialpåverkan men högre energibehov över tid. Studien understryker vikten av att beakta både driftenergi och material vid projektering av ventilationssystem i flerbostadshus och visar att en balanserad analys är nödvändig för att fatta välgrundade beslut som minskar byggnaders totala klimatavtryck.

Nyckelord: FTX, FX, ventilationssystem, energiförbrukning, klimatpåverkan, materialåtgång, referensbyggnader, hållbarhet, värmeåtervinning

Climate Efficient Residential Ventilation – A Comparative Study of FTX and FX A study on climate benefits, energy use, and material impact

Ashhab Al-Aini

Mahamed Beshr

*Degree Project in the Engineering Programme*

*Business Development and Entrepreneurship*

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

## **Abstract**

In today's construction industry, energy efficiency and climate impact are becoming increasingly important factors in the planning and design of multifamily residential buildings. In this degree project, the focus has been placed on comparing two different ventilation systems, the heat recovery system FTX and the exhaust air heat pump system FX, in order to analyze differences in energy use, climate impact and material consumption. To gain a broader understanding, two reference buildings have been studied, both located in southwestern Gothenburg. By including two buildings, it was possible to observe how different applications of calculation methods and assumptions affect the results and to identify variations between the systems. The study aims to provide insights into how the choice of ventilation system affects the total climate footprint of buildings and how these differences can be considered in future projects.

This degree project compares two system solutions for residential ventilation and heating: FTX systems with a ground source heat pump and FX systems with an exhaust air heat pump and district heating. The analysis includes the systems' energy use, material consumption and climate impact. However, the building's other impacts, user behavior and building design are not included as separate calculation parts.

The results show clear differences between the system solutions. The FTX system generally has lower energy use during operation, as the system's heat recovery reduces the remaining

heating demand. The FX system, on the other hand, has lower material impact, but a higher energy demand during operation. This means that operational energy becomes more important for the FX system's total climate impact over time.

Material related climate impact is higher for the FTX system, as the system solution contains more components and larger material quantities. For the FX system, the material impact is lower, but energy use during operation contributes to a greater extent to the total climate footprint. Over a longer period of time, the difference between the systems decreases, but the higher material impact of the FTX system remains.

The conclusion of the study is that the choice of ventilation system has great significance for the total climate impact of buildings. FTX systems offer advantages in the form of lower energy use, but with a higher initial impact from materials, while FX systems provide lower material impact but higher energy demand over time. The study emphasizes the importance of considering both operational energy and materials when designing ventilation systems in multifamily residential buildings and shows that a balanced analysis is necessary in order to make well founded decisions that reduce the total climate footprint of buildings.

Keywords: FTX, FX, ventilation systems, energy consumption, climate impact, material use.

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	1
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	1
<b>1.2 Syfte</b> .....	1
<b>1.3 Frågeställningar</b> .....	2
<b>1.4 Målgrupp</b> .....	2
<b>1.5 Metodöversikt</b> .....	2
<b>1.6 Avgränsningar</b> .....	3
<b>2 Teoretisk referensram</b> .....	5
<b>2.1 Ventilationssystem i flerbostadshus</b> .....	5
2.1.1 Mekanisk frånluft (FX).....	5
2.1.1 Uppbyggnad av FX-system i referensbyggnad 1.....	5
2.1.2 Mekanisk till och frånluft med värmeåtervinning (FTX).....	7
2.1.3 Tekniska skillnader mellan systemen.....	8
<b>2.2 Inomhusmiljö och komfort</b> .....	9
2.2.1 Luftflöden och krav.....	10
2.2.2 Termisk komfort.....	10
2.2.3 Luftkvalitet.....	10
<b>2.3 Energiprestanda</b> .....	11
2.3.1 Värmepumpar.....	11
2.3.2 Värmeåtervinning.....	11
<b>2.4 Klimatpåverkan</b> .....	12
2.4.1 Energi i driftsfas.....	12
2.4.2 Materialåtgång och installation.....	12
2.4.3 Klimatdata, EPD och GWP.....	13
2.4.4 Emissionsfaktorer och elmix.....	13
<b>3 Metod och genomförande</b> .....	14
<b>3.1 Referensprojekt</b> .....	14
3.1.1 Referensprojekt 1.....	14
3.1.2 Referensprojekt 2.....	15
<b>3.2 Modellering i Revit och MagiCAD</b> .....	17
<b>3.3 Dimensionering av ventilationssystem</b> .....	19
3.3.1 Luftflöden och systemprincip.....	19
3.3.2 Val av Aggregat.....	20
<b>3.4 Geografisk placering och klimatdata</b> .....	22
<b>3.5 Energiberäkning av driftenergi</b> .....	24

3.5.1 Värmebehov .....	24
3.5.2 Elbehov .....	30
3.5.3 Klimatpåverkan från driftenergi.....	34
<b>3.6 Klimatberäkning av installationsmaterial.....</b>	<b>37</b>
3.6.1 Klimatberäkning av installationsmaterial för referensprojekt 1 .....	38
3.6.2 Klimatberäkning av installationsmaterial för referensprojekt 2 .....	48
<b>4 Resultat.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Driftenergi .....</b>	<b>52</b>
4.1.1 Driftenergi Referensbyggnad 1 .....	52
4.1.2 Driftenergi Referensbyggnad 2 .....	53
<b>4.2 Klimatpåverkan från energianvändning.....</b>	<b>54</b>
4.2.1 Klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas för Referensbyggnad 1 .....	55
4.2.2 Klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas för Referensbyggnad 2 .....	56
4.2.3 Klimatpåverkan från energianvändning över 25 år (2026-2051).....	57
<b>4.3 Klimatpåverkan från material .....</b>	<b>59</b>
4.3.1 Referensbyggnad 1 .....	59
4.3.2 Referensbyggnad 2.....	59
<b>4.4 Sammanställning av total klimatpåverkan .....</b>	<b>60</b>
4.4.1 Referensprojekt 1 .....	60
4.4.2 Referensprojekt 2 .....	62
<b>4.5 Jämförelse av total klimatpåverkan mellan FX och FTX.....</b>	<b>65</b>
4.5.1 Referensprojekt 1 .....	65
4.5.2 Referensprojekt 2 .....	65
<b>5 Analys och diskussion .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1 Tolkning av resultat.....</b>	<b>66</b>
5.1.1 Klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas – jämförelse mellan FX och FTX .....	66
5.1.2 Klimatpåverkan från material – jämförelse mellan FX och FTX .....	67
5.1.3 Sammanställning av total klimatpåverkan .....	68
5.1.4 Jämförelse av total klimatpåverkan mellan FX och FTX .....	69
<b>5.2 Komfort och funktion.....</b>	<b>70</b>
<b>5.3 Inverkan av COP på energibehovet.....</b>	<b>70</b>
<b>5.4 Elmixens inverkan på klimatpåverkan.....</b>	<b>74</b>
<b>5.5 Påverkan från val av fjärrvärmemix .....</b>	<b>76</b>
<b>5.6 Systemgränser och påverkan på resultatet .....</b>	<b>77</b>
<b>6 Slutsatser .....</b>	<b>81</b>
<b>6.1 Jämförelse mellan FX och FTX-system .....</b>	<b>81</b>

<b>6.2 Metod och osäkerheter .....</b>	<b>82</b>
<b>6.3 Fortsatt arbete.....</b>	<b>82</b>
<b>7. Bilagor .....</b>	<b>84</b>
<b>8.Referenser .....</b>	<b>93</b>

# Förord

Denna studie är resultatet av vårt examensarbete inom programmet högskoleingenjör i Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Examensarbetet har utförts i samarbete med Bengt Dahlgren Göteborg AB under vårterminen 2026.

Vi vill rikta ett stort tack till Henrik Jönsson och Kent Ebbmark på Bengt Dahlgren AB för värdefull handledning och vägledning under examensarbetet. Ett särskilt tack vill vi även ge Andreas Fränne som varit en stor hjälp under projektet och bidragit med både handledning och omfattande stöd inom energiberäkningar.

Vidare vill vi tacka Giovana Fantin för hjälp med energiberäkningar samt Suzana Oberajter för stöd inom klimatberäkningar och BeCos. Vi vill även tacka Jakob Pontusson för värdefull hjälp och vägledning kring värmepumpar.

Vi vill också tacka Anders Trüschel och Torbjörn Lindholm från avdelningen Installationsteknik på Chalmers tekniska högskola, som har handlett oss genom examensarbetet och bidragit med värdefulla synpunkter, råd och återkoppling under processen.

Slutligen vill vi tacka alla på Bengt Dahlgren Göteborg AB som på olika sätt bidragit med stöd, engagemang och kunskap under examensarbetets gång.

Göteborg, Maj 2026

Ashhab Al-Aini & Mahamed Beshr

## Förkortningar

Förkortningar	Beskrivningar
FX	Frånluftssystem med värmeåtervinning från frånluft via frånluftspump
FTX	Från och tilluftssystem med värmeåtervinning från frånluft till tilluft
F	Frånluftssystem
COP	Coefficient of Performance
SFP	Specifik Fläkteeffekt
LCA	Livscykelanalys

## Definitioner

Tilluft	Luft som tillförs ett utrymme via ventilationssystemet för att säkerställa ventilation och komfort.
Frånluft	Den luft som transporteras ut från ett rum eller utrymme, antingen direkt till utomhus eller genom ventilationssystemets kanaler.
Inneluft	Luft som finns inne i byggnaden, exempelvis i bostäder, kontor eller andra vistelseutrymmen.
Uteluft	Den naturliga utomhusluften som kan filtreras och eventuellt värmas upp innan den tillförs byggnaden.
Värmeåtervinning	En process där värmen i frånluften tas tillvara och överförs till tilluften för att minska energibehovet.
Ventilationsaggregat	En enhet som behandlar och distribuerar ventilationsluft i en byggnad.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Bygg och fastighetssektorn står idag för en stor del av både energianvändningen och klimatpåverkan i Sverige. Svenska byggnader står för cirka 40 % av landets totala energianvändning, främst kopplat till uppvärmning och elanvändning. Samtidigt bidrar sektorn till ungefär en femtedel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser sett ur ett livscykelperspektiv (Naturvårdsverket, 2026). Detta innebär att åtgärder som minskar energianvändningen i byggnader även har stor potential att reducera klimatpåverkan. En central del av byggnaders energianvändning är kopplad till ventilationssystemet, då uppvärmning av ventilationsluft kräver energi. Valet av ventilationssystem blir därmed en viktig faktor som påverkar både energibehov och klimatpåverkan i byggnader.

I takt med att byggnader blir mer energieffektiva och energikraven skärps har klimatpåverkan från byggnadens material och installationer fått en allt större betydelse. För moderna byggnader kan den inbyggda klimatpåverkan från tillverkning, transport och installation av byggprodukter vara lika stor som eller större än klimatpåverkan från driftenergin under byggnadens livslängd. Detta innebär att val av tekniska system inte längre kan bedömas enbart utifrån energianvändning, utan även utifrån den klimatpåverkan som uppstår genom materialanvändningen. För ventilationssystem är detta särskilt relevant eftersom olika systemlösningar kräver olika mängder kanaler, aggregat och övriga komponenter, vilket påverkar den totala klimatpåverkan.

## 1.2 Syfte

Syftet med studien är att jämföra klimatpåverkan från FX och FTX-system i flerbostadshus ur ett livscykelperspektiv. Studien omfattar både klimatpåverkan från installationsmaterial och klimatpåverkan från energianvändning under driftfasen. Genom att analysera två referensprojekt undersöks hur valet av ventilationssystem påverkar den totala klimatpåverkan över tid samt hur fördelningen mellan inbyggd klimatpåverkan och klimatpåverkan från driftenergi skiljer sig mellan systemen.

## 1.3 Frågeställningar

- Vilken av systemlösningarna FTX med bergvärmepump och FX med frånluftsvärmepump samt fjärrvärme ger lägst total klimatpåverkan i en bostadsbyggnad, med avseende på energianvändning och installationsmaterial?
- Hur stor är skillnaden i klimatpåverkan (CO<sub>2</sub>-utsläpp) mellan systemen?
- Hur utvecklas den totala klimatpåverkan över tid för FTX med bergvärmepump och FX med frånluftsvärmepump samt fjärrvärme?

## 1.4 Målgrupp

Målgruppen för examensarbetet är VVS-ingenjörer, ventilationskonsulter, energikonsulter samt fastighetsutvecklare som arbetar med projektering och val av ventilationssystem i bostadsbyggnader. Arbetet kan även vara relevant för studenter och forskare inom bygg och energiteknik som är intresserade av energieffektivisering och klimatpåverkan i byggnader.

## 1.5 Metodöversikt

Examensarbetet inleds med en förstudie där de olika ventilationssystemen studeras på en övergripande nivå. Förstudien omfattar FTX-system (både lokala och centrala lösningar), FX-system samt F-system. Syftet med förstudien är att skapa en gemensam teknisk förståelse för systemens funktion, uppbyggnad och användningsområden samt att fastställa relevanta bedömningsparametrar för den fortsatta analysen.

Arbetet baseras därefter på två huvudreferensprojekt inom bostadsbyggnader. I det första referensprojektet utgår analysen från ett befintligt FX-system, som därefter ritas om och analyseras som ett alternativt FTX-system. I det andra referensprojektet utgår analysen istället från ett FTX-system, som ritas om och analyseras som ett alternativt FX-system. På så sätt möjliggörs en jämförelse där båda systemen studeras utifrån likvärdiga förutsättningar.

För respektive systemlösning genomförs energiberäkningar för att uppskatta byggnadernas energianvändning. Den ursprungliga planen var att använda energisimuleringsprogrammet IDA ICE, men på grund av begränsningar i tillgängliga indata och projektets omfattning

genomfördes beräkningarna istället i Excel. Beräkningarna baserades på varaktighetsdiagram, ventilationsflöden, värmebehov och tekniska data från systemen. Klimatpåverkan analyseras främst i driftfasen genom kopplingen mellan energianvändning och emissionsfaktorer.

I energiberäkningarna har systemlösningarna därför inte studerats som helt fristående ventilationssystem, utan som delar av respektive byggnads uppvärmningssystem. För FTX-fallet har systemet analyserats tillsammans med bergvärmepump, där det återstående värmebehovet efter värmeåtervinning huvudsakligen täcks av värmepumpen. För FX-fallet har systemet analyserats tillsammans med frånluftsvärmepump och fjärrvärme, där frånluftsvärmepumpen återvinner värme ur frånluften och fjärrvärme täcker den del av värmebehovet som återstår. På så sätt jämförs inte endast ventilationsprinciperna, utan två kompletta systemlösningar för ventilation och uppvärmning.

Resultaten sammanställs och analyseras genom att energianvändning, klimatpåverkan från driftenergi och klimatpåverkan från installationsmaterial jämförs mellan FX och FTX-systemen i de två referensprojekten. Därefter analyseras hur den totala klimatpåverkan utvecklas över tid samt vilka faktorer som har störst påverkan på resultaten. Slutligen dokumenteras metod, resultat, analys, diskussion och slutsatser i rapporten.

## 1.6 Avgränsningar

Studien avgränsas till en jämförelse mellan två systemlösningar i två referensbyggnader som är flerbostadshus. Den ena systemlösningen består av FTX-ventilation i kombination med bergvärmepump, medan den andra består av FX ventilation i kombination med frånluftsvärmepump och fjärrvärme. I respektive referensprojekt hålls byggnadens planlösning, klimatskal och övriga förutsättningar oförändrade. De skillnader som analyseras är därför ventilationssystemen och de tillhörande uppvärmningslösningarna.

Jämförelsen avgränsas till energianvändning och klimatpåverkan från de studerade systemlösningarna. För FTX-systemet omfattar detta fläktel, el till bergvärmepump och eventuell elspets. För FX-systemet omfattar detta fläktel, el till frånluftsvärmepump samt fjärrvärme för den del av värmebehovet som inte täcks av frånluftsvärmepumpen.

Analysen omfattar klimatpåverkan från energianvändning under driftfasen samt klimatpåverkan från installationsmaterial i produktionsskedet. För installationsmaterial

inkluderas livscykelkedena A1–A3, där A1 avser råvaruförsörjning, A2 transporter till tillverkning och A3 tillverkningsprocessen. Transport till byggarbetsplatsen (A4) och installationsprocessen på byggarbetsplatsen (A5) ingår inte i studien. Inte heller underhåll, utbyte av komponenter, rivning eller avfallshantering inkluderas.

Studien utgår från svenska klimatförhållanden och standardiserade klimatdata. Modellering genomförs i Revit och MagiCAD, medan energi och klimatberäkningar utförs genom manuella beräkningar och Excelbaserade modeller.

Analysen omfattar endast energianvändning och klimatpåverkan kopplad till ventilation och uppvärmning. Eventuella kylbehov har inte inkluderats i studien. Komfort, ljudnivå och detaljerade inneklimatberäkningar analyseras inte separat.

Ekonomiska aspekter såsom investeringskostnader, driftkostnader och livscykelkostnader behandlas inte inom ramen för studien.

## 2 Teoretisk referensram

### 2.1 Ventilationssystem i flerbostadshus

Ventilation i flerbostadshus har som uppgift att tillföra frisk luft och föra bort förorenad och fuktig luft från byggnaden. Ett väl fungerande ventilationssystem bidrar till god luftkvalitet, bättre termisk komfort samt minskad risk för fukt och mögelproblem. Samtidigt påverkar ventilationen byggnadens energianvändning i stor utsträckning, särskilt i kalla klimat där ventilationsluften behöver värmas upp. I moderna flerbostadshus används främst FX och FTX-system, där olika typer av värmeåtervinning används för att minska energiförlusterna (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

#### 2.1.1 Mekanisk frånluft (FX)

Ett FX-system är en mekanisk frånluftsventilation i kombination med värmeåtervinning. I systemet sugs den använda luften ut ur byggnaden med hjälp av fläktar, främst från utrymmen där fukt, lukt och föroreningar uppstår, såsom kök, badrum och tvättstuga. Till skillnad från enklare frånluftssystem är FX-systemet kompletterat med en värmeväxlare eller en frånluftsvärmepump som möjliggör återvinning av värmen i frånluften. Denna återvunna värme tas tillvara och används för att värma tappvarmvatten samt bidra till uppvärmning av byggnaden.

Ventilationen sker genom att frånluften transporteras ut mekaniskt, vilket skapar ett undertryck i byggnaden. Detta gör att ny luftsugs in genom uteluftsventiler i fasaden. På så sätt säkerställs ett kontinuerligt luftutbyte samtidigt som energiförluster minskar genom värmeåtervinning (Polarpumpen, u.å.).

#### 2.1.1 Uppbyggnad av FX-system i referensbyggnad 1

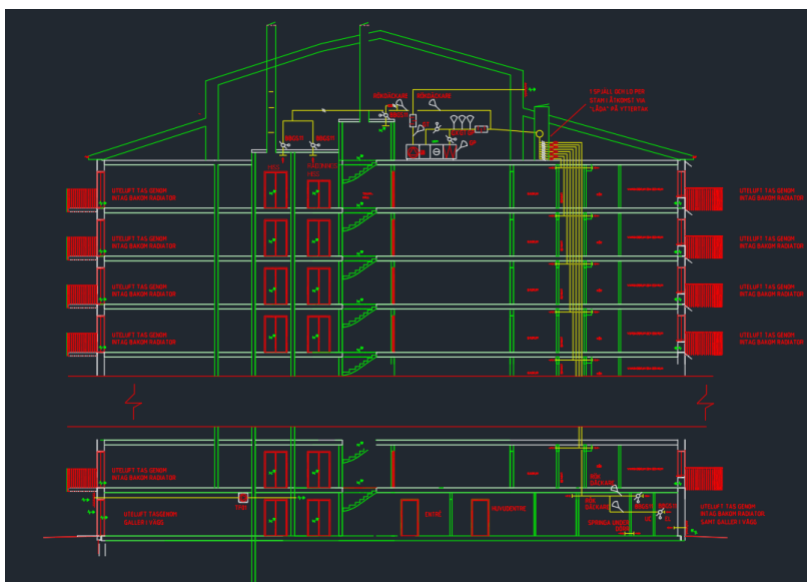
I referensbyggnad 1, vilket illustreras i Figur 1, tas tilluften in via uteluftsventiler placerade i byggnadens fasad. Figuren framgår att dessa ventiler är placerade bakom radiatorerna, vilket innebär att den kalla uteluften värms upp något innan den når rummen.

Luften rör sig därefter genom lägenheterna från rum med lägre föroreningsgrad, såsom sovrum och vardagsrum, vidare mot kök och badrum. I dessa utrymmen sugs luften ut via frånluftsdon.

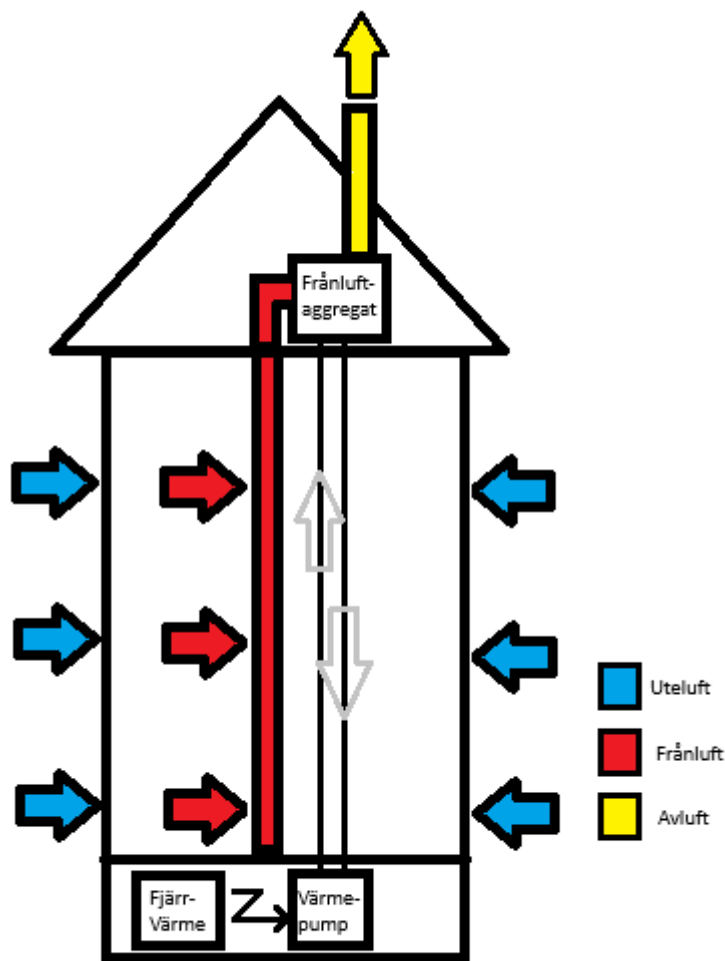
Frånluften transporteras vidare genom ett system av vertikala kanaler som samlas i ett centralt schakt i byggnaden. Detta schakt leder upp till fläktrummet, som är placerat högst upp i byggnaden. I fläktrummet sitter frånluftsfläkten som driver luftflödet genom hela systemet. I referensbyggnad 1 återvinns värme ur frånluften innan luften lämnar byggnaden. Av ritningsunderlaget framgår att frånluften leds till fläktrummet på taket där frånluftsfläkten är placerad. Själva frånluftsvärmepumpen är däremot placerad i byggnadens källare. Hur värmeöverföringen sker mellan ventilationssystemet och värmepumpen framgår inte fullt ut av tillgängligt underlag, men systemet är projekterat för värmeåtervinning från frånluften. När frånluften passerar värmepumpen återvinns värmen innan luften förs ut ur byggnaden via taket. Den återvunna energin används därefter till byggnadens värmesystem, exempelvis radiatorer och tappvarmvatten. Den används alltså inte för att värma tilluften direkt, eftersom tilluften i FX-systemet tas in via uteluftsventiler i fasaden.

Längst ner i byggnaden finns även en fläkt markerad som TFO1, vilken bedöms vara en separat fläkt för bottenplan och inte en del av den centrala värmeåtervinningen.

Sammanfattningsvis är FX-systemet i referensbyggnad 1 uppbyggt med tilluft via fasaden och mekanisk frånluft via kanaler och fläktrum, där värme återvinns ur frånluften innan den lämnar byggnaden.



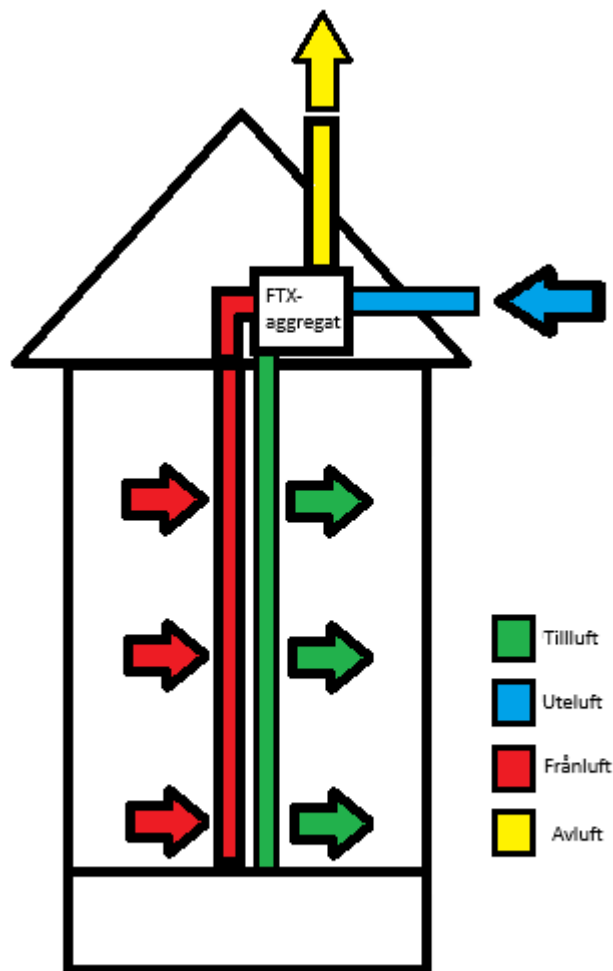
Figur 1.: Principskiss av FX-system i referensbyggnad 1, där uteluft tas in via fasad och frånluft ventileras mekaniskt via kanalsystem till fläktrum.x



Figur 2: Figuren visar ett FX-system där värme återvinns ur frånluften med hjälp av en frånluftsvärmepump..

### 2.1.2 Mekanisk till och frånluft med värmeåtervinning (FTX)

Ett FTX-system är ett ventilationssystem med både tilluft och frånluft samt värmeåtervinning. Frånluften sugas ut och passerar en värmeväxlare som tar tillvara värmen och överför den till den kalla uteluften som tas in. Uteluften filtreras, värms och blåses in i rätt rum, främst vardagsrum och sovrum, medan frånluft tas ut i kök, badrum och tvättutrymmen. Systemet ger kontrollerad och balanserad ventilation, sparar energi och kan återvinna upp till cirka 85 % av värmen som annars skulle gå förlorad ut med avluften. Filter i systemet tar även bort damm, pollen och andra föroreningar, vilket förbättrar inomhusluften (Permats, 2019).



Figur 3: Figuren visar ett FTX-system där värme återvinns via en värmeväxlare.

### 2.1.3 Tekniska skillnader mellan systemen

Vid jämförelsen mellan FX och FTX-ventilation har hänsyn tagits till att systemen skiljer sig åt både avseende materialåtgång och funktion. FTX-system innefattar ett kanalsystem för tilluft samt fler tekniska komponenter, såsom värmeväxlare och ventilationsaggregat, vilket innebär ett större materialbehov jämfört med FX-system. Detta kan medföra en högre klimatpåverkan i bygg och installationsskedet.

Samtidigt erbjuder FTX-system generellt bättre kontroll över tilluften och möjliggör filtrering av den tillförda luften. Dessutom återvinns värme från frånluften och överförs till tilluften,

vilket minskar byggnadens energibehov. Detta bidrar till förbättrad luftkvalitet och ett jämnare inomhusklimat jämfört med FX-system, där tilluften huvudsakligen tillförs via tilluftsventiler och endast i begränsad omfattning genom otätheter, utan samma möjlighet till styrning och filtrering.

I detta examensarbete har dessa skillnader beaktats genom att respektive system modellerats med realistiska och systemtypiska lösningar. Genom att inkludera både materialåtgång och energianvändning i driftsfasen möjliggörs en jämförande analys av systemens klimatpåverkan över tid.

Funktion	FX-System	FTX-System
Typ av tilluft	Uteluft via väggventiler	Mekaniskt tillförd och tempererad luft
Värmeåtervinning	Från frånluft till tappvarmvatten	Från frånluft till tilluft
Risk för kallras	Relativt hög	Mycket låg
Kontroll över luftflöde	Begränsad styrning	Full kontroll av tilluft och frånluft
Filtrering av tilluft	Ingen aktiv filtrering	Filtrering via ventilationsaggregat
Systemkomplexitet	Relativt enkel uppbyggnad	Mer omfattande kanalsystem och aggregat
Installationsomfattning	Mindre kanaldimensioner	Kanaler för både till och frånluft
Energieffektivitet	Medel	Hög

Tabell 1: Tabellen visar en jämförelse mellan FX och FTX-systemens uppbyggnad, funktion och energiegenskaper.

## 2.2 Inomhusmiljö och komfort

Människor spenderar en stor del av sin tid inomhus, uppskattningsvis omkring 90 %, vilket innebär att inomhusmiljön har stor betydelse för både hälsa och välbefinnande (Boverket, 2022). Ventilation spelar därför en avgörande roll i inomhusmiljön i flerbostadshus och är en central faktor för både de boendes hälsa och byggnadens långsiktiga funktion.

### 2.2.1 Luftflöden och krav

Enligt Boverkets byggregler (BBR 6:25 och 6:251) ska ventilationssystem utformas så att tillräckligt uteluftsflöde tillförs byggnaden och att föroreningar, fukt och lukt förs bort för att säkerställa en god inomhusmiljö. För bostäder gäller ett lägsta uteluftsflöde om 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golv area, när ventilationen är behovsstyrt får flödet reduceras till 0,10 l/s per m<sup>2</sup> golvarea när ingen vistas i bostaden, under förutsättning att ventilationen kan styras separat för varje bostad. Vid närvaro ska flödet vara minst 0,35 l/s per m<sup>2</sup>. Ventilationssystemet ska dimensioneras så att kontinuerlig luftväxling kan ske när bostaden används. Reducerade flöden får inte orsaka hälsorisker eller fuktskador (Boverket, 2024).

### 2.2.2 Termisk komfort

Termisk komfort beskriver människans upplevelse av den termiska miljön inomhus och definieras som ett tillstånd där en person känner sig nöjd med den termiska omgivningen. Upplevelsen påverkas av flera faktorer såsom lufttemperatur, omgivande ytors temperatur, lufthastighet, luftfuktighet, klädsel och aktivitetsnivå. Eftersom termisk komfort är subjektiv kan upplevelsen variera mellan olika individer, även om de befinner sig i samma miljö (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Ventilationssystem har en betydande inverkan på den termiska komforten eftersom de påverkar luftens temperatur, rörelse och fördelning i rummet. I ett FTX system tillförs tilluft som förvärms via en värmeväxlare och ett värmebatteri då det är som kallast ute, vilket kan bidra till en jämnare temperaturfördelning och minska risken för drag. I ett FX system tillförs uteluft istället via ventiler i fasaden. Detta innebär att tilluften inte förvärms på samma sätt, vilket kan leda till större temperaturskillnader och ökad risk för drag under kalla perioder. Detta kan påverka den upplevda termiska komforten (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

### 2.2.3 Luftkvalitet

Om ventilationen inte fungerar som den ska kan både luftkvalitet och komfort försämrats. Detta kan leda till hög luftfuktighet, dålig lukt, mögel och instängd luft, vilket kan orsaka obehag och hälsobesvär för de boende. Bristande ventilation kan även påverka den termiska komforten, till exempel genom drag eller ojämna temperaturer i bostaden. Ämnen som avges

från byggmaterial i kombination med fukt är vanliga orsaker till en dålig inomhusmiljö, vilket gör att ett väl fungerande ventilationssystem är nödvändigt (Boverket, 2024)

## 2.3 Energiprestanda

### 2.3.1 Värmepumpar

COP (Coefficient of Performance) är ett mått på en värmepumps godhetstal och beskriver förhållandet mellan avgiven värme och tillförd elenergi (Star, u.å.). Ett högre COP innebär att mer värme kan erhållas per tillförd kWh el.

I detta arbete används COP för att beskriva hur effektiv värmepumpen är, vilket påverkar hur mycket el som behövs för uppvärmning. Detta får i sin tur betydelse för både energianvändningen och den beräknade klimatpåverkan.

### 2.3.2 Värmeåtervinning

Värmeåtervinning är en process där värmen från utgående inomhusluft återanvänds innan luften ventileras ut ur byggnaden. Genom att överföra värmen till den inkommande tilluften minskas behovet av att värma upp frisk luft, vilket sparar energi och förbättrar energieffektiviteten i ventilationssystemet. Systemen kan utformas på olika sätt, från enklare aggregat som kompletterar befintlig ventilation till mer avancerade FTX-system som kopplas till både till och frånluftsventilation. Denna metod gör att byggnader kan bibehålla en stabil inomhustemperatur samtidigt som energianvändning reduceras (Polarpump, u.å.).

Verkningsgraden hos en värmeåtervinnare beskriver hur effektivt värmeenergi kan överföras från frånluften till tilluften. En hög verkningsgrad innebär att större delen av den lagrade värmen i frånluften återanvänds, vilket minskar behovet av extra uppvärmning och därmed energianvändningen i byggnaden. I praktiken påverkas verkningsgraden av faktorer som temperaturskillnaden mellan frånluft och tilluft, luftflöden, fuktighet samt värmexlaren konstruktion. För att säkerställa jämförbarhet mellan olika ventilationssystem och för att kunna uppskatta systemets energibesparing, används standardiserade metoder för mätning av värmexlaren temperaturverkningsgrad (Svenskventilation, 2012). Detta ger en tydlig

indikator på hur mycket energi som kan återvinnas och används som underlag vid dimensionering av ventilationssystem och bedömning av dess klimatpåverkan.

## 2.4 Klimatpåverkan

Klimatpåverkan avser den mängd växthusgaser, uttryckt som koldioxidkvivalenter ( $\text{CO}_2\text{e}$ ), som genereras vid produktion, installation och drift av ett system eller en produkt. I detta examensarbete fokuseras klimatpåverkan från ventilationssystem i flerbostadshus, där både energianvändning under drift och materialåtgång ingår. Syftet med analysen är att kvantifiera hur mycket olika komponenter och driftenergi bidrar till byggnadens totala klimatavtryck.

### 2.4.1 Energi i driftsfas

Detta avsnitt beskriver hur energin används och distribueras i ventilationssystemen under deras driftsfas. Här förklaras skillnaderna mellan de två systemlösningarna. FTX-systemet återvinner värme från frånluften via en värmeåtervinnare i ventilationsaggregatet, vilket minskar det kvarvarande uppvärmningsbehovet. Det återstående värmebehovet täcks huvudsakligen av en bergvärmepump. FX-systemet återvinner istället värme ur frånluften med hjälp av en frånluftsvärmepump. Eftersom tilluften tas in via fasadventiler överförs den återvunna värmen inte direkt till tilluften. Den återvunna energin används istället för uppvärmning och tappvarmvatten, medan fjärrvärme täcker den del av värmebehovet som återstår.

Avsnittet kommer att ligga till grund för metodavsnittet, där dessa energiflöden kommer att beräknas med standardvärden för årsdrifttimmar, COP-värden på värmepumpar samt emissionsfaktorer från elmixar. Syftet är att kunna uppskatta energi och koldioxidutsläpp från driftenergi för respektive system.

### 2.4.2 Materialåtgång och installation

Materialåtgången beräknas baserat på längd, vikt per meter och antal för varje komponent, med stöd av EPD data eller schablonmässiga klimatvärden. I metodavsnittet kommer dessa data användas för att beräkna klimatpåverkan från installationsmaterial, vilket ger en

uppskattning av systemets totala miljöpåverkan. Detta gör det möjligt att jämföra FTX och FX-systemen utifrån både materialanvändning och klimatpåverkan.

### 2.4.3 Klimatdata, EPD och GWP

För att beräkna klimatpåverkan från ventilationssystem används klimatdata för material, produkter och energianvändning. Klimatpåverkan redovisas vanligtvis i kilogram koldioxidekvivalenter, kg CO<sub>2e</sub>, vilket gör det möjligt att jämföra olika produkter och system med samma mått.

En vanlig källa till klimatdata är miljövarudeklarationer, så kallade EPD:er. En EPD beskriver en byggprodukts miljöpåverkan under hela eller delar av dess livscykel och används som indata vid livscykelanalyser av byggnader (Boverket, 2024). I denna studie används EPD:er och produktdata för att hämta GWP-värden, alltså Global Warming Potential, för olika ventilationskomponenter.

GWP beskriver klimatpåverkan från utsläpp av växthusgaser omräknat till koldioxidekvivalenter, kg CO<sub>2e</sub> (Boverket, 2026). För installationsmaterial används främst klimatdata för livscykelmodulerna A1–A3, vilket omfattar produktskedet från råvaruutvinning till färdig produkt enligt SS EN 15804. Dessa värden kopplas sedan till materialmängderna för att beräkna klimatpåverkan från ventilationssystemens installationsmaterial.

### 2.4.4 Emissionsfaktorer och elmix

Detta avsnitt behandlar hur utsläpp av koldioxid beräknas utifrån systemets energianvändning. Här används emissionsfaktorer för el och information om elmixens sammansättning, vilket gör det möjligt att uppskatta systemens klimatpåverkan under drift. I metodavsnittet kommer dessa faktorer appliceras på den beräknade energianvändningen för att få totala utsläpp i kg CO<sub>2e</sub>. Detta är viktigt för att kunna jämföra hur olika system påverkar klimatet beroende på energikällan och dess sammansättning.

# 3 Metod och genomförande

## 3.1 Referensprojekt

### 3.1.1 Referensprojekt 1

Som referensprojekt i studien används ett färdigprojekterat flerbostadshus beläget i sydvästra Göteborg. Byggnaden består av totalt 13 våningsplan inklusive teknik och fläktrum placerat högst upp i byggnaden samt en värmepump placerat i källaren. Samtliga bostadsplan är uppbyggda med liknande planlösning och installationsprinciper, vilket innebär att normalplanen har likvärdiga ventilationsförutsättningar.

För att möjliggöra en hanterbar studie inom examensarbetets tidsram har en representativ våning valts ut för vidare analys och omprojektering. Eftersom övriga normalplan är likartade bedöms den valda våningen kunna representera byggnadens ventilationssystem som helhet. Detta möjliggör en rättvis jämförelse mellan ventilationssystemen utan att hela byggnaden behöver modelleras om.

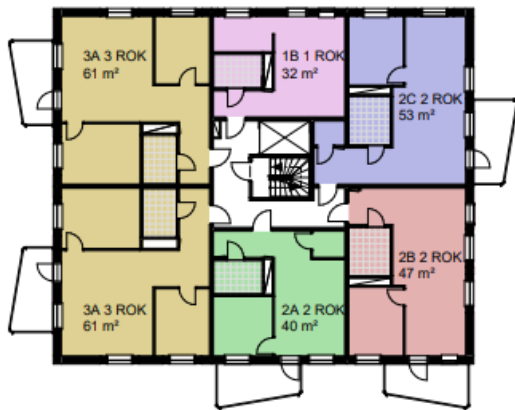
Byggnaden är ursprungligen projekterad med ett FX-system där värme återvinns med hjälp av en frånluftsvärmepump. I examensarbetet har den utvalda våningen projekterats om till ett FTX-system med hjälp av MagiCAD. Vid omprojekteringen har byggnadens planlösning, klimatskal och övriga tekniska installationer behållits oförändrade för att säkerställa att endast ventilationssystemet påverkar resultatet i jämförelsen.

Den studerade våningen består av flera lägenhetstyper samt gemensamma ytor såsom korridor, hissar, trapphus och sluss. Den totala arean för våningsplanet uppgår till 341 m<sup>2</sup> och det dimensionerande ventilationsflödet är 180 l/s. Dessa värden används som grund för dimensionering, energiberäkningar och klimatpåverkansanalys i studien.

Vid beräkning av klimatpåverkan från installationsmaterial har vind och aggregatrummet analyserats separat från normalplanet. Anledningen är att installationsmängderna i aggregatrummet skiljer sig betydligt från ett vanligt bostadsplan, bland annat genom större kanaldimensioner, ventilationsaggregat, ljuddämpare och övriga tekniska komponenter. För att erhålla en mer rättvisande uppskattning av installationernas klimatpåverkan har därför aggregatrummet beräknats som en egen del i analysen.

Lägenhetstyp och Ytor	Antal	Total area per lägenhet/yta (m <sup>2</sup> )
1B – 1 ROK	1	32 m <sup>2</sup>
2A – 2 ROK	1	40 m <sup>2</sup>
2B – 2 ROK	1	47 m <sup>2</sup>
2C – 2 ROK	1	53 m <sup>2</sup>
3A – 3 ROK	2	122 m <sup>2</sup>
Hissar	2	10 m <sup>2</sup>
korridor	6	22 m <sup>2</sup>
Trappor	1	7 m <sup>2</sup>
Sluss	1	11 m <sup>2</sup>
Summa	16	341 m <sup>2</sup>

Tabell 2: Planbeskrivning, Referensprojekt 1



HUS 2 PLAN 11-17 NORMALPLAN

Figur 4: Bilden visar planritningen för våning 16 i referensprojekt 1. Våningen är en normalplan med sju lägenheter i olika storlekar (1–3 ROK). Planen används som underlag för omprojektering från FX till FTX i studien.

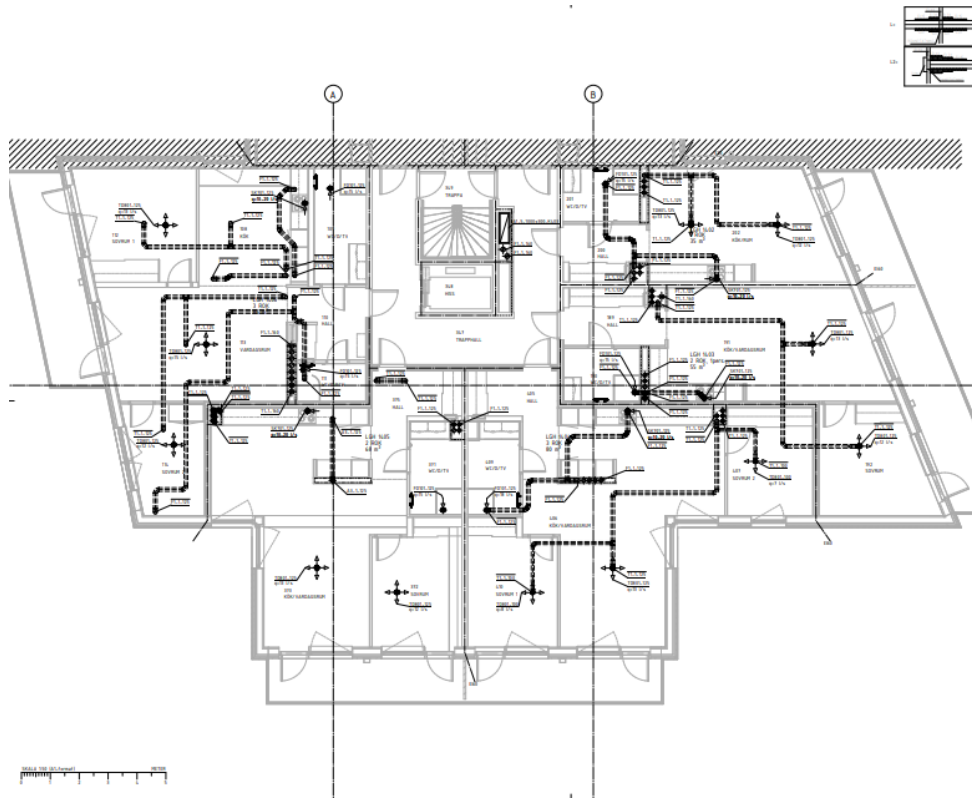
### 3.1.2 Referensprojekt 2

I referensprojekt 2 består byggnaden av flera våningsplan med likartad planlösning, och i likhet med tidigare metod har vi valt att avgränsa arbetet till en representativ våning (vån. 4). Avgränsningen till en våning görs av samma skäl som i referensprojekt 1.

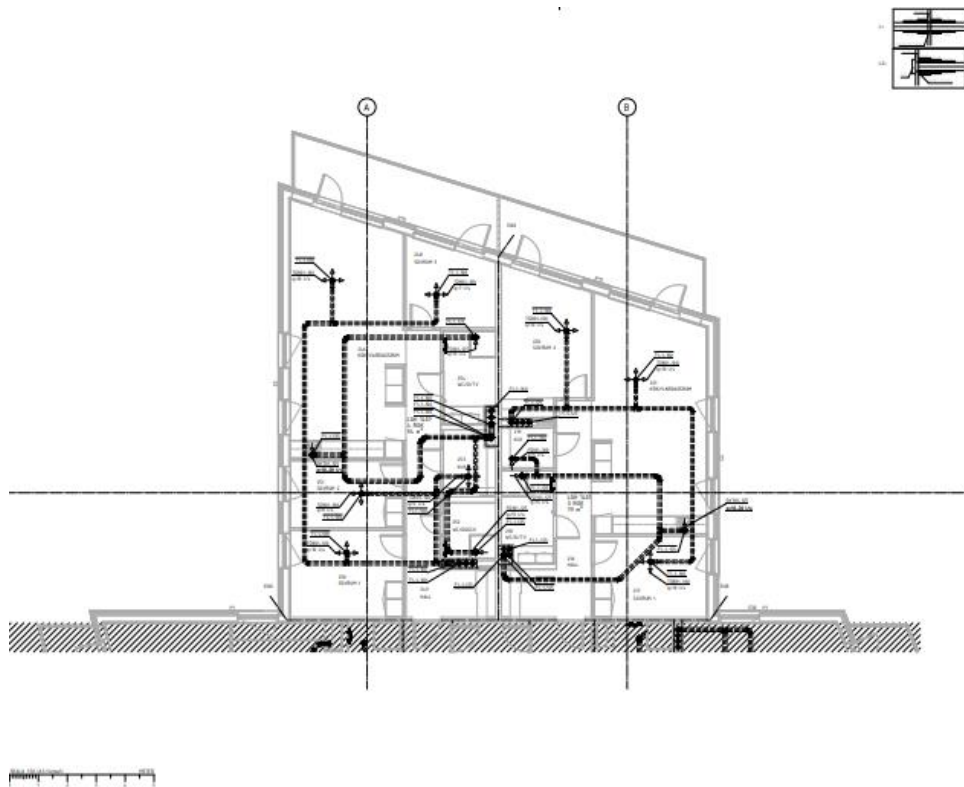
I originalutförandet är Projektet Fotografen utrustat med ett FTX system. För att möjliggöra jämförelse har den valda våningen ritats om till ett FX system med hjälp av Revit.

Planlösning, klimatskal och övriga installationer är oförändrade. Endast ventilationssystemets uppbyggnad har ändrats.

Det totala ventilationsflödet för våningen är 215 l/s och används som grund i dimensionering och beräkningar.



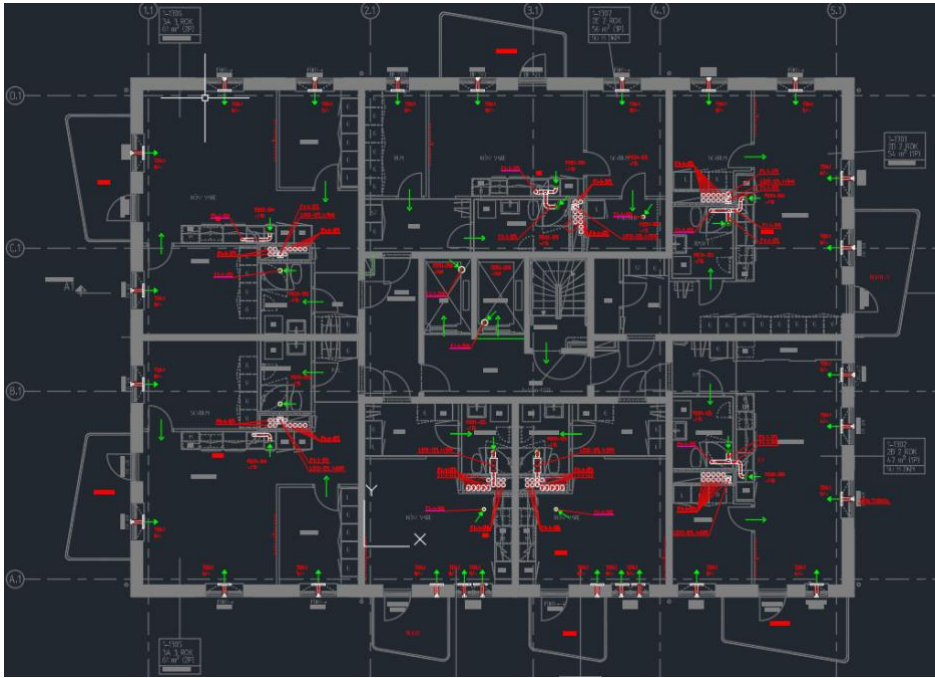
Figur 5: Figuren visar planritningen för våning 4 del 1 i referensprojekt 2. Del våningen är en normalplan med 5 lägenheter i olika storlekar. Planen används som underlag för omprojektering från FTX till FX i studien.



Figur 6: Figuren visar planritningen för våning 4 del 2 i referensprojekt 2. Del våningen är en normalplan med 2 lägenheter. Planen används som underlag för omprojektering från FTX till FX i studien

## 3.2 Modellering i Revit och MagiCAD

I modelleringen gjordes omarbetningar av ventilationssystemen för att kunna jämföra FX och FTX i båda referensbyggnaderna. För referensbyggnad 1 utgick arbetet från ett befintligt FX-system som ommodellerades till ett FTX-system i MagiCAD. Vid denna ommodellering behölls delar av frånluftssystemet, medan systemet kompletterades med tilluftskanaler, tilluftsdon och ett FTX-aggregat med värmeåtervinning. Kanaldragningen anpassades även för att både tilluft och frånluft skulle kunna hanteras i systemet.



Figur 7: Given kanaliseringsritning i FX system i Magicad for Autocad.



Figur 8: Om projektering av given kanaliseringsritning till FTX system i Magicad for Autocad.

För referensbyggnad 2 utgick arbetet i stället från ett befintligt FTX-system som ommodellerades till ett FX-system i Revit. Vid denna ommodellering togs tilluftskanaler, tilluftsdon och FTX-aggregat bort. Systemet anpassades i stället till en FX-lösning genom att

frånluftssystemet behölls och kopplades till ett frånluftsaggregat samt frånluftsvärmepump. På så sätt skapades jämförbara systemlösningar för båda referensbyggnaderna.

## 3.3 Dimensionering av ventilationssystem

### 3.3.1 Luftflöden och systemprincip

I detta kapitel redovisas luftflödena och systemprincipen för de två referensbyggnader som används i studien. Referensbyggnad 1, som ursprungligen hade ett FX-system, har i analysen omvandlats till ett FTX-system, medan referensbyggnad 2, som ursprungligen hade FTX, har omvandlats till FX. För varje byggnad har till och frånluftslöden beräknats på våningsnivå med utgångspunkt i respektive lägenheters behov, enligt de standardiserade luftflöden som anges i Boverkets föreskrifter.

Totala luftflöden summerades för varje byggnad. För referensbyggnad 1 uppgår det aggregerade luftflödet till cirka 2270 l/s, medan det för referensbyggnad 2 är cirka 1600 l/s. Dessa flöden inkluderar justeringar för eventuella forceringar och marginaler som kan behövas för att säkerställa korrekt ventilation på alla våningar.

Systemprincipen skiljer sig mellan FTX och FX-systemen. I FTX-systemet återvinns värme från frånluften direkt i ventilationsaggregatet och används för att förvärma tilluften innan den tillförs byggnaden. Detta minskar behovet av extra uppvärmning och leder till lägre driftenergi. I FX-systemet sker värmeåtervinningen istället via en frånluftsvärmepump, där värmen från utgående frånluft omvandlas och återförs till byggnadens värmesystem, exempelvis till radiatorer eller tappvarmvatten.

De beräknade luftflödena och systemprinciperna används som underlag för dimensionering av aggregat, ventilationskanaler och beräkning av energianvändning, vilket är centralt för att kunna jämföra FTX och FX-systemen med avseende på energianvändning och klimatpåverkan.

### 3.3.2 Val av Aggregat

Val av aggregat genomfördes utifrån respektive referensbyggnads dimensionerande luftflöden och den systemprincip som skulle studeras. Eftersom arbetet jämför FX och FTX behövde olika typer av tekniska lösningar väljas beroende på system. För FTX krävs ett ventilationsaggregat som hanterar både tilluft och frånluft samt återvinner värme mellan luftströmmarna. För FX krävs i stället ett frånluftsbaserat system, där frånluften transporteras bort mekaniskt och där värmeåtervinningen sker med hjälp av en frånluftsvärmepump. Aggregatvalet gjordes därför separat för de två referensbyggnaderna. För referensbyggnad 1 valdes ett FTX aggregat som kunde ersätta det ursprungliga FX systemet och hantera byggnadens dimensionerade tillufts och frånluftsflöden. För referensbyggnad 2 valdes ett frånluftsaggregat och en frånluftsvärmepump för det ommodellerade FX systemet, eftersom byggnaden i detta fall behövde analyseras med mekanisk frånluft och värmeåtervinning via värmepump. Valen användes sedan som tekniskt underlag för energiberäkningen, bland annat genom värden för luftflöde, SFP, tryckfall, verkningsgrad och COP.

#### *Referensbyggnad 1*

För referensbyggnad 1 valdes ett FTX aggregat som passade byggnadens dimensionerande luftflöde och systemprincip. Ett våningsplan har en area på 341 m<sup>2</sup> och tilldelades ursprungligen som ett FX system. Vid ommodelleringen till FTX behövde därför ett nytt aggregat väljas, eftersom FTX systemet kräver mekanisk hantering av både tilluft och frånluft samt värmeåtervinning mellan luftflödena.

Valet av aggregat baserades på byggnadens dimensionerade luftflöden. I flödessammanställningen för byggnaden uppgick det totala luftflödet till 2270 l/s. Detta luftflöde användes som dimensionerande flöde vid aggregatkörningen. Eftersom FTX systemet ska hantera både tilluft och frånluft valdes ett aggregat som kunde ge 2270 l/s tilluft och 2270 l/s frånluft. Aggregatkörningen genomfördes med hjälp av (Swegon, 2026) beräkningsunderlag för GOLD G RX, där aggregatstorlek 035 valdes. I den tekniska specifikationen anges att aggregatet är dimensionerat för 2270 l/s tilluft och 2270 l/s frånluft, med statiskt tryckfall på 220 Pa för både tilluftskanal och frånluftskanal samt 30 Pa för utluftskanal och avluftskanal.

Det valda aggregatet har en roterande värmeväxlare, vilket är relevant för FTX system eftersom värme återvinns direkt från frånluften och överförs till den inkommande uteluften. I (Swegon, 2026) tekniska specifikation redovisas en torr temperaturverkningsgrad vinter på 83,3 procent och ett SFPv värde på 1,39 kW/(m<sup>3</sup>/s) vid rena filter. Dessa värden användes sedan som indata i energiberäkningen för det ommodellerade FTX fallet. Aggregatberäkningen visar även att systemet har en årlig drifttid på 8760 timmar, vilket motsvarar drift under hela året.

Valet av Swegon GOLD G RX storlek 035 bedömdes därför vara rimligt för referensbyggnad 1, eftersom aggregatet klarar byggnadens dimensionerade luftflöde och samtidigt ger nödvändiga tekniska indata för den fortsatta energiberäkningen. De viktigaste värdena från aggregatkörningen var luftflöde, SFPv, temperaturverkningsgrad, tryckfall och drifttid. Dessa värden användes för att beräkna värmebehov, fläktel och den totala driftenergin för FTX systemet.

### *Referensbyggnad 2*

Vid dimensionering av det ommodellerade FX systemet för referensbyggnad 2 användes den givna flödesberäkningen från det ursprungliga FTX fallet som utgångspunkt. Eftersom byggnadens ventilationsbehov bedöms vara detsamma oavsett om systemet utformas som FTX eller FX, användes frånluftsflödet från det befintliga beräkningsunderlaget som grund vid val av frånluftsaggregat och frånluftsvärmepump. Enligt Bengt Dahlgrens interna projektunderlag uppgick det sammanlagda frånluftsflödet till 1421 l/s vid normal drift. Utöver normalflödet inkluderades även forcering, vilket innebär att ventilationsflödet tillfälligt ökar vid högre belastning, till exempel vid matlagning, dusch eller ökad fuktbelastning. När forceringen på 170 l/s inkluderades blev det dimensionerande frånluftsflödet 1591 l/s, vilket avrundades till 1600 l/s. Detta flöde användes som dimensionerande indata för FX-systemet (Bengt Dahlgren, 2026)

För det ommodellerade FX-systemet valdes Thermia Mega XL som frånluftsvärmepump och Luftbehandlingsaggregat eQ storlek 027 från FläktGroup som ventilationsaggregat (FläktGroup, 2025), (Thermia, 2026). Produkterna valdes eftersom de motsvarar samma typ av aggregat och frånluftsvärmepump som användes i referensbyggnad 1, vilket gör att systemet blir direkt jämförbart med det ursprungliga FTX fallet. I FX-systemet sker

värmeåtervinningen via frånluftsvärmepumpen, där värme tas från den utgående frånluften och återförs till byggnadens värmesystem, exempelvis för uppvärmning och tappvarmvatten, istället för via en luftburen värmeväxlare mellan tilluft och frånluft.

Vid dimensionering jämfördes byggnadens dimensionerande frånluftsflöde på cirka 1,6 m<sup>3</sup>/s med tekniska data för Mega XL och aggregatet eQ storlek 027. Produkterna bedömdes lämpliga eftersom de kan hantera det aktuella flödet utan att vara överdimensionerade. Mindre modeller hade riskerat att hamna under dimensionerande flöde, medan större modeller skulle ha gett onödigt hög kapacitet. Valet av Thermia Mega XL tillsammans med FläktGroups eQ 027-aggregat ger därför en balans mellan kapacitet och anpassning till referensbyggnadens behov.

Sammanfattningsvis baserades dimensioneringen av FX-systemet på samma principer som i referensbyggnad 1, där det dimensionerande frånluftsflödet på 1,6 m<sup>3</sup>/s styr valet av aggregat och frånluftsvärmepump. Detta säkerställer att systemet kan hantera byggnadens ventilationsbehov samtidigt som värmeåtervinning integreras effektivt i enheten.

### 3.4 Geografisk placering och klimatdata

Referensbyggnaderna är placerade i sydvästra Göteborg, vilket innebär att klimatdata för Göteborg har använts som grund i energiberäkningarna. Den geografiska placeringen är viktig eftersom utomhustemperaturen påverkar hur stort uppvärmningsbehovet blir för ventilationsluften. När utomhustemperaturen är låg krävs mer energi för att värma luften till önskad temperatur, medan värmebehovet minskar under perioder då utomhustemperaturen är högre. Eftersom båda referensbyggnaderna ligger i samma geografiska område har samma klimatförutsättningar använts i jämförelsen mellan FX och FTX. På så sätt kan skillnaderna i resultat främst kopplas till ventilationssystemens funktion och inte till skillnader i lokalt klimat.

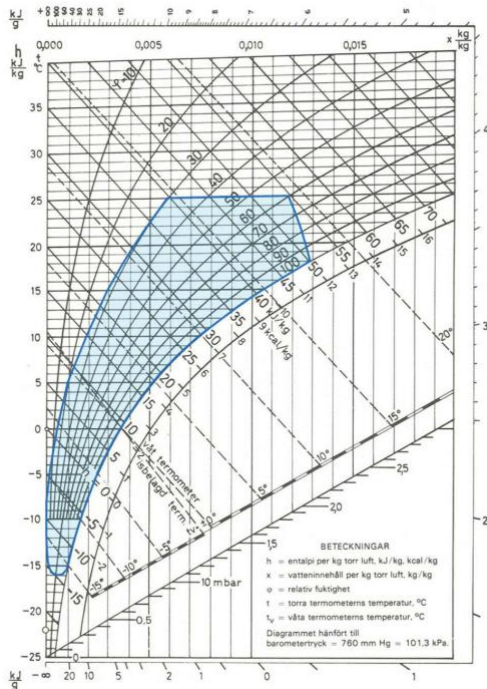
I beräkningarna har Göteborgs klimat använts som utgångspunkt. I det interna underlaget från Bengt Dahlgren anges normalårstemperaturen för Göteborg till 7,9 °C, vilket har använts som klimatförutsättning i energiberäkningen (Bengt Dahlgren, 2026). Normalårstemperaturen ger en övergripande bild av klimatet på orten, men den visar inte hela temperaturvariationen under året. Därför behöver energiberäkningen även ta hänsyn till hur utomhustemperaturen

varierar över tid, eftersom värmebehovet påverkas av hur många timmar luften behöver värmas från olika utomhustemperaturer till önskad temperatur.

Ort	Normalårstemperatur °C
Malmö	8.0
Växjö	6.5
Kalmar	7.0
<b>Göteborg</b>	<b>7.9</b>
Karlstad	5.9
Örebro	5.9
Stockholm	6.6
Östersund	2.7
Umeå	3.4
Luleå	3.0
Kiruna	-1.2

Tabell 3: Tabellen visar normalårstemperaturer för några orter i Svergie (Jensen, 2001).

För att beskriva luftens tillstånd används ett Mollierdiagram, även kallat h x diagram. Den blåmarkerade ytan i Mollierdiagrammet visar ett ungefärligt klimatområde för Göteborg. Området illustrerar hur uteluftens tillstånd kan variera under året, både vid kalla och varma förhållande (Trüschel, 2025). I detta arbete används figuren främst för att tydliggöra att uteluftens temperatur varierar över året och att detta påverkar uppvärmningsbehovet för ventilationsluften. Även om Mollierdiagrammet också visar fuktighet och andra lufttillstånd ligger fokus i denna studie på uppvärmning och driftenergi. Fuktighet, kylning och avfuktning behandlas därför inte som separata beräkningsdelar.



Figur 9: Figuren visar ungefärligt klimatområde för Göteborg

Mollierdiagrammet fungerar därmed som ett stöd för att förstå varför klimatdata är viktigt vid jämförelsen mellan FX och FTX. För FTX påverkar utomhustemperaturen hur mycket värme som behöver tillföras efter att värmeväxlaren har återvunnit värme från frånluften. För FX påverkar utomhustemperaturen värmebehovet som senare hanteras genom frånluftsvärmepump och övrigt värmesystem. Eftersom båda systemen jämförs under samma klimatförutsättningar blir resultatet mer jämförbart och skillnaderna kan kopplas till systemens tekniska uppbyggnad.

## 3.5 Energiberäkning av driftenergi

### 3.5.1 Värmebehov

För att beräkna värmebehovet används utomhustemperaturens variation över året som grund. Eftersom värmebehovet förändras beroende på utomhustemperaturen behöver beräkningen ta hänsyn till hur länge olika temperaturer förekommer under ett normalår. Detta kan beskrivas med hjälp av ett varaktighetsdiagram, där utomhustemperaturen kopplas till antalet timmar under året. Varaktighetsdiagram används därmed som ett sätt att analysera hur temperaturvariationer påverkar byggnadens behov av tillförd värme (Lindholm, 2025).

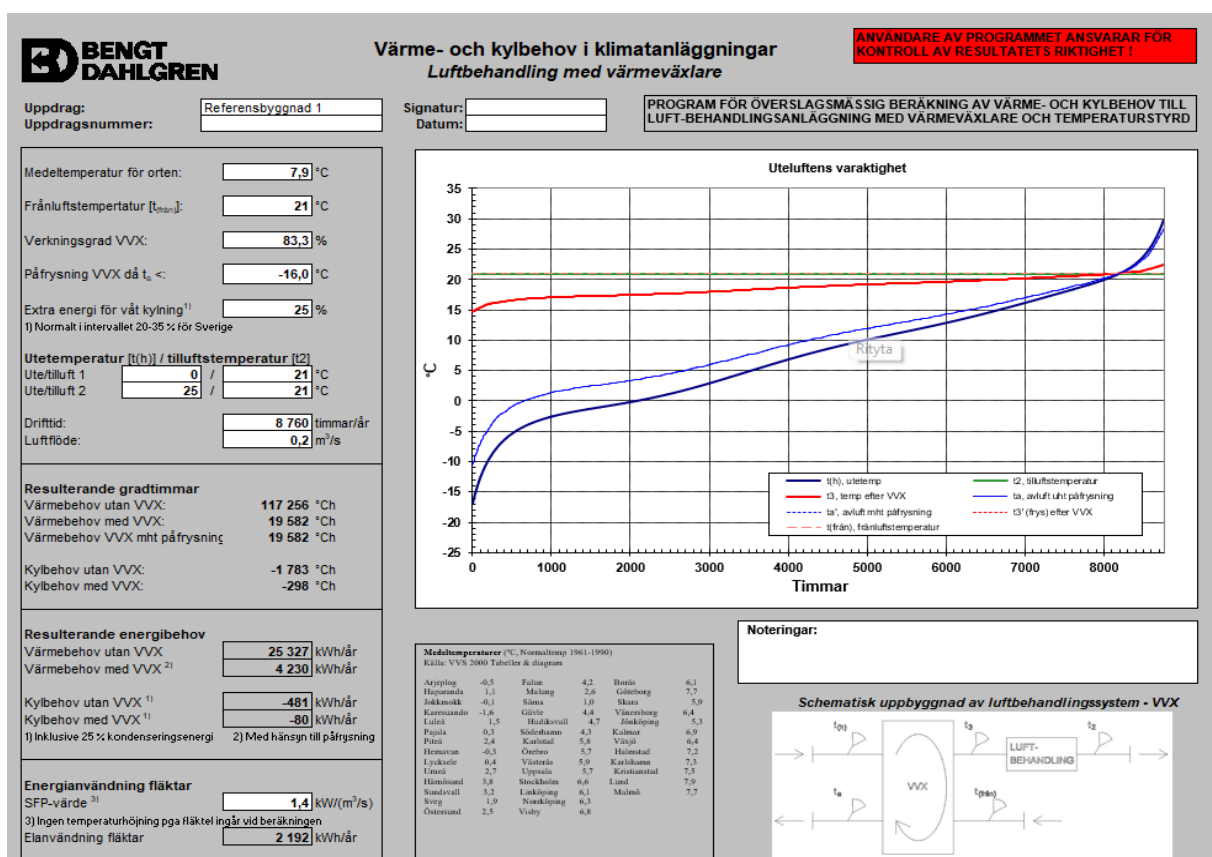
I denna studie är detta relevant eftersom ventilationsluften behöver värmas från utomhustemperatur till önskad tillufts eller rumstemperatur. När utomhustemperaturen är låg blir temperaturskillnaden större, vilket leder till ett högre värmebehov. Vid högre utomhustemperaturer minskar värmebehovet eftersom den inkommande luften redan ligger närmare önskad temperatur. På detta sätt kan varaktighetsdiagrammet användas som underlag för att uppskatta det årliga värmebehovet för ventilationsluften.

I detta arbete har värmebehovet beräknats med hjälp av ett internt Excelverktyg från Bengt Dahlgren. Excelverktyget använder ett varaktighetsdiagram för utomhustemperatur, vilket visar hur många timmar under året som utomhustemperaturen ligger på olika nivåer. Genom att kombinera varaktighetsdata med ventilationsflöde, frånluftstemperatur, tilluftstemperatur och värmeväxlarens verkningsgrad kan det årliga värmebehovet för ventilationsluften beräknas. Beräkningen används för att jämföra uppvärmningsbehovet mellan FTX och FX. Fuktighet, befuktning, avfuktning och kylning behandlas därför inte som egna beräkningsdelar i denna studie.

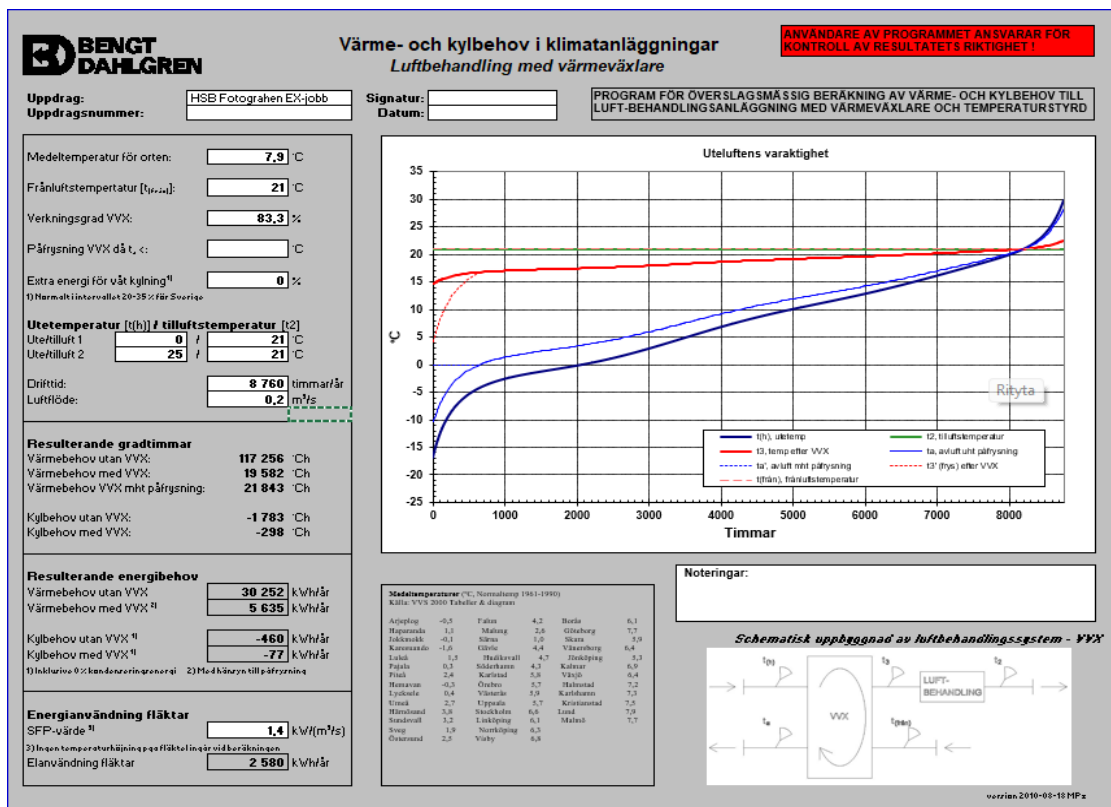
För FTX systemet är den verkliga tilluftstemperaturen från ventilationsaggregatet 19 °C, medan rumstemperaturen i byggnaden är 21 °C. Det innebär att luften som tillförs byggnaden fortfarande behöver värmas upp med 2 °C efter att den har lämnat FTX aggregatet. Denna sista uppvärmning sker via byggnadens ordinarie värmesystem, exempelvis radiatorer, golvvärme, eftervärmningsbatteri eller annan lokal värmeförsel i byggnaden. I beräkningen har tilluftstemperaturen därför satts till 21 °C i stället för 19 °C.

Syftet är att hela uppvärmningsbehovet för ventilationsluften ska ingå i samma beräkning. Om beräkningen hade utgått från 19 °C hade resultatet endast visat energibehovet fram till den temperatur som luften har efter aggregatet. Då hade den återstående uppvärmningen från 19 °C till 21 °C behövt räknas separat. Genom att använda 21 °C inkluderas även denna eftervärmning i det framräknade värmebehovet. Resultatet visar därför det totala värmebehovet för att ventilationsluften ska nå rumstemperatur, inte bara värmebehovet i själva FTX aggregatet. Detta gör jämförelsen mellan FX och FTX tydligare, eftersom båda systemen jämförs utifrån samma sluttemperatur, alltså 21 °C. I figuren nedan redovisas ett ventilationsflöde på 0,2 m<sup>3</sup>/s för båda referensprojekten. Detta beror på att Bengt Dahlgrens Excelverktyg avrundar flödena till en decimal. De faktiska ventilationsflödena som används i beräkningarna är 0,18 m<sup>3</sup>/s för referensprojekt 1 respektive 0,215 m<sup>3</sup>/s för referensprojekt 2.

Detta gör jämförelsen mellan FX och FTX tydligare, eftersom båda systemen jämförs utifrån samma sluttemperatur, alltså 21 °C. Det bör dock noteras att Figur 8 och Figur 9 baseras på olika indata eftersom de avser två olika referensprojekt. I Excelverktyget avrundas cellvärdena i figurerna till närmaste heltal eller till ett begränsat antal decimaler. Därför kan vissa indata se likadana ut i figurerna, exempelvis kan luftflödet visas som 0,2 m<sup>3</sup>/s eller SFP-värdet som 1,4, trots att de exakta värdena som används i beräkningarna skiljer sig åt. Resultaten ska därför tolkas utifrån de exakta indata som ligger bakom beräkningarna, inte enbart utifrån de avrundade värden som syns i figurerna.



Figur 10: Beräkning av värmebehov för FTX system i Bengt Dahlgrens Excelverktyg för referensprojekt 1.



Figur 11: Beräkning av värmebehov för FTX system i Bengt Dahlgrens Excelverktyg för referensprojekt 2.

För FX-systemet har motsvarande metod använts som för FTX-systemet, men utan värmeväxling i ventilationsaggregatet. Beräkningarna har utförts med samma interna Excelverktyg från Bengt Dahlgren som visas i Figur 3 och Figur 4. I FX-fallet har resultatet hämtats från raden ”värmebehov utan VVX”, eftersom FX-systemet inte har någon värmeväxlare som återvinner värme mellan tilluft och frånluft. Detta värde beskriver därför det värmebehov som uppstår när uteluften behöver värmas upp till inomhustemperatur utan värmeåtervinning i ventilationsaggregatet.

I FX-systemet sker värmeåtervinningen via frånluftsvärmepumpen. Värmen tas från frånluften och återförs till byggnadens värmesystem, där den används för exempelvis radiatorer och tappvarmvatten. I beräkningen antas frånluftsvärmepumpen täcka 78 % av värmebehovet. Den resterande delen, 22 %, täcks av fjärrvärme. Detta innebär att FX-systemet inte värmer tilluften direkt i ventilationsaggregatet, utan den återvunna värmen används i byggnadens vattenburna värmesystem. Samma fördelning har använts för båda referensprojekten för att möjliggöra en mer konsekvent jämförelse mellan FX och FTX-systemen.

I tabell 3 och 4 redovisas hur värmebehovet i FX-systemet fördelas mellan frånluftsvärmepump och fjärrvärme. FX-systemet har ingen värmexlaren som direkt överför värme från frånluft till tilluft i ventilationsaggregatet. I stället tas värme ur frånluften med hjälp av en frånluftsvärmepump och återförs till byggnadens värmesystem, exempelvis till radiatorer och tappvarmvatten.

I beräkningen antas frånluftsvärmepumpen täcka 78 % av det totala värmebehovet. Eftersom värmepumpen drivs med el beräknas elbehovet genom att den värme som värmepumpen ska leverera divideras med COP-värdet. Detta visas med formeln  $(0,78 \times \text{värmebehov}) / \text{COP}$ . COP beskriver värmepumpens verkningsgrad, där ett högre COP innebär att mindre el krävs för att producera samma mängd värme. Den resterande delen av värmebehovet, 22 %, antas täckas av fjärrvärme och beräknas därför med formeln  $0,22 \times \text{värmebehov}$ .

Storhet	Samband	Värde	Enhet
<b>Indata</b>			
COP	-	4,4	-
Värmebehov	-	25 327	kWh/år
Flöde	-	0,18	m <sup>3</sup> /s
t (Drifttid)	-	8760	h/år
ρ (Luft densitet)	-	1,2	kg/m <sup>3</sup>
c (Lufts specifik värmekapacitet)	-	1000	J/kg, °C
Trum (rumstemperatur)	-	21	°C
Tmin (kondensationsriskgräns)	-	5	°C
<b>Resultat</b>			
El till VP	$(0,78 \cdot \text{Värmebehov}) / \text{COP}$	4489,79	kWh/år
Fjärrvärme	$0,22 \cdot \text{Värmebehov}$	5571,94	kWh/år
<b>Kontroll</b>			
Q, kondense	$\rho \cdot q \cdot c \cdot (\text{Trum} - 5) \cdot t$	30274,56	kWh/år

Tabell 4: Tabellen visar indata och resultat för energiberäkningen av FX-systemet, referensprojekt 1.

Storhet	Samband	Värde	Enhet
<b>Indata</b>			
COP	-	4,4	-
Värmebehov	-	30 252	kWh/år
Flöde	-	0,215	m <sup>3</sup> /s
t (Drifttid)	-	8760	h/år
ρ (Luft densitet)	-	1,2	kg/m <sup>3</sup>
c (Lufts specifik värmekapacitet)	-	1000	J/kg,°C
Trum (rumstemperatur)	-	21	°C
Tmin (kondensationsriskgräns)	-	5	°C
<b>Resultat</b>			
El till VP	$(0,78 \cdot \text{Värmebehov}) / \text{COP}$ P	5362,85	kWh/år
Fjärrvärme	$0,22 \cdot \text{Värmebehov}$	6655,44	kWh/år
<b>Kontroll</b>			
Q, kondense	$\rho \cdot q \cdot c \cdot (\text{Trum} - 5) \cdot t$	36161,28	kWh/år

Tabell 5: Tabellen visar indata och resultat för energiberäkningen av FX-systemet, referensprojekt 2.

Tabellerna visar hur värmebehovet i FX-systemet har fördelats mellan frånluftsvärmepump och fjärrvärme för respektive referensprojekt. Tabellerna redovisar den el som krävs för att driva frånluftsvärmepumpen för att täcka den del av värmebehovet som värmepumpen står för, samt den fjärrvärme som krävs för att täcka den återstående delen av värmebehovet.

Tabell 3 och 4 innehåller även kontrollberäkningen  $Q_{\text{kond}}$ , som används för att kontrollera hur mycket värmeenergi som kan tas ut ur frånluften när den kyls från rumstemperatur ned till den antagna lägsta temperaturen 5 °C.  $Q_{\text{kond}}$  beräknas enligt formeln  $\rho \times q \times c \times (\text{Trum} - T_{\text{min}}) \times t$ , där  $\rho$  är luftens densitet,  $q$  är luftflödet,  $c$  är luftens specifika värmekapacitet,  $\text{Trum}$  är rumstemperaturen,  $T_{\text{min}}$  är den lägsta antagna temperaturen och  $t$  är drifttiden.

Syftet med kontrollen är att säkerställa att frånluften innehåller tillräckligt med energi för att den antagna värmeåtervinningen via frånluftsvärmepumpen ska vara möjlig. Genom att jämföra  $Q_{\text{kond}}$  med det beräknade värmebehovet kan det kontrolleras att värmeuttaget inte

kräver att frånluften kyls under 5 °C. För båda referensprojekten är  $Q_{kond}$  större än det beräknade värmebehovet, vilket innebär att värmebehovet kan täckas utan att frånluften kyls under den valda gränstemperaturen. Därmed bedöms ingen risk för kondensation föreligga.

### 3.5.2 Elbehov

Elbehovet beskriver den mängd el som krävs för att driva ventilationssystemet och de delar av uppvärmningen som är elberoende. I detta arbete beräknas elbehovet separat för FTX- och FX-systemen eftersom systemen har olika tekniska lösningar för både ventilation och värmeåtervinning.

För båda systemen ingår fläktel, vilket är den el som krävs för att transportera luften genom ventilationssystemet. Fläktelen beräknas med hjälp av systemets SFP-värde, luftflöde och drifttid. Däremot skiljer sig elbehovet för uppvärmning mellan systemen. I FX-systemet används en frånluftsvärmepump som tar vara på värme ur frånluften och återför den till byggnadens värmesystem, exempelvis radiatorer och tappvarmvatten. I FTX-systemet används i stället en bergvärmepump för att täcka det återstående värmebehovet efter värmeåtervinningen i ventilationsaggregatet. För FTX-systemet tillkommer även elspets för den del av värmebehovet som inte täcks av bergvärmepumpen.

Uppdelningen är viktig eftersom fläktarnas elanvändning beräknas med SFP, medan värmepumparnas elbehov beräknas med COP. SFP beskriver hur mycket eleffekt som krävs för att transportera luft, medan COP beskriver hur mycket värme en värmepump kan leverera i förhållande till tillförd el.

#### *Elbehov, FTX*

För FTX-systemet består elanvändningen av tre delar: fläktel, el till bergvärmepump och elspets. Fläktelen avser den el som krävs för att driva både tillufts och frånluftsfläktarna i FTX-aggregatet. Eftersom FTX-systemet har mekanisk tilluft och mekanisk frånluft behöver båda luftflödena transporteras med hjälp av fläktar.

I FTX-systemet sker värmeåtervinningen direkt i ventilationsaggregatet. Värme från frånluften överförs till den inkommande uteluften via värmeväxlaren, vilket gör att tilluften förvärms innan den tillförs byggnaden. Detta minskar det återstående värmebehovet jämfört med ett system utan värmeväxling.

Det värmebehov som återstår efter värmeåtervinningen antas i denna studie täckas huvudsakligen av bergvärmepump. I beräkningen antas bergvärmepumpen täcka 95 % av värmebehovet, medan resterande 5 % täcks av elspets. Elbehovet till bergvärmepumpen beräknas genom att den värme som bergvärmepumpen ska leverera divideras med COP-värdet. Elspetsen räknas däremot som direkt el, eftersom den delen av värmebehovet täcks med el utan värmepump.

Det totala elbehovet för FTX-systemet beräknas därför genom att summera fläktel, tillförd el till bergvärmepump och elspets. Tabell 5 och Tabell 6 redovisar dessa delar för respektive referensprojekt.

Indata	Samband	Värde
COP (-)		3,1
Energitäckningsgrad elspets (%)		5%
Energitäckningsgrad BVP (%)		95%
Värmebehov med VVX (kWh/år)		4 230
Elanvändning fläktar (kWh/år)		2192
Total Energi Behov (kWh/år)		6 422
<b>Reslutat</b>		
Elspets/Värme från El (kWh/år)	$5\% \cdot \text{Värmebehov med VVX}$	211,5
Värme från bergvärmepump (kWh/år)	$95\% \cdot \text{Värmebehov med VVX}$	4018,5
EL <sub>VP</sub> / Tillförd El till bergvärmepump (kWh/år)	$(\text{Värmebehov} \cdot 0.95) / \text{COP}$	1296,29
El för uppvärmning (kWh/år)	Elspets + EL <sub>VP</sub>	1507,79
Total El användning (kWh/år)	Total El=ElVP+Elspets+Elfläkt	3699,79

Tabell 6: Tabellen visar indata och resultat för elberäkningen av FTX-systemet, referensprojekt 1.

Indata	Samband	Värde
COP (-)		3,1
Energitäckningsgrad elspets (%)		5%
Energitäckningsgrad BVP (%)		95%
Värmebehov med VVX (kWh/år)		5 635
Elanvändning fläktar (kWh/år)		2580
Total Energi Behov (kWh/år)		8 215
<b>Resultat</b>		
Elspets/Värme från El (kWh/år)	$5\% \cdot \text{Värmebehov med VVX}$	281,75
Värme från bergvärmepump (kWh/år)	$95\% \cdot \text{Värmebehov med VVX}$	5353,25
$EL_{VP}$ / Tillförd El till bergvärmepump (kWh/år)	$(\text{Värmebehov} \cdot 0.95) / \text{COP}$	1726,85
El för uppvärmning (kWh/år)	Elspets + $EL_{VP}$	2008,60
Total El användning (kWh/år)	Total El = $EL_{VP}$ + Elspets + Elfläkt	4588,60

Tabell 7: Tabellen visar indata och resultat för elberäkningen av FTX-systemet, referensprojekt 2.

### Elbehov, FX

För FX-systemet har fläktelen beräknats utifrån systemets SFP-värde, luftflöde och drifttid. SFP-värdet har hämtats från indatalistan för energiberäkningen i referensbyggnad 1. Drifttiden har satts till 8760 timmar per år, vilket motsvarar kontinuerlig drift under hela året. Det totala elbehovet för FX-systemet har beräknats genom att summera fläktelen och elen till frånluftsvärmepumpen.

Resultatet visar att FTX-systemet får ett lägre elbehov än FX-systemet i beräkningen. Skillnaden mellan systemen blir 6124 kWh/år, eftersom FX-systemets elbehov är 9018 kWh/år och FTX-systemets elbehov är 2895 kWh/år. Räknat per kvadratmeter motsvarar detta en skillnad på 18 kWh/m<sup>2</sup> och år. Det innebär att FX-systemet i denna beräkning använder 6124 kWh/år mer el än FTX-systemet.

Den främsta orsaken till skillnaden är att systemen återvinner värme på olika sätt. I FTX-systemet återvinns värme direkt i ventilationsaggregatets värmeväxlare. Frånluften används där för att förvärma den inkommande tilluften, vilket minskar det återstående

uppvärmningsbehovet. När värmebehovet efter värmeväxlaren blir lägre minskar även den el som krävs för uppvärmning.

I FX-systemet sker ingen direkt värmeöverföring från frånluften till tilluften i ventilationsaggregatet. Tilluften tas i stället in via uteluftsventiler och behöver värmas upp av byggnadens värmesystem. Frånluftsvärmepumpen återvinner värme ur frånluften, men denna värme används i byggnadens värmesystem och inte direkt till att förvärma tilluften. Detta leder till ett högre elbehov för värmepumpen i beräkningen.

Skillnaden mellan systemen påverkas även av fläktelen. I denna beräkning har FX-systemet en fläktel på 3285 kWh/år, medan FTX-systemet har 1721 kWh/år. Sammantaget innebär detta att FX-systemets högre elbehov beror på både större elbehov till värmepumpen och högre fläktel jämfört med FTX-systemet.

Storhet	Samband	Värde	Enhet
<b>Indata</b>			
SFP		0,56	kW/(m <sup>3</sup> /s)
q		0,18	m <sup>3</sup> /s
t		8760	h/år
<b>Resultat</b>			
Fläktel	SFP·q·t	883,0	kwh/år
El till VP	-	4489,79	kwh/år
Total El	EL till VP+ Fläktel	5372,79	kwh/år

Tabell 8: Tabellen visar därmed indata och resultat för elberäkningen av FX-systemet, referensbyggnad 1.

Storhet	Samband	Värde	Enhet
<b>Indata</b>			
SFP		0,56	kW/(m <sup>3</sup> /s)
q		0,215	m <sup>3</sup> /s
t		8760	h/år
<b>Resultat</b>			
Fläktel	SFP·q·t	1054,7	kwh/år
El till VP	-	5362,85	kwh/år
Total El	EL till VP+ Fläktel	6417,56	kwh/år

Tabell 9: Tabellen visar därmed indata och resultat för elberäkningen av FX-systemet, referensbyggnad 2.

### 3.5.3 Klimatpåverkan från driftenergi

#### *Beräkning av klimatpåverkan från energianvändning i driftfasen*

Klimatpåverkan från energianvändning i driftfasen har beräknats för att jämföra ventilationssystemen FX och FTX ur ett klimatperspektiv. Beräkningarna baseras på respektive systems årliga energianvändning för uppvärmning, fläktdrift och värmepumpar. Energinvändningen har därefter omvandlats till klimatpåverkan med hjälp av emissionsfaktorer för respektive energislag. På detta sätt kan systemens driftenergi uttryckas som årlig klimatpåverkan i kg CO<sub>2e</sub>.

Den årliga klimatpåverkan har beräknats enligt följande princip:

Årlig klimatpåverkan = Energinvändning × Emissionsfaktor för aktuellt år

Där energianvändningen anges i kWh/år och emissionsfaktorn anges i kg CO<sub>2e</sub>/kWh. Resultatet redovisas därmed som kg CO<sub>2e</sub> per år. Eftersom emissionsfaktorer kan förändras över tid har emissionsfaktorn för respektive år använts i beräkningen av den årliga klimatpåverkan.

För FTX-systemet har energianvändningen utgjorts av el till bergvärmepump samt el till fläktar. För FX-systemet har energianvändningen bestått av el till frånluftsvärmepump och fläktar, samt fjärrvärme för att täcka det återstående uppvärmningsbehovet. Den totala energianvändningen har därför delats upp efter energislag och därefter multiplicerats med respektive emissionsfaktor.

I huvudberäkningen har ett lokalt emissionsvärde för fjärrvärme från Göteborg Energi använts. Detta val motiveras av att de studerade byggnaderna är placerade i Göteborg och därmed antas vara kopplade till Göteborgs fjärrvärmenät. Göteborg Energi redovisar för levererad fjärrvärme år 2025 ett utsläpp på 19 g CO<sub>2e</sub>/kWh från förbränning och 3 g CO<sub>2e</sub>/kWh från transport och produktion av bränslen. Det sammanlagda emissionsvärdet blir därmed 22 g CO<sub>2e</sub>/kWh, vilket motsvarar 0,022 kg CO<sub>2e</sub>/kWh (Göteborg Energi, 2026). Detta lokala värde bedöms därför ge en mer representativ bild av fjärrvärmens klimatpåverkan i det aktuella fallet än ett nationellt genomsnitt.

Göteborg Energis fjärrvärme består till stor del av återvunnen energi. Enligt Göteborg Energis miljövärden för 2025 utgör återvunnen energi 76 % av levererad fjärrvärme, medan förnybar energi står för 23 % och fossil energi för 0,8 % (Göteborg Energi, 2026). Den låga andelen fossil energi är en viktig anledning till att den lokala emissionsfaktorn är relativt låg. Eftersom FX-systemet i denna studie använder fjärrvärme för att täcka delar av det återstående uppvärmningsbehovet har valet av emissionsfaktor för fjärrvärme stor betydelse för systemets beräknade klimatpåverkan.

För att kunna analysera klimatpåverkan över tid har beräkningarna utökats till en 25-årsperiod. I dessa beräkningar har hänsyn tagits till att utsläppen från energianvändning förväntas minska över tid. Fram till år 2050 antas en successiv minskning av emissionsfaktorerna, medan utsläppen efter 2050 antas ligga kvar på en konstant nivå. Detta innebär att klimatpåverkan inte endast redovisas för ett enskilt driftår, utan även som en sammanlagd klimatpåverkan över en längre användningsperiod. Beräkningen av klimatpåverkan över tid har genomförts med utgångspunkt i IVL Svenska Miljöinstitutets metod för att hantera framtida förändringar i emissionsfaktorer. Beräkningen av klimatpåverkan över tid har utförts med hjälp av följande samband (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2025):

$$\text{Årtal innan 2050: } X_j + X_j * \frac{60\% - 100\%}{2050 - A\ddot{a}} * (\ddot{A}_j - A\ddot{a})$$

$$\text{Årtal efter 2050: } X_j * 60\%$$

För FTX-systemet har energianvändningen utgjorts av el till bergvärmepump samt el till fläktar. För FX-systemet har energianvändningen bestått av el till värmepump och fläktar, samt fjärrvärme för att täcka det återstående uppvärmningsbehovet. Den totala energianvändningen har beräknats i kWh per år och därefter multiplicerats med respektive emissionsfaktor för att erhålla klimatpåverkan i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år

#### *Beräkning av ackumulerad klimatpåverkan över tid*

För att analysera klimatpåverkan över en 25-årsperiod beräknades klimatpåverkan från energianvändningen för åren 2026, 2031, 2036, 2041, 2046 och 2051. Dessa årtal valdes för att illustrera utvecklingen över tid samtidigt som antalet beräkningspunkter begränsades.

Vid beräkning av den ackumulerade klimatpåverkan antogs att klimatpåverkan från energianvändningen var konstant inom varje femårsintervall. Klimatpåverkan för perioden 2026–2031 antogs därför motsvara den beräknade klimatpåverkan för år 2026. På motsvarande sätt antogs klimatpåverkan för perioden 2031–2036 motsvara den beräknade klimatpåverkan för år 2031, och så vidare för resterande intervall.

Den ackumulerade klimatpåverkan för respektive redovisat år erhöles därefter genom att summera klimatpåverkan från samtliga föregående femårsintervall. Metoden innebär en förenkling av den verkliga utvecklingen, men bedöms ge en rimlig uppskattning av den långsiktiga klimatpåverkan samtidigt som beräkningarna hålls hanterbara.

#### *Analysparametrar: COP och elmix*

Efter huvudberäkningarna har två analyser gjorts för att se hur olika antaganden påverkar resultatet. De parametrar som har studerats är COP-värden för värmepumparna och val av elmix. Dessa är viktiga eftersom både FX och FTX-systemen använder el till fläktar och värmepumpar. FX-systemet använder även fjärrvärme för att täcka det värmebehov som återstår.

Den första analysen handlar om värmepumparnas COP-värde, vilket beskriver hur effektivt en värmepump omvandlar tillförd elenergi till värmeenergi. Ett högre COP-värde innebär att mindre el krävs för att producera samma mängd värme, vilket leder till lägre energianvändning och därmed lägre klimatpåverkan.

De COP-värden som valts i analysen baseras på rimliga och realistiska nivåer för respektive värmepumpstyp. För FX-systemets frånluftsvärmepump användes COP-värdena 3,0, 3,5 och 4,4. Utgångsvärdet 4,4 motsvarar ett högt men fortfarande realistiskt COP-värde för en frånluftsvärmepump. Därför valdes de lägre värdena 3,5 och 3,0 som alternativa scenarier för att undersöka hur resultatet påverkas vid en lägre verkningsgrad. Ett högre COP-värde än 4,4 bedömdes vara mindre realistiskt och inkluderades därför inte i analysen.

För FTX-systemets bergvärmepump användes COP-värdena 2,5, 3,1 och 3,5. Här valdes 3,1 som referensvärde, medan 2,5 och 3,5 representerar lägre respektive högre men fortfarande rimliga alternativ. Syftet med analysen är således inte att studera extrema värden, utan att

undersöka hur klimatpåverkan förändras inom ett intervall av realistiska COP-värden för respektive system.

Den andra analysen handlar om elmix. I beräkningarna har svensk elmix och nordisk elmix jämförts. Syftet är att undersöka hur elens klimatpåverkan påverkar resultatet. Eftersom båda systemen använder el till fläktar och värmepumpar får valet av elmix betydelse. Boverket anger exempelvis svensk elmix till 0,037 kg CO<sub>2</sub>e/kWh, vilket har använts som referensvärde för elens klimatpåverkan (Boverket, 2026)

Utöver elmixen diskuteras även fjärrvärmens emissionsfaktor. I huvudberäkningen har Göteborg Energis lokala emissionsfaktor på 0,022 kg CO<sub>2</sub>e/kWh använts. Som jämförelse används Boverkets generiska värde för fjärrvärme på 0,056 kg CO<sub>2</sub>e/kWh (Boverket, 2026); (Göteborg Energi, 2026). Boverkets värde är ungefär 2,5 gånger högre än Göteborg Energis lokala värde. Det innebär att klimatpåverkan från fjärrvärmens skulle bli betydligt högre om Boverkets värde användes. Detta påverkar framför allt FX-systemet, eftersom det använder fjärrvärme för en del av uppvärmningen.

Sammanfattningsvis visar analyserna att resultatet påverkas av flera antaganden. COP-värdet påverkar hur mycket el värmepumpen behöver. Valet av elmix påverkar hur stor klimatpåverkan elanvändningen får. För FX-systemet är även fjärrvärmens emissionsfaktor viktig. Därför behövs dessa analyser för att visa hur känslig jämförelsen mellan FX och FTX är.

### **3.6 Klimatberäkning av installationsmaterial**

Klimatberäkningen av ventilationssystemets installationsmaterial har i denna studie genomförts för Referensbyggnad 1. Denna byggnad har modellerats i MagiCAD för AutoCAD, vilket möjliggjort uttag av en materiallista som underlag för beräkningarna. Referensbyggnad 2 har däremot modellerats i Revit, där klimatpåverkan har kunnat beräknas med hjälp av Bengt Dahlgrens interna beräkningsprogram. Eftersom detta program inte är kopplat till AutoCAD har klimatberäkningen för Referensbyggnad 1 istället genomförts manuellt.

### 3.6.1 Klimatberäkning av installationsmaterial för referensprojekt 1

Mängdningen i referensbyggnad 1 har utförts genom att ta fram en materiallista från MagiCAD. Materiallistan omfattar de komponenter som ingår i ventilationssystemet för referensbyggnaden, såsom kanaler, böjar, T-stycken, reduktioner, spjäll, ljuddämpare, don och aggregat. För varje komponent redovisas relevant mängd, exempelvis längd i meter för kanaler och antal för övriga komponenter. Materiallistan används därmed som underlag för att fastställa vilka materialmängder som ingår i klimatberäkningen.

I denna del av klimatberäkningen har BECCS inte använts. I stället har klimatpåverkan beräknats direkt med hjälp av emissionsfaktorer från EPD:er, GWP-värden och produktdata från tillverkare och leverantörer. Dessa värden har kopplats till respektive komponent i materiallistan för att beräkna klimatpåverkan från installationsmaterialet. På så sätt baseras beräkningen på produktspecifik eller leverantörsbaserad information för de delar av ventilationssystemet som har mängdats.

#### *Avgränsning och omfattning*

Beräkningen har avgränsats till ett våningsplan, vilket har valts som representativt för byggnaden. Detta baseras på antagandet att byggnaden har en repetitiv planlösning där övriga våningsplan är likartade vad gäller ventilationssystemets utformning. Materialmängderna från det analyserade våningsplanet kan därmed användas för att uppskatta klimatpåverkan för resterande våningar. Vinden har dock behandlats separat, eftersom ventilationsaggregatet är placerat där och installationerna avviker från ett typiskt våningsplan. På vinden förekommer exempelvis större kanaldimensioner och fler fördelningspunkter, vilket gör att denna del inte är direkt jämförbar med övriga våningar. Klimatpåverkan för vinden och aggregatrummet har därför beräknats som en egen del.

#### *Materialmängder från MagiCAD*

Materialmängderna för referensbyggnad 1 togs fram genom en materiallista från MagiCAD för AutoCAD. Materiallistan användes som underlag för att identifiera vilka komponenter som ingick i ventilationssystemet samt vilka mängder som skulle klimatberäknas. Listan innehöll bland annat komponenttyp, dimension, antal och i vissa fall längd eller area. Kanaler redovisades huvudsakligen i meter, medan komponenter som böjar, T stycken, reduceringar,

don, spjäll och ljuddämpare redovisades i antal. För isolering redovisades mängden i kvadratmeter.

Materiallistan från MagiCAD användes därefter som grund för den fortsatta klimatberäkningen. För varje komponent kopplades mängden från materiallistan till produktdata, viktuppgifter eller EPD värden. På detta sätt kunde den totala materialmängden för ventilationssystemet sammanställas och användas för att beräkna klimatpåverkan från installationsmaterialet.

### *Klimatdata och beräkningsprincip*

Klimatpåverkan från installationsmaterialet har beräknats genom att kombinera materialmängder från MagiCAD med klimatdata från EPD:er, produktdata och leverantörsuppgifter. För varje komponent har ett emissionstal kopplats till den mängd som redovisas i materiallistan. Därefter har klimatpåverkan beräknats genom att multiplicera mängden med respektive emissionstal.

De klimatvärden som används avser främst livscykelmodulerna A1–A3, vilket innebär att produktskedet från råvaruutvinning till färdig produkt ingår i beräkningen. GWP-värden har hämtats från respektive produkts EPD eller från tillverkare och leverantörer, exempelvis Lindab, FläktGroup, Swegon och Bevent Rasch. Resultaten redovisas i kg CO<sub>2</sub>e och används för att jämföra klimatpåverkan från installationsmaterial mellan FX och FTX-systemen.

### *Beräkning per komponentgrupp*

För att tydliggöra hur klimatpåverkan från installationsmaterialet har beräknats har komponenterna delats upp i olika komponentgrupper. Uppdelningen har gjorts eftersom materiallistan från MagiCAD redovisar komponenterna på olika sätt. Vissa komponenter redovisas i längdmeter, andra i antal, area eller som kompletta produkter.

Beräkningsprincipen har därför anpassats efter vilken typ av indata som funnits tillgänglig.

Tabell 9 visar en sammanställning av de komponentgrupper som ingår i klimatberäkningen och hur respektive grupp har beräknats. De fullständiga beräkningarna med mängder, emissionstal och total klimatpåverkan redovisas i bilagorna.

Komponentgrupp	Indata från materiallista	Enhet i beräkning	Beräkningsprincip
Tillufts och frånluftskanaler	Längd i meter	m	Längd multipliceras med emissionstal per meter
Böjar, T-stycken och reduceringar	Antal och dimension	st	Antal multipliceras med vikt per styck och GWP-värde per kg, eller med emissionstal per styck
Don	Antal	st	Antal eller area multipliceras med produktspecifikt emissionstal
Galler	Area och vikt per area	m <sup>2</sup>	Arean multipliceras med vikten per kvadratmeter och därefter med emissionstalet per kilogram.
Ljuddämpare	Antal och dimension	st	Antal multipliceras med produktspecifikt emissionstal eller beräknad vikt och GWP-värde
Spjäll och brandspjäll	Antal och dimension	st	Antal multipliceras med vikt per styck och emissionstal
Isolering	Area	m <sup>2</sup>	Area multipliceras med emissionstal per m <sup>2</sup>
Ventilationsaggregat	Komplett produkt	st	Produktspecifikt EPD-värde används direkt
Värmepump	Komplett produkt	st	Produktspecifikt klimatvärde används direkt
Kollektorslang	Slanglängd, dimension och materialdensitet	kg	Total materialvikt multipliceras med emissionstal per kg
Bioetanol	Vätskevolym, densitet och andel bioetanol	kg	Mängd bioetanol multipliceras med emissionstal per kg

Tabell 10: Sammanställning av komponentgrupper, indata och beräkningsprinciper för klimatberäkning av installationsmaterial.

### Till och frånluftskanaler

För tilluft och frånluftskanaler har klimatpåverkan beräknats utifrån kanalernas längd i meter. Längden har multiplicerats med vikt per meter enligt produktdata och EPD har hämtats från Lindab för cirkulära ventilationskanaler av galvaniserat stål. Lindabs EPD anger ett GWP total värde på 2,6 kg CO<sub>2</sub>e per kg produkt för cirkulär ventilationskanal av galvaniserat stål (Lindab, 2024).

### *Böjar, T-stycken och reduceringar*

För böjar, T-stycken och reduceringar har klimatpåverkan beräknats med samma beräkningsprincip. Dessa komponenter redovisas i materiallistan som antal stycken och klimatpåverkan har därför beräknats genom att multiplicera antal komponenter med vikt per styck och GWP-värde.

Eftersom komponenterna är tillverkade av galvaniserat stål har samma EPD från Lindab använts, med ett GWP-värde på 3,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg (Lindab, 2023).. Antalet komponenter har hämtats från materiallistan i MagiCAD. Därefter har vikt per styck tagits fram utifrån aktuell komponenttyp och dimension i Lindabs produktblad, exempelvis BU böj för böjar, TCPU för T-stycken och RCU för reduceringar ( (Lindab, 2021); (Lindab, 2026)).

Beräkningen har därmed gjorts enligt samma princip för alla tre komponentgrupperna:

$$\text{Klimatpåverkan} = \text{antal} \times \text{vikt per styck} \times \text{GWP-värde}$$

På detta sätt kan böjar, T-stycken och reduceringar hanteras gemensamt i beräkningen, samtidigt som hänsyn tas till att olika dimensioner och komponenttyper har olika vikt.

### *Don och galler*

Klimatpåverkan för tilluftsdon och frånluftsdon har beräknats utifrån antal komponenter i materiallistan från MagiCAD och produktspecifika GWP-värden från FläktGroups EPD för ventilationsdon. För tilluftsdon KTS 100 0 C användes ett GWP total A1 till A3 värde på 3,52 kg CO<sub>2</sub>e per styck. Medan frånluftsdon GPDB 100 03 C och GPDB 125 03 C beräknades med värdena 2,22 kg CO<sub>2</sub>e per styck respektive 3,26 kg CO<sub>2</sub>e per styck (Fläktgroup, 2025).

Antalet komponenter multiplicerades med respektive klimatpåverkan per styck. Den totala klimatpåverkan för dessa tillufts och frånluftsdon uppgick därmed till 107,46 kg CO<sub>2</sub>e.

Klimatpåverkan för avluftsgaller beräknades genom att först räkna ut gallrets area utifrån dess dimensioner. Därefter multiplicerades arean med vikten 27 kg/m<sup>2</sup>, som anges i produktdatabladet för BRYH-galler från (Bevent Rasch AB, 2024). Den framräknade vikten multiplicerades sedan med emissionsfaktorn 2,79 kg CO<sub>2</sub>e/kg från EPD:n för ytterväggsgaller,

där värdet anges för A1–A3 (Bevent Rasch AB, 2026). Slutligen multiplicerades värdet med antal galler för att få den totala klimatpåverkan.

### Ljuddämpare

När de kommer till ljuddämpare och reduceringar har det beräknats per styck utifrån antal i materiallistan och produktspecifika värden från respektive EPD. Klimatpåverkan har hämtats direkt från tillverkarens EPD där GWP-värden redovisas för aktuella produkter och dimensioner. Antalet komponenter från MagiCAD har därefter multiplicerats med respektive GWP värde för att få den totala klimatpåverkan.

För rektangulär ljuddämpare LENTO har ingen exakt produktvikt kunnat identifieras. Vikten har därför uppskattats utifrån tillverkarens uppgift om cirka 100 kilogram per kubikmeter (Swegon, 2022). Volymen har beräknats utifrån produktens dimensioner, varefter klimatpåverkan har beräknats genom att multiplicera vikten med emissionsfaktor per kilogram samt antal enheter (Swegon, 2026).

### Spjäll

BRJB är ett jalousispjäll som används i ventilationssystem för att reglera eller stänga av luftflödet i kanaler. Spjället är en separat komponent och förekommer främst i större kanaler nära aggregat. Enligt (Bevent Rasch, 2023) produktblad är spjället tillverkat av varmförzinkat stål och vikten varierar beroende på dimension. För BRJB jalousispjäll kunde ingen produktspecifik EPD med GWP värde från tillverkaren identifieras. Klimatpåverkan har därför beräknats med hjälp av Bengt Dahlgrens interna beräkningsprogram, där ett GWP värde per kilogramprodukt har hämtats (Bengt Dahlgren, 2026). Detta värde har multiplicerats med produktens vikt enligt tillverkarens produktblad samt med antal enheter.

Samma tillvägagångssätt har använts för andra ventilationskomponenter där produktspecifika klimatdata saknas, exempelvis för rektangulär ljuddämpare BDER och RABC Cirkulärt brandgasspjäll.

### Ventilationsaggregat

Klimatpåverkan för ventilationsaggregatet har beräknats med hjälp av EPD för produktserien GOLD/SILVER RX från (Swegon Group AB, 2025). Aggregatet som används i studien är

GOLD G RX i storlek 035. För denna storlek anger EPD:n ett GWP värde på cirka 3880 kg CO<sub>2e</sub> per aggregat, från råvara till färdig produkt.

I FTX fallet antas de befintliga frånluftkanalerna på vinden i huvudsak kunna behållas. Samtidigt antas de nya tilluftkanalerna på vinden få ungefär samma dimensioner som frånluftkanalerna. Detta bedöms som rimligt eftersom tilluftsflödet och frånluftsflödet nära aggregatet är ungefär lika stora. Antagandet används för att kunna uppskatta materialmängd och klimatpåverkan för installationen på vinden på ett översiktligt sätt.

För klimatberäkningen av det befintliga FX aggregatet användes EPD:n för FläktGroup EQ 023 till 032 Air Handling Unit som underlag. Det aktuella aggregatet i referensbyggnad 1 är storlek 027, vilket ingår i det storleksintervall som EPD:n omfattar. Därför bedömdes EPD:n vara ett rimligt och representativt underlag för aggregatet.

Enligt (FläktGroup, 2025) uppgår klimatpåverkan för GWP total A1 till A3 till 6130 kg CO<sub>2e</sub> för den deklarerade enheten. Detta värde har använts direkt i klimatberäkningen för FX aggregatet, eftersom aggregatet behandlas som en komplett komponent. Användningen av detta värde innebär en viss förenkling, eftersom EPD:n omfattar aggregatserien EQ 023 till 032 och inte redovisar ett separat värde specifikt för storlek 027. Samtidigt bedöms antagandet vara rimligt eftersom aggregatet tillhör samma produktserie och ligger inom det intervall som EPD:n avser.

### Bergvärmepump

En bergvärmepump är ett system som tar tillvara på den lagrade solenergin i berg, jord, sjö eller grundvatten och omvandlar den till värme för byggnader och tappvarmvatten.

Bergvärmepumpar är effektiva lösningar för uppvärmning eftersom de utnyttjar gratis energi som finns naturligt lagrad i marken och kan ge betydande energibesparingar. Systemen klarar hela byggnadens behov av värme och tappvarmvatten även vid låga utomhustemperaturer, och på sommaren kan värmepumpen även användas för kylning (IVT Värmepumpar, u.å.).

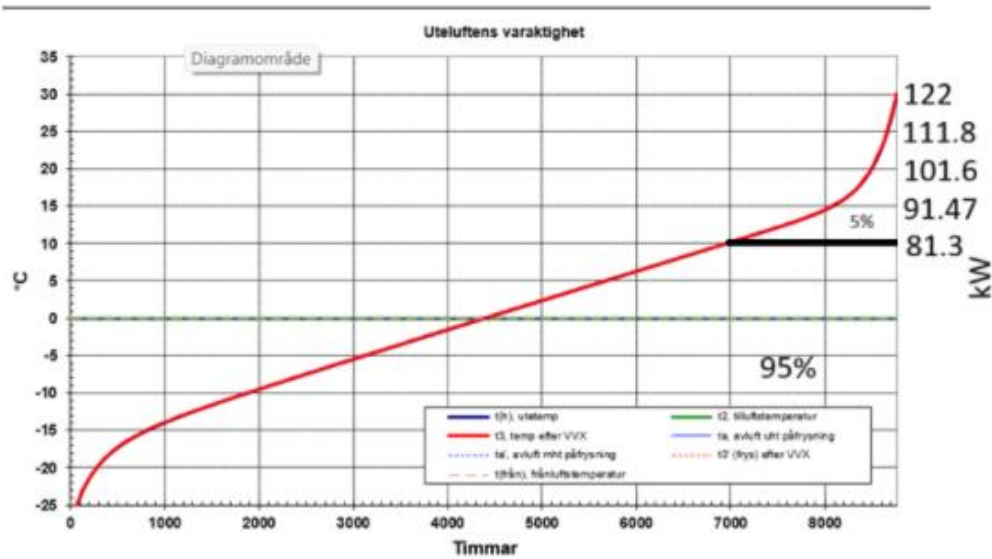
I detta projekt valdes Thermia Mega XL 2020 HGW, en produkt som kan användas både som bergvärmepump och som frånluftvärmepump. Detta är samma modell som användes som frånluftvärmepump i den ursprungliga referensbyggnaden 1 när byggnaden hade ett FX-

system. Produkten identifierades genom en analys av tekniska specifikationer och kapacitet, där dess effektområde och värmekapacitet matchade byggnadens uppskattade behov.

Effektbehovet för byggnaden uppskattades med hjälp av ett schablonvärde på 25 W/m<sup>2</sup> multiplicerat med den uppvärmda arean på 4 859 m<sup>2</sup>, vilket gav ett totalt effektbehov på cirka 121,5 kW. Enligt varaktighetsdiagrammet täcker bergvärmepumpen cirka 95 % av detta behov, vilket motsvarar cirka 81,3 kW. Detta värde ligger inom Mega XL:s effektområde, vilket innebär att pumpen kan leverera huvuddelen av värmebehovet över året utan att kompletteras av elspets för majoriteten av tiden. Denna dimensionering används inte för exakt teknisk projektering, utan för att säkerställa att pumpens kapacitet är representativ för klimatberäkningarna i systemet.

Eftersom produktspecifik livscykelanalys (LCA) inte var tillgänglig på Thermias webbplats, kontaktades företaget direkt och tillhandahöll dokumentation som möjliggjorde en transparent beräkning av material och tillverkningsrelaterade utsläpp (A1–A3). Totalt anger dokumentationen att värmepumpen genererar 6818 kg CO<sub>2e</sub> för dessa skeden (Thermia, 2026).

Figur 12 nedan används endast som stöd för dimensionering av bergvärmepumpen i studien. Fördelningen där bergvärmepumpen täcker 95 % av värmebehovet har hämtats från referensbyggnad 1. Diagrammet används därför enbart för att illustrera och motivera valet av en bergvärmepump med lämplig kapacitet.



Figur 12: Varaktighetsdiagram som visar uteluftens varaktighet i Göteborg över årets timmar. Diagrammets högra axel visar motsvarande uppskattat effektbehov, där 100 % motsvarar byggnadens uppskattade toppeffekt på cirka 122 kW. Diagrammet visar även uppdelningen mellan den del av effektbehovet som täcks av bergvärmepumpen (95 %) och den återstående delen som täcks av spetsvärme (5 %).

### Kollektorslang bergvärme

Kollektorslangar används i bergvärmesystem för att transportera köldbärarvätska mellan marken och värmepumpen. Dessa slangar läggs i borrhål eller jordkolektorer och möjliggör effektiv överföring av den lagrade solenergin i marken till värmesystemet i byggnaden (IVT Värmepumpar, u.å.).

För att beräkna klimatpåverkan från kollektorslangarna har information från Muovitechs EPD för Slät och Turbo 45 mm SDR17 PE100 använts. EPD-dokumentet anger klimatpåverkan för materialet i tillverkningskedet, uttryckt per kilogram PE100, med ett emissionsvärde på 2,18 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Eftersom EPD:n inte anger klimatpåverkan per meter slang beräknades vikten per meter. Detta gjordes utifrån slangens geometriska mått, det vill säga ytterdiameter 45 mm och vägg tjocklek 2,6 mm, tillsammans med standarddensiteten för PE100-plast på 950 kg/m<sup>3</sup>. På detta sätt kunde vikten av materialet per meter uppskattas och kombineras med emissionstalet från EPD:n för att beräkna klimatpåverkan per meter (Muovitech, 2025).

I systemet är varje borrhål dimensionerat med 250 meter framledning och 250 meter returledning, men för att inte underskatta längdbehovet har beräkningarna gjorts med en total

slanglängd på 600 meter per borrhål. Den totala materialvikten beräknades genom att multiplicera vikten per meter med denna totala längd, och resultatet multiplicerades sedan med emissionstalet från EPD:n, vilket gav den sammanlagda klimatpåverkan för hela slangsystemet. Formlerna som användes kan beskrivas som att vikten per meter beräknas genom tvärsnittsarea gånger densitet, total vikt genom vikt per meter gånger total längd, och total klimatpåverkan genom totalvikt gånger emissionsvärde per kilogrammaterial. Totalt för hela systemet blev klimatpåverkan för slangarna 3021 kg CO<sub>2e</sub>.

Formler som används vid beräkning,

$$\text{Tvärsnittsarea} = (\pi / 4) \times (\text{Dytter}^2 - \text{Dinner}^2)$$

$$\text{Vikt per meter} = \text{Tvärsnittsarea} \times \text{Materialdensitet}$$

$$\text{Total vikt} = \text{Vikt per meter} \times \text{Total slaglängd}$$

$$\text{Klimatpåverkan (kg CO}_2\text{e)} = \text{Total vikt (kg)} \times \text{Emissionstal (kg CO}_2\text{e/kg)}$$

Slutligen hamnade de totala utsläppen för slangarna i bergvärmesystemet på 2158 kg CO<sub>2e</sub>.

### *Bioetanol*

Bioetanol används i bergvärmesystem som köldbärarvätska för att minska risken för frysning i kollektorslangarna och säkerställa en stabil värmeöverföring mellan marken och värmepumpen. Den bioetanol som används i systemet levereras av Muovitech och är en förnybar råvara som inte bidrar till en nettoökning av koldioxid i atmosfären. Dess fysikaliska och kemiska egenskaper gör den effektiv som värmebärare, samtidigt som den har låg toxicitet och är biologiskt nedbrytbar (Muovitech, u.å.).

Någon produktspecifik EPD för bioetanol som används i bergvärmesystem kunde inte identifieras hos de undersökta aktörerna inom byggbranschen. Klimatpåverkan för bioetanolen har därför uppskattats med hjälp av emissionsdata från ESU-services, där klimatpåverkan för biobaserad etanol redovisas inom intervallet 0,7–1,5 kg CO<sub>2e</sub>/kg etanol. I denna studie användes ett medelvärde på 1,1 kg CO<sub>2e</sub>/kg bioetanol i beräkningarna (ESU-services, u.å)

För att beräkna mängden bioetanol i slangarna användes följande metod. Volymen av vätskan i kollektorslangarna beräknades utifrån slangarnas invändiga diameter på 39,7 mm och den

totala slanglängden på 4200 meter. Vikten av köldbärarspriten beräknades genom att multiplicera volymen med densiteten för vätskan, 0,955 kg/L, vilket gav en total vikt på 4992 kg. Mängden bioetanol beräknades sedan genom att multiplicera den totala vätskevikten med andelen bioetanol i blandningen, som utgör 29 procent, vilket gav 1448 kg bioetanol. Den totala vikten av bioetanolen multiplicerades med emissionsvärdet 1,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg, vilket resulterade i totalt 1593 kg CO<sub>2</sub>e som slangarna bidrar med till systemets klimatpåverkan.

### *Antaganden och osäkerheter*

Vid beräkning av klimatpåverkan från installationsmaterialet har vi antagit att beräkningsmetoden för de olika komponenterna är i stort sett densamma. Därför har vi inte redovisat detaljerade uträkningar för varje enskild komponent, utan har istället fokuserat på de komponenter som har särskilda egenskaper eller avvikelser som kräver en mer ingående redovisning. De delar som har redovisats i detalj, som exempelvis aggregat, böjar, T-stycken, reduceringar och ljuddämpare, kräver specifika beräkningar baserade på produktdata och EPD-värden, vilket motiverar en mer noggrann presentation av dessa delar.

Väggdjockleken på kollektorslangarna räknades fram utifrån standard SDR-klassning (SDR17) och ytterdiametern på 45 mm, vilket gav 2,6 mm. Standarddensiteten för PE100-plast, 950 kg/m<sup>3</sup>, användes för att omvandla slangens volym till vikt, vilket kan avvika något från verkliga produktspecifikationer.

För bioetanolen fanns ingen produktspecifik EPD tillgänglig, varför klimatpåverkan istället uppskattades med ett schablonvärde från LCA data för biobaserad etanol. I denna studie användes ett medelvärde på 1,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg (ESU-services, u.å.), men det faktiska värdet kan variera mellan 0,7 och 1,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg.

För komponenter som tilluftventiler, isolering och liknande, där klimatpåverkan beräknas på samma sätt utifrån längd, vikt per meter och EPD-värden från leverantörer, har vi inte redovisat uträkningarna för varje enskild del. Eftersom beräkningsmetoden är densamma för dessa komponenter har vi istället valt att presentera detaljerade uträkningar endast för de komponenter som avviker i materialval eller dimensionering, samt några standardexempel som illustrerar metoden.

Sammanfattningsvis har vi för de flesta komponenter använt en enhetlig beräkningsmetod baserad på materialmängder och specifika EPD-värden. De detaljerade uträkningarna har inte redovisats för standardkomponenter, såsom samlingslådor, eftersom de följer samma principer, vilket ansågs överflödigt att visa för varje enskild komponent. På detta sätt framgår principen för beräkningarna tydligt utan att upprepa identiska uträkningar.

### 3.6.2 Klimatberäkning av installationsmaterial för referensprojekt 2

Mängdningen i Referensprojekt 2 har utförts med hjälp av programvaran Autodesk Revit samt tillägget BeCos. Genom Revit har en materialförteckning tagits fram för ventilationssystemet, där komponenter och materialmängder har sammanställts. BeCos har därefter använts för att koppla materialmängderna till klimatpåverkan för respektive komponent och därmed beräkna systemets totala klimatpåverkan.

För grundfallet med FTX-systemet har BDAB använt BeCos för att ta fram klimatpåverkan för ventilationssystemet. För det ommodulerade fallet har tilluftssystemet tagits bort och ersatts med en ny lösning. Klimatpåverkan för den nya modulen har beräknats med hjälp av BeCos utifrån de tillagda komponenterna i modellen. För vissa produkter, exempelvis tilluftsventiler som inte fanns tillgängliga i BeCos databas, har klimatdata hämtats från externa källor på internet. Dessa värden har därefter lagts till i den totala klimatpåverkansberäkningen för systemet.

#### *BeCos*

I Referensprojekt 2 har klimatberäkningen av installationsmaterial utförts med hjälp av BeCos, vilket är ett tilläggsverktyg till Autodesk Revit utvecklat av Bengt Dahlgren AB (BDAB). Verktöget används för att beräkna klimatpåverkan från installationssystem direkt i Revit modellen genom att koppla komponenter och materialmängder till klimatdata på produkt och materialnivå.

BeCos möjliggör mängdning och klimatberäkning i realtid, vilket innebär att klimatpåverkan kan analyseras samtidigt som projekteringen genomförs. Verktöget bygger på en databas med klimatdata från bland annat EPD:er, generella data och proxydata. Generella data avser branschgenomsnitt eller schablonvärden för produktgrupper, medan proxydata används som ersättningsdata för produkter där specifik klimatinformation saknas och baseras på liknande

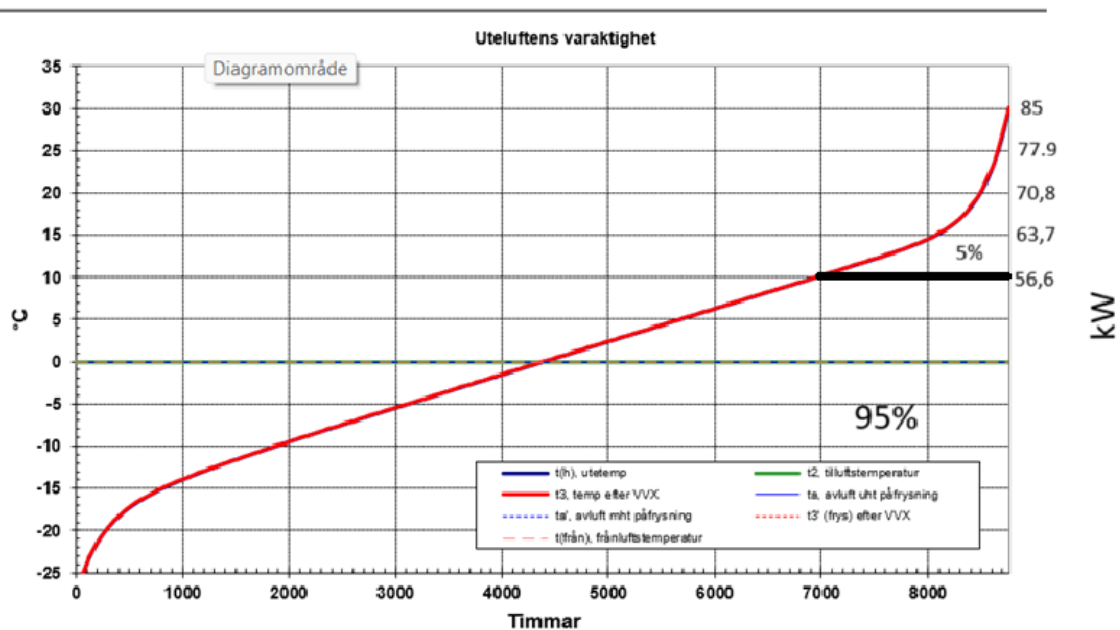
produkter eller material. Detta ger möjlighet att uppskatta klimatpåverkan även för produkter där specifik klimatdata saknas.

### *Tilluftsventil*

Produkten Easy-Vent FX DB har valts som uteluftsventil i FX-systemet för referensprojekt 2. För att få fram klimatpåverkan för produkten kontaktades Acticon. Företaget uppgav att de ännu inte har tagit fram någon fullständig EPD för produkten, men att ett uppskattat GWP-värde för A1–A3 finns tillgängligt. För en Easy-Vent FX DB med höjden 400 mm uppskattas klimatpåverkan till cirka 13,5 kg CO<sub>2</sub>e. Acticon påpekar att värdet är framtaget genom en förenklad beräkning och därför ska ses som en uppskattning, inte ett verifierat EPD-värde. Trots detta har värdet använts i studien för att kunna inkludera uteluftsventiler i klimatberäkningen.

### *Val av Bergvärmepump (FTX)*

Eftersom dimensioneringsrapport för bergvärmepumpen saknas har effektbehovet uppskattats med ett schablonvärde på 25 W/m<sup>2</sup>. Med byggnadens Atemp på 3 423 m<sup>2</sup> ger detta ett totalt effektbehov på cirka 86 kW. Indatalistan anger att bergvärmepumpen täcker 95 % av värmebehovet, medan resterande del täcks av elspets. Med hjälp av varaktighetsdiagrammet uppskattades att cirka 56,6 kW täcker ungefär 95 % av effektbehovets varaktighet över året. Effekten avrundades därför uppåt till 60 kW, vilket motsvarar produkten NIBE F1345 60 kW. Antagandet används inte för exakt dimensionering av värmesystemet, utan för att välja en rimlig produktstorlek vid uppskattning av klimatpåverkan.



Figur 13: Varaktighetsdiagram som visar uteluftens varaktighet i Göteborg över årets timmar. Diagrammets högra axel visar motsvarande uppskattat effektbehov, där 100 % motsvarar byggnadens uppskattade topp effekt på cirka 85 kW. Diagrammet visar även uppdelningen mellan den del av effektbehovet som täcks av bergvärmepumpen (95 %) och den återstående delen som täcks av spetsvärme (5 %).

### Val av Frånluftsvärmepump (FX)

För referensprojekt 2, där FX-systemet har ommodellerats till ett FTX-system har samma frånluftsvärmepump som i referensprojekt 1 antagits i beräkningarna. Detta eftersom byggnadens uppskattade värmebehov bedöms kunna täckas av samma värmepump även i det ommodellerade fallet. Den använda produkten är Thermia Mega XL.

### Kollektorslang och bioetanol

Kollektorslang och bioetanol för referensprojekt 2 har beräknats enligt samma metod som för referensprojekt 1.

### Avgränsning och omfattning

Till skillnad från Referensprojekt 1 har klimatberäkningen i Referensprojekt 2 utförts för hela byggnaden. Detta möjliggjordes genom användningen av BeCos, vilket underlättade mängdning och sammanställning av klimatpåverkan. Beräkningen omfattar därmed hela byggnadens ventilationssystem och inte endast ett representativt våningsplan.

Ventilationssystemet som tillhör garaget har däremot exkluderats. Beräkningen har därmed avgränsats till huvudbyggnaden och dess ventilationsinstallationer.

# 4 Resultat

## 4.1 Driftenergi

Resultatet för driftenergi redovisar energianvändningen för de två systemlösningarna. FTX-systemet redovisas tillsammans med bergvärmepump och elspets, medan FX-systemet redovisas tillsammans med frånluftsvärmepump och fjärrvärme. På detta sätt omfattar resultatet både ventilationens energibehov och den energi som krävs för att täcka byggnadens uppvärmningsbehov kopplat till ventilationsluften.

### 4.1.1 Driftenergi Referensbyggnad 1

I detta avsnitt redovisas driftenergin för referensbyggnad 1. Beräkningen omfattar både värmebehov och elanvändning för FX och FTX-systemet. Först redovisas hur det totala värmebehovet fördelas mellan värmepump och fjärrvärme eller elspets. Därefter redovisas systemens elanvändning, som består av el till värmepump, fläktel och elspets.

#### Värmebehov för hela Referensbyggnad 1

System	Totalt värmebehov kWh/år	Värme täckt av värmepump kWh/år	Värme täckt av fjärrvärme (FX) / elspets (FTX) kWh/år
FX	303 924	237 060,72	66 863,28
FTX	50 760	48 222,00	2 538,00

Tabell 11: Värmebehov för hela referensbyggnad 1 vid jämförelse mellan FX och FTX-system

#### Elanvändning för hela Referensbyggnad 1

System	El till värmepump kWh/år	Fläktel kWh/år	Elspets kWh/år	Total elanvändning kWh/år
FX	53 877,44	10 596	–	64 473,44
FTX	15 555,48	27 640,00	2 538,00	45 733,48

Tabell 12: Elanvändning för hela referensbyggnad 1 vid jämförelse mellan FX och FTX-system

Energiberäkningarna utfördes först för ett representativt våningsplan och multiplicerades därefter med 12 bostadsvåningar för att uppskatta energibehovet för hela byggnaden. Vinden/fläktrummet inkluderades inte som ett separat bostadsplan eftersom det främst utgör ett teknikutrymme och inte har samma ventilationsbehov som övriga våningar.

När elanvändningen jämförs uppgår FX-systemets totala elanvändning till 64 473 kWh/år. Detta inkluderar el till frånluftsvärmepumpen på 53 877 kWh/år samt fläktel på 10 596 kWh/år. För FTX-systemet uppgår den totala elanvändningen till 45 733 kWh/år, vilket inkluderar el till bergvärmepump, fläktel och elspets.

Skillnaden i elanvändning mellan systemen blir därmed 18 739 kWh/år, där FX-systemet har ett högre elbehov än FTX-systemet. Den främsta orsaken till skillnaden är att FTX-systemet återvinner värme direkt i ventilationsaggregatets värmeväxlare, vilket kraftigt minskar det kvarvarande värmebehovet. FX-systemet återvinner istället värme via frånluftsvärmepumpen men har fortfarande ett större totalt värmebehov som delvis behöver täckas med fjärrvärme. Trots att FTX-systemet har högre fläktel på grund av både till och frånluftsfläktar blir den totala elanvändningen lägre tack vare det betydligt lägre uppvärmningsbehovet.

#### 4.1.2 Driftenergi Referensbyggnad 2

I detta avsnitt redovisas driftenergin för referensbyggnad 2 enligt samma princip som för referensbyggnad 1. Resultaten visar värmebehovets fördelning mellan värmepump och fjärrvärme eller elspets samt den totala elanvändningen för FX och FTX-systemet.

Värmebehov för hela Referensbyggnad 2			
System	Totalt värmebehov kWh/år	Värme täckt av värmepump kWh/år	Värme täckt av fjärrvärme (FX) / elspets (FTX) kWh/år
FX	151 260	117 982,80	33 277,20
FTX	28 175	26 766,25	1 408,75

Tabell 13: Tabell 9: Värmebehov för hela referensbyggnad 2 vid jämförelse mellan FX och FTX-system

## Elanvändning för hela Referensbyggnad 2

System	El till värmepump kWh/år	Fläktel kWh/år	Elspets kWh/år	Total elanvändning kWh/år
FX	26 814,27	5275	–	32 089,27
FTX	8 634,27	12900,00	1 408,75	22 943,02

Tabell 14: Elanvändning för hela referensbyggnad 2 vid jämförelse mellan FX och FTX-system

Resultatet för hela referensbyggnad 2 visar att värmebehovet skiljer sig tydligt mellan systemen. Energiberäkningarna utfördes först för en representativ normalplan och multiplicerades därefter med fem ekvivalenta normalvåningar för att uppskatta energibehovet för hela byggnaden. Referensbyggnad 2 består av sex fysiska våningar, men eftersom första och sista våningen motsvarar ungefär halva normalplan har byggnaden i beräkningen räknats som fem normalvåningar.

När elanvändningen jämförs uppgår FX-systemets totala elanvändning till 32 089 kWh/år. Detta inkluderar el till frånluftsvärmepumpen på 26 814 kWh/år samt fläktel på 5 275 kWh/år. För FTX-systemet uppgår den totala elanvändningen till 22 943 kWh/år, vilket inkluderar el till bergvärmepump, fläktel och elspets.

Skillnaden i elanvändning mellan systemen blir därmed 9 146 kWh/år, där FX-systemet har ett högre elbehov än FTX-systemet. Den främsta orsaken till skillnaden är att FTX-systemet minskar värmebehovet genom värmeåtervinning i ventilationsaggregatet, medan FX-systemet fortfarande har ett större totalt värmebehov som delvis behöver täckas med fjärrvärme. Trots att FTX-systemet har högre fläktel på grund av både till och frånluftsflyktar blir den totala elanvändningen lägre tack vare det betydligt lägre uppvärmningsbehovet.

## 4.2 Klimatpåverkan från energianvändning

Klimatpåverkan från energianvändning har beräknats utifrån respektive systemlösningens energianvändning och tillhörande emissionsfaktorer. För FTX-systemet ingår elanvändning till bergvärmepump, fläktar och elspets. För FX-systemet ingår elanvändning till frånluftsvärmepump och fläktar samt fjärrvärme för det återstående värmebehovet.

#### 4.2.1 Klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas för Referensbyggnad 1

I detta avsnitt redovisas klimatpåverkan från energianvändning i driftfasen för referensbyggnad 1. Resultaten presenteras separat för FX och FTX-systemet för att visa hur valet av system påverkar de årliga CO<sub>2</sub>e-utsläppen. Beräkningen baseras på elanvändning, fläktel och fjärrvärme eller elspets, som multipliceras med respektive emissionsfaktor.

CO <sub>2</sub> -utsläpp från driftenergi (FX) (Referensprojekt 1)						
Scenario	Area (m <sup>2</sup> )	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	El för VP (kWh/år)	Efläkt (kWh/år)	Total CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> per m <sup>2</sup> (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ,år)
Svensk elmix	340	0,037	4489,79	883,008	198,79	0,58
	Area (m <sup>2</sup> )	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Fjärrvärme (kWh/år)		Total CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> per m <sup>2</sup> (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ,år)
Lokal Fjärrvärme	340	0,022	5571,94		122,58	0,36
Total					321,38	0,95

Tabell 15: CO<sub>2</sub>-utsläpp från driftenergi (FX-system, Referensprojekt 1)

CO <sub>2</sub> -utsläpp från driftenergi (FTX) (Referensprojekt 1)					
Scenario	Area (m <sup>2</sup> )	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Total el (kWh/år)	Total CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)/m <sup>2</sup>
Svensk elmix	340	0,037	3699,79	136,89	0,40

Tabell 16: CO<sub>2</sub>-utsläpp från driftenergi (FTX-system, Referensprojekt 1)

Tabellerna redovisar klimatpåverkan från driftenergin för FX och FTX-systemet i referensbyggnad 1. Resultatet visar att FX-systemet ger högre utsläpp än FTX-systemet, både totalt och per kvadratmeter. För FX-systemet uppgår utsläppen till 321 kg CO<sub>2</sub>e/år, medan FTX-systemets utsläpp uppgår till 136 kg CO<sub>2</sub>e/år.

## 4.2.2 Klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas för Referensbyggnad 2

I detta avsnitt redovisas klimatpåverkan från driftenergin för referensbyggnad 2. Resultaten presenteras separat för FX och FTX-systemet för att visa skillnaden i årliga CO<sub>2</sub>e-utsläpp mellan systemen.

CO <sub>2</sub> -utsläpp från driftenergi (FX) (Referensprojekt 2)						
Scenario	Area (m <sup>2</sup> )	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	El för VP (kWh/år)	Efläkt (kWh/år)	Total CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)/m <sup>2</sup>
Svensk elmix	514	0,037	5362,85	1055	237,45	0,46
	Area (m <sup>2</sup> )	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Fjärrvärme (kWh/år)		Total CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)/m <sup>2</sup>
Lokal fjärrvärme	514	0,022	6655,44		146,42	0,28
Total			12018,29		383,87	0,75

Tabell 17: CO<sub>2</sub>-utsläpp från driftenergi (FX-system, Referensprojekt 2)

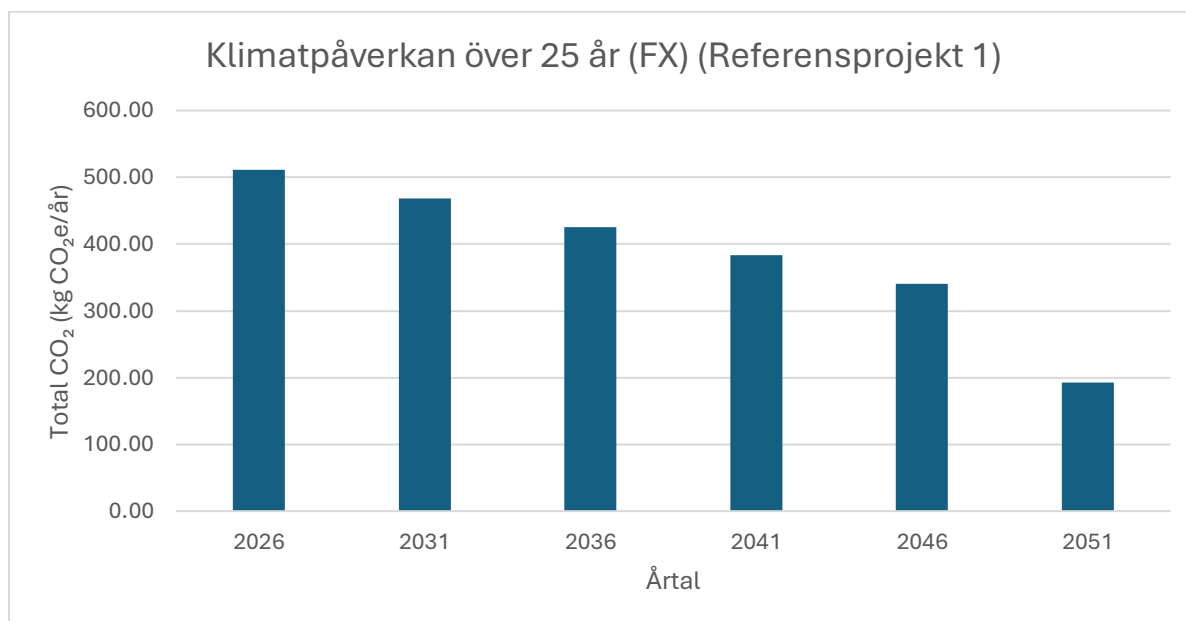
CO <sub>2</sub> -utsläpp från driftenergi (FTX) (Referensprojekt 2)					
Scenario	Area (m <sup>2</sup> )	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Total el (kWh/år)	Total CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)/m <sup>2</sup>
Svensk elmix	514	0,037	4588,60	169,78	0,33

Tabell 18: CO<sub>2</sub>-utsläpp från driftenergi (FTX-system, Referensprojekt 2)

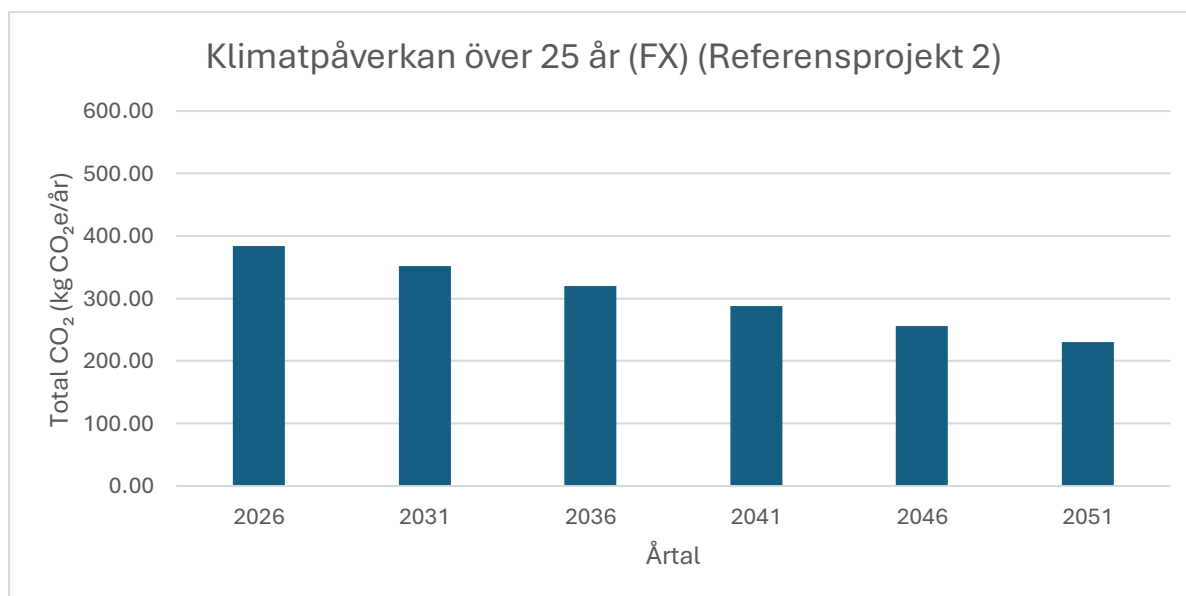
Resultatet visar att FX-systemet ger högre klimatpåverkan från driftenergin än FTX-systemet i referensbyggnad 2. FX-systemets utsläpp uppgår till 384 kg CO<sub>2</sub>e/år, medan FTX-systemets utsläpp uppgår till 170 kg CO<sub>2</sub>e/år. Skillnaden beror främst på att FX-systemet har ett högre energibehov under drift.

De specifika utsläppen per kvadratmeter är i liknande nivå för båda referensprojekten, med en mindre skillnad mellan fallen.

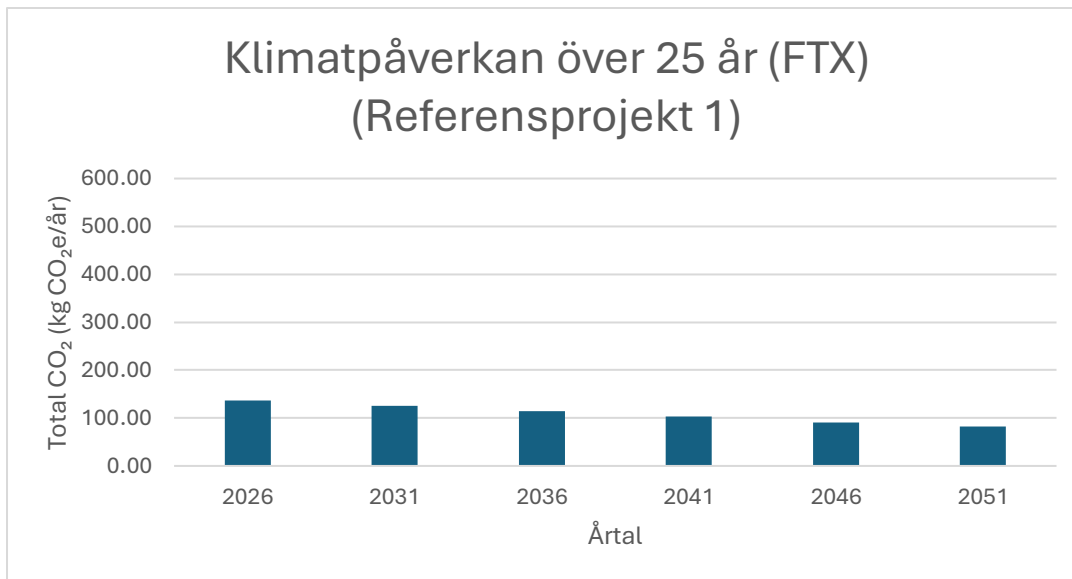
### 4.2.3 Klimatpåverkan från energianvändning över 25 år (2026-2051)



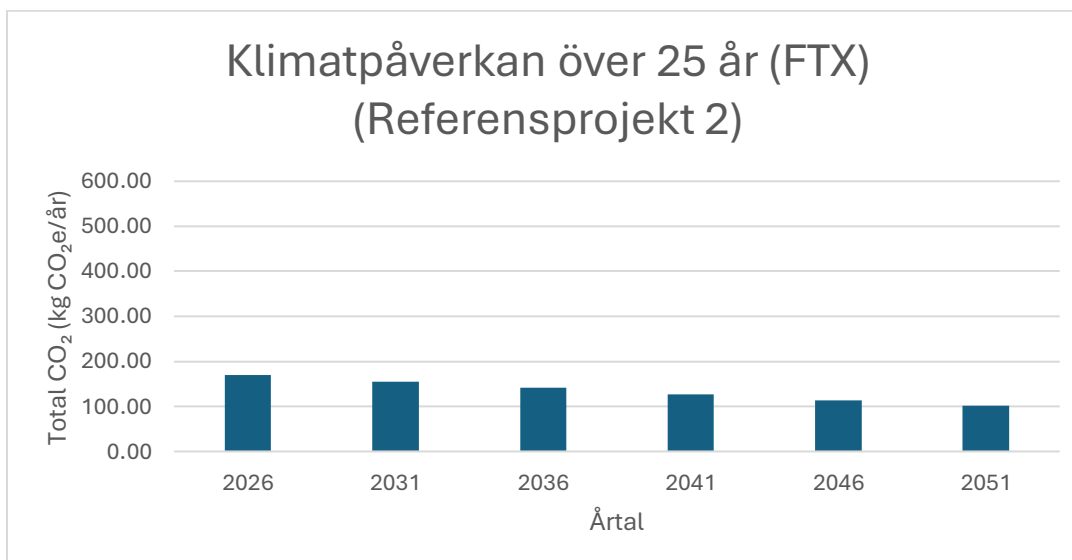
Figur 14: Klimatpåverkan över 25 år (FX) (Referensprojekt 1)



Figur 15: Klimatpåverkan över 25 år (FX) (Referensprojekt 2)



Figur 16: Klimatpåverkan över 25 år (FTX) (Referensprojekt 1)



Figur 17: Klimatpåverkan över 25 år (FTX) (Referensprojekt 2)

Diagrammen visar klimatpåverkan från driftenergi över en 25-årsperiod för både FX och FTX-system i referensprojekt 1 och referensprojekt 2. Resultaten redovisas som årliga koldioxidutsläpp samt specifika utsläpp per kvadratmeter vid olika tidpunkter under perioden. För FX-systemet minskar de årliga utsläppen successivt över tid i båda referensprojekten. I referensprojekt 1 minskar utsläppen från 321 till 192 kg CO<sub>2</sub>e/år, medan de i referensprojekt 2 minskar från 383 till 230 kg CO<sub>2</sub>e/år. Motsvarande utveckling ses även för de specifika utsläppen per kvadratmeter.

För FTX-systemet observeras en liknande trend med avtagande utsläpp över tid. I referensprojekt 1 minskar utsläppen från 136 till 82 kg CO<sub>2</sub>e/år, och i referensprojekt 2 från 169 till 101 kg CO<sub>2</sub>e/år. Även här minskar utsläppen per kvadratmeter i samma takt.

Resultaten visar att klimatpåverkan från driftenergi avtar över tid för samtliga fall, samtidigt som nivåerna för utsläpp per kvadratmeter är relativt jämförbara inom respektive systemtyp.

## 4.3 Klimatpåverkan från material

Materialresultatet omfattar de komponenter som ingår i respektive systemlösning. FTX-systemets materialpåverkan omfattar både ventilationssystemet och delar kopplade till bergvärmelösningen. FX-systemets materialpåverkan omfattar ventilationssystemet, frånluftsaggregat och frånluftsvärmepump. Detta gör att materialjämförelsen speglar de kompletta systemlösningarna och inte enbart ventilationskanaler och aggregat.

### 4.3.1 Referensbyggnad 1

Sammanställd materialåtgång Referensbyggnad 1		
System	Total klimatpåverkan, kg CO <sub>2</sub> e	Total klimatpåverkan, ton CO <sub>2</sub> e
FTX	70 148 ,66	70
FX	35 317 ,23	35,32

Tabell 19: Tabellen visar materialutsläpp från ett våningsplan.

### 4.3.2 Referensbyggnad 2

*FX*

Komponent	Metod	Klimatpåverkan (kg CO <sub>2</sub> e)
Kanaler, kanalisolering, kanalkomponenter och Ventilationsdon exklusive tilluftsventiler	Becos	13 304
Tilluftsventiler	Uppskattning från Acticon	1251
Värmepump	Becos (Databas)	6818

Luftsbehandlings aggregerat	Epd-blad från FläktGroup	3555
<b>Total</b>		24 927

Tabell 20: Tabellen visar klimatpåverkan från installationsmaterial för FX-systemet samt använda datakällor och beräkningsmetoder.

### FTX

Komponent	Metod	Klimatpåverkan (kg CO <sub>2</sub> e)
Kanaler, kanalisering, kanalkomponenter, ventilationsdon och aggregat.	Becos	27 508 ,53
Värme pump	Becos (Databas)	6818
Kollektorslang bergvärme	Epd-blad från MuovieTech	2158,2
Etanol	Produktblad från MuovieTech samt emissionsfaktor från ESU-services	1131,32
<b>Total</b>		37 615

Tabell 21: Tabellen visar klimatpåverkan från installationsmaterial för FTX-systemet samt använda datakällor och beräkningsmetoder.

### Sammanlagd tabell

System	Klimatpåverkan (kg CO <sub>2</sub> e)
FX	24 927
FTX	37 615
Systemskillnad	12 68

Tabell 22: Tabellen visar en sammanställning av den totala klimatpåverkan från installationsmaterial för FX och FTX-systemen samt skillnaden mellan systemen.

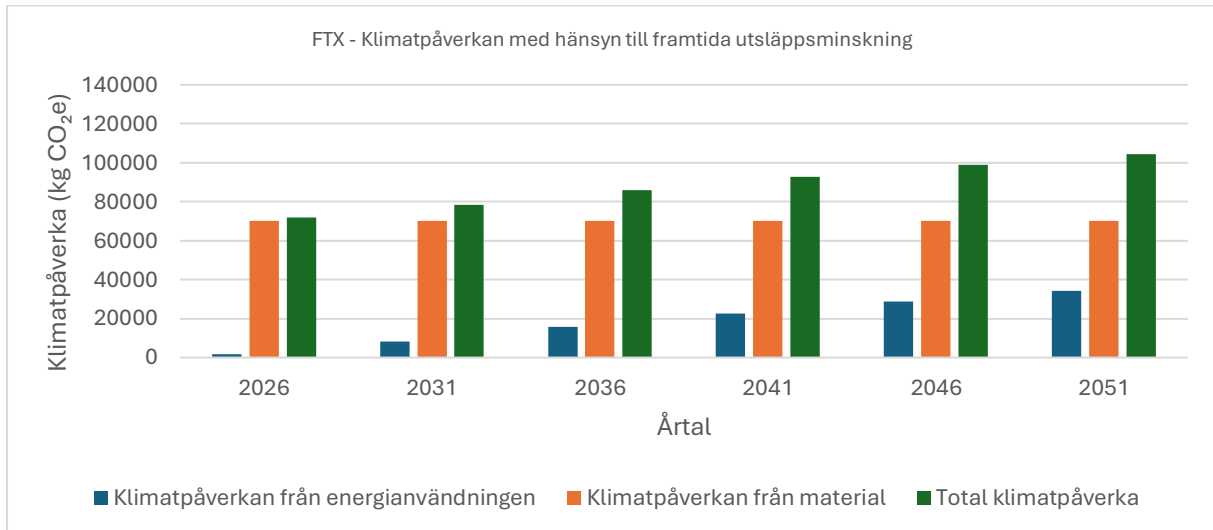
## 4.4 Sammanställning av total klimatpåverkan

I detta avsnitt sammanställs den totala klimatpåverkan från systemen genom att klimatpåverkan från installationsmaterial och driftenergi summeras. Syftet är att visa hur stor del av den totala klimatpåverkan som kommer från material respektive energianvändning under drift.

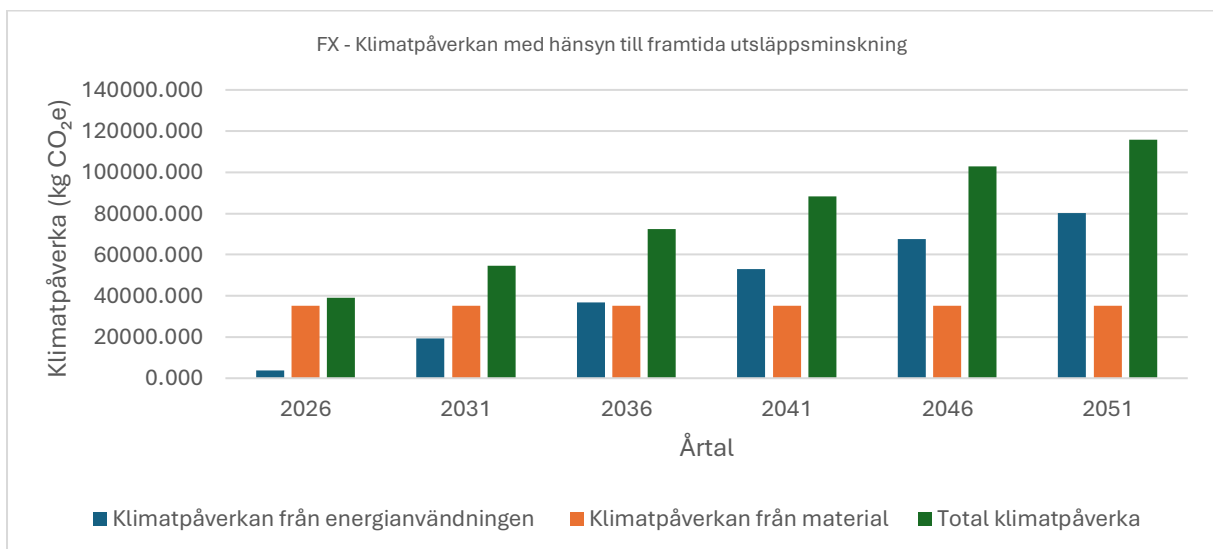
### 4.4.1 Referensprojekt 1

I detta avsnitt redovisas den totala klimatpåverkan för referensprojekt 1. Diagrammen visar hur klimatpåverkan från material och ackumulerad energianvändning utvecklas under

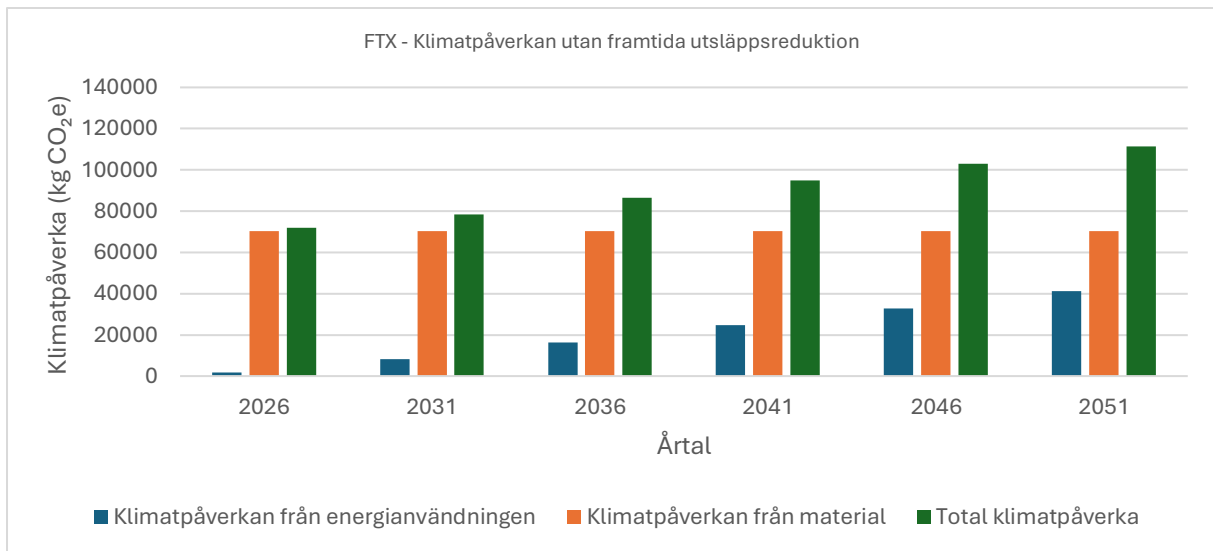
perioden 2026–2051 för både FTX och FX-systemet. Resultaten redovisas både med och utan hänsyn till framtida utsläppsminskning för att visa hur antagandet om energins klimatpåverkan påverkar den totala klimatpåverkan över tid.



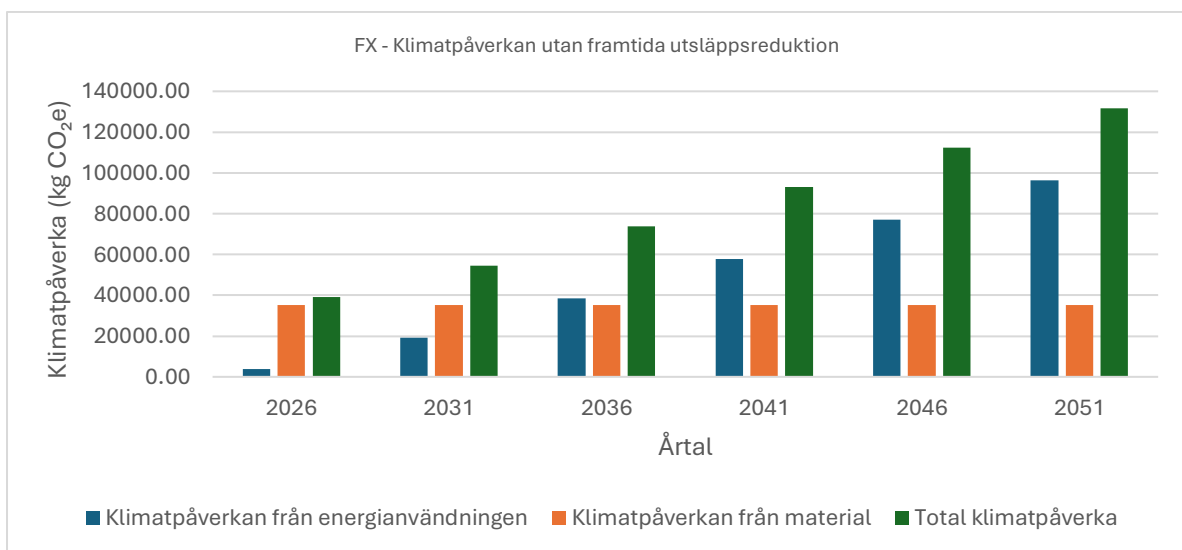
Figur 18: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FTX-systemet med hänsyn till framtida utsläppsminskning under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.



FigurTabell 1923: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FX-systemet med hänsyn till framtida utsläppsminskning under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.



Figur 20: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FTX-systemet utan hänsyn till framtida utsläppsreduktion under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.

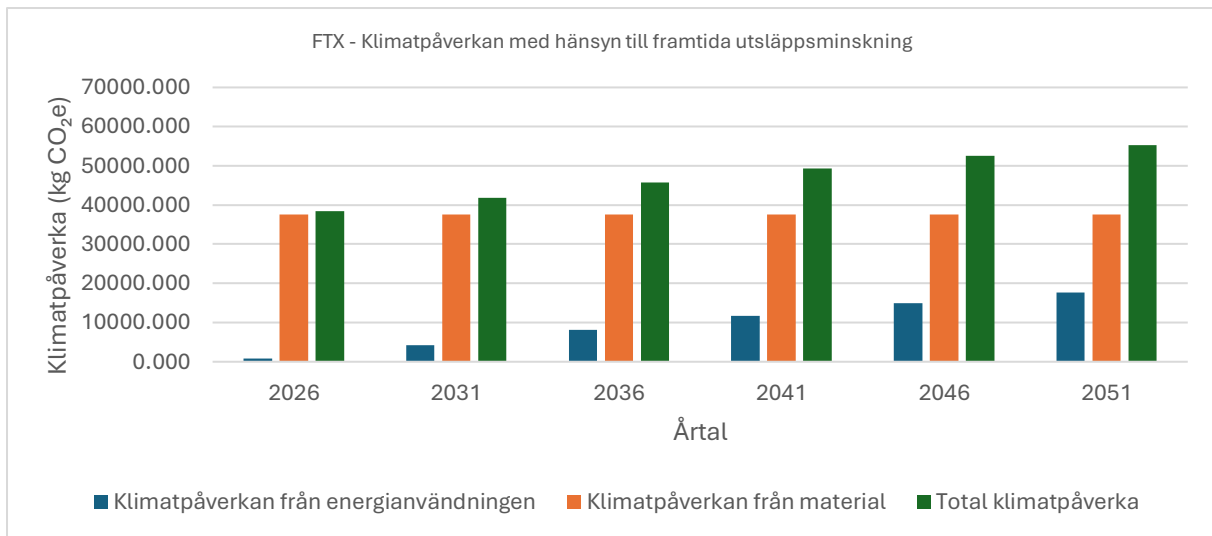


Figur 21: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FX-systemet utan hänsyn till framtida utsläppsreduktion under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.

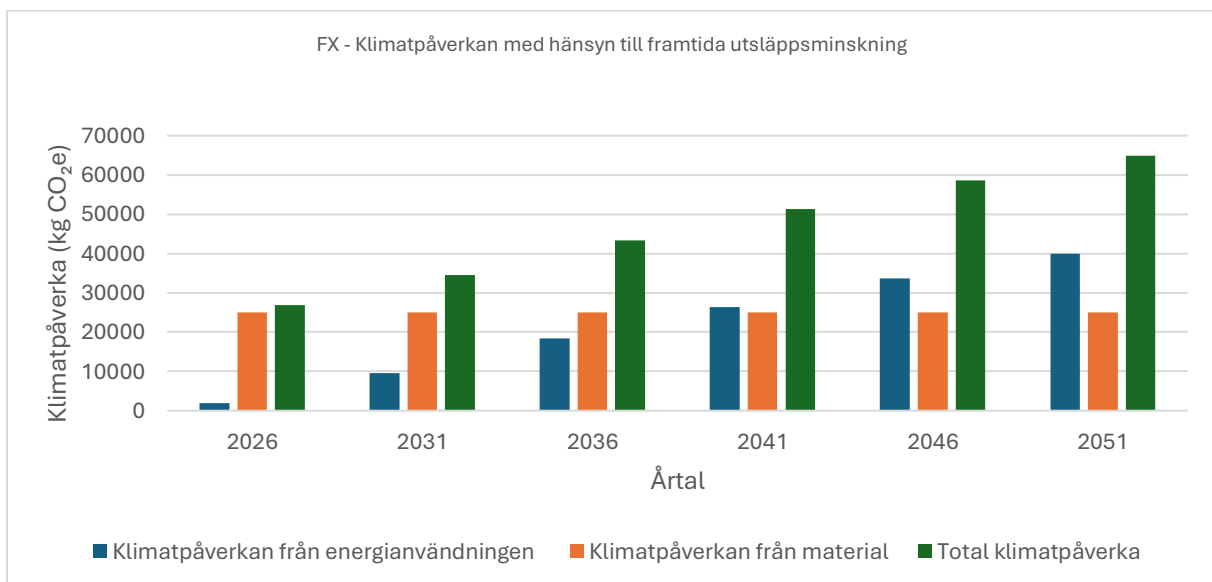
#### 4.4.2 Referensprojekt 2

I detta avsnitt redovisas den totala klimatpåverkan för referensbyggnad 2. Resultaten presenteras enligt samma upplägg som för referensbyggnad 1 och visar klimatpåverkan från

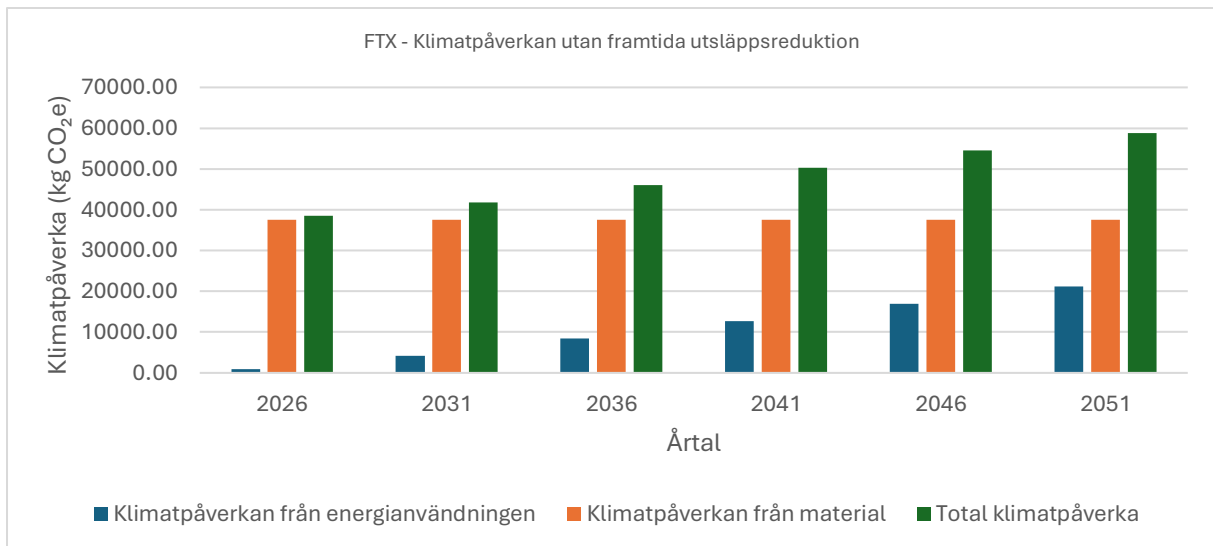
material, ackumulerad energianvändning och total klimatpåverkan för både FTX och FX-systemet.



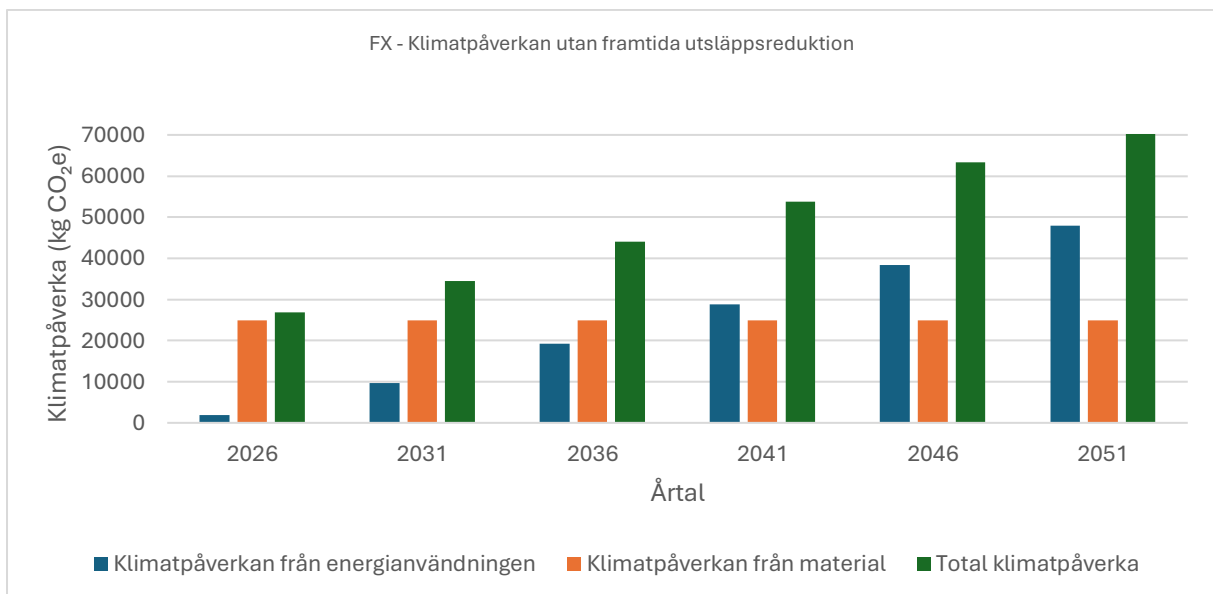
Figur 22: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FTX-systemet med hänsyn till framtida utsläppsminskning under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.



Figur 23: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FX-systemet med hänsyn till framtida utsläppsminskning under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.



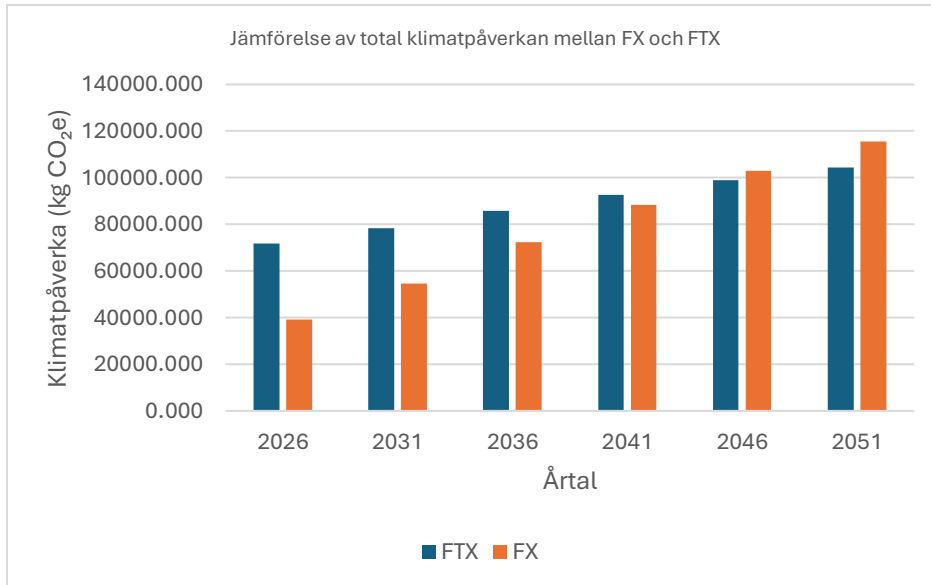
Figur 24: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FTX-systemet utan hänsyn till framtida utsläppsreduktion under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.



Figur 25: Grupperat stapeldiagram som visar den ackumulerade klimatpåverkan för FX-systemet utan hänsyn till framtida utsläppsreduktion under perioden 2026–2051. Figuren redovisar fördelningen mellan klimatpåverkan från material och energianvändning.

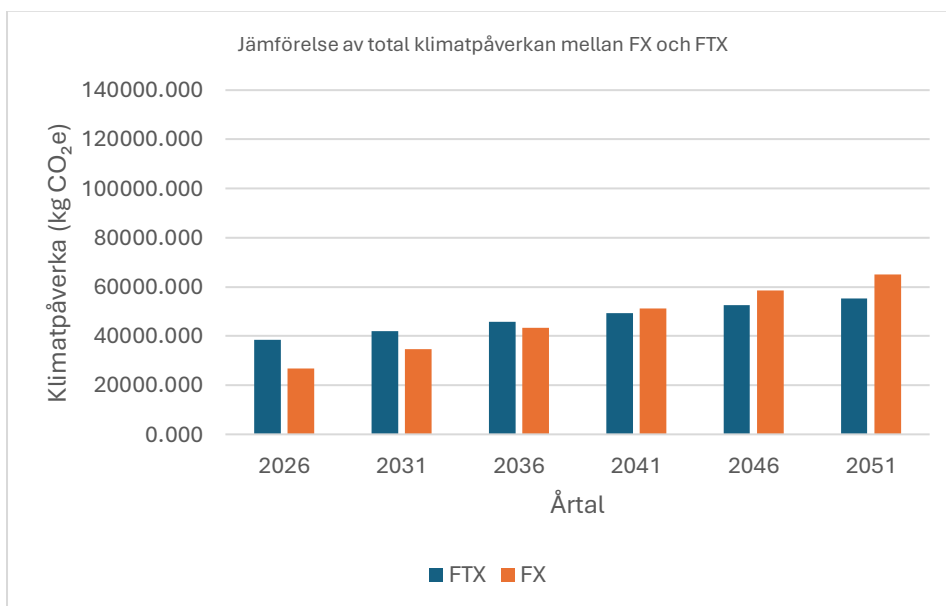
## 4.5 Jämförelse av total klimatpåverkan mellan FX och FTX

### 4.5.1 Referensprojekt 1



Figur 26: Stapeldiagrammet visar den totala ackumulerade klimatpåverkan för FX och FTX-systemen i referensprojekt 1, med hänsyn till framtida utsläppsminskning för elmixen.

### 4.5.2 Referensprojekt 2



Figur 27: Stapeldiagrammet visar den totala ackumulerade klimatpåverkan för FX och FTX-systemen i referensprojekt 1, med hänsyn till framtida utsläppsminskning för elmixen.

# 5 Analys och diskussion

## 5.1 Tolkning av resultat

### 5.1.1 Klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas – jämförelse mellan FX och FTX

Resultaten visar att klimatpåverkan från energianvändning i driftsfas skiljer sig mellan de två systemlösningarna. För båda referensprojekten uppvisar FTX-systemet med bergvärmepump lägre årliga koldioxidutsläpp jämfört med FX-systemet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme. Detta kan kopplas till skillnader i systemens uppbyggnad, värmeåtervinning och hur det återstående värmebehovet täcks.

FTX-systemet återvinner värme direkt i ventilationsaggregatet, vilket innebär att tilluften förvärms innan den tillförs byggnaden. Detta minskar behovet av ytterligare uppvärmning. I FX-systemet sker värmeåtervinningen i stället via en frånluftsvärmepump som drivs med elenergi (Boverket, 2024). Den återvunna värmen används dock inte för att värma tilluften direkt, eftersom tilluften tas in via uteluftsventiler i fasaden. I stället används värmen till byggnadens värmesystem, exempelvis radiatorer och tappvarmvatten. Detta innebär att FX-systemet fortfarande har ett större värmebehov kopplat till inkommande uteluft, vilket leder till ökad energianvändning jämfört med FTX-systemet (Bergqvist, 2018).

De specifika utsläppen per kvadratmeter ligger relativt nära varandra inom respektive systemtyp, men FTX-systemet uppvisar genomgående något lägre värden. Detta indikerar att systemets utformning och koppling till uppvärmningssystemet har en direkt påverkan på klimatpåverkan från energianvändning i driftsfasen.

Skillnaden mellan systemen beror därför inte enbart på ventilationsprincipen, utan även på hur det återstående värmebehovet täcks. FTX-systemet har ett lägre värmebehov efter värmeåtervinningen i ventilationsaggregatet och detta behov täcks huvudsakligen av bergvärmepump. FX-systemet återvinner värme via frånluftsvärmepump, men eftersom systemet fortfarande har ett större värmebehov behöver en del täckas med fjärrvärme. Detta

gör att FX-systemets klimatpåverkan i driftfasen påverkas både av elanvändningen till frånluftsvärmepumpen och av vald emissionsfaktor för fjärrvärme.

Sammanfattningsvis visar analysen att FTX-systemet med bergvärmepump har en lägre klimatpåverkan från energianvändning i driftfasen jämfört med FX-systemet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme. Detta kan främst förklaras av effektivare värmeåtervinning, lägre återstående värmebehov och att uppvärmningsbehovet i FTX-fallet huvudsakligen täcks av bergvärmepump.

### 5.1.2 Klimatpåverkan från material – jämförelse mellan FX och FTX

Resultaten visar att klimatpåverkan från installationsmaterial skiljer sig mellan FX och FTX-systemen i båda referensprojekten. I referensprojekt 1 uppvisade FX-systemet en total klimatpåverkan på 35 317 kg CO<sub>2e</sub> medan FTX-systemet uppvisade 70 148 kg CO<sub>2e</sub>. Detta innebär att klimatpåverkan för FTX-systemet var cirka 99 % högre än för FX-systemet. I referensprojekt 2 uppgick klimatpåverkan för FX-systemet till 24 927 kg CO<sub>2e</sub> medan FTX-systemet uppgick till 37 615 kg CO<sub>2e</sub>. FTX-systemets klimatpåverkan var därmed cirka 51 % högre än FX-systemets.

FTX-systemets högre klimatpåverkan kan främst kopplas till att systemet innehåller fler komponenter och större materialmängder, exempelvis ventilationsaggregat, större kanaldragningar samt tilluftssystem. För FTX-systemen tillkommer även bergvärmesystemets kollektorslang och bioetanol, vilket ytterligare ökar den materialrelaterade klimatpåverkan. FX-systemet har däremot en enklare systemuppbyggnad med färre installationskomponenter, vilket generellt leder till lägre materialrelaterade utsläpp.

Skillnaden mellan referensprojekten varierar dock relativt mycket. Detta kan delvis förklaras av skillnader i beräkningsmetod. I referensprojekt 1 hämtades emissionsfaktorer separat för flera produkter från EPD-blad och BeCos databas, medan BeCos i referensprojekt 2 genomförde klimatberäkningen för majoriteten av installationsprodukterna direkt i programmet. Skillnader i datakällor, systemgränser och antaganden kan därför ha påverkat resultatens jämförbarhet mellan projekten.

### 5.1.3 Sammanställning av total klimatpåverkan

Resultaten i visar att klimatpåverkan från material är konstant över hela tidsperioden för samtliga system. Detta beror på att materialpåverkan uppstår vid installationsskedet och därför redovisas som en engångspost år 2026. Klimatpåverkan från energianvändning är däremot ackumulerad över tid, vilket innebär att värdet för exempelvis år 2051 motsvarar den sammanlagda klimatpåverkan från energianvändningen under perioden 2026–2051.

För FTX-systemen har materialpåverkan fortfarande störst betydelse för den totala klimatpåverkan, men driftenergin får en tydligare påverkan än tidigare. I referensprojekt 1 uppgår materialpåverkan till cirka 70 149 kg CO<sub>2e</sub>, medan den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen år 2051 uppgår till cirka 34 223 kg CO<sub>2e</sub> med framtida utsläppsminskning och cirka 41 068 kg CO<sub>2e</sub> utan framtida utsläppsreduktion. Energianvändningen motsvarar därmed cirka 33–37 % av den totala klimatpåverkan år 2051.

I referensprojekt 2 uppgår materialpåverkan för FTX-systemet till cirka 37 615 kg CO<sub>2e</sub>, medan den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen år 2051 uppgår till cirka 17 685 kg CO<sub>2e</sub> med framtida utsläppsminskning och cirka 21 222 kg CO<sub>2e</sub> utan framtida utsläppsreduktion. Även här dominerar materialpåverkan, men energianvändningen står för cirka 32–36 % av den totala klimatpåverkan år 2051.

För FX-systemen blir energianvändningens betydelse betydligt större över tid. I referensprojekt 1 uppgår materialpåverkan till cirka 35 317 kg CO<sub>2e</sub>, medan den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen år 2051 uppgår till cirka 80 344 kg CO<sub>2e</sub> med framtida utsläppsminskning och cirka 96 412 kg CO<sub>2e</sub> utan framtida utsläppsreduktion. Detta innebär att energianvändningen står för cirka 70–73 % av den totala klimatpåverkan år 2051.

Samma utveckling syns även i referensprojekt 2, men skillnaden är mindre. Där uppgår materialpåverkan till cirka 24 928 kg CO<sub>2e</sub>, medan den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen år 2051 uppgår till cirka 39 986 kg CO<sub>2e</sub> med framtida utsläppsminskning och cirka 47 983 kg CO<sub>2e</sub> utan framtida utsläppsreduktion. I detta fall blir material och energianvändning ungefär lika stora delar av den totala klimatpåverkan som i referensprojekt 1.

Resultaten visar därmed att FTX-systemens klimatpåverkan främst är kopplad till installationsmaterialet, medan FX-systemens klimatpåverkan i större utsträckning påverkas av energianvändningen under driftfasen.

#### 5.1.4 Jämförelse av total klimatpåverkan mellan FX och FTX

Resultaten visar att FTX-systemen har högre total ackumulerad klimatpåverkan än FX-systemen i början av analysperioden i båda referensprojekten. Skillnaden mellan systemen minskar däremot successivt över tid till följd av FX-systemens högre klimatpåverkan från energianvändning i driftfasen.

I referensprojekt 1 uppgår den totala klimatpåverkan för FTX-systemet till cirka 71 791 kg CO<sub>2e</sub> år 2026 och ökar till cirka 104 372 kg CO<sub>2e</sub> år 2051. För FX-systemet ökar den totala klimatpåverkan under samma period från cirka 39 174 kg CO<sub>2e</sub> till cirka 115 661 kg CO<sub>2e</sub>. Resultaten visar att FX-systemet passerar FTX-systemet mellan år 2041 och 2046. År 2041 uppgår FX-systemets totala klimatpåverkan till cirka 88 344 kg CO<sub>2e</sub>, jämfört med cirka 92 736 kg CO<sub>2e</sub> för FTX-systemet. År 2046 har FX-systemet däremot ökat till cirka 102 806 kg CO<sub>2e</sub>, vilket överstiger FTX-systemets cirka 98 896 kg CO<sub>2e</sub>. Skillnaden fortsätter därefter att öka fram till år 2051.

I referensprojekt 2 uppgår FTX-systemets totala klimatpåverkan till cirka 38 464 kg CO<sub>2e</sub> år 2026 och ökar till cirka 55 301 kg CO<sub>2e</sub> år 2051. För FX-systemet ökar den totala klimatpåverkan från cirka 26 847 kg CO<sub>2e</sub> till cirka 64 914 kg CO<sub>2e</sub> under samma period. Även i detta referensprojekt passerar FX-systemet FTX-systemet över tid. År 2041 uppgår FX-systemets totala klimatpåverkan till cirka 51 319 kg CO<sub>2e</sub>, vilket överstiger FTX-systemets cirka 49 288 kg CO<sub>2e</sub>. Skillnaden fortsätter därefter att öka och uppgår år 2051 till cirka 9 600 kg CO<sub>2e</sub> till FX-systemets nackdel.

Resultaten visar därmed att driftenergins betydelse ökar kraftigt över tid, särskilt för FX-systemen där den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen ökar betydligt snabbare än för FTX-systemen. I båda referensprojekten leder detta till att FX-systemens totala klimatpåverkan till slut överstiger FTX-systemens trots den lägre klimatpåverkan från installationsmaterial. Resultaten visar samtidigt att byggnadens storlek, luftflöden och val av

beräkningsmetod påverkar hur snabbt denna utveckling sker och hur stora skillnaderna mellan systemen blir över tid.

## 5.2 Komfort och funktion

Ventilationssystemets utformning påverkar både den termiska komforten och luftkvaliteten i bostäder. Tidigare studier visar att FTX-system generellt ger stabilare ventilation och bättre kontroll över luftomsättningen jämfört med FX-system (Bergqvist, 2018). Eftersom FTX-system använder mekanisk till och frånluft kan tilluftsflödet hållas relativt konstant, vilket bidrar till jämnare luftkvalitet.

För FX-system är ventilationen mer beroende av tryckförhållanden i byggnaden. Bergqvist (2018) visar att variationer i brukarbeteende kan påverka luftflödena betydligt, vilket kan leda till försämrad ventilation i vissa rum. Detta innebär att luftkvaliteten i större utsträckning påverkas av hur byggnaden används jämfört med ett FTX-system. Även den termiska komforten skiljer sig mellan systemen, i FTX-system förvärms tilluften innan den tillförs rummen vilket ger ett jämnare inomhusklimat och minskar risken för drag. I FX-system tas kall uteluft in via tilluftsdon bakom radiatorer, vilket enligt Bergqvist (2018) kan ge lokalt lägre golvtemperaturer och kallras nära tilluftsdonen. Radiatorerna i FX-system behöver dessutom dimensioneras större eftersom de både ska täcka byggnadens värmeförluster och värma inkommande ventilationsluft.

Sammantaget indikerar tidigare forskning att FTX-system ger bättre förutsättningar för stabil luftkvalitet och hög termisk komfort, medan FX-system är mer känsliga för variationer i användarbeteende och tryckförhållanden.

## 5.3 Inverkan av COP på energibehovet

I detta avsnitt analyseras hur värmepumpens prestanda påverkar energibehovet. För att undersöka detta har tre olika COP-värden använts för frånluftsvärmepumpen i FX-systemet samt för bergvärmepumpen i FTX-systemet. Syftet är att studera hur variationer i COP påverkar energianvändningen och därmed även den resulterande klimatpåverkan.

**COP analys****(Referensprojekt 1)**

FX (FVP)	El till VP (78% av behov) (kWh/år)	Fläktel (kWh/år)	Total el (kWh/år)	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2026	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2046
4.4	4489.79	883	5372.79	198.79	132.53
3.5	5644.30	883	6527.31	241.51	161.01
3	6585.02	883	7468.03	276.32	184.21
FTX (berg VP)	El till VP (kWh/år)	Fläktel (kWh/år)	Total el (kWh/år)	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2026	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2046
3,5	1148,14	2 192	3340,14	123,59	82,39
3,1	1296,29	2 192	3488,29	129,07	86,04
2,5	1607,40	2 192	3799,40	140,58	93,72

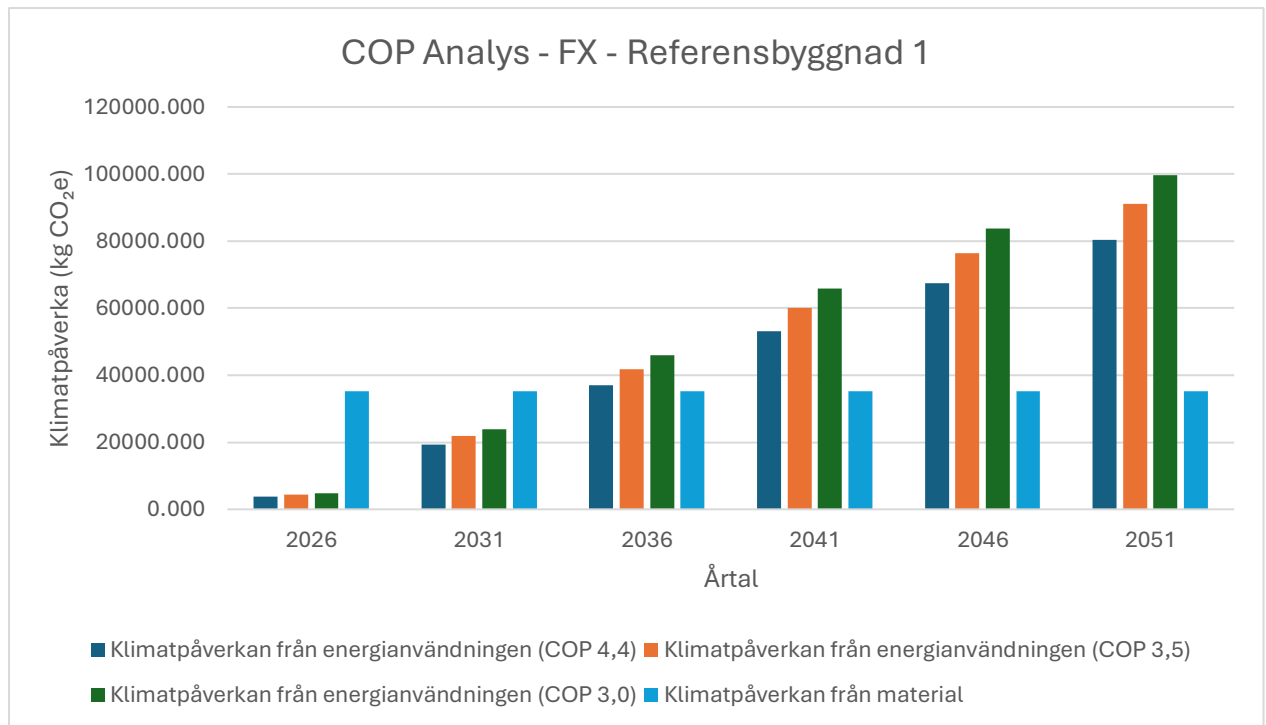
Tabell 24: COP analys (Referensprojekt 1)

**COP analys****(Referensprojekt 2)**

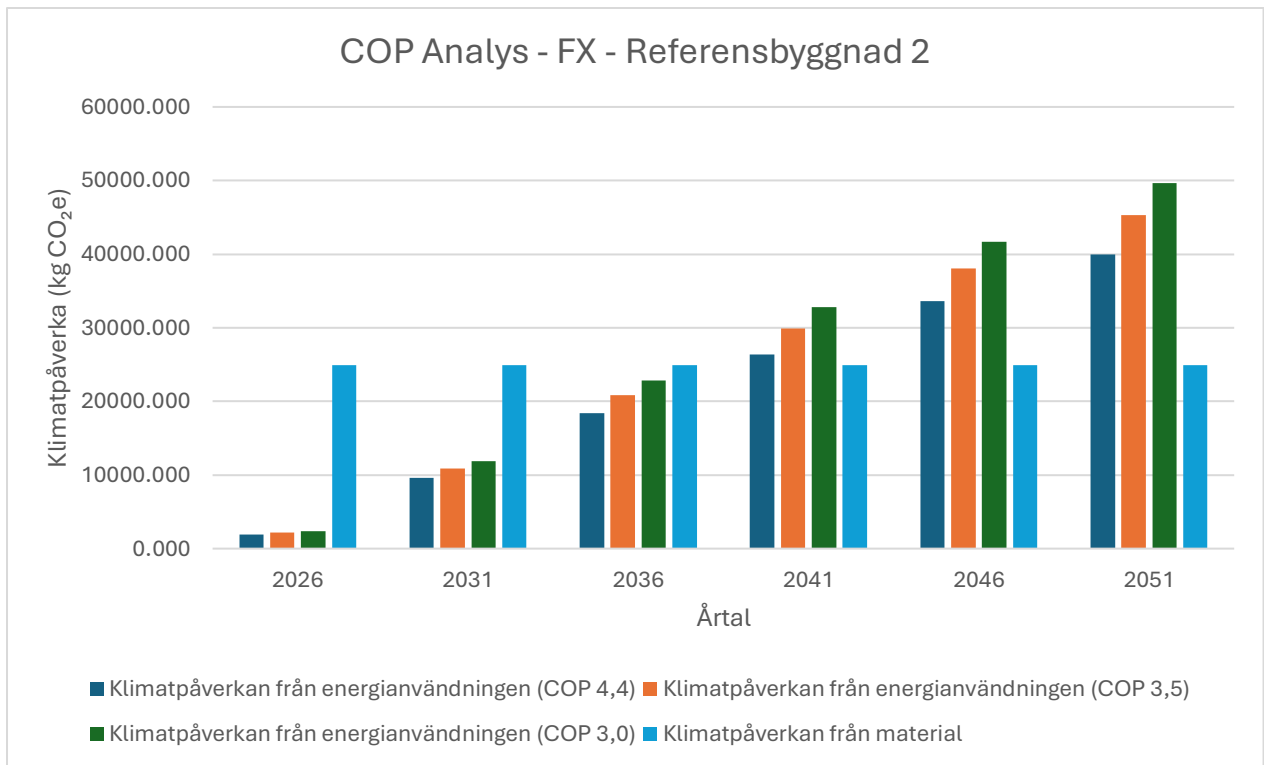
FX (FVP)	El till VP (78% av behov) (kWh/år)	Fläktel (kWh/år )	Total el (kWh/år )	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2026	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2046
4.4	5362.85	1055	6417.56	237.45	158.30
3.5	6741.87	1055	7796.58	288.47	192.32
3	7865.52	1055	8920.22	330.05	220.03
FTX (berg VP)	El till VP (kWh/år)	Fläktel (kWh/år )	Total el (kWh/år )	CO <sub>2</sub> från elanvändning 2026	CO <sub>2</sub> från elanvändnin g 2046
3,5	1529,50	2580	4109,50	152,05	101,37
3,1	1726,85	2580	4306,85	159,35	106,24
2,5	2141,30	2580	4721,30	174,69	116,46

Tabell 25: COP analys (Referensprojekt 2)

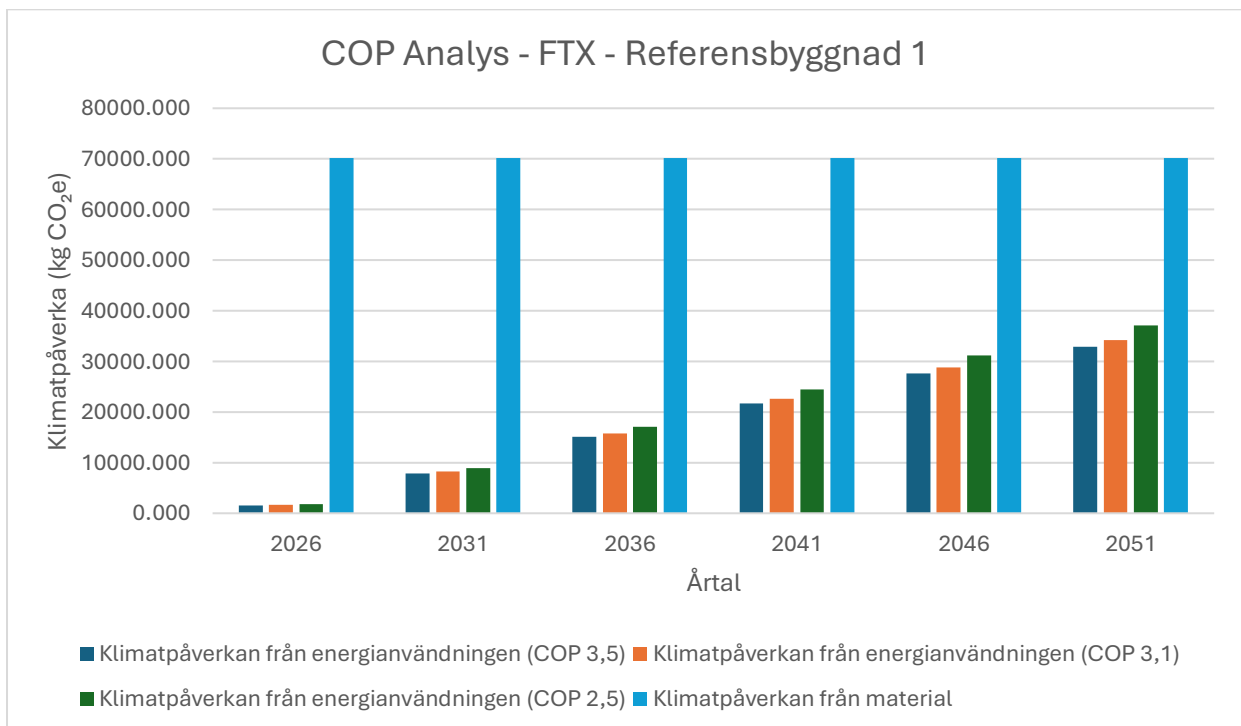
Tabellen visar hur olika COP värden påverkar klimatpåverkan. Samtidigt framgår att COP inte påverkar tidsutvecklingen då klimatpåverkan minskar med en likartad procentuell förändring över tid oavsett valt COP. Däremot påverkar COP den absoluta nivån där högre COP ger genomgående lägre klimatpåverkan.



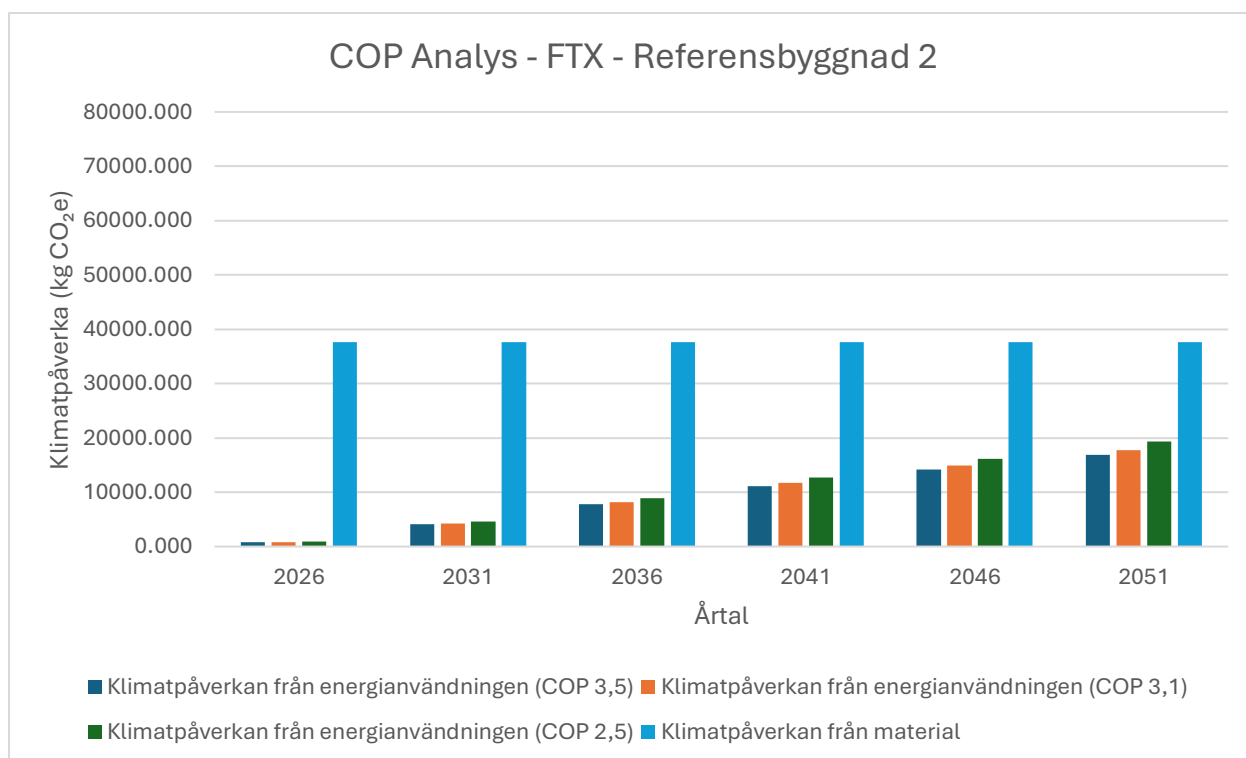
Figur 28: Stapeldiagrammet visar den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen för olika COP-värden i FX-systemet för referensbyggnad 1. Materialens klimatpåverkan visas som referens.



Figur 29: Stapeldiagrammet visar den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen för olika COP-värden i FTX-systemet för referensbyggnad 1. Materialens klimatpåverkan visas som referens.



Figur 30: Stapeldiagrammet visar den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen för olika COP-värden i FTX-systemet för referensbyggnad 2. Materialens klimatpåverkan visas som referens.



Figur 31: Stapeldiagrammet visar den ackumulerade klimatpåverkan från energianvändningen för olika COP-värden i FTX-systemet för referensbyggnad 2. Materialens klimatpåverkan visas som referens.

Analysen visar att högre COP-värden ger lägre energianvändning och därmed lägre klimatpåverkan från driften. Skillnaden mellan de olika COP-värdena kvarstår över hela analysperioden, men klimatpåverkan för samtliga alternativ ökar i ungefär samma takt när den ackumuleras över tid.

För FX-systemet är COP-värdet särskilt betydelsefullt eftersom värmepumpens prestanda har stor påverkan på energibehovet. Resultaten visar att ett högre COP ger en tydlig minskning av den ackumulerade klimatpåverkan jämfört med lägre COP-värden.

För FTX-systemet är skillnaderna mellan de olika COP-värdena mindre än för FX-systemet. Detta beror på att värmeåtervinningen redan reducerar byggnadens energibehov, vilket gör att värmepumpens verkningsgrad får något mindre genomslag på den totala klimatpåverkan.

## 5.4 Elmixens inverkan på klimatpåverkan

I detta avsnitt analyseras hur valet av elmix påverkar den beräknade klimatpåverkan. Två olika emissionsfaktorer för el har använts, svensk elmix och nordisk elmix. Syftet är att undersöka hur skillnader i elproduktionens klimatpåverkan påverkar resultaten.

Val av elmix analys (Referensprojekt 1)					
		2026	2046		
FTX (COP 3,1)	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	Jämförelse (Nordisk/Svensk elmix)	Ökning i %
Svensk elmix	0,037	123.59	82.39	Nordisk / Svensk (2026)	244,32%
Nordisk elmix	0,0904	301.95	201.30	Nordisk / Svensk (2046)	244,32%
FX(COP 4,4)					
Svensk elmix	0,037	198.79	132.53	Nordisk / Svensk (2026)	244,32%
Nordisk elmix	0,0904	485.70	323.80	Nordisk / Svensk (2046)	244,32%

Tabell 26: Val av elmix analys (Referensprojekt 1)

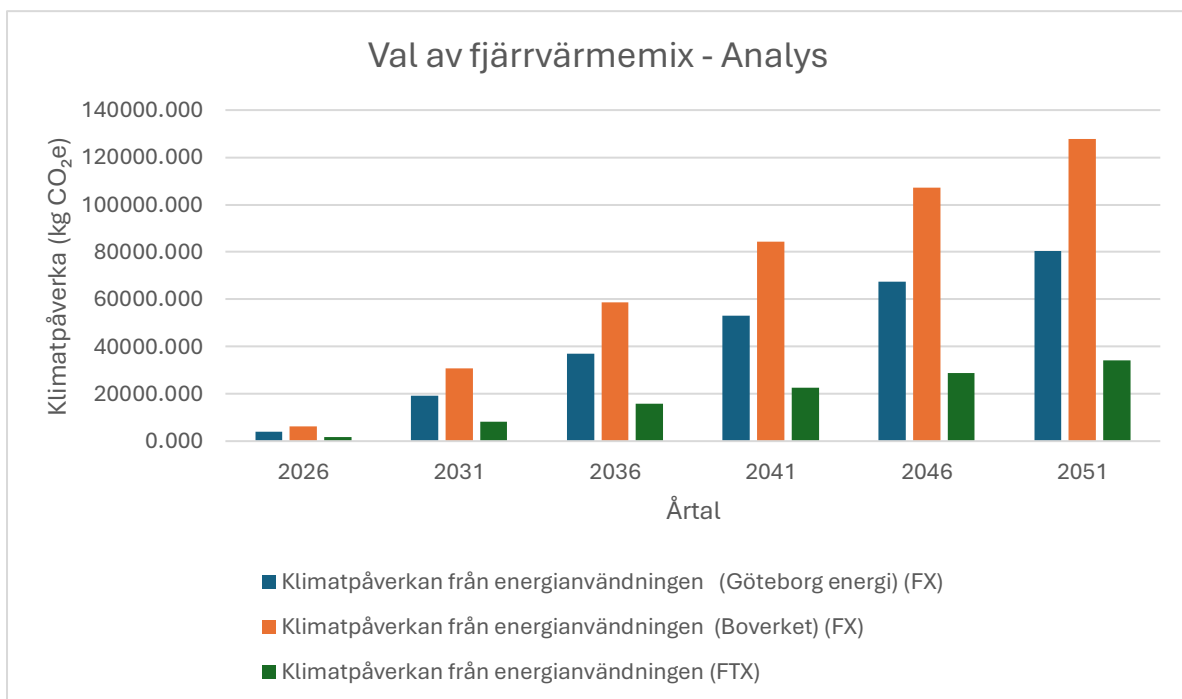
Val av elmix analys (Referensprojekt 2)					
		2026	2046		
FTX (COP 3,1)	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> e/år)	Jämförelse (Nordisk/Svensk elmix)	Ökning i %
Svensk elmix	0,037	152.05	101.37	Nordisk / Svensk (2026)	244,32%
Nordisk elmix	0,0904	371.50	247.67	Nordisk / Svensk (2046)	244,32%
FX(COP 4,4)					
Svensk elmix	0,037	237.45	158.30	Nordisk / Svensk (2026)	244,32%
Nordisk elmix	0,0904	580.15	386.76	Nordisk / Svensk (2046)	244,32%

Tabell 27: Val av elmix analys (Referensprojekt 2)

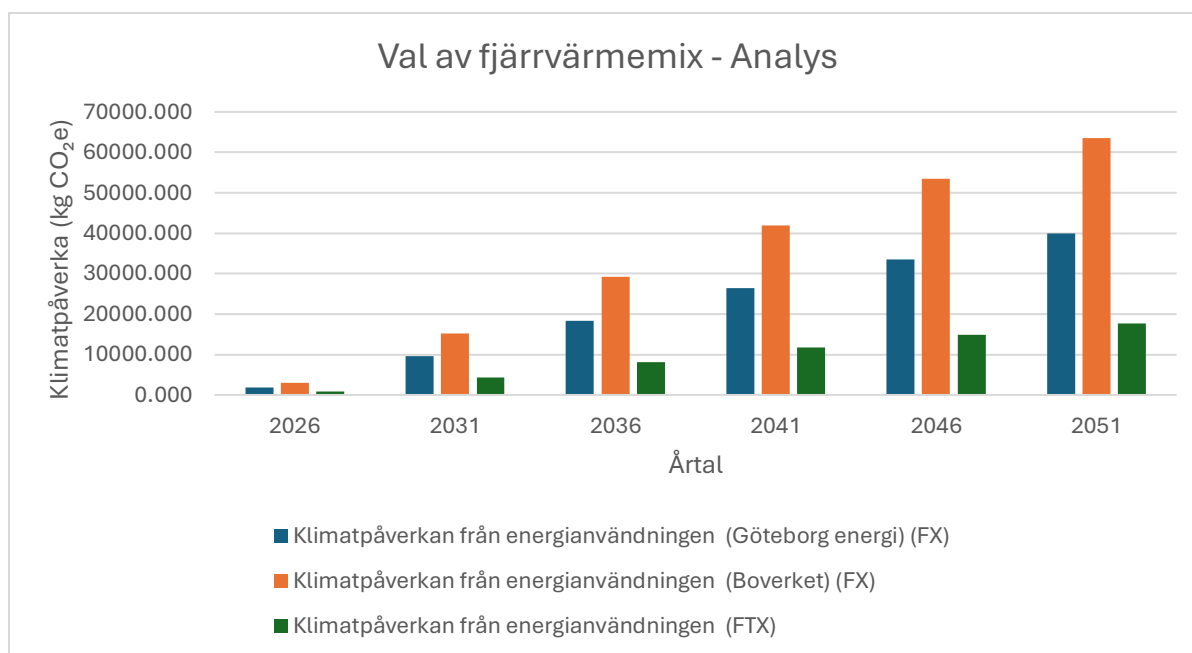
Tabellen visar hur olika elmixar påverkar klimatpåverkan. Som i COP analysen framgår det att tidsutvecklingen är densamma oavsett elmix, då klimatpåverkan minskar med en likartad procentuell förändring över tid. Däremot påverkar elmixen den absoluta nivån där nordisk elmix ger genomgående högre klimatpåverkan än svensk elmix med en ökning på cirka 244,32 %. Även om den procentuella skillnaden är densamma blir den absoluta påverkan större i FX-systemet eftersom det har en högre energianvändning kopplad till el.

## 5.5 Påverkan från val av fjärrvärmemix

Eftersom FX-systemet använder fjärrvärme för att täcka den del av värmebehovet som frånluftsvärmepumpen inte klarar av, blir valet av fjärrvärmens emissionsfaktor särskilt viktigt. FTX-systemet påverkas inte av fjärrvärmemixen på samma sätt, eftersom det återstående värmebehovet huvudsakligen täcks av bergvärmepump och elspets.



Figur 32: Grupperat stapeldiagram som visar skillnaden i klimatpåverkan från energianvändningen mellan FTX och FX-system vid användning av olika emissionsfaktorer för fjärrvärme. (Referensbyggnad 1)



Figur 33: Grupperat stapeldiagram som visar skillnaden i klimatpåverkan från energianvändningen mellan FTX och FX-system vid användning av olika emissionsfaktorer för fjärrvärme. (Referensbyggnad 2)

Stapeldiagrammen visar en känslighetsanalys av hur valet av emissionsfaktor för fjärrvärme påverkar den beräknade klimatpåverkan från energianvändningen. I studien används Göteborg Energis emissionsfaktor som huvudscenario, medan Boverkets generella emissionsfaktor används som jämförelse. Resultaten visar att FX-systemets klimatpåverkan blir betydligt högre när Boverkets emissionsfaktor används jämfört med Göteborg Energis emissionsfaktor. Skillnaden ökar successivt över analysperioden eftersom klimatpåverkan ackumuleras över tid. Diagrammen visar även att FTX-systemet har lägre klimatpåverkan från energianvändningen än FX-systemet oavsett vilken emissionsfaktor som används för fjärrvärmens. Analysen visar därmed att resultatet är känsligt för valet av emissionsfaktor, samtidigt som den övergripande slutsatsen om FTX-systemets lägre klimatpåverkan kvarstår.

## 5.6 Systemgränser och påverkan på resultatet

Valet av systemgränser har stor betydelse för resultaten i en livscykelanalys, eftersom det avgör vilka komponenter och processer som inkluderas i beräkningarna. I denna studie har klimatpåverkan från bergvärmepumpen och tillhörande komponenter inkluderats i FTX-fallet. Under arbetets gång har det dock diskuterats om dessa komponenter bör ingå i jämförelsen,

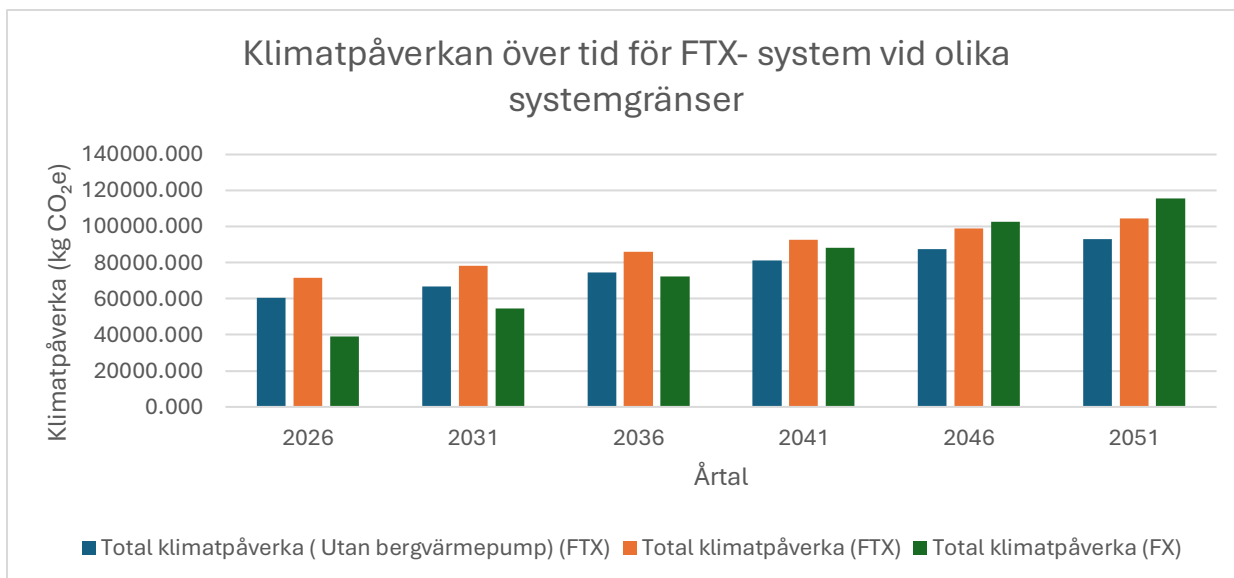
eftersom bergvärmepumpen utgör en del av byggnadens värmeförsörjning snarare än ventilationssystemet.

På motsvarande sätt har klimatpåverkan från fjärrvärmecentralens värmväxlare inte inkluderats i FX-fallet. Värmväxlaren är, liksom bergvärmepumpen, en del av byggnadens värmeförsörjningssystem och inte direkt kopplad till valet av ventilationssystem. Om klimatpåverkan från värmväxlaren hade inkluderats skulle resultatet för FX-fallet ha påverkats, vilket visar att valet av systemgräns kan ha betydelse för jämförelsens utfall.

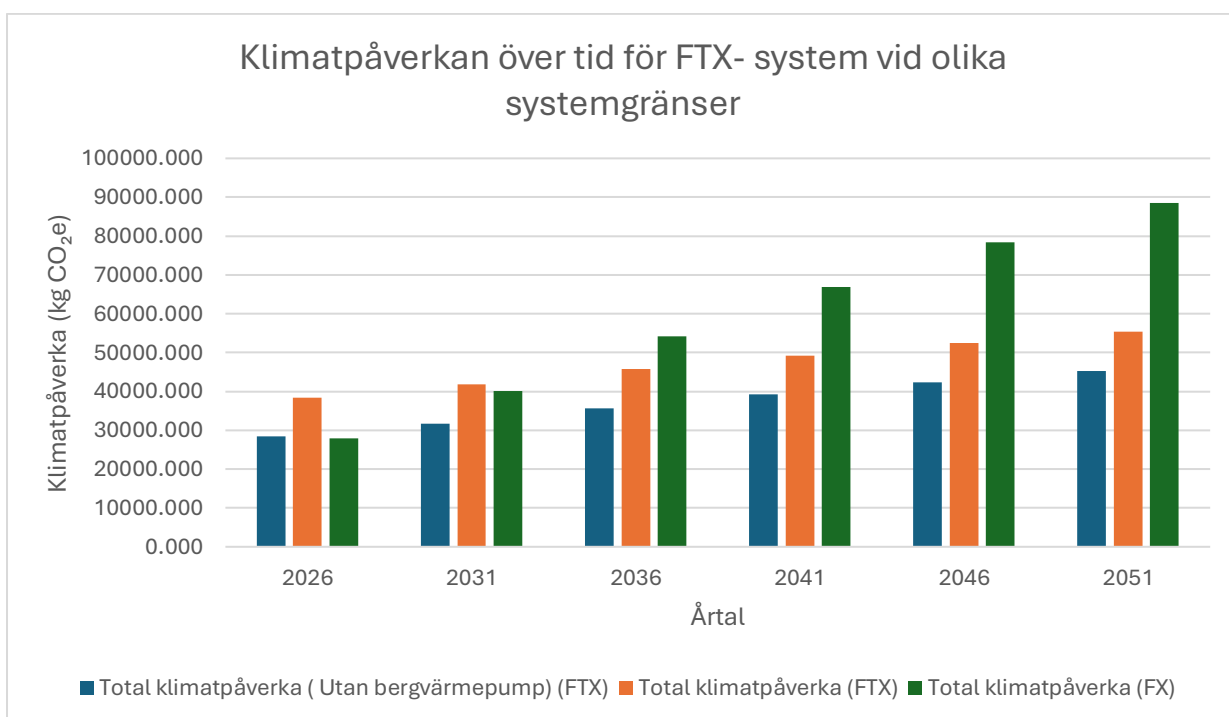
För att belysa hur valet av systemgräns påverkar resultaten presenteras i detta avsnitt en alternativ beräkning där bergvärmepumpens materialrelaterade klimatpåverkan exkluderas. Syftet är inte att ersätta huvudresultatet utan att visa hur resultaten förändras beroende på vilka komponenter som inkluderas i analysen. Detta ger en ökad förståelse för osäkerheter kopplade till systemavgränsningen och hur dessa kan påverka jämförelsen mellan FTX- och FX-system.

Diagrammen nedan visar hur den totala klimatpåverkan förändras när bergvärmepumpen och dess tillhörande komponenter exkluderas från FTX-fallet. Resultaten för "FTX utan bergvärmepump" har tagits fram genom att subtrahera klimatpåverkan från bergvärmepumpen, borrhål, kollektorslang och övriga tillhörande komponenter från den totala klimatpåverkan för FTX-systemet. FX-systemet redovisas som jämförelse för att illustrera hur valet av systemgräns påverkar skillnaden mellan systemen.

Klimatpåverkan från bergvärmepumpen och dess tillhörande komponenter redovisas i kapitel 4.3.2 för referensprojekt 2. För referensprojekt 1 återfinns motsvarande klimatpåverkan i bilaga 2.



Figur 34: Total klimatpåverkan för FTX vid olika systemgränser samt FX som jämförelse för referensprojekt 1.



Figur 35: Total klimatpåverkan för FTX vid olika systemgränser samt FX som jämförelse för referensprojekt 2.

Resultaten visar att exkluderingen av bergvärmepumpen och dess tillhörande komponenter minskar den totala klimatpåverkan för FTX-systemet i båda referensprojekten. För referensprojekt 1 minskar skillnaden mellan FTX och FX, vilket innebär att systemen får mer likvärdiga resultat än i huvudberäkningen. Trots detta kvarstår samma övergripande rangordning mellan systemen.

För referensprojekt 2 blir påverkan mer tydlig. När bergvärmepumpens materialpåverkan exkluderas får FTX-systemet en lägre total klimatpåverkan än i huvudberäkningen under hela

den studerade perioden. Skillnaden mellan FTX och FX ökar därmed jämfört med huvudresultatet, vilket visar att valet av systemgräns har stor betydelse för jämförelsens utfall.

Sammantaget visar resultaten att inkluderingen av bergvärmepumpen påverkar den beräknade klimatpåverkan för FTX-systemet i relativt stor utsträckning. Detta illustrerar hur olika systemavgränsningar kan påverka slutsatserna i en livscykelanalys, även om de övergripande trenderna över tid i huvudsak kvarstår.

# 6 Slutsatser

## 6.1 Jämförelse mellan FX och FTX-system

Studien visar att resultaten skiljer sig mellan referensprojekten, men att båda systemlösningarna har tydliga för och nackdelar ur ett klimatperspektiv. FTX med bergvärmepump ger högre klimatpåverkan från installationsmaterial, främst på grund av större kanaldragningar, ventilationsaggregat och komponenter kopplade till bergvärmesystemet. FX med frånluftsvärmepump och fjärrvärme ger däremot lägre klimatpåverkan från material, men högre klimatpåverkan från energianvändning i driftfasen.

FTX-systemens högre initiala klimatpåverkan beror främst på större mängd installationsmaterial. FX-systemen har däremot lägre klimatpåverkan från installationsmaterial men högre energianvändning, vilket gör att klimatpåverkan från driftfasen ökar betydligt snabbare över tid.

I referensprojekt 1 ökar FX-systemets totala klimatpåverkan så pass mycket att systemet passerar FTX-systemet mellan år 2041 och 2046. År 2051 uppgår den totala klimatpåverkan för FX-systemet till cirka 115 661 kg CO<sub>2e</sub> jämfört med cirka 104 372 kg CO<sub>2e</sub> för FTX-systemet. Resultaten visar därmed att driftenergin får stor betydelse över tid och att FX-systemets högre energianvändning kan leda till högre total klimatpåverkan än FTX-systemet.

Även i referensprojekt 2 passerar FX-systemet FTX-systemet under den studerade perioden. År 2041 uppgår FX-systemets totala klimatpåverkan till cirka 51 319 kg CO<sub>2e</sub>, jämfört med cirka 49 288 kg CO<sub>2e</sub> för FTX-systemet. År 2051 har skillnaden ökat ytterligare, då FX-systemet uppgår till cirka 64 914 kg CO<sub>2e</sub> medan FTX-systemet uppgår till cirka 55 301 kg CO<sub>2e</sub>. Resultaten visar därmed att den högre klimatpåverkan från energianvändningen successivt får större betydelse även i detta referensprojekt.

Studien visar därför att klimatpåverkan från installationsmaterial har stor betydelse i början av byggnadens livslängd, medan driftenergin betydelse ökar successivt över tid. I båda referensprojekten leder detta till att FX-systemets totala klimatpåverkan till slut överstiger FTX-systemets, trots att FX-systemen har lägre klimatpåverkan från installationsmaterial.

Resultaten tyder även på att byggnadens storlek, luftflöden och metodval kan påverka hur snabbt denna utveckling sker och hur stora skillnaderna mellan systemen blir över tid.

## 6.2 Metod och osäkerheter

Studien bygger på flera antaganden och förenklingar som påverkar resultatens noggrannhet. Klimatberäkningarna baseras delvis på generiska klimatdata och delvis på EPD:er, vilket innebär att resultaten påverkas av tillgängliga produktdata och val av databaser. För vissa komponenter har uppskattade värden använts då fullständig klimatdata saknades.

Vidare bygger beräkningarna på konstanta ventilationsflöden och teoretiska driftförhållanden. I verkligheten kan exempelvis brukarbeteende, öppna fönster och variationer i drift påverka energianvändningen och därmed klimatpåverkan under driftfasen.

Även antaganden kring framtida utsläppsminskning för elmixen innebär en osäkerhet eftersom framtida energisystem och klimatfaktorer är svåra att förutse. Resultaten bör därför främst ses som en jämförande analys mellan systemen snarare än exakta uppskattningar av framtida klimatpåverkan.

Skillnaderna mellan referensprojekten påverkas även av byggnadernas olika storlek, luftflöden och systemutformning, vilket kan ge stora skillnader i energianvändning och total klimatpåverkan över tid.

Trots dessa osäkerheter bedöms studien ge en representativ bild av hur klimatpåverkan skiljer sig mellan FX och FTX-system i flerbostadshus.

## 6.3 Fortsatt arbete

För fortsatt arbete rekommenderas att studien kompletteras med verkliga driftdata från byggnader med FX och FTX-system för att minska osäkerheter kopplade till antaganden och schablonvärden. Det hade även varit intressant att undersöka klimatpåverkan under fler delar av byggnadens livslängd, exempelvis underhåll, utbyte av komponenter och rivning av systemen.

Vidare hade det varit relevant att undersöka systemen över ännu längre tidsperioder för att analysera hur driftenergins betydelse utvecklas över byggnadens fulla livslängd och hur detta påverkar den totala klimatpåverkan för FX och FTX-system.

Det hade även varit relevant att undersöka hur valet av produkter och tillverkare påverkar resultaten, eftersom olika produkter kan ha varierande klimatpåverkan beroende på materialval, tillverkningsprocesser och transport.

Slutligen hade studien kunnat kompletteras med ekonomiska analyser samt undersökningar av hur systemen påverkar inneklimat, termisk komfort och luftkvalitet i flerbostadshus.

## 7. Bilagor

Installation material (FTX)	Typ	Dim. (mm)	Män gd	En het	Emissionstal kg CO <sub>2</sub> e/st	Enhet	Total CO <sub>2</sub> i kg CO <sub>2</sub> e
Tilluftdon	KTS-100-0-C	100	19	st	3,52	kg CO <sub>2</sub> e/st	66,88
Frånluftdon	GPDB-100-03-C	100	8	st	2,22	kg CO <sub>2</sub> e/st	17,76
Frånluftdon	GPDB-125-03-C	125	7	st	3,26	kg CO <sub>2</sub> e/st	22,82
Till och frånluftkanaler	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	100	35,2	m	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	91,872
Vertikala Till och frånluftkanaler	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	1462,56	m	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	3817,2816
Horisentella Till och frånluftkanaler	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	45,3	m	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	118,233
Böj 45°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	10	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	14,6
Böj 45°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	3	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	4,38
Böj 45°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	1	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,46
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	100	3	st	1,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,09
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	100	24	st	1,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	24,72
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	11	st	1,59	kg CO <sub>2</sub> e/st	17,49
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	160	3	st	2,19	kg CO <sub>2</sub> e/st	6,57
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	5	st	1,59	kg CO <sub>2</sub> e/st	7,95
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125	2	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	2,92
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125/100	7	st	1,23	kg CO <sub>2</sub> e/st	8,61
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125	6	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	8,76
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	160/160/125	2	st	3,52	kg CO <sub>2</sub> e/st	7,04
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	160/160	3	st	2,09	kg CO <sub>2</sub> e/st	6,27
Reducer/Expander	RCU reducer, förzinkat stål	125/100	21	st	0,5312	kg CO <sub>2</sub> e/st	11,1552
Reducer/Expander	RCU reducer, förzinkat stål	160/100	5	st	3,32	kg CO <sub>2</sub> e/st	16,6
Reducer/Expander	RCU reducer, förzinkat stål	160/125	2	st	3,32	kg CO <sub>2</sub> e/st	6,64
Ljuddämpare	CLA-A 125-500	125	7	st	5,88	kg CO <sub>2</sub> e/st	41,16
Isolering kanal	Utv. kondensisolering 30 mm	100	2,8	m <sup>2</sup>	1,584	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	4,4352

Isolering plugg	Utv. kondensisolering 30 mm	100	0,204	m <sup>2</sup>	1,584	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,323136
-----------------	-----------------------------	-----	-------	----------------	-------	-------------------------------------	----------

Bilaga 1: Uträkning av klimatpåverkan från installation material för representerande våningsplan för FTX fallet i Referensbyggnad 1

Installation material (FTX)	Typ	Dim. (mm)	Mängd	Mängdenhet	Total vikt per enhet (kg/st)	Emissionstal	Emissionenhet	Total CO <sub>2</sub> e (kg CO <sub>2</sub> e)
Aggregat	GOLD/SILVER RX	35	1	st	-	3880	kg CO <sub>2</sub> e/st	3880
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	100	9,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	25,06
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	18,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	49,33
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	160	3,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	10,18
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	200	0,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,57
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	250	7,4	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	19,31
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	315	12,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	32,89
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	400	5,8	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	15,14
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	300x300	1,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	4,96
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	140x400	0,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,57
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	140x600	3,3	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	8,61
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	140x800	0,5	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,31
Tilluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	8,4	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	21,92
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	100	9,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	25,06
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	18,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	49,33
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	160	3,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	10,18
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	200	0,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,57
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	250	7,4	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	19,31
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	315	12,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	32,89
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	400	5,8	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	15,14
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	300x300	1,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	4,96
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	140x400	0,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,57
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	140x600	3,3	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	8,61
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	140x800	0,5	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,31

Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	8,4	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	21,92
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	315/315/125	1	st	-	5,84	kg CO <sub>2</sub> e/st	5,84
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C4	400/400/315	1	st	-	14,67	kg CO <sub>2</sub> e/st	14,67
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C5	125/125/100	1	st	-	1,23	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,23
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C6	125/125	2	st	-	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	2,92
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C7	160/160	1	st	-	2,09	kg CO <sub>2</sub> e/st	2,09
Böj 45	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	315	2	st	-	8,632	kg CO <sub>2</sub> e/st	17,26
Böj 45	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	250	1	st	-	3,486	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,49
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	100	8	st	-	1,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	8,24
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	10	st	-	1,59	kg CO <sub>2</sub> e/st	15,90
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	160	7	st	-	2,19	kg CO <sub>2</sub> e/st	15,33
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	250	5	st	-	5,88	kg CO <sub>2</sub> e/st	29,40
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	315	3	st	-	9,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	28,38
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	400	4	st	-	15,11	kg CO <sub>2</sub> e/st	60,44
Outlet	OUTR, Galvaniserad stålplåt	315	1	st	-	1,66	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,66
Outlet	OUTR, Galvaniserad stålplåt	400	1	st	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,98
Reducer/Expander	RCU reducer, förzinkat stål	125/100	2	st	-	0,53	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,06
Reducer/Expander	RCU reducer, förzinkat stål	400/315	1	st	-	3,69	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,69
Frånluftsdon	BRYH-300-300-0	300x300	2	st	-	6,78	kg CO <sub>2</sub> e/st	13,56
Frånluftsdon	BRYH-1400-800-0	1400x800	1	st	-	84,37	kg CO <sub>2</sub> e/st	84,37
Spjäll (Flow damper)	IRIS-125	125	3	st	-	1,86	kg CO <sub>2</sub> e/st	5,58
Spjäll (Flow damper)	BRJB-1-1400-400-1	1400x400	1	st	-	82,67	kg CO <sub>2</sub> e/st	82,67
Spjäll (Flow damper)	BRJB-1-1400-600-1	1400x600	1	st	-	97,98	kg CO <sub>2</sub> e/st	97,98
Ljuddämpare	BDER-30-012-060	125	3	st	-	12,92	kg CO <sub>2</sub> e/st	38,76
Ljuddämpare	BDER-30-025-060	250	1	st	-	22,39	kg CO <sub>2</sub> e/st	22,39
Ljuddämpare	LENTO a-060-600-1400-600	1400x600	2	st	-	236,9	kg CO <sub>2</sub> e/st	473,80
Brandspjäll	RABC-160	160	2	st	-	9,952	kg CO <sub>2</sub> e/st	19,90
Box (plenum)	KK-C Galvaniserad stålplåt	1000x595x1342	2	st	-	84,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	168,06
Box (plenum)	KK-C Galvaniserad stålplåt	1393x424x500	2	st	-	46,05	kg CO <sub>2</sub> e/st	92,10

Box (plenum)	KK-C Galvaniserad stålplåt	1500x500x500	4	st	-	53,75	kg CO <sub>2</sub> e/st	215,00
Box (plenum)	KK-C Galvaniserad stålplåt	3400x1700x1100	2	st	-	349,87	kg CO <sub>2</sub> e/st	699,74
Kanal brandisolering	EI60	100	4,7	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/st	45,54
Kanal brandisolering	EI60	125	5,2	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/st	50,39
Kanal brandisolering	EI60	160	3,8	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	36,82
Kanal brandisolering	EI30	315	16,2	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	64,48
Kanal brandisolering	EI30	400	9,1	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	36,22
Böj 45° brandisolering	EI30	315	0,3	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,19
Böj 45° brandisolering	EI30	315	0,3	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,19
Böj 90° brandisolering	EI60	100	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,97
Böj 90° brandisolering	EI60	125	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,97
Böj 90° brandisolering	EI60	100	0,2	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,94
Böj 90° brandisolering	EI60	125	0,3	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	2,91
Böj 90° brandisolering	EI60	160	1,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	10,66
Böj 90° brandisolering	EI30	315	1,2	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	4,78
Böj 90° brandisolering	EI30	400	4	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	15,92
T-stycke brandisolering	EI30	315/315/125	0,2	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,80
T-stycke brandisolering	EI30	400/400/315	0,5	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,99
T-stycke brandisolering	EI60	125/125/100	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,97
T-stycke brandisolering	EI60	160/160	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,97
Övergång brandisolering	EI30	400/315	0,3	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,19
Flödesdon brandisolering	EI60	125	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,97
Ljuddämpare brandisolering	EI60	125	0,2	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,94
Brandspjäll brandisolering	EI60	160	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,97
Bergvärmepump	Mega XL 2020 HGW	Mega XL	1	st	487	6818	kg CO <sub>2</sub> e/st	6818
Kollektorslang bergvärme	MuoviTech PE100 SDR17		45	4200	m	1386	kg CO <sub>2</sub> e/kg	3021,48
Slang fylld med 29% Bioetanol	E-THERM KBS AGRO		45	1440	kg	-	kg CO <sub>2</sub> e/m	1584

Bilaga 2: Uträkning av klimatpåverkan från installation material för vinden/aggregatrummet för FTX fallet i Referensbyggnad 1

Installation material (FX)	Typ	Dim. (mm)	Mängd	Enhet	Emissionstal	Enhet	Total CO2 i kg CO <sub>2</sub> e
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	100	14,3	m	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	37,323
Frånluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilationssystem	125	731,28	m	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1908,6408
Böj 45°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	14	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	20,44
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	100	9	st	1,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	9,27
Böj 90°	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	9	st	1,59	kg CO <sub>2</sub> e/st	14,31
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125	5	st	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	7,3
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125/100	3	st	1,23	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,69
Skarvdel	Joint part	100	26	st	0,3984	kg CO <sub>2</sub> e/st	10,3584
Reducer/Expander	RCU reducer, förzinkat stål	125/100	5	st	0,5312	kg CO <sub>2</sub> e/st	2,656
Plugg	Plug	100	52	st	0,3652	kg CO <sub>2</sub> e/st	18,9904
Uteluftsdon	YGAV 100	100	26	st	0,028	kg CO <sub>2</sub> e/st	0,728
Frånluftsdon	GPDB 100 03 C	100	8	st	2,22	kg CO <sub>2</sub> e/st	17,76
Frånluftsdon	GPDB 125 03 C	125	7	st	3,26	kg CO <sub>2</sub> e/st	22,82
Ljuddämpare	CLA A 125 500	125	7	st	5,88	kg CO <sub>2</sub> e/st	41,16
Box (plenum)	KK-C Galvaniserad stålplåt	445x50x435	26	st	3,01	kg CO <sub>2</sub> e/st	78,26
Isolering kanal	Utv. kondensisolering 30 mm	100	2,8	m <sup>2</sup>	1,584	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	4,4352
Isolering plugg	Utv. kondensisolering 30 mm	100	0,204	m <sup>2</sup>	1,584	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,323136

Bilaga 3: Uträkning av klimatpåverkan från installation material för ett våningsplan för FX fallet i Referensbyggnad 1.

Installation material (FX)	Typ	Dim. (mm)	Mängd	Mängdenhet	Vikt per enhet (kg/st)	Emissionstal	Emissionse enhet	Total CO <sub>2</sub> e (kg CO <sub>2</sub> e)
Frånluftsaggregat	FläktGroup eQ 027	3050×1400 ×1076	1	st	640	5,55	kg CO <sub>2</sub> e/kg	3555
Frånluftvärme pump	Mega XL 2020 HGW	Mega XL	1	st	487	6818	kg CO <sub>2</sub> e/st	6818
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	100	9,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	25,056
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	125	18,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	49,329
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	160	3,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	10,179
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	200	0,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,566
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	250	7,4	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	19,314
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	315	12,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	32,886
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	400	5,8	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	15,138
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	300x300	1,9	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	4,959
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	140x400	0,6	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,566
Frånluftluftkanal	Lindab SRL – Lockad	140x600	3,3	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	8,613

	cirkulär kanal för ventilations system							
Frånluftluftpkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	140x800	0,5	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	1,305
Frånluftluftpkanal	Lindab SRL – Lockad cirkulär kanal för ventilations system	125	8,4	m	-	2,61	kg CO <sub>2</sub> e/m	21,924
T-stycke	TCPU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	315/315/125	1	st	-	5,84	kg CO <sub>2</sub> e/st	5,84
T-stycke	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	400/400/315	1	st	-	14,67	kg CO <sub>2</sub> e/st	14,67
T-stycke	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125/100	1	st	-	1,23	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,23
T-stycke	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125/125	2	st	-	1,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	2,92
T-stycke	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	160/160	1	st	-	2,09	kg CO <sub>2</sub> e/st	2,09
Böj 45	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	315	2	st	-	8,632	kg CO <sub>2</sub> e/st	17,264
Böj 45	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	250	1	st	-	3,486	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,486
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	100	8	st	-	1,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	8,24
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	125	10	st	-	1,59	kg CO <sub>2</sub> e/st	15,9
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	160	7	st	-	2,19	kg CO <sub>2</sub> e/st	15,33
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	250	5	st	-	5,88	kg CO <sub>2</sub> e/st	29,4
Böj 90	BU Galvaniserad stålplåt Z275 - C3	315	3	st	-	9,46	kg CO <sub>2</sub> e/st	28,38

	d stålplåt Z275 - C3							
Böj 90	BU Galvanisera d stålplåt Z275 - C3	400	4	st	-	15,11	kg CO <sub>2</sub> e/st	60,44
Outlet	Spiro	315	1	st	-	1,66	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,66
Outlet	Spiro	400	1	st	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,98
Reducer/Ex pander	Spiro	125/100	2	st	-	0,5312	kg CO <sub>2</sub> e/st	1,0624
Reducer/Ex pander	Spiro	400/315	1	st	-	3,6852	kg CO <sub>2</sub> e/st	3,6852
Frånluftsdo n	BRYH-300- 300-0	300x300	2	st	-	6,78	kg CO <sub>2</sub> e/st	13,56
Frånluftsdo n	BRYH-1400- 800-0	1400x800	1	st	-	84,37	kg CO <sub>2</sub> e/st	84,37
Spjäll (Flow damper)	IRIS-125	125	3	st	-	1,86	kg CO <sub>2</sub> e/st	5,58
Spjäll (Flow damper)	BRJB-1- 1400-400-1	1400x400	1	st	-	82,674	kg CO <sub>2</sub> e/st	82,674
Spjäll (Flow damper)	BRJB-1- 1400-600-1	1400x600	1	st	-	97,984	kg CO <sub>2</sub> e/st	97,984
Ljuddämpar e	BDER-30- 012-060	125	3	st	-	12,9195	kg CO <sub>2</sub> e/st	38,7585
Ljuddämpar e	BDER-30- 025-060	250	1	st	-	22,3938	kg CO <sub>2</sub> e/st	22,3938
Ljuddämpar e	LENTO a- 060-600- 1400-600	1400x600	2	st	-	236,9	kg CO <sub>2</sub> e/st	473,8
Brandspjäll	RABC-160	160	2	st	-	9,952	kg CO <sub>2</sub> e/st	19,904
Box (plenum)	Galvanisera d stålplåt	1000x595x1 342	1	st	-	84,03	kg CO <sub>2</sub> e/st	84,03
Box (plenum)	Galvanisera d stålplåt	1393x424x5 00	1	st	-	46,05	kg CO <sub>2</sub> e/st	46,05
Box (plenum)	Galvanisera d stålplåt	1500x500x5 00	2	st	-	53,75	kg CO <sub>2</sub> e/st	107,5
Box (plenum)	Galvanisera d stålplåt	3400x1700x 1100	1	st	-	349,87	kg CO <sub>2</sub> e/st	349,87
Kanal brandisoleri ng	EI60	100	4,7	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	45,543
Kanal brandisoleri ng	EI60	125	5,2	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	50,388
Kanal brandisoleri ng	EI60	160	3,8	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	36,822
Kanal brandisoleri ng	EI30	315	16,2	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	64,476
Kanal brandisoleri ng	EI30	400	9,1	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	36,218
Böj 45° brandisoleri ng	EI30	315	0,3	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,194
Böj 45° brandisoleri ng	EI30	315	0,3	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,194

Böj 90° brandisolering	EI60	100	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,969
Böj 90° brandisolering	EI60	125	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,969
Böj 90° brandisolering	EI60	100	0,2	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,938
Böj 90° brandisolering	EI60	125	0,3	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	2,907
Böj 90° brandisolering	EI60	160	1,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	10,659
Böj 90° brandisolering	EI30	315	1,2	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	4,776
Böj 90° brandisolering	EI30	400	4	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	15,92
T-stycke brandisolering	EI30	315/315/125	0,2	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,796
T-stycke brandisolering	EI30	400/400/315	0,5	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,99
T-stycke brandisolering	EI60	125/125/100	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,969
T-stycke brandisolering	EI60	160/160	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,969
Övergång brandisolering	EI30	400/315	0,3	m <sup>2</sup>	-	3,98	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,194
Flödesdon brandisolering	EI60	125	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,969
Ljuddämpare brandisolering	EI60	125	0,2	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	1,938
Brandspjäll brandisolering	EI60	160	0,1	m <sup>2</sup>	-	9,69	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0,969

Bilaga 4: Uträkning av klimatpåverkan från installation material för vinden/aggregatrummet för FX fallet i Referensbyggnad 1.

## 8.Referenser

- Bengt Dahlgren. (2026). *Bengt Dahlgren*. Hämtat från Becos: <https://bengtdahlgren.se/becos>
- Bengt Dahlgren. (2026). Luftflödesberäkning för referensbyggnaderna . *Internt projektunderlag*.
- Bergqvist, B. (2018). *Jämförelse av FX- och FTX-system*. Svensk Ventilation. Hämtat från <file:///C:/Users/Ashha/Downloads/Jamforelse-av-FX-och-FTX-system-for-ventilation-av-flerbostadshus-20180316.pdf>
- Bevent Rasch. (den 07 juni 2023). *Bevent Rasch*. Hämtat från BRJB Julusispjäll: <https://www.bevent-rasch.se/storage/8D72DA19F6B0EA22F24648ED7CCA8D32D1480FE7C56A68A6BC6E9E5D05B9EC9D/10a2f6a000984434ac22f6f8d67357d8/pdf/media/2b91f566f4c54568bfd25be0d35c5aff/BRJB%20-%20Produktblad.pdf>
- Bevent Rasch AB. (den 22 Augusti 2024). *Bevent Rasch AB*. Hämtat från BRYH ytterväggsgaller: <https://www.bevent-rasch.se/storage/D3E83499B231313243C6965D1B82F7C010A21E20B6542DC49E8DE64E3DF9289C/5a94977e030943bfa6e9cc455f6b98ea/pdf/media/bf41e8e964184e3685512cbbd8d2b158/BRYH%20-%20Produktblad.pdf>
- Bevent Rasch AB. (den 27 Mars 2026). *Bevent Rasch AB*. Hämtat från ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION: <https://www.bevent-rasch.se/storage/432BD74BE88700EF1ACCB52BCA30F2F55124A1079AFAECD623D2F7DEC56B9DEE/141bb98888da47bead298666e5b5c0d2/pdf/media/8c6fe7edd55d44d4bdb30ad17a1a8001/BRYH%20-%20EPD.pdf>
- Boverket. (den 13 Maj 2022). *Boverket*. Hämtat från Inomhusmiljöer med hälsosamt klimat: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/halsa-forst/inomhusmiljoer/>
- Boverket. (den 3 juli 2024). *Boverket*. Hämtat från Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD).
- Boverket. (2024). *Boverket*. Hämtat från Ventilation: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/>
- Boverket. (2026). *Boverket*. Hämtat från Uppdrag om livscykel-GWP och gränsvärden om livscykel-GWP i EPBD: <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/direktiv-for-byggnaders-energi-prestanda/gwp-och-gransvardet/>
- Boverket. (2026). *Boverket*. Hämtat från Indata om energianvändning i klimatdeklarationen: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/underlag/indata-om-energi/>
- ChatGPT, OpenAI. (2026). ChatGPT, OpenAI. *Illustration av ventilationssystem i FTX och FX-byggnad med bergvärmepump och frånluftvärmepump*.
- ESU-services. (u.å). *ESU-services.ch*. Hämtat från <https://esu-services.ch/projects/bioenergy/bioethanol/>
- Fläktgroup. (den 12 December 2025). *Fläktgroup*. Hämtat från Environmental Product Declaration Valves: <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/1472901?analytics=0>
- FläktGroup. (den 20 Juni 2025). *FläktGroup*. Hämtat från ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION : <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/1446653?analytics=0>
- Göteborg Energi. (2026). *Göteborg Energi*. Hämtat från Miljövärden för fjärrvärme 2025, Platsbaserat: <https://www.goteborgenergi.se/DxF-177145490/Preliminara-Miljovarden-Platsbaserad-2025.pdf?TS=639071087127991661>

- IV Produkt. (2026). *IVprodukt*. Hämtat från Home Concept EcoHeater:  
<https://www.ivprodukt.se/produkter/franluftsvarmepump/home-concept-ecoheater>
- IVL Svenska Miljöinstitutet. (2025). *Anvisningar för LCA-beräkning*.
- IVT Värmepumpar. (u.å.). *IVT Värmepumpar*. Hämtat från Bergvärme:  
<https://www.ivt.se/kunskap/varmekallor/bergvarme/>
- Jensen, L. (2001). *Värmebehovsberäkning*.
- Lindab. (den 08 Oktober 2021). *Lindab*. Hämtat från Bøj BU 90°:  
<https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/mzuxmdblowmntnjizyi00zwxlwe2ntitztkwotm3n2fkntkw/5250548746389054986/bu.pdf?v=1778377713>
- Lindab. (den 10 November 2023). *Lindab*. Hämtat från ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION :  
[https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/ztk3mzexodkty5ms00mwllthlmjytnmu3ytqzmdkwotbm/5250072749162171719/epd\\_lindab\\_ventilation\\_ab\\_safe\\_fittings\\_hub-0837\\_2023-12-18\\_1.pdf?v=1778376524](https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/ztk3mzexodkty5ms00mwllthlmjytnmu3ytqzmdkwotbm/5250072749162171719/epd_lindab_ventilation_ab_safe_fittings_hub-0837_2023-12-18_1.pdf?v=1778376524)
- Lindab. (den 10 Januari 2024). *Lindab*. Hämtat från ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION :  
[https://www.lindab.com/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/zwrnzjrjztatm2zizs00zq0ltk2zdatmtljmtfknthiyzmy/5250476865986848967/epd\\_hub-1016\\_2025-04-01.pdf?v=1778378285](https://www.lindab.com/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/zwrnzjrjztatm2zizs00zq0ltk2zdatmtljmtfknthiyzmy/5250476865986848967/epd_hub-1016_2025-04-01.pdf?v=1778378285)
- Lindab. (den 07 Mars 2026). *Kindab*. Hämtat från  
<https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/mge3ntaxngytyzjlymy00yte4lwe0mdktmdc3mmm3odq2nwe5/5250781133175855136/tcpu-datasheet-se.pdf?v=1777773168>;  
<https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/mge3ntaxngytyzjlymy00yte4lwe0mdktmdc3mmm3odq2nwe5/5250781133175855136/tcpu-datasheet-se.pdf?v=1777773168>
- Lindab. (den 10 februari 2026). *Lindab*. Hämtat från Reduktion RCU:  
<https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/nzhjy2y5n2ytzjvkny00yzu1lwjjmwetmntnhmge1mju3yzvm/5250749191762737186/rcu-datasheet-se.pdf?v=1778379744>
- Lindholm, T. (2025). Varaktighetsdiagram 1.
- Muovitech. (2025). *Muovitech*. Hämtat från ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION:  
[https://www.muovitech.com/productdocs/EPD\\_Muovitech\\_collector.pdf](https://www.muovitech.com/productdocs/EPD_Muovitech_collector.pdf)
- Muovitech. (u.å.). *Muovitech*. Hämtat från E-THERM KBS AGRO:  
<https://www.muovitech.com/SE/?page=products&id=3669>
- Naturvårdsverket. (2026). *Naturvårdsverket*. Hämtat från Klimatet och bygg- och Fastighetssektorn:  
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-bygg--och-fastighetssektorn/ den 30 01 2026>
- Permats, B. (2019). *Bra inomhusluft – dygnet runt*. Svensk Ventilation. Hämtat från  
<https://www.svenskventilation.se/app/uploads/2019/05/Bra-inomhusluft-dygnet-runt-20190429.pdf>
- Polarpump. (u.å.). *Polarpump*. Hämtat från Vad är värmeåtervinning?:  
<https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/ventilation-avfuktare-kunskapsbank/varmeatervinning-kunskapsbank/sa-fungerar-varmeatervinning/vad-ar-varmeatervinning/>

- Polarpumpen. (u.å.). *Polarpumpen*. Hämtat från Mekanisk frånluftsventilation med värmeåtervinning (FX): Mekanisk frånluftsventilation med värmeåtervinning (FX) - Kunskapsbanken för ditt hus - Polarpumpen.se
- Star, E. (u.å.). *Energy Star*. Hämtat från ENERGY STAR® Program Requirements Product Specification for Geothermal Heat Pumps:  
<https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/Geothermal%20Heat%20Pumps%20Version%203.2%20Final%20Specification.pdf>
- Swegon. (den 01 Maj 2022). *Swegon*. Hämtat från LENTO Vinkelljuddämpare för rektangulära kanaler: [https://www.swegon.com/globalassets/digizuite/6970-en-lento\\_productsheet\\_sv.pdf](https://www.swegon.com/globalassets/digizuite/6970-en-lento_productsheet_sv.pdf)
- Swegon. (den 14 februari 2026). *Segon*. Hämtat från [https://www.swegon.com/globalassets/digizuite/15336-en-rectangularsilencer\\_epdhub\\_en.pdf](https://www.swegon.com/globalassets/digizuite/15336-en-rectangularsilencer_epdhub_en.pdf)
- Swegon. (2026). *Swegon*. Hämtat från AHU Design Light:  
<file:///P:/E/Exjobb/Exjobb%20FTX%20%20FX%202026%20Chalmers/Ma/SWEGON-GOLDFRX-2605071238.pdf>
- Swegon Group AB. (2025). *Swegon Group AB*. Hämtat från ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION:  
[file:///P:/E/Exjobb/Exjobb%20FTX%20%20FX%202026%20Chalmers/Ma/\(gold%20RX%20refrensbyggnad%20A\)%20gold-silver-rx-epd-en.pdf](file:///P:/E/Exjobb/Exjobb%20FTX%20%20FX%202026%20Chalmers/Ma/(gold%20RX%20refrensbyggnad%20A)%20gold-silver-rx-epd-en.pdf)
- Svenskventilation. (2012). *Svenskventilation*. Hämtat från Verkningsgrad värmeväxlare : <https://www.svenskventilation.se/publikation/verkningsgrad-varmevaxlare/>
- Thermia. (2026). Thermia. *Personlig kommunikation*. Hämtat från Personlig kommunikation: Personlig kommunikation
- Trüschel, A. (2025). Fuktig luft. *Föreläsningmaterial*. Sverige.
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*.



**CHALMERS**