

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

- En analys av energianvändning, inneklimat
och kostnader

Johan Behmer



LUNDS
UNIVERSITET

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

En analys av energianvändning, inneklimat och kostnader

Johan Behmer

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Johan Behmer

ISRN LUTVDG/TVIT—26/5120—SE(87)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

Titel: Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

Undertitel: En analys av energianvändning, inneklimat och kostnader

Författare: Johan Behmer

Handledare: Victor Fransson, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära

Examinator: Birgitta Nordquist, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära

Bakgrund: I det svenska byggnadsbeståndet av flerbostadshus är byggåret i medeltal 1959, cirka 95 % av byggnader byggda innan 1960 har självdrag som ventilationssystem. Cirka 40 % av dessa byggnader har en underkänd OVK. Byggnader står även för en stor mängd av EU:s energianvändning. Mekanisk ventilation med värmeåtervinning kan därför hjälpa till att förbättra ventilationen i byggnader samtidigt som det kan minska energianvändningen.

Syfte: Arbetets syfte är att jämföra ett mekanisk från och tilluft med värmeåtervinning (FTX) med ett mekaniskt frånluft med värmeåtervinning (FX) som åtgärd i ett äldre flerbostadshus med en icke godkänd OVK utifrån tre perspektiv; energianvändning, inneklimat och ekonomi.

Metod(er): Arbetet har utgått utifrån en referensbyggnad från 1931 i Malmö. Byggnaden modellerades i simuleringsprogrammet IDA ICE som kalibrerades mot ett års data över byggnadens energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten. Den kalibrerade modellen med självdragsventilation modellerades därefter med två nya ventilationssystem, FTX och FX för att undersöka årsenergianvändningen. Modellen för FX-systemet förenklades till ett F-system och värmeåtervinningen beräknades för hand med simuleringens resultat.

Från energisimuleringarna för FTX och FX beräknades energianvändningen för ett FT-respektive F-system. För FT-systemet adderades energiåtervinningen från aggregatet till energianvändningen för FTX-systemet. F-systemets energianvändning beräknades för hand från FX-resultatet.

För att simulera inneklimatet reducerades modellen från en hel byggnad till en lägenhet. Varje rum modellerades som enskild zon för att få bättre upplösning på resultatet.

Driftkostnaden för, S-, FTX- och FX-systemet beräknades utifrån årsenergisimuleringen. Från driftkostnaderna beräknades besparingen i kr per år för

FTX- och FX-systemet i jämförelse med S-systemet. Svårigheter i avgörandet av fjärrvärmekostnaden gjorde att två driftkostnader för S- och FTX-systemet beräknades.

Investeringskostnaden för de båda systemen beräknades genom att addera materialkostnader och kostnaden för aggregatet. För att beräkna materialkostnaden ritades en potentiell dragning av ventilationskanaler upp i byggnaden.

Med investeringskostnad och besparing av driftkostnad utfördes två investeringsanalyser. En med nettonuvärde och en med payback-metoden.

Resultat: Båda systemen leder till en reducerad energianvändning jämfört med den kalibrerade modellen. Energianvändning minskade från 133 kWh/m² och år till 115 kWh/m² och år för FTX-systemet och 65 kWh/m² och år för FX-systemet.

Inneklimatssimuleringarna visar på att FTX-systemet bidrar till ett jämnare inneklimat än vad FX-systemet gör.

Vid en uppgradering från ett S-system visar nettonuvärdesanalysen på att FX-systemet inte blir lönsamt vid ett avkastningskrav på 10 %. När avkastningskravet sänktes blev FX-systemet lönsamt. Payback-metoden bekräftar att FX-systemet kan bli lönsamt då payback-tiden var kortare än livslängden. För FTX-systemet visade nettonuvärdesanalysen att investeringen inte blev lönsam med de förutsättningar som gällde. Payback-metoden bekräftade även detta resultat då payback-tiden var längre än den antagna livslängden.

Om S-systemet inte klarar en godkänd OVK och ett mekaniskt system därför behöver installeras har en jämförelse mellan att uppgradera från ett FT-system till ett FTX-system respektive från ett F-system till FX-system gjorts. För denna visar nettonuvärdesanalysen att uppgraderingen är lönsam vid 10 % avkastning. Payback-metoden bekräftade detta då båda uppgraderingarna kommer ha betalat av sig inom 5 år.

Slutsatser: Systemen har både för- och nackdelar. FX-systemet har en lägre energianvändning, FTX-systemet skapar ett bättre inneklimat både med avseende på termisk komfort och luftkvalitet. Vidare är FX-systemet mer lönsamt från de utförda kalkylerna. Det blir därför upp till varje fastighetsägare att avgöra vilken faktor den tycker är viktigast och ta ett beslut utifrån det.

Nyckelord: Energianvändning, värmeåtervinning, IDA ICE, inneklimat, investeringskostnad, självdrag (S), mekanisk från och tilluft med värmeåtervinning (FTX) och mekanisk frånluft med värmeåtervinning (FX)

Abstract

The average build year for existing multi-family buildings in Sweden is 1959, circa 95 % of building built before 1960 uses natural ventilation and circa 45 % of these have failed the obligatory ventilation control that exists in Sweden. In the EU buildings stand for 30 % of the total energy usage and the aim is to get buildings to a near zero energy building. The aim of this thesis is therefore to compare the installation of two mechanical ventilation systems, mechanical exhaust ventilation with heat recovery (FX) och mechanical supply and exhaust ventilation with heat recovery (FTX). This thesis uses an existing multi-familybuilding in Malmö as a reference to build multiple simulation models to simulate the energy usage for one year and the indoor climate for one cold winter week. An economic analysis with regard to annual savings and investment cost was also done. The result from the study show that the systems have different advantages. Mechanical exhaust ventilation with heat recovery show greater savings in energy use, is cheaper to install and pays back quicker while mechanical supply and exhaust ventilation with heat recovery gives a more stable indoor climate with better thermal comfort and air quality.

Förord

Med detta examensarbete avslutar jag min tid som student på civilingenjörsprogrammet Väg och Vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har utförts i samarbete med Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Sweco AB och Trianon under hösten 2025.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Victor Fransson som guidat och väglett mig genom arbetet, Niklas Gyllensvärd på Sweco som jag tillsammans med jobbade fram grunden till arbetet och som gett bra råd och insikter på vägen och till sist Karl Aghede på Trianon som lät mig undersöka en av deras fastigheter.

Jag vill avslutningsvis tacka familjen som stöttat mig genom min studietid i Lund och de vänner som man skaffat för livet. Nu ser jag fram emot att komma ut i arbetslivet och få lov att jobba som Väg- och Vatteningenjör.

Lund i januari 2026

Johan Behmer

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
Innehållsförteckning	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	2
1.2.1 Frågeställning	3
1.2.2 Avgränsningar.....	3
2 Teori	5
2.1.1	5
2.1.2 Primärenergital	5
2.1.3 Luftflödeskrav.....	6
2.1.4 Ventilationssystem.....	6
2.1.5 Ekonomi.....	9
3 Metod.....	11
3.1 Byggnaden	11
3.2 Simulering.....	14
3.2.1 Byggnadsmodell för energisimuleringar.....	15
3.2.2 Byggnadsmodell för inneklimatssimuleringar	19
3.3 Kostnadsberäkning.....	21
3.3.1 Drift.....	22
3.3.2 Byggkostnader	24
3.3.3 Jämförelse	26
4 Resultat.....	27
4.1 Energi	27
4.1.1 S-system.....	27
4.1.2 FTX- och FT-systemet.....	28
4.1.3 FX- och F-system	29
4.1.4 Jämförelse mellan S och FX respektive FTX	30
4.1.5 Jämförelse mellan FT och FTX	32
4.1.6 Jämförelse mellan F och FX	33
4.2 Inneklimat	34
4.2.1 Temperatur.....	35
4.2.2 Luftkvalitet	39
4.2.3 Analys	44
4.3 Ekonomi.....	45
4.3.1 Driftkostnad – från S-system till FTX respektive FX.....	45
4.3.2 Investeringskostnad – från S-system till FTX respektive FX.....	46
4.3.3 Nuvärdesanalys och Payback-metoden – från S-system till FTX respektive FX	46
4.3.4 Driftkostnad från FT- och F-system till FTX respektive FX	47
4.3.5 Investeringskostnad från FT och F till FTX och FX.....	48

4.3.6	Nuvärdesanalys och payback-metod – från FT- och F-system till FTX respektive FX.....	48
5	Diskussion	49
5.1	Byggnaden	49
5.2	Energianvändning	50
5.3	Inneklimat	51
5.4	Ekonomi	52
6	Slutsats.....	55
7	Framtida studier.....	57
	Referenser.....	59
	Bilagor	61

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige finns det ungefär 165 000 flerbostadshus, i genomsnitt är byggnaderna byggda år 1959, fasadens utseende är antingen av tegel eller puts. Cirka 95 % av flerbostadshusen som byggdes innan 1960 ventileras med självdrag (Boverket, 2010).

Att dålig luft påverkar människan negativt är inget nytt, redan på romarnas tid var man medveten om att dålig luft i städer påverkar människan negativt (Hensen Centnerová, 2018). Vi människor spenderar en stor del av vårt liv inomhus, cirka 90 procent, därför är det viktigt med ett bra inomhusklimat för att människan ska må bra. Dåligt inneklimat kan till exempel bero på fukt i byggnaden eller kemiska ämnen som avges från material (Boverket, 2021).

Ren luft innehåller cirka 0,036 % koldioxid (CO₂) men utandningsluften från människor innehåller cirka 30 gånger så mycket koldioxid än den rena luften. Människor avger andra gasformiga ämnen i lägre koncentrationer som i stora drag följer CO₂-halten. I rum där människor vistas regelbundet används därför ofta koldioxidhalten, som är relativt lätt att mäta, som en generell indikator på luftens kvalitet (Abel & Elmroth, 2017). Att använda CO₂ som indikator är inte heller det någon ny idé, redan på 1800-talet var CO₂ en indikator på om luftkvaliteten var godkänd (Hensen Centnerová, 2018).

Byggnader står för omkring 40 % av EU:s totala energianvändning och 36 % av EU:s utsläpp av växthusgaser kopplat till energi. För att minska utsläppen uppmanas medlemsländer renovera det befintliga byggnadsbeståndet, direktivet riktas främst mot de byggnader med sämst energiprestanda och de byggnader som ägs av den offentliga sektorn. Renoveringen av fastigheten ska leda till att fastigheter blir ”närannull-energibyggnader eller nollutsläppsbyggnader” när fastigheten genomgår en omfattande renovering (Europeiska unionen, 2023).

Självdrag var under en längre tid det dominerade systemet för ventilation i byggnader i Sverige, men runt 1970-talet blev de mekaniska systemen mer populära. Mekanisk frånluft (F) konkurrerade ut självdrag samtidigt som det ansågs ge bättre komfort i bostadshus. Självdragssystemen gav och ger ojämna flöden under året, under uppvärmnings-säsongen var det en stor temperaturdifferens som kunde resultera i överventilation, medan på sommaren när byggnader inte behövdes värmas upp blev ventilationsflödena för små (Boverket, 1995). Uteluften tillförs rätt ofiltrerad och uppvärmd direkt in i rummen med S-system. Tekniska innovationer har lett till en successiv övergång till FT-system där uteluften bl a kan förvärmas. I början av 1990-talet lyftes dock röster att mekaniska system var för komplicerade, brukaren kunde inte hantera de på rätt sätt och de var dyra att installera (Boverket, 1995). Mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning (FTX) var ett av dessa system. Problem uppstod med systemen då kanaler blev för smutsiga och filter sattes igen på grund av bristande underhåll samt att injustering var felaktig. Följden blev att energianvändningen och

kostnaden ökade. För att säkerställa att underhållet utfördes infördes därför 1991 obligatorisk ventilationskontroll (OVK) (Block & Bokalders, 2023).

När en OVK genomförs kontrolleras det att ventilationen levererar tillräckliga luftflöden, injustering av ventilationen är korrekt utförd och dokumenterad, att system med don, kanaler, och aggregat fungerar korrekt och kan underhållas på rätt sätt, tidigare anmärkningar på systemet är åtgärdade. Ventilationssystemet får inte påverka brukaren av byggnaden negativt, det ingår även att undersöka möjligheter till energiförbättringar av systemet utan att flöden påverkas negativt (Block & Bokalders, 2023). I det svenska byggnadsbeståndet är det strax under 40 % av alla flerbostadshus byggda innan 1960 som har en underkänd OVK (Boverket, 2010).

Vid den återkommande besiktningen ska det undersökas vilka möjligheter som finns för att förbättra byggnadens energianvändning med avseende på ventilationssystemet utan att flöden påverkas negativt. Det innebär bland annat att när det finns möjlighet för värmeåtervinning att bygga om systemet, genom att till exempel mekanisk från- och tilluft (FT) omvandlas till mekanisk från och tilluft med värmeåtervinning (FTX) eller mekanisk frånluft (F) omvandlas till mekanisk frånluft med värmeåtervinning (FX) (Boverket, 2012).

S-systemets elenergianvändning är noll till skillnad från de mekaniska systemen som kräver el för att driva fläktarna. Viktigt att notera är att denna energianvändning endast avser ventilationssystemen och inte uppvärmningen som behövs på vintern i Sverige. S-systemet medför dock en risk för fler timmar med obehag av höga temperaturen som man inte får med mekaniska ventilationssystem (López Plasas & Sáenz de Tejada, 2024). Vid varma utetemperaturer minskar självdragsventilationen då systemet bygger på ett undertryck som skapas i huset med hjälp av temperaturskillnaden ute och inne. Mekaniska system har inte detta problem då de använder fläktar för att säkerställa att ventilationsflödena är korrekta (Abel & Elmroth, 2017).

Byggnadsbeståndet av flerbostadshus i Sverige består av ett stort antal äldre byggnader som har självdragsventilation och en icke godkänd OVK. Det kan förekomma fall när den befintliga självdragsventilationen inte uppfyller myndighetskrav och OVK och ett F- eller FT-system behöver installeras. I kombination med EU:s direktiv att sänka byggnaders energianvändning gör att det finns ett behov att uppgradera byggnaders ventilations- och uppvärmningssystem. Vid installation av mekaniska system kan någon form av återvinning vara lämpligt att inkludera ur energianvändningssynpunkt. Det är därför av intresse att jämföra vilken påverkan installation av de två mekaniska systemen F- och FT med respektive utan återvinning, har på energianvändning, inneklimat och lönsamhet.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att göra en jämförelse mellan FX- och FTX-system som en möjlig åtgärd i ett äldre flerbostadshus i Malmö med en underkänd OVK. Jämförelsen kommer inkludera energianvändningen, inneklimatet och investerings- och driftkostnad.

Målet med arbetet är att producera ett resultat som ger fastighetsägare en möjlighet att jämföra de två systemen mot varandra och avgöra vilket system som skulle vara bäst för dem utifrån deras prioriteringar.

1.2.1 Frågeställning

För att uppnå arbetets syfte och mål har följande frågeställningar formulerats:

- Hur påverkas energianvändningen i en äldre byggnad vid byte av ett självdragssystem till modernt ventilationssystem.
- Vad skiljer sig åt mellan de moderna ventilationssystemen med avseende på energi och inneklimat?
- Vilket system är mest lönsamt med avseende på energi- och investeringskostnader?

1.2.2 Avgränsningar

Energianvändningen under juni, juli, augusti och september antas bara vara tappvarmvattenanvändningen. Eftersom endast den totala användningen är känd och inte hur användningen är fördelad mellan tappvarmvatten och uppvärmning i den verkliga byggnaden kommer den dras bort för alla månader och sedan adderas efteråt som en konstant.

För energisimuleringen kommer varje lägenhet modelleras som en zon för att reducera modellens komplexitet och modelleringstiden.

För inneklimatssimuleringen kommer endast en lägenhet att modelleras. Den modellen kommer bara simuleras under en kall vintervecka. Detta för att reducera simuleringstiden.

2 Teori

I teorikapitlet beskrivs hur en byggnads energianvändning och primärenergital beräknas, kraven som Boverkets byggregler (BBR) ställer på luftflöden, de ventilationssystem som undersöks i rapporten och investeringskalkylerna som används.

2.1.1

2.1.2 Primärenergital

En byggnads energianvändning, E_{bea} , är den energi som levereras till en byggnad under ett år vid normal användning. Energinvändningen beräknas som summan av, energi till uppvärmning, E_{uppv} , energi till komfortkyla, E_{kyl} , energi till tappvarmvatten, E_{tvv} , och fastighetsel, E_f , (1). Energi som alstras i byggnaden från sol, vind, mark, luft eller vatten och används av byggnaden räknas inte med i energianvändningen (Boverket, 2017).

I Sverige är det inte en byggnads energianvändning som används för att bedöma energiprestanda, denna bedöms utifrån ett primärenergital. Primärenergitalet, EP_{pet} , beräknas med (2). Energinvändningen viktas av dess geografiska placering, F_{geo} , och energikällan med en primärfaktor per energibärare, PE_i . Det viktade värdet delas sedan på arean av byggnaden som avsiktligt värms upp till mer än 10 °C, A_{temp} , (2) (Boverket, 2017).

$$E_{bea} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f \quad (1)$$

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i}}{F_{geo}} \right) \cdot VF_i}{A_{temp}} \quad (2)$$

Viktningen av primärenergikällan görs för att ta hänsyn till källans ursprung och om man ska hushålla med energikällan. Energikällor som kommer från fossilt bränsle får en högre viktningsfaktor och förnybara källor får en lägre faktor. Viktningsfaktorerna för de olika energikällorna presenteras i Tabell 1 (Boverket, 2024).

Tabell 1 Viktningsfaktorer för olika energibärare enligt BBR

Energibärare	Viktningsfaktor (VF _i)
El (VF _{el})	1,8
Fjärrvärme (VF _{fv})	0,7
Fjärrkyla (VF _{fk})	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränslen (VF _{bio})	0,6
Fossil olja (VF _{olja})	1,8
Fossil gas (VF _{gas})	1,8

Varje kommun har en geografisk viktningsfaktor, till exempel i Kiruna och Malmö är dessa 1,9 respektive 0,8 (Boverket, 2024).

2.1.3 Luftflödeskrav

För en godkänd OVK är kravet att ventilationsflödena uppnår de gällande föreskrifter (Boverket, 2025). Tilluften skall vara minst 0,35 l/sm² alternativt 4 l/s och person. Det är det värde som ger störst flöde som skall användas vid dimensionering av tilluften (Boverket, 2024). Praxis är att även dimensionera för minsta tillåtna frånluftsflöde för att säkerställa bortförsel av föroreningar och fukt. I badrum gäller 15 l/s utan öppningsbart fönster och 10 l/s med öppningsbart fönster och 10 l/s från kök. Dessa blir främst styrande i mindre lägenheter.

Koldioxidhalten kan användas som en indikator på om ventilationen är adekvat. Om halten regelbundet överstiger 1000 ppm vid normal användning kan det vara ett tecken på att ventilationen inte är tillräckligt bra (Folkhälsomyndigheten, 2014). Det finns även riktvärden för lägsta och högsta operativa temperatur. Den lägsta temperaturen är 18 °C, och den högsta är 24 °C på vår, höst och vinter och 26 °C på sommaren. För känsliga grupper, som inkluderar personer med kroniska sjukdomar, funktionsnedsättningar, barn och äldre, är istället riktvärdet för lägsta operativa temperatur 20 °C (Folkhälsomyndigheten, 2024)

2.1.4 Ventilationssystem

I gamla byggregler har det uttryckligen varit tillåtet att bygga med självdragsventilation. I BABS 60 (Kungl. Byggnadsstyrelsen, 1960) står det ”i bostadshus anordnas antingen ventilation med självdrag eller mekanisk ventilation”. I SBN 67 framgår det att det nästan är fritt val mellan S, F och FT om man uppfyller de villkor som finns (Statens Planverk, 1967). På 1970-talet börjar begränsningar komma in i byggreglerna, i SBN 1975 framgår det att bostäder ska anordnas med mekanisk ventilation med undantaget för enbostadshus och flerbostadshus som inte har fler än två våningar (Statens Planverk, 1979).

Kanalsystem – Självdrag (S)

Självdragsventilation drivs av en temperaturdifferens mellan inomhusluften och uteluften. Uppvärmad luft inomhus ventileras ut genom vertikala kanaler i murstocken i kök och badrum och stiger till ett avluftsdon. När detta sker skapas ett undertryck i byggnaden som gör att uteluft dras in i byggnaden genom ventiler, om det finns, och otätheter i klimatskalet (Boverket, 1995).

På grund av att systemet drivs av termiska drivkrafter är det känsligt för temperaturändringar både inne och ute. Om luften drivs uppåt i en skorsten av att det eldas i en kamin eller dylikt blir det en bra drivkraft för luften värms ytterligare, men om man inte eldar minska temperaturskillnaden och drivkraften blir mindre. S-systemets känslighet för temperaturdifferensen kan leda till överventilering på vintern vid stora temperaturskillnader, och att systemet stannar av eller till och med slutar fungera på sommaren vid små temperaturskillnader (Boverket, 1995).

Det är inte bara temperaturen som påverkar S-systemet, även vinden driver ventilationen. Det är därför viktigt att ta hänsyn till vinden när avluftöppningar och luftintag placeras ut. Det kommer bildas ett undertryck på läsidan när vinden blåser rakt mot en fasad och

parallellt anblåsta fasader. Avluftöppningar ska därför placeras där då det bildas ett undertryck runt öppningen som ökar ventilationsflödet. Luftintag som hamnar i undertryck på läsidan kan därför bli frånluftsventiler och därmed motverka dess tänkta funktion. Med dessa faktorer i åtanke ska man vara försiktig med överventilation som det kan bli när det är stora temperaturskillnader ute och inne eller när det blåser kraftigt (Boverket, 1995).

Utöver vädrets inverkan på S-systemet, påverkas det också av höjdskillnaden mellan luftintaget och luftutsläppet. En lägenhet på ett våningsplan nära marken kommer därför ha en bättre luftomsättning än en lägenhet högre upp i huset där höjdskillnaden blir mindre. Frånluftsdon måste därför placeras i samtliga rum på våningar högre upp i byggnaden när byggnaden har mer än ett våningsplan (Boverket, 1995).

I BBR 6:235 anges krav på öppningsbara fönster eller vädringslucka, men vädring av närvarande personer bör inte tas i beaktan, utan ses som ett komplement. Systemet ska vara dimensionerat för att ge tillräcklig ventilation under normala förhållanden (Boverket, 1995).

Kanalsystem – FX

Mekaniskt frånluftssystem med värmeåtervinning (FX) ventilerar en byggnad genom att ett undertryck skapas i byggnaden med hjälp av en frånluftsfläkt som ventilerar ut inneluften. Undertrycket i byggnaden kommer sedan dra in luft genom uteluftsventiler och otätheter i byggnaden. Värmeenergin från frånluften återvinns som kan användas till uppvärmning av byggnaden.

Frånluftsvärmepumpar som är sammankopplade med en undercentral använder den uppvärmda frånluften för att värma vatten som sedan används i ett vätskeuret uppvärmningssystem. FX-systemet kan även värma vatten till tappvarmvattnet. Hur mycket värme en frånluftsvärmepump kan återvinna beror på frånluftsvärmepumpens COP-tal (coefficient of performance) som är förhållandet mellan värmeenergi som kan tas ut ur frånluftsvärmepumpen för att värma det vattenburna systemet och arbetet som utförs av frånluftspumpen. Med ett bra COP-tal minskar mängden el som behövs köpas för att spetsa värmen, däremot måste det utförda arbetet av frånluftsvärmepumpen alltid köpas i form av el (Polarpumpen, u.d.).

Frånluftssystemet kan kombineras med tilluftsradiorer, tilluftsradiorerna placeras vid uteluftsventilen som förvärmer luften genom att den leds genom radiatorn innan den kommer in i rummet. Problemet med tilluftsradiorer är att under vår och höst kan tilluften kännas som kall och att det blir drag (Are Myhren, et al., 2013).

Kanalsystem – FTX

Mekanisk från och tilluft med värmeåtervinning (FTX), är uppbyggt av två separata kanalsystem. Ett frånluftskanalsystem som ventilerar ut luft med en frånluftsfläkt, och ett tilluftskanalsystem som med en tilluftsfläkt som ventilerar in luft. I FTX-aggregatet finns en värmeväxlare som återvinner värmen från den varma frånluften för att värma den kalla uteluften. Frånluft ventileras ut ur bostaden i fuktiga utrymmen som kök,

badrum och tvättstuga. Både uteluften och frånluften passerar filter som renar luften innan värmeväxlingen sker. Den förvärmade tilluften blåses in i bostaden i sovrum, vardagsrum och andra torra utrymmen som människor vistas i mer än tillfälligt (Svensk Ventilation, u.d.).

Det finns flera olika typer av värmeväxlare. Plattvärmväxlare, även kallat korsströmsvärmväxlare och motströmsvärmväxlare fungerar så att den varma frånluften rör sig på ett håll och den kalla tilluften på det andra. Veckade aluminiumplåtar värms upp av frånluften och avger värmen till tilluften. Plattvärmväxlaren används främst i enfamiljshus eller flerbostadshus som har separata anläggningar i varje enskild lägenhet. Verkningsgraden ligger mellan 60–90 %, motströmsvärmväxlare är den värmväxlare med högst verkningsgrad (Svensk Ventilation, u.d.).

Roterande värmväxlare använder även den en veckad aluminiumplåt men är uppbyggd kring att aluminiumplåten roterar. Den varma frånluften värmer upp rotorn som i sin tur värmer upp tilluften. Nackdelen med roterande värmväxlare är att det finns en risk att den förorenade frånluften läcker över till tilluftsiden och cirkuleras tillbaka in i byggnaden. Fördelen med systemet är att den roterande värmväxlaren kännetecknas av låga tryckfall som gör att fläkten kan ha lägre effekt som i sin tur leder till lägre elenergianvändning. Verkningsgraden för roterande värmväxlaren är cirka 80 % (Svensk Ventilation, u.d.).

Vätskekopplad värmeåtervinning eller batterivärmväxlare används normalt i flerbostadshus då kyl- och värmebatteri som placeras i frånluftssystemet respektive tilluftssystemet kan placeras separat från varandra. Batterierna är sammankopplade med en frysskyddad vätska som cirkulerar mellan dem. Vätskan värms upp av frånluften som sedan värmer tilluften. Det är ett flexibelt system som man kan koppla in flertalet återvinningsstationer på från olika frånluftssystem som sedan sammankopplas till ett gemensamt tilluftsbatteri. Systemet har en verkningsgrad på cirka 70 % (Svensk Ventilation, u.d.).

2.1.5 Ekonomi

Att beräkna en investerings lönsamhet eller hur snabbt den kan betala av sig själv kan göras på flera olika sätt. Beräkna nettonuvärde (NNV) och payback-metoden är två sätt att beräkna detta på.

Nettonuvärdesmetoden tar hänsyn till pengars förändrade värde och besparingen under hela livslängden. NNV beräknas med formel 3, där S är årliga besparingen, r är diskonteringsränta, i är året och C är initiala investeringskostnaden. Är NNV positivt ses investeringen som lönsam (Andersson, 2000).

Payback-metoden är enklare att beräkna då den inte tar hänsyn till några förändringar utan endast beräknar när besparingen är så pass stora är de passerar investeringskostnaden. Payback-tiden beräknas med formel 4, där C är initiala investeringskostnaden och S är besparingen per år (Andersson, 2000).

$$NNV = \left(\sum_{i=0}^n \frac{S_i}{(1+r)^i} \right) - C \quad (3)$$

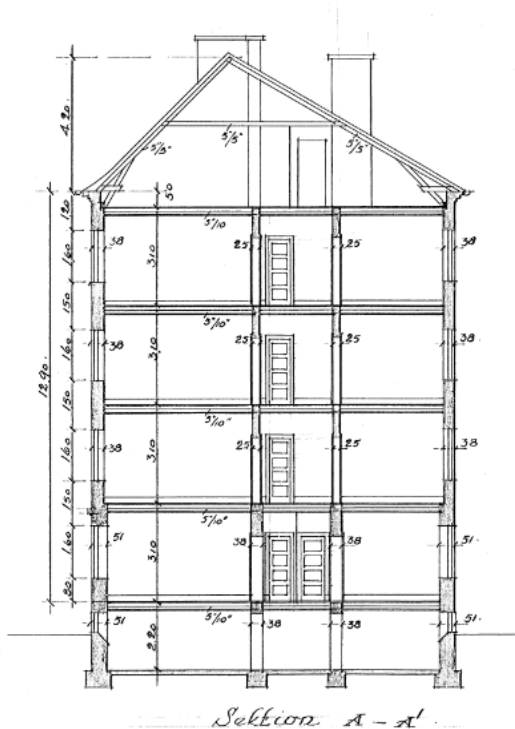
$$Payback = \frac{C}{S} \quad (4)$$

3 Metod

3.1 Byggnaden

Byggnaden som undersöktes är ett flerbostadshus byggt 1929 som ligger i centrala Malmö. Byggnadens båda gavlar sitter ihop med intilliggande byggnader. Innergården är skyddad från alla riktningar och är endast tillgänglig genom omkringliggande byggnader.

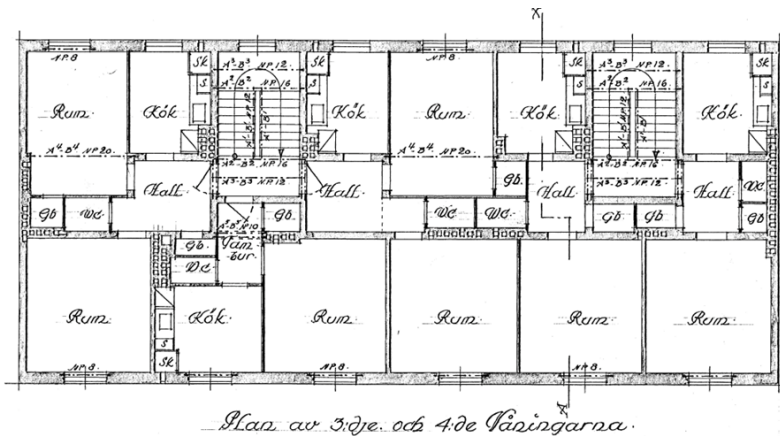
Originalritningar, Figur 1, och platsbesök användes som underlag för att kunna beskriva byggnadens egenskaper. Byggnaden har en källare med förråd, tvättstuga och pannrum, fyra våningar med 19 lägenheter och en vind med förråd. Storleken på lägenheterna varierade mellan 18 och 69 m², fördelningen och storlek presenteras i Tabell 2. I byggnaden finns två trapphus som båda går från källare till vindsvåning. Ytor som värms upp till mer än 10 °C, A_{temp}, antogs endast vara golvarean för lägenheterna som uppgick till 837 m². Källare, vind och trapphus antas inte vara uppvärmda och är därför inte inkluderade i denna area.



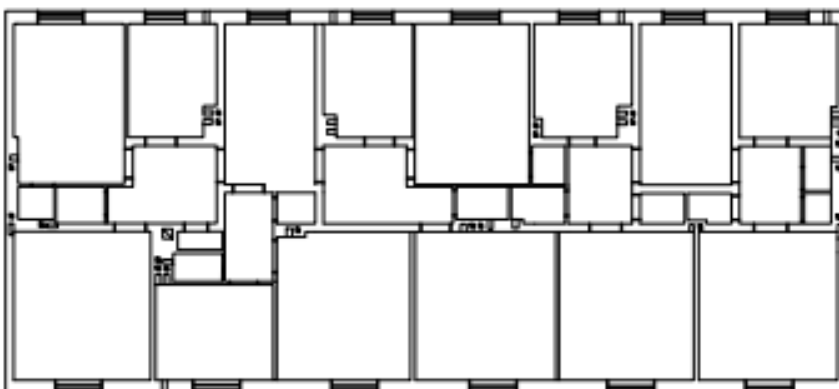
Figur 1 Tvärsnitt av byggnaden som gav byggnadsdelars tjocklekar

Klimatskalets och bjälklagets tjocklek lästes av från ritningen, dessa presenteras i

Tabell 3. För konstruktionsdelar som inte gick att bestämma utifrån det befintliga ritningsunderlaget användes *Så byggdes husen 1880–2000* (Björk, et al., 2016) som komplement så en uppskattning på hur byggdelarna ser ut kunde tas fram. Byggnaden ventileras med självdrag, det var känt att byggnadens OVK var underkänd men vilka tillufts- och frånluftslödena byggnaden hade var okänt. Det antogs att tilluft i sovrum och vardagsrum endast sker via otätheter då det inte gick att se ventiler på ritningar eller vid okulär besiktning utifrån. Då ritningarna var handritade från 1929 ritades de av i autoCAD för att den i ett senare stadie skulle vara lättare att hantera i modelleringsprogrammet, Figur 2 visar ett våningsplan från originalritningen och Figur 3 den avritade.



Figur 2 Originalritning som visar planlösningen på våning tre och fyra



Figur 3 CAD-ritning av våningsplan 3 och 4

Tabell 2 Lägenheternas fördelning på våningsplanen och dess storlek

Våningsplan	Lägenhetstyp	Storlek [m ²]	Antal
bottenvåning	Studio	18,1	1
	1 rum + kök	36,1	1
	2 rum + kök	56,1	1
	3 rum + kök	68,7	1
2	1 rum + kök	33,9–37,0	3
	2 rum + kök	56,0–56,2	2
3	1 rum + kök	33,9–37,0	3
	2 rum + kök	56,0–56,2	2
4	1 rum + kök	33,9–37,0	3
	2 rum + kök	56,0–56,2	2

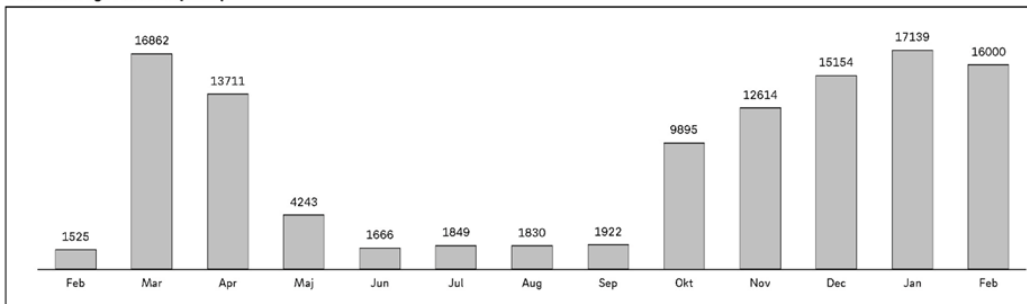
Tabell 3 Grundkonstruktioners material och tjocklek identifierade från originalritning

Bygghedel	Material	Tjocklek
Yttervägg	Tegel	510 mm (källare, bottenvåning) 380 mm (våningsplan 2–4)
Innerväggar	Tegel	380 mm (källare, bottenvåning) 250 mm (våningsplan 2–4)
Bjälklag	Träbjälklag med kokaska*	5"/10"

*Så byggdes husen (Björk, et al., 2016) användes för att identifiera material

Byggnadens primära värmesystem är fjärrvärme med ett vattenburet radiatorsystem som sekundärt värmesystem. Fjärrvärmeanvändning och elanvändning för mars 2024 till februari 2025 fanns att tillgå hos fastighetsförvaltaren, Figur 4 visar fördelningen per månad. Denna data användes som referens vid kalibreringen. Fjärrvärmeanvändningen inkluderade både uppvärmning av byggnaden och tappvarmvattenanvändningen. För att särskilja uppvärmningsbehovet, som användes vid kalibreringen av modellen, och varmvattenanvändningen antogs det att ingen uppvärmning sker under juni till september månad. Användning under dessa månader är endast tappvarmvatten. Ett snitt av användningen beräknades och betraktades som en konstant då fördelningen mellan lägenheterna är okänd. Tappvarmvattenanvändningen drogs bort från varje månad inför simuleringen och adderades efter simuleringar. Det framräknade snittanvändningen jämfördes mot BEN 2 brukarindata för tappvarmvatten för att säkerställa att det var rimligt. För att säkerställa en rättvis jämförelse modelleras ursprungsfallet och kalibreras mot den verkliga byggnaden. Modellerna för FTX- och FX-systemet byggdes sedan vidare från denna.

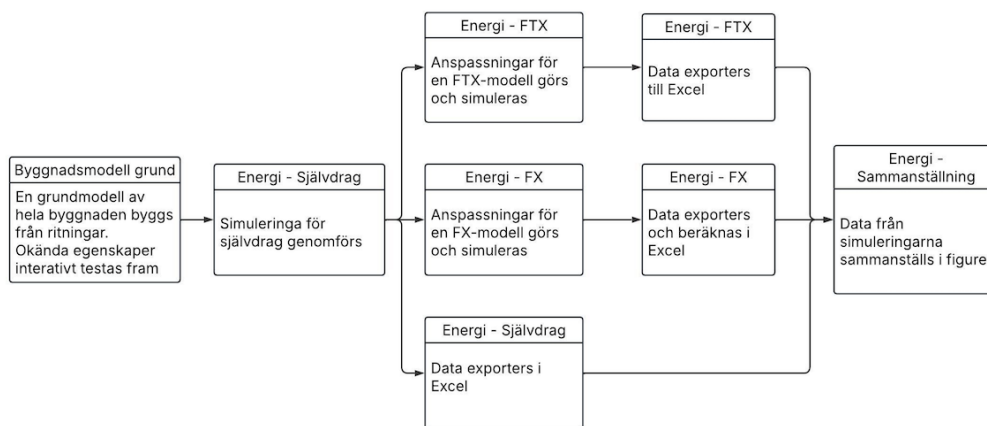
Förbrukningsstatistik (kWh)



Figur 4 Fjärrvärmeanvändningen för originalfallet som användes som referens vid kalibrering

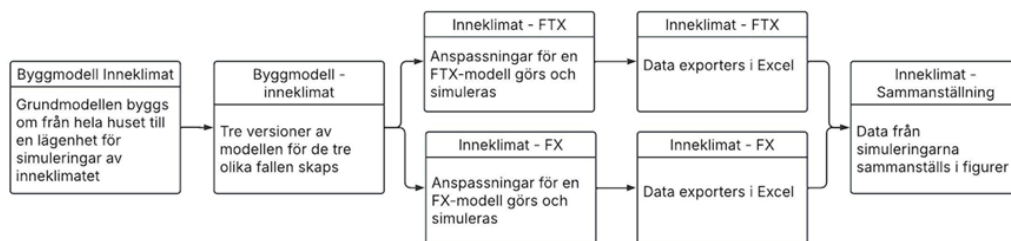
3.2 Simulering

Flödesschemat i Figur 5 sammanfattar arbetsgången som användes för modelleringen och simuleringen av energianvändningen. En modell kalibrerades mot befintliga data från ursprungsfallet. Den kalibrerade modellen simulerades för självdragsfallet. Två nya modeller modellerades från grundmodellen, en med FX-systemet och en med FTX-systemet.



Figur 5 Flödesschemat sammanfattar arbetsgången från modellbyggnad till sammanställning av data för energisimuleringen

Flödesschemat i Figur 6 sammanfattar metoden för modelleringen av modeller till inneklimatet. Den kalibrerade grundmodellen från energisimuleringen modellerades om från hela byggnaden till en lägenhet. Tre versioner modellerades för de tre fallen som undersöktes. För varje fall modellerades två nya modeller, en med FX-system och en FTX-system.



Figur 6 Flödesschemat sammanfattar arbetsgången från modellbyggande till sammanställning av data för inneklimatssimuleringen

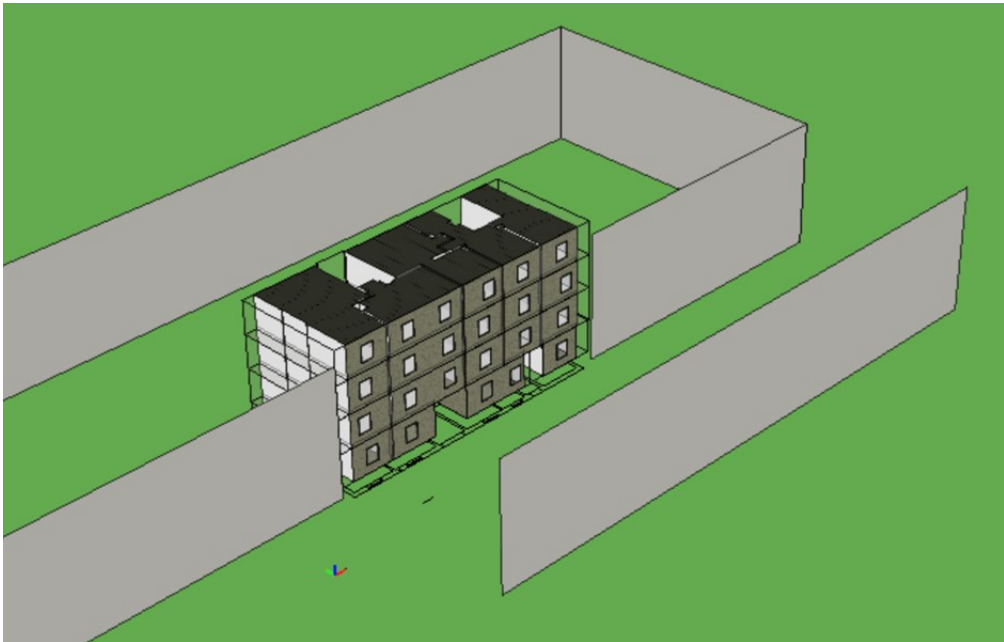
3.2.1 Byggnadsmodell för energisimuleringar

Bygghandlingarna som gick att identifiera från ritningarna modellerades som bygghandlingar som sparades för att säkerställa att bygghandlingarna hade samma egenskaper i de olika modellerna, i Tabell 4 presenteras dessa med lambda- och U-värden. Genom innerväggar sker inga transmissionsförluster. CAD-ritningen importerades för att så noggrant som möjligt kunna modellera varje lägenhet. För att förenkla energiberäkningen modellerades varje lägenhet som en zon. Gavlarna gränsar mot grannhus och modellerades därför som adiabatiska. Då källaren och vinden inte är uppvärmda våningsplan i den verkliga byggnaden antogs bottenvåningen ligga direkt på mark och vindsvåningen antogs ha uteklimat. Byggnadens gränser i höjddled modellerades därför under golvet på bottenvåningen och ovanför bjälklaget på våningsplan fyra. Gratisvärme i form av personvärme och hushållsel och valet av inomhustemperatur modellerades enligt normalbrukande (Boverket, 2017). En idealiserad radiator användes som värmekälla i lägenheterna, effekten sattes till 10000 W för att säkerställa önskad innetemperatur på 21 °C. Regleringen i simulerings-programmet använder endast nödvändig effekt för att uppnå det önskade inneklimatet. Klimatdata för Malmö från 2024 hämtades från SVEBY (Sveby, 2025) och importerades i modellen. Närliggande hus modellerades som solavskärmande, se Figur 7.

Tabell 4 Bygghandlingar och dess egenskaper som användes i samtliga modeller

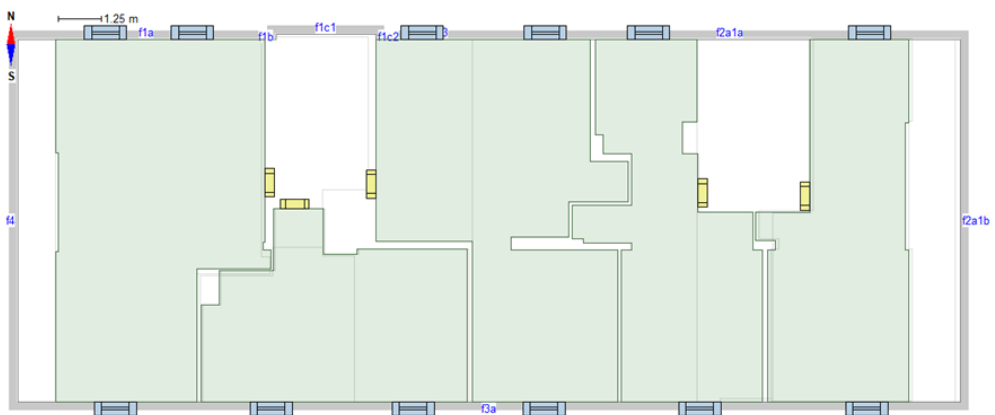
Bygghandling	Ingående material	Lambda [W/mK]	Tjocklek [mm]	U-värde [W/m ² K]
Yttervägg	Tegel	0,58	380 och 510	1,21 och 0,95
Innervägg	Tegel	0,58	250 och 380	-
Bjälklag, mot vind			303	0,88
	Trä (Parkett)	0,14	10	
	Spånskiva	0,13	22	
	Bjälkar med koksaska cc600	0,4	245	
	Gips	0,22	26	
Golv mot mark			357	0,85
	Spånskiva	0,13	22	
	Bjälkar med koksaska cc600	0,40	335	
Fönster, tvåglas*				2,90

*Det antogs att fönstret var ett tvåglasfönster



Figur 7 Figuren visar hur närliggande byggnader modellerades runt byggnaden som undersöktes

När en modell med indata var byggd, Figur 8, påbörjades en iterativ process att kalibrera modellens användning mot den verkliga byggnadens användning genom energisimuleringar på ett år. Parametrar som ändrades på var; köldbryggor, U-värden på fönster och läckage vid anslutningar, dessa ändras då de finns men dess storlek vad okänd. För köldbryggornas storlek användes 15 % som riktvärde, där procentsatsen avser hur mycket transmissionsförlusterna ökar jämfört med en byggnads transmissionsförluster utan köldbryggor.



Figur 8 Ett våningsplan av modellen som byggdes

Tilluften modellerades som infiltration, med vindtryck som drivkraft, genom otätheter med enheten l/sm^2 golvarea vid 50 Pa tryckskillnad. Frånluften modellerades som ett forcerat läckage med ett konstant frånluftsflöde i programmet. Ventilationsflödena var

okända och behövde uppskattas. Eftersom OVKn var underkänd beräknades först vilket ventilationsflöde som krävdes för en godkänd OVK för att sedan kunna uppskatta ett lägre flöde som byggnaden kunde ha utan att uppnå detta krav. Ventilationsflödet beräknas med tre metoder där det största flödet blir det som användes; dimensionerande tilluft med 0,35 l/s per m², dimensionerande tilluft med 4 l/s per person och dimensionerande frånluft med 10 l/s frånluft i kök och 15 l/s frånluft i WC.

Den dimensionerande frånluften gav det största flödet på 25 l/s. För att kontrollera att kravet på 0,35 l/s per m² inte gällde för någon lägenhet beräknades den minsta kvadratmetern en lägenhet skulle behöva vara genom att dela 25 på 0,35 som gav 71 m². Ingen av lägenheterna är 71 m² eller större, därmed var frånluften dimensionerande. Målet med den kalibrerade modellen var att ventilationsflödet inte skulle vara godkänt, därför uppskattades ventilationsflödet till 15 l/s per bostad, som var 60 % av dimensionerande flöde.

Tabell 5 visar all indata som användes för den kalibrerade modellen. Den färdiga kalibreringen gav en energianvändning som var 3 % lägre per m² och år när tappvarmvattenanvändningen var bortdragen. Kalibreringen blev inte exakt utan vissa månader var modellens användning högre än de faktiska värdena och vissa månader var det motsatsen, de månader som skillnaden var störst var januari då den kalibrerade modellens energianvändning var 30 % mer och april där modellens användning var 33 % mindre än den faktiska användningen.

Tabell 5 Indata som användes i den kalibrerade modellen

Parameter	Delparameter	Värde, varierande enhet
Innetemperatur*		21 °C
Hushållsenergi*	Energi	30 (kWh/m ² A _{temp} år)
	Internlast som kan tillgodogöras	70 %
Personvärme*	Antal	Enligt Tabell 6
	Närvaro	14/7/52
Infiltration**	Vind drivet flöde	3,2 l/(s.m ² floor), vid ΔP 50 Pa.
Köldbryggor**	Yttervägg/interna bjälklag	0,2 W/K/(m anslutning)
	Ytterväggar/innerväggar	0,2 W/K/(m anslutning)
	Utstickande hörn	0,2 W/K/(m anslutning)
	Fönster	0,4 W/K/(m omkrets)
Extra energi och förluster	Varmvattenanvändning	0
Idealiserad radiator	Energikälla, fjärrvärme	10000 W, COP 1
Forcerat läckage	Givet flöde oberoende av tryckskillnad	15 l/s
Klimatfil		Malmö 2024

*Data från BEN2, **Värden som togs fram iterativt

Tabell 6 Personnärvaro i en lägenhet beroende på dess storlek enligt BEN2

Antal rum och kök	1	2	3	4	5+
Antal personer	1,42	1,63	2,18	2,79	3,51

3.2.1.1 Energi – FTX och FT

För FTX-modellen modellerades ett kontinuerligt från- och tilluftssystem med värmväxling. Då frånluftsfloödet var det dimensionerande, med ett flöde på 25 l/s, modellerades tilluften till samma flöde så systemet skulle vara balanserat i lägenheten. Fasaden modellerades som tätare än ursprungsmodellen genom att minska infiltrationen från 3,2 L/(s.m² golv) till 0,8 L/(s.m² golv) vid ΔP 50 Pa. Det forcerade läckaget genom fasaden togs bort. Tilluften i luftbehandlingssystemet kommer variera med uteluftstemperaturen. Då inget värme- eller kylbatteri modellerats kommer tilluften inte kunna förvärmas mer än mängden som återvinns från frånluften. Inställningarna för luftbehandlingsaggregatet presenteras i Tabell 7.

Tabell 7 Inställningar på FTX- och FT-system som simulerades

Del	Värde/Inställning
Tilluftstemperatur	Varierar beroende på utetemperatur
Värmväxlare	Alltid på, verkningsgrad: 85 %, lägsta tillåtna avluftstemperatur: 1 °C, högsta tilluftstemperatur för värmväxling: 18 °C
Tilluftsflykt	Alltid på, tryckökning: 400 Pa, effektivitet: 85%, SFP: 0,4706, temperaturhöjning: 0 °C
Frånluftsflykt	Alltid på, tryckökning: 400 Pa, effektivitet: 85%, SFP: 0,4706, temperaturhöjning: 0 °C

Energianvändningen för FT-systemet beräknades med resultatet från FTX-modellen genom att addera energianvändningen med mängden återvunnen energi för att simulera att värmväxlaren har en verkningsgrad på 0%.

Att värmväxlaren ställdes in på ”alltid på” kommer inte påverka aggregatets energianvändning under varma månader när uteluften är varmare än frånluften då aggregatet endast värmer uteluften till en önskat tilluftstemperatur 18 °C, däremot kommer tilluften värmas under de tider då uteluftens temperatur understiger den satta tilluftstemperaturen.

3.2.1.2 Energi – FX och F

Modellen för FX-systemet modellerades som ett F-system som kontinuerligt ventilerade ut lägenheterna med ett flöde på 25 l/s, inställningarna för fläkten presenteras i Tabell 8. Tilluftsfloödet modellerades som ett forcerat flöde på 25 l/s genom ett läckage i väggen för att säkerställa tillräckligt flöde och balans mellan till- och frånluft.

Tabell 8 Inställningar för frånluftsflykten i FX-systemet som simulerades

Del	Värde/Inställning
Frånluftsflykt	Alltid på, tryckökning: 400 Pa, effektivitet: 85%, SFP: 0,4706, temperaturhöjning: 0 °C

Modellen blev för tung att modellera ett fullständigt vattenburet radiatorsystem med en frånluftsvärmepump. Då utformningen och regleringen av det vattenburna radiator-systemet var okänt och endast tappvarmvattenanvändningen på en månadsbasis för hela

byggnaden var känd och inte fördelningen mellan lägenheter modellerades modellen utan ett värmeåtervinningssystem. Resultatet från modellen gav energianvändningen för F-systemet. Resultatet användes sedan för att beräkna värmeåtervinningen för varje timme under året för hand. Den teoretiska effekten från frånluften för varje timme beräknas med formel 5, då effekten (W) beräknas för varje timme integreras den sedan över 1 h som ger energin (Wh). Effekten som gick att utvinna från frånluftsvärmepumpen beräknades sedan med formeln 6. Det extra effektbehovet per timme, P_{spets} , kunde då beräknas genom att addera tappvarmvattenbehovet till det simulerade behovet och subtrahera energin från frånluftsvärmepumpen, formel 7. Var $P_{spets} < 0$, beräknades P_{luft} om med formel 8 som ersätter formel 5, 6 och 7. Detta för att frånluftsvärmepumpen inte skulle dra mer el än nödvändigt. Ett antal värden antogs vara konstanta för att underlätta beräkningen, dessa presenteras i Tabell 9

$$P_{luft} = \rho_{luft} \cdot c \cdot q_{från} \cdot (T_{från} - T_{av}) \quad (5)$$

$$P_{FVP} = P_{luft} \cdot COP \quad (6)$$

$$P_{Spets} = P_{sim.behov} - P_{FVP} + P_{TVV} \quad (7)$$

$$P_{luft,korr} = \frac{P_{sim.behov} + P_{TVV}}{COP} \quad (8)$$

Tabell 9 Antagna konstanter vid handberäkning

Parameter	Värde
ρ_{luft} , vid 20 °C	1,204 kg/m ³
c	1005 J/kgK
q _{från}	0,475 m ³ /s
T _{från}	Varierande per timme, data från simulering
T _{av}	5 °C
P _{TVV}	2523 W
COP	3

Ett räkneexempel när värmeåtervinningen var större än användningen en timme och nytt P_{luft} beräknades. Data från 17 februari klockan 16:00, värden är avrundade till noll decimaler

$$P_{luft} = 1,204 \cdot 1005 \cdot 0,475 \cdot (21 - 5) = 9193 \text{ W} \quad (9)$$

$$P_{FVP} = 9193 \cdot 3 = 27579 \text{ W} \quad (10)$$

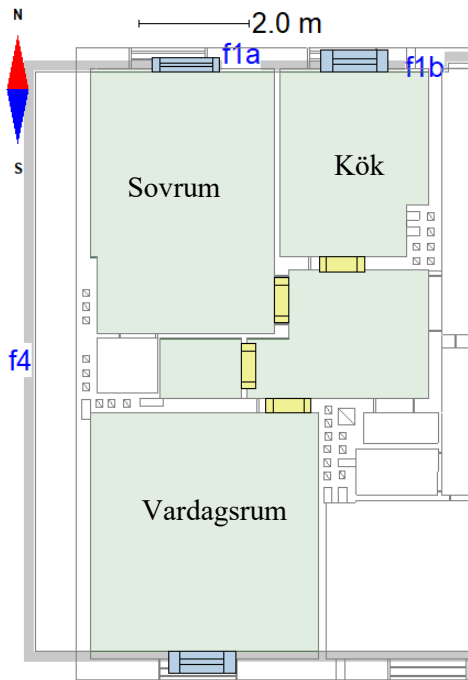
$$P_{spets} = 20436 - 27579 + 2523 = -4620 \text{ W} \quad (11)$$

$$P_{luft,korr} = \frac{20436 + 2523}{3} = 7653 \text{ W} \quad (12)$$

3.2.2 Byggnadsmodell för inneklimatssimuleringar

För att minska simuleringstiden för inneklimatet simulerades bara en lägenhet i byggnaden under vinterveckan 1:a januari till 8:e januari 2024. Varje rum i lägenheten blev en zon för att kunna se ventilationsflödena och temperaturskillnader inne i lägenheten, se Figur 9. Tilluft fördelas på sovrum och vardagsrum, medan frånluften fördelas på kök och toalett. Byggnadskonstruktionen och material bevarades från energimodellen. För att simulera en begränsad radiatoryta och en temperaturdifferens mellan radiatoren och rummet modellerades radiatorer i lägenheten med en begränsning på 400 W. Personnärvaron ändrades från BEN 2s snittvärden till två personer. Totala

antalet timmar närvaro per dygn bevarades, men ett antagande i vilket rum och hur länge personerna befinner sig i gjordes enligt Tabell 10. För utrymmen som hall och toalett där personerna bara vistas tillfälligt sattes närvaron till noll. Personerna placerades mitt i rummet då det var den operativa temperaturen som jämfördes.



Figur 9 Lägenheten som modellerades för inneklimatssimuleringarna

Tabell 10 Schema för personnärvaro under inneklimatssimuleringarna

Rum	Antal personer	Tid närvarande
Sovrum	2	21:00-06:00
Vardagsrum	2	19:00-21:00
Kök	2	06:00-07:00, 17:00-19:00

Tre versioner skapades av modellen för att kunna simulera tre olika fall:

1. Alltid öppen dörr till kök och alltid stängd dörr till vardagsrum och sovrum
2. Alltid öppen dörr till kök och vardagsrum och alltid stängd dörr till sovrum
3. Alltid öppen dörr till kök, vardagsrum och sovrum

När dörren är stängd fanns en luftspalt på 0,01 m² som tillät inneluften att röra sig till och från rummen.

3.2.2.1 Inneklimat – FTX och FX

Anpassningarna som gjordes för energisimuleringen av FTX- och FX-systemet bevarades för det mesta, de förändringar som gjordes presenteras i Tabell 11 för FTX-systemet och i Tabell 12 för FX-systemet

Tabell 11 Anpassningar av grundmodell som gjordes för FTX-systemet

Del	Förändring	Ursprung
Tilluftsläkt	Höjer tilluften 1 °C	Höjer tilluften 0 °C
Frånluftsläkt	Höjer frånluften 1 °C	Höjer frånluften 0 °C
Tilluft	Vardagsrum och sovrum	Samma zon
Frånluft	Kök och toalett	Samma zon

Tabell 12 Anpassningar av grundmodell som gjordes för FX-systemet

Del	Förändring	Ursprung
Frånluft	Kök och toalett	Samma zon
Läckage (Uteluft)	Tryckdrivet läckage genom 0,005 m ² vid 4 Pa i vardagsrum och sovrum	Forcerat läckage på 25 l/s

3.3 Kostnadsberäkning

Hur lönsamheten ska beräknas beror på vilka förutsättningar som gäller. Om S-systemet har en underkänd OVK och inte kan uppfylla myndighetskrav måste ett F eller FT-system installeras. Eftersom uppgraderingen är nödvändig ingår inte kostnaden för att installera ett F- eller FT-system i lönsamhetsberäkningen. För detta fall blir det av intresse att undersöka om även återvinning är lönsam att installera. Kostnaden för värmeåtervinningen ska då ställas mot energibesparingen som fås vid installation av värmeåtervinning. Om S-systemet uppfyller OVK blir det av intresse att undersöka effekten av att installera ett FX- eller FTX -system jämfört med ett S-system ur energi, inneklimat och ekonomisk synpunkt. Då ska även installationskostnaden för hela ventilationssystemet inkluderas i lönsamhetsberäkningen.

Kostnadsberäkningen delades upp i tre delar, driftkostnaden per år för S-, FX-, F-, FTX- och FT-systemen, material- och installationskostnaden för FX- och FTX-systemen respektive kostnaden för återvinning för FX- och FTX-systemen vid jämförelsen med F- och FT-systemen. För S-, FTX-, FT- och F-systemen användes fjärrvärme som energikälla för uppvärmning av byggnaden och tappvarmvattnet medan för FX-systemet ersattes fjärrvärmens med el som spets för att täcka det extra energibehovet när återvinningen från frånluftsvärmepumpen inte var tillräckligt stor. Energi användningen som användes vid beräkningarna kom från respektive energisimulering.

Kostnaden för fjärrvärme per månad var uppdelad i tre poster: energidel, som är antalet använda kWh, effektdel, effekten i kW som byggnaden behöver under ett dygn när det är kallt ute, och flödesdel, som är mängden fjärrvärme i m³ som passerar byggnadens fjärrvärmecentral (Eon, 2025). Driftkostnaden med fjärrvärme beräknades därför på två

olika sätt. En förenklad metod där ett förhållande mellan pris och användning beräknades och en mer avancerad där posterna beräknades.

För jämförelsen när man uppgraderar från S-system till FTX- respektive FX-system är kostnaden för material och installation av kanaler, aggregat och fläktrum inkluderat i investeringskostnaden. Besparingen per år beräknades som mellanskillnaden i driftkostnaden mellan S- och FTX-systemet respektive mellan S- och FX-systemet.

I jämförelsen då systemet uppgraderades från FT till FTX respektive från F till FX är det endast kostnaden för återvinningen som är inkluderat i investeringskostnaden. Kostnaden för material och installation av kanaler antogs var densamma och bortses ifrån då den investeringskostnaden behövdes för samtliga system. Kostnader för eventuella åtgärder så som håltagning och tätning har bortsetts ifrån i båda jämförelser. Alla priser och kostnader som används i beräkningen är exklusive moms, däremot har energiskatt för el inkluderats då det är momspliktigt. Abonnemangsavgifter för el och fjärrvärme har exkluderats ur beräkningen.

Med investeringskostnaden och besparingen beräknades investeringens lönsamhet med nuvärdesmetoden och payback-metoden. Investeringsanalysen utfördes med nuvärdesmetoden och payback-metoden liksom den första investeringsanalysen som utfördes.

3.3.1 Drift

Driftkostnaden under ett år för det simulerade S-, FTX-, FT- och F-systemet, som använder fjärrvärme, beräknades på två sätt. En förenklad beräkning där kostnaden för 1 kWh beräknades från en månadsfaktura, som inkluderar en energidel, en effektdel och en flödesdel. Då det var känt vad användningen och totala priset var för en månad delades priset på användningen som gav ett förhållande i kr/kWh. Detta förhållande användes sedan för att beräkna kostnaden för energianvändningen under de simulerade månaderna.

Den andra metoden delade upp kostnaden för energidel, effektdel och flödesdel. Energidelen beräknas från det simulerade energibehovet multiplicerat med fjärrvärmepriset under året. Kostnaden för effektdelen beräknades sedan i Excel genom att beräkna en dagsmedeleffekt för varje dag under året. Endast värden när uttemperaturen understeg 15 °C användes. Den högsta dagsmedeleffekten för varje månad användes sedan för att beräkna effektkostnaden. Flödesdelen var enligt Eon (2025) cirka 10 % av den totala månadsavgiften. Månadsavgiften beräknades därför utifrån värden på energidelen och effektdelen med formel 13.

$$\text{Månadskostnad} = \frac{\text{energidel} + \text{effektdel}}{0,9} \quad (13)$$

Elkostnaden exklusive moms togs fram från (Beck Solutions AB, 2025) som gav snittpriset på el för varje månad under 2024. Tabell 13 summerar ingående parametrar och priser.

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

Tabell 13 Priserna för de ingående delarna

Parameter	Indata	Pris
Energidel	Simulerat	0,55 kr/kWh
Effektdel	Simulerat	90,91 kr/kWh
Fläktar	Simulerat	Tabell 14
Energiskatt	Beräknat	0,428 kr/kWh

Tabell 14 Snittpriser för el varje månad under 2024

Månad	El [kr/kWh]
Januari	0,84
Februari	0,55
Mars	0,63
April	0,62
Maj	0,51
Juni	0,63
Juli	0,43
Augusti	0,46
September	0,31
Oktober	0,30
November	0,85
December	0,69

Tabell 15 visar den framräknade snittkostnaden för en kWh varje månad exklusive moms för den förenklade beräkningen och för den detaljerade beräkningen där kostnaderna delades upp i tre poster.

Tabell 15 Det framräknade snittpriser för 1 kWh under året för de två beräkningarna

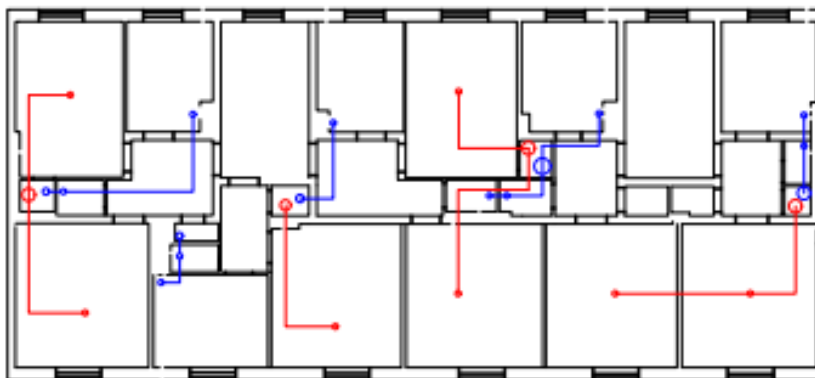
Månad	Förenklad beräkning [kr/kWh]	Uppdelad beräkning, FTX [kr/kWh]
Januari	0,90	0,61
Februari	0,90	0,61
Mars	0,90	0,58
April	0,90	0,24
Maj	0,90	0,19
Juni	0,90	0,20
Juli	0,90	0,20
Augusti	0,90	0,19
September	0,90	0,20
Oktober	0,90	0,24
November	0,90	0,61
December	0,90	0,61

För att beräkna kostnader för FX-systemet användes det simulerade energibehovet, det antogs att systemet frånkopplas från fjärrvärmens och det extra energibehovet tillfredsställdes med el. FX-systemets kostnader delades därför upp på: pump, fläktar, spetsvärme och energiskatt. Elanvändningen för pump är det korrigerade $P_{\text{luf},\text{kor}}$ som beräknades i energidelen, elanvändningen för fläktar är från IDA ICE, spetsvärmens är energibehovet som frånluftsvärmepumpen inte täckte och energiskatten. Priser på el enligt Tabell 14.

3.3.2 Byggekostnader

Investeringskostnaden begränsades till att bara inkludera materialkostnader för kanaler, fläktrum och aggregat för jämförelsen mellan S och FTX. Programvaran Wikells användes för att få installationskostnaden av kanaler per meter, aggregat och arbetskostnaden. För att kunna bestämma löpmeterkanal ritades en kanaldragning. Det antogs att aggregatet för respektive system placerades på vinden för att minimera löpmetern utelufts- och avluftskanaler. Figur 10 visar kanaldragningen på våningsplanen två, tre och fyra. Befintliga garderobers användes som schakt för vertikala kanaler. Röda linjer är tilluftskanaler för FTX-systemet och blåa är frånluftskanaler för både FX- och FTX-systemet. Kanalstorlekar dimensionerades med de bestämda flödena och ett tryckfall på 1 Pa/m. I Tabell 16 presenteras material-kostnaden för en meter kanal tilluft och frånluft samt kostnaden inklusive arbete för de olika dimensionerna. Till- och frånluftskanalerna kostar olika mycket på grund av isoleringen. Tabell 17 summerar löpmeterna för de två systemen.

För jämförelse mellan F och FX respektive mellan FT och FTX ingick bara investeringskostnaden för värmeåtervinning. Investeringskostnaden för ventilationskanaler behövs inte då det hade varit en investering som är nödvändig för båda.



Figur 10 Kanaldragningen som gjordes för att beräkna löpmeter kanal. Röda kanaler är tilluft och blåa kanaler är frånluft. Linjerna är ej till skala

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

Tabell 16 Material- och arbetskostnad för en meter kanal för de olika dimensionerna

Dimension [mm]	Material [kr/m]	Material och arbete [kr/m]
400 uteluft, isol V2	1128	3349
400 avluft, isolV2	1128	3349
80 tilluft, isov V2	239	820
100 tilluft, isol V2	283	967
125 tilluft, isol V2	334	1082
200 tilluft, Isol v2	530	1733
250 tilluft, isol V2	754	2281
315 tilluft, isol V2	908	2843
80 Frånluft, isov V1	239	695
100 frånluft, isol V1	283	813
125 frånluft, isol V1	334	918
160 frånluft, isol V1	385	1029
200 frånluft, isol V1	530	1321
250 frånluft, isol V1	754	1651
315 kanal på vind, isol V4	718	3445

Tabell 17 Antalet löpmeter kanal för varje dimension för de två systemen

Dimension [mm]	FX	FTX	
	Löpmeter frånluftskanaler [m]	Löpmeter frånluftskanaler [m]	Löpmeter tilluftskanaler [m]
80	23	23	47
100	3	3	52
125	59	59	28
200	33	33	33
250	37	37	22
315	1	1	16
400	3	3	3

Kostnaden för aggregaten exklusive respektive inklusive ett fläktrum presenteras i Tabell 18. Kostnaderna för FTX- och FX-aggregatet kommer ifrån Wikells. För kostnaden för ett FT- och F-aggregat gjordes en uppskattning att aggregatet skulle kosta 50 % av ett FTX respektive FX-aggregat. För beräkningar användes kostnaden som inkluderar ett fläktrum.

Tabell 18 Kostnaden för aggregaten exklusive och inklusive fläktrum

Aggregat	Enhetspris [kr]	Inklusive fläktrum [kr]
FTX	243 500	404 200
FT	121 800	282 500
FX	146 100	251 100
F	73 050	178 050

3.3.3 Jämförelse

Två ekonomiska kalkyler byggdes för jämförelsen av systemen, en nuvärdesanalys och payback-metoden. Nuvärdesanalysen beräknas med formel 14, där n är antal år, i är aktuellt år, r är diskonteringsräntan som sattes till 10 %. Besparingen beräknades som skillnaden mellan kostnaden för årsenergianvändningen för S-systemet och FTX-systemet respektive FX-systemet. Investeringskostnaden är summan av material, arbetskostnad och aggregatet för FTX-systemet respektive FX-systemet.

Är nettonuvärdet (NNV) större än noll är investeringen lönsam och om NNV är mindre än noll är investeringen inte lönsam. Payback-metoden beräknas med formel 15, där investeringskostnaden delades på besparingen per år.

$$NNV = \left(\sum_{i=0}^n \frac{Besparing_i}{(1+r_i)^i} \right) - Investeringskostnad \quad (14)$$

$$Payback = \frac{Investeringskostnad}{Besparing \text{ per år}} \quad (15)$$

4 Resultat

Resultatet från undersökningen presenteras i detta kapitel. Presentationen av resultatet kommer vara uppdelad i tre delkapitel för respektive undersökning, energi, inneklimat och kostnad.

4.1 Energi

Energikapitlet är uppdelat i underkapitel, S-systemet, FTX-systemet och FX-systemet där resultatet från respektive simulering presenteras. I slutet av kapitlet genomförs en kort jämförelseanalys på resultatet mellan de olika systemen.

4.1.1 S-system

Undersökningen av fastighetens energibehov utgick från att endast ventilationen uppgraderas från S-system till FTX-system respektive FX-system. De befintliga vattenburna radiatorsystemen med fjärrvärme som primärenergikälla behövs för S-systemet och FTX-systemet. I modellen för FX-systemet ersattes fjärrvärme med el som primärenergikälla.

Modellen som användes för att simulera energianvändningen byggdes och kalibrerades med hjälp av ritningar på byggnaden och fjärrvärmeanvändningen. Energianvändningen under juni, juli, augusti och september antogs vara brukarnas varmvattenanvändning. Då det inte gick att avgöra hur fördelningen av denna såg ut simulerades den inte utan adderades i efterhand. I Tabell 19 presenteras fastighetens uppmätta och fakturerade energianvändning samt den simulerade energianvändningen för den kalibrerade modellen.

Tabell 19 Energianvändningen från originalbygganden samt den simulerade energianvändningen från den kalibrerade modellen. *TVV=Tappvarmvattenanvändning

Månad	Originalfallets uppmätta energianvändning		Simulerad energianvändning	
	Med TVV* [kWh]	Utan TVV* [kWh]	Utan TVV* [kWh]	Med TVV* [kWh]
Januari	17 139	15 322	19 852	21 669
Februari	16 000	14 183	13 480	15 297
Mars	16 862	15 045	12 531	14 348
April	13 711	11 894	8 021	9 837
Maj	4 243	2 426	875	2 692
Juni	1 666	0	387	2 204
Juli	1 849	32	35	1 851
Augusti	1 830	13	0	1 817
September	1 922	105	441	5 826
Oktober	9 895	8 078	5 826	3 421
November	12 614	10 797	12 149	13 966
December	15 154	13 337	15 513	19 330
Total	112 885	91 084	89 109	110 910

Den uppmätta användningen i kWh/m², totala energianvändningen delat på A_{temp}, är 109 utan tappvarmvattenanvändningen och 135 med tappvarmvattenanvändningen. De simulerade värdena i den kalibrerade modellen är 106 respektive 133 kWh/m². Det anses vara ett resultat som är representativt och modellen kommer användas för simuleringarna av systemen.

4.1.2 FTX- och FT-systemet

Simuleringar för FTX-systemet gav energianvändningen enligt Tabell 20. Med ett FTX-system reducerades behovet av uppvärmning med radiatorer då tilluften värms upp med hjälp av värmeåtervinning av frånluften. Den största delen av värmeåtervinningen sker under uppvärmningssäsongen då uteluften är kallast. Under sommarhalvåret är behovet att värma upp lägenheten mindre och därmed sjunker energianvändningen. Årsenergibehovet för FTX-systemet blev 115 kWh/m². I årsenergibehovet är uppvärmning, ventilation och tappvatten inkluderat.

Tabell 20 Resultatet från energisimuleringen för FTX-systemet

Månad	Användning* utan TVV** [kWh]	Användning* med TVV** [kWh]	Användning* fläkt [kWh]	Användning* FTX [kWh]
Januari	16 246	18 063	317	18 380
Februari	10 762	12 579	289	12 868
Mars	9 777	11 593	320	11 913
April	6 063	7 880	313	8 193
Maj	547	2 364	330	2 694
Juni	291	2 108	320	2 428
Juli	31	1 848	332	2 180
Augusti	0	1 817	332	2 149
September	328	2 145	320	2 465
Oktober	4 578	6 394	326	6 720
November	9 889	11 706	312	12 018
December	12 705	14 521	320	14 841
Total	71 217	93 018	3 830	96 849

*Användning=Energianvändning, **TVV=Tappvarmvattenanvändning

Från simuleringsresultatet adderades den återvunna energin till användningen för FTX-systemet för att beräkna energianvändningen av ett FT-system. Resultatet presenteras i Tabell 21.

Tabell 21 Energin som FTX-systemet återvann och totala energianvändningen per månad för FT-systemet

Månad	Återvunnen energi [kWh]	Användning FT [kWh]
Januari	7136	25 516
Februari	5402	18 228
Mars	5645	17 514
April	4265	12 433
Maj	1543	4 238
Juni	1089	3 516
Juli	530,8	2 711
Augusti	360,9	2 510
September	1200	3 652
Oktober	3028	9 678
November	4647	16 619
December	5692	20 491
Total	40538,7	137 108

4.1.3 FX- och F-system

Tabell 22 visar resultatet för FX-, F-systemet och medeltemperaturen för varje månad. ”Energibehov med TVV” är det simulerade energibehovet inklusive tappvarmvattenanvändningen innan värmeåtervinningen beräknats. Det vill säga är det köpta energibehovet för F-systemet. ”Energianvändning aggregat” är den delen el som måste köpas för att driva frånluftsvärmepumpen. ”Spetsvärme” är den del som måste köpas utöver den återvunna värmen för att täcka byggnadens behov. Summan av aggregatets energianvändning och spetsvärme är den mängd elenergi som behövs köpas varje månad för FX-systemet. Mellanskillnaden mellan ”Energibehovet med TVV” och ”Köpt energi för FX-system med TVV” är den återvunna energin från FX-systemet. Årsenergibehovet för FX-systemet blev 65 kWh/m².

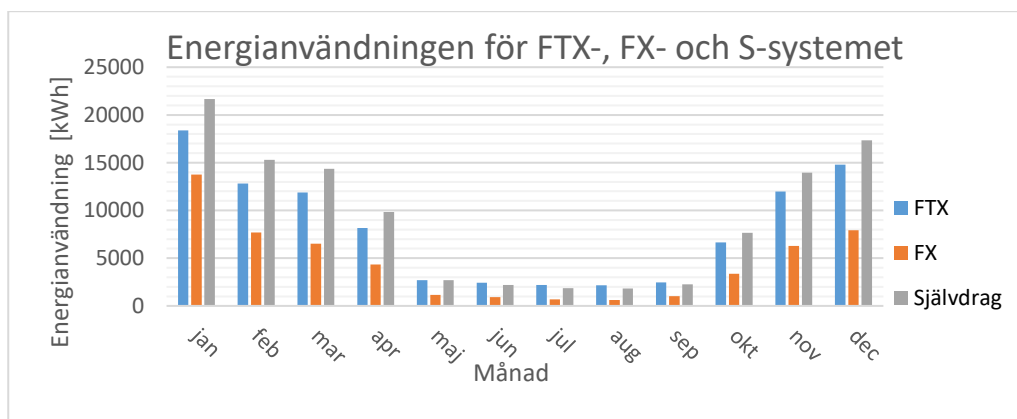
Tabell 22 Resultatet från energisimuleringen och handberäkningen (markerad med *) för F- och FX-systemet

Månad	Energibehov med TVV (köpt behov för F-system) [kWh]	Energianvändning aggregat [kWh]*	Spetsvärme [kWh]*	Köpt energi för FX-system med TVV [kWh]*	Medel ute temperatur [°C]
Januari	27 304	6 808	6 942	13 749	0,5
Februari	19 926	6 096	1 579	7 674	4
Mars	18 201	5 880	621	6 501	5
April	12 666	4 161	182	4 343	8
Maj	3 424	1 161	0	1 161	15
Juni	2 782	927	0	927	16
Juli	1 952	671	0	671	18
Augusti	1 819	626	0	626	19
September	3 102	1 034	0	1 034	16
Oktober	9 995	3 352	0	3 352	11
November	17 441	5 574	718	6 293	7
December	20 730	6 395	1 544	7 939	5
Total	139 341	42 686	11 586	54 272	10

4.1.4 Jämförelse mellan S och FX respektive FTX

I Figur 11 presenteras det totala energibehovet per månad för de tre ventilations-systemen. FTX-systemet har en besparing på cirka 15 % per månad, men ett ventilations-flöde som ökat från 60 % av godkänt flöde för S-systemet till godkänt flöde för FTX-systemet, under uppvärmningsmånaderna, januari-april och oktober-december i jämförelse med S-systemet. Under sommarmånaderna är energi-användningen större för FTX-systemet. Inget av systemen har något behov av uppvärmning under denna somarperiod, utan användningen har antagits vara tappvarm-vattenanvändningen, FTX-systemets användning ökar med 10–20 % då systemet fortfarande driver fläktar för ventilationen.

Det går att se en tydligare energibesparing från FX-systemet då den återvunna energin går in i uppvärmningssystemet till skillnad från FTX-systemet. Besparingen per månad i energianvändningen är cirka 55 %. I Tabell 23 visas den procentuella besparingen för varje månad i förhållande till självdragssystemet.



Figur 11 Energibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten per månad för FTX-, FX- och S-system

Tabell 23 Procentuell förändring av energianvändningen för FTX- och FX-systemet i jämförelse med S-systemet

Månad	FTX (%)	FX (%)
Januari	-15	-37
Februari	-16	-50
Mars	-17	-55
April	-17	-56
Maj	0	-57
Juni	+10	-58
Juli	+18	-64
Augusti	+18	-66
September	+9	-54
Oktober	-13	-56
November	-14	-55
December	-15	-54

Tabell 24 presenterar energianvändningen per år och primärenergitalet för samtliga system. Resterande resultat för jämförelsen med FT- och F presenteras i kommande kapitel. För FTX-systemet är det en förbättring med 17 kWh/m² och för FX-systemet är det en förbättring på mer än 70 kWh/m². Multiplicerar man med viktningsfaktorerna, 0,7 för fjärrvärme och 1,8 för el så förbättras byggnadens energiprestanda med 12 kWh/m² för FTX-systemet medan den försämras med 24 kWh/m² för FX-systemet i jämförelse med den kalibrerade modellens primärenergital. Viktningen av primärenergikällan utförs för att ta hänsyn till energikällans ursprung och om den behövs hushållas med.

För FT-systemet är energianvändningen nästan 50 kWh/m² mer än FTX-systemet och primärenergitalet 35 kWh/m² mer. För F- och FX-systemen är skillnaden ännu större. Energianvändningen för F-systemet är 100 kWh/m² mer än FX-systemet. Däremot är primärenergitalet för F-systemet bara 2 kWh/m² mer än FX-systemet då F-systemet viktats med 0,7 för fjärrvärme som primärenergikälla jämfört med FX-systemets 1,8 för el som primärenergikälla.

Viktningen är en grov uppskattning av primärenergitalet då den inte tar hänsyn till alla delar på ett korrekt sätt och delar bortses från. Elen som FTX-systemet använder för att

bland annat driva fläktar till ventilationen ska egentligen beräknas som fastighetsel med det läggs på energibehovet för uppvärmning.

Tabell 24 Energianvändning och viktad användning för originalfallet samt de simulerade fallen

System	Energianvändning [kWh/m ² och år]	Viktad energianvändning [kWh/m ² och år]
Original	135	94
Kalibrerat S	133	93
FTX	115	81
FT	163	114
FX	65	117
F	166	116

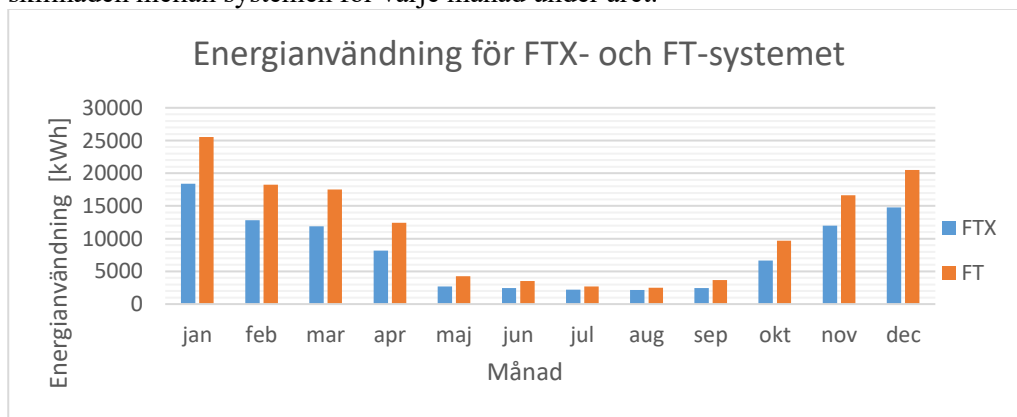
Undersökningen har utgått från att fjärrvärme finns att tillgå som primärenergikälla. Tabell 25 presenterar vad primärenergitalet hade varit i en stad där fjärrvärme inte finns utan el hade varit primärenergikälla för samtliga system. ”

Tabell 25 Primärenergital för samtliga system om el används som primärenergikälla

System	Verklig energianvändning [kWh/m ² och år]	Primärenergital [kWh/m ² och år]
Original uppmätt	135	243
Kalibrerat S	133	243
FTX	115	207
FT	163	293
FX	65	117
F	166	299

4.1.5 Jämförelse mellan FT och FTX

Figur 12, visar energianvändningen per månad för FTX- och FT-systemet. Energianvändning för FTX-systemet minskar i snitt med 29 % per månad jämfört med FT-systemet. Juli och augusti är de månaderna där skillnaden är som minst mellan systemen men FTX-systemet minskar fortfarande användning med 20 respektive 14 %. Under vintermånaderna är minskningen som störst. Tabell 26 visar den procentuella skillnaden mellan systemen för varje månad under året.



Figur 12 Energianvändning per månad för FTX- och FT-systemet

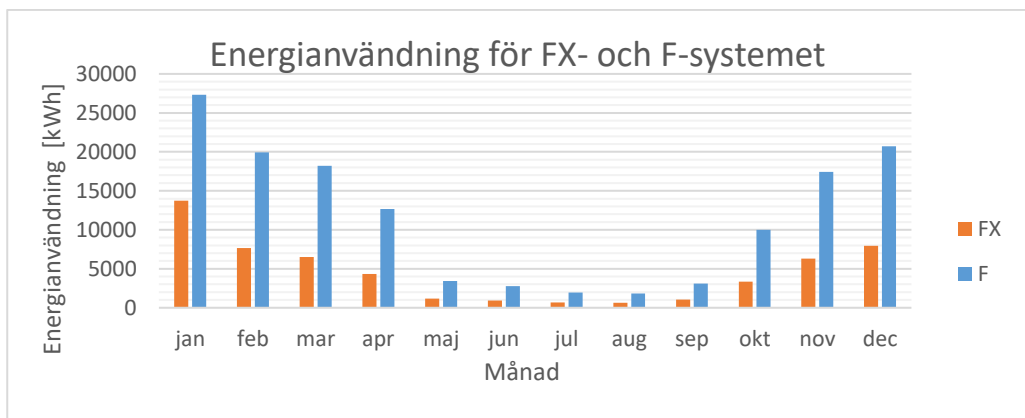
Tabell 26 Den procentuella minskningen varje månad för energianvändning från FT- till FTX-system

Månad	FTX (%)
Januari	-28
Februari	-30
Mars	-32
April	-34
Maj	-36
Juni	-31
Juli	-20
Augusti	-14
September	-33
Oktober	-31
November	-28
December	-28

Energibesparingen på sommaren är procentuellt i samma storleksordning som de andra månaderna, men skillnaden i faktiskt energianvändning är mindre då värmeåtervinning endast sker vid de tillfällen som uteluftstemperaturen understiger 18 °C.

4.1.6 Jämförelse mellan F och FX

Figur 13, visar energianvändningen per månad för FX- och F-systemet. Energinvändning för FX-systemet minskar i snitt med 79 % per månad jämfört med F-systemet. Juli och augusti är de månaderna där skillnaden är som störst mellan systemen, energianvändningen minskar med 100 % under dessa två månaderna. På vintern under uppvärmningssäsongen är den procentuella minskningen mindre, januari och december minskar användningen med 50 respektive 54 %. Tabell 27 visar den procentuella skillnaden mellan systemen för varje månad under året.



Figur 13 Energinvändning per månad för FX- och F-systemet

Tabell 27 Den procentuella minskningen varje månad för energianvändning från F- till FX-system

Månad	FX (%)
Januari	-50
Februari	-64
Mars	-70
April	-75
Maj	-90
Juni	-98
Juli	-100
Augusti	-100
September	-94
Oktober	-71
November	-72
December	-64

4.2 Inneklimat

Inneklimatet jämförs utifrån den operativa temperaturen och koldioxidhalt i sovrummet och vardagsrummet för tre fall:

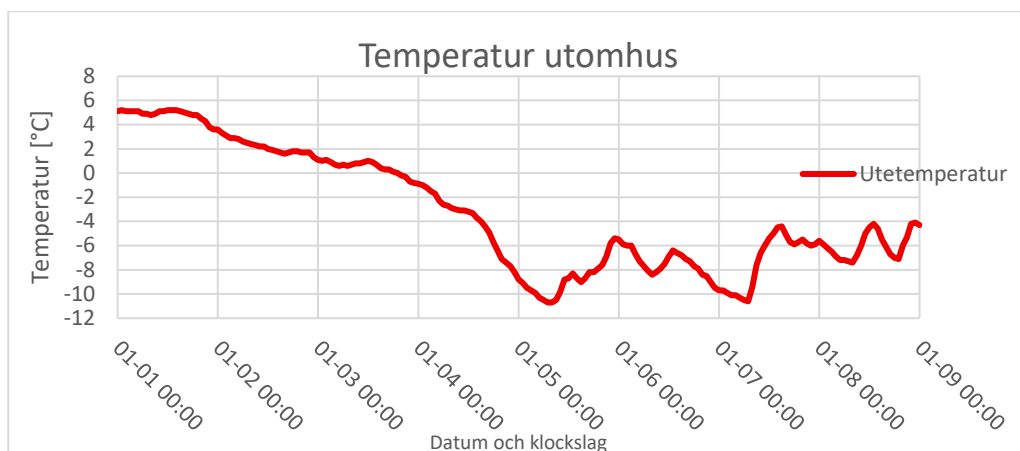
1. Alltid öppen dörr till kök och alltid stängd dörr till vardagsrum och sovrum
2. Alltid öppen dörr till kök och vardagsrum och alltid stängd dörr till sovrum
3. Alltid öppen dörr till kök, vardagsrum och sovrum

Närvaron i lägenheten var antagen till 2 personer och som vistas i respektive rum enligt Tabell 28

Tabell 28 Närvaroschemat i lägenheten

Rum	Tid närvarande
Sovrum	21:00-06:00
Vardagsrum	19:00-21:00
Kök	06:00-07:00, 17:00-19:00

Figur 14 visar utomhustemperaturen under den valda vinterveckan som användes under simuleringarna.

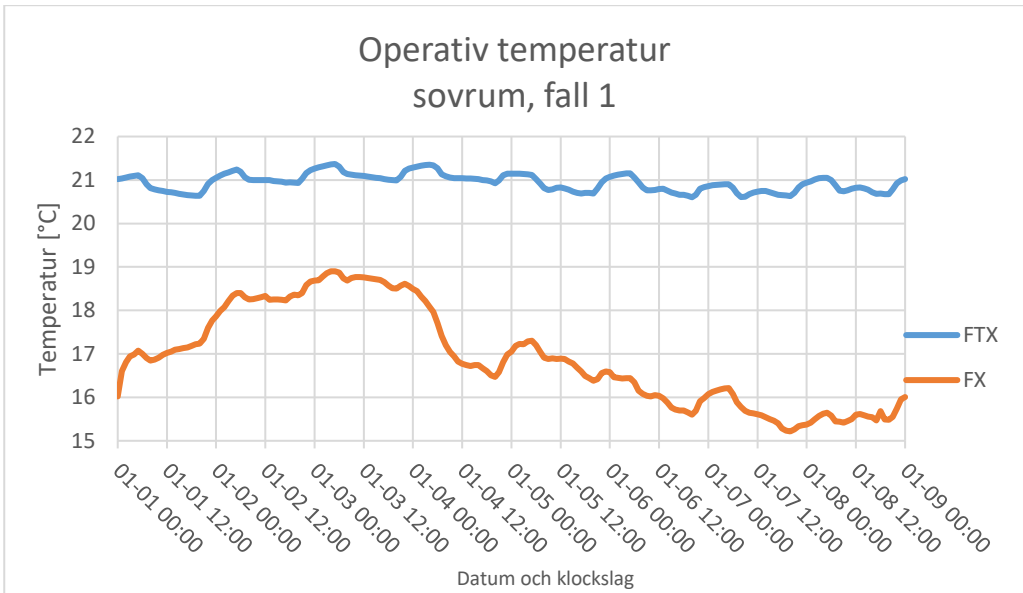


Figur 14 Utetemperaturen under den simulerade veckan

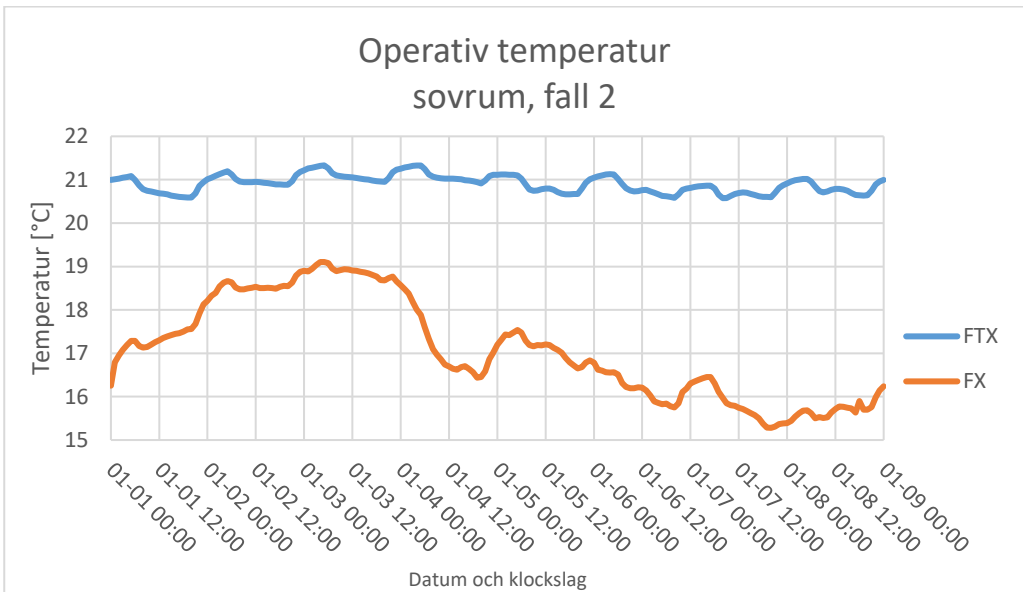
4.2.1 Temperatur

Från de tre fallen som simulerades framgår det att den operativa temperaturen för FTX-systemet är stabil för samtliga rum och fall och ligger runt 21 °C. För FX-systemet däremot är temperaturen mer varierande under simuleringsperioden för samtliga fall och liknar trenden för utetemperaturen.

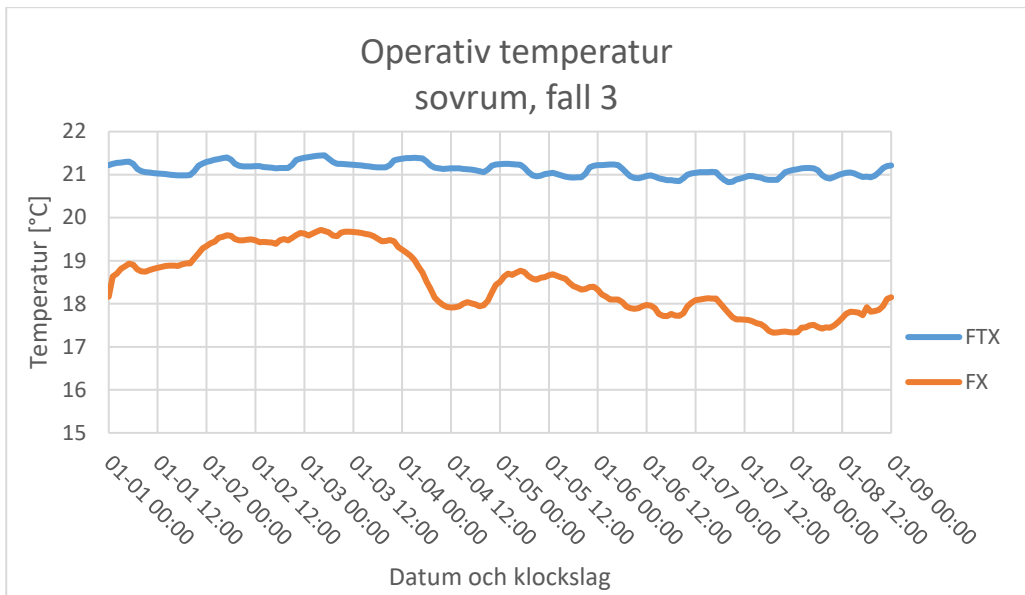
Fall 1 och fall 2 för sovrummet är det värsta fallet för FX-systemet, se Figur 15 och Figur 16. Den operativa temperaturen varierar mellan 15 °C och 19 °C under simuleringsperioden, vilket inte uppnår den önskade temperaturen på 21°C. Figur 17 visar fall 3, variationen i den operativa temperaturen minskar för FX-systemet och varierar mellan 17°C och 20 °C. För FTX-systemet är skillnaden mellan de olika fallen mindre, i samtliga tre fall varierar den operativa temperaturen runt 21 °C men variationen blir något mindre för fall 3 jämfört med fall 1 och fall 2 som är likvärdiga.



Figur 15 Den operativa temperaturen i sovrummet för fall 1, dörr stängd

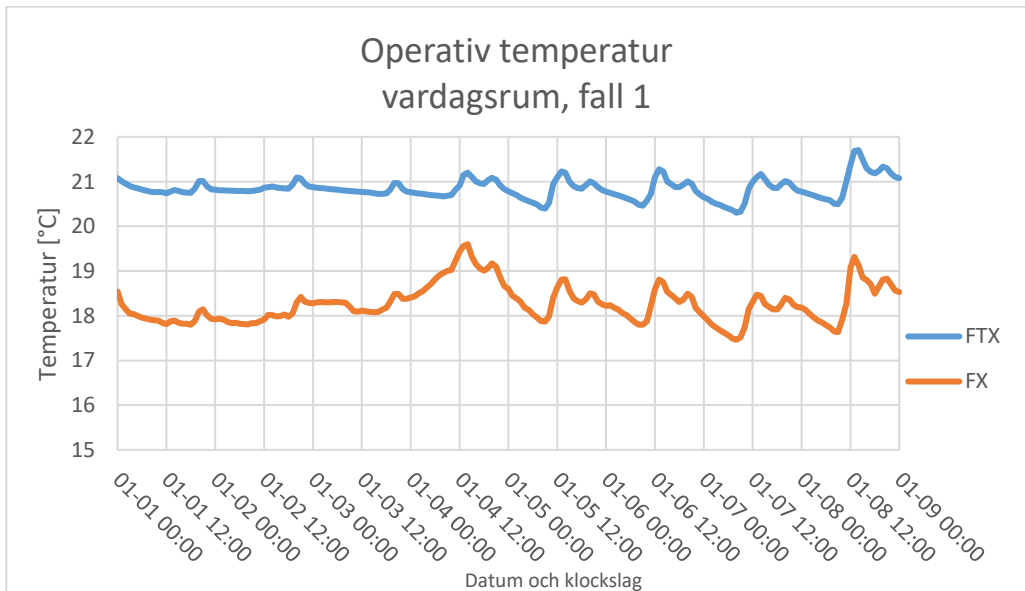


Figur 16 Den operativa temperaturen i sovrummet för fall 2, dörr stängd

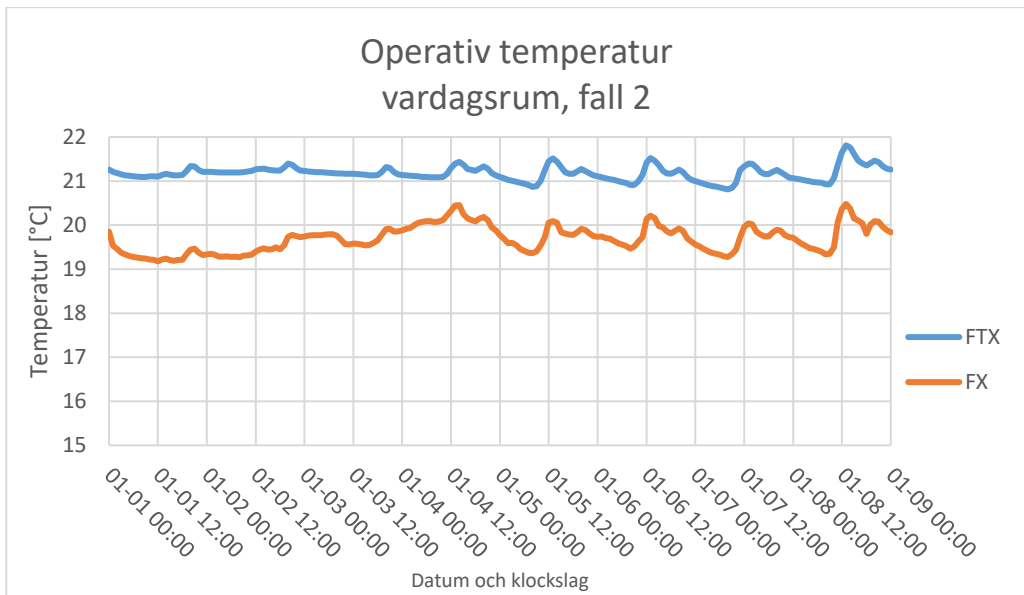


Figur 17 Den operativa temperaturen i sovrummet för fall 3, dörr öppen

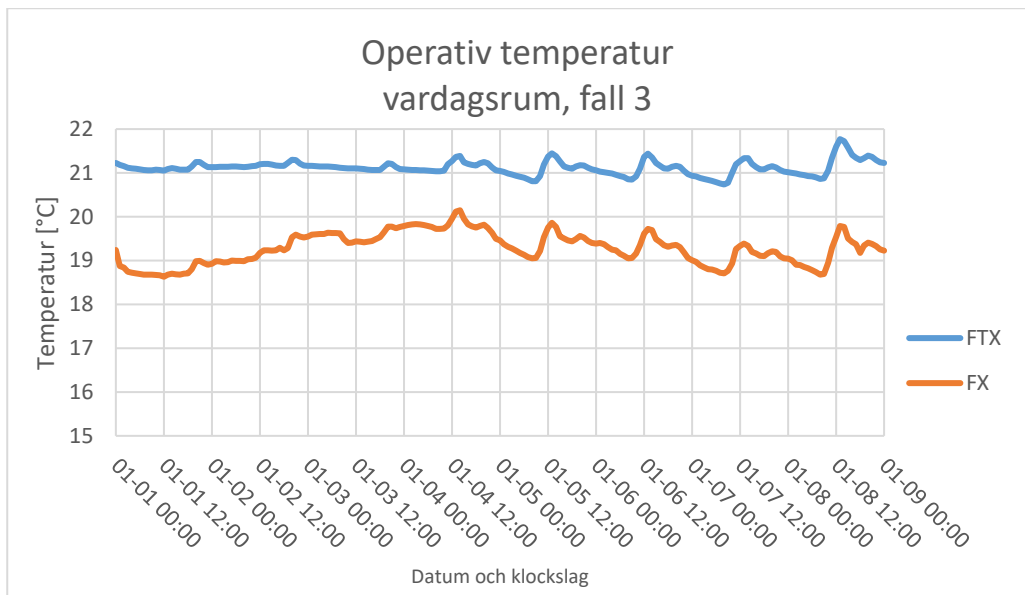
I vardagsrummet är den operativa temperaturen mer jämn under simuleringsperioden för båda systemen i förhållande till sovrummet. Trenden för de två systemen är mer lika varandra. Temperaturen stiger och sjunker vid samma tillfälle, men temperaturvariationen är större för FX-systemet. FTX-systemet ligger precis under 21 °C i fall 1, Figur 18, och precis över 21 °C i fall 2, Figur 19, och fall 3, Figur 20, medan FX-systemet inte uppnår 21 °C i något av de tre fallen.



Figur 18 Den operativa temperaturen i vardagsrummet för fall 1, dörr stängd



Figur 19 Den operativa temperaturen i vardagsrummet för fall 2, dörr öppen



Figur 20 Den operativa temperaturen i vardagsrummet för fall 3, dörr öppen

Figur 20 visar att i fall 3 när både sovrumsdörren och vardagsrumsdörren är öppen minskar temperaturen i vardagsrummet för FX-systemet till skillnad från fall 2 i sovrummet, Figur 17. Fall 3 i sovrummet är det varmaste fallet för FX-systemet. Det går att se att temperaturen i rummen påverkas mest av om dörren är öppen eller stängd in till rummen, men att temperaturen även påverkas av andra dörrar i lägenheten.

Sammanfattningsvis, FX-systemet har svårt att hålla en jämn operativ temperatur och uppnår inte den önskade operativa temperaturen i något av fallen medan FTX-systemet i samtliga simuleringar ligger stabilt runt den önskade temperaturen på 21 °C. Öppen dörr till rummet bidrar till en jämnare temperatur för båda systemen i båda rummen.

4.2.2 Luftkvalitet

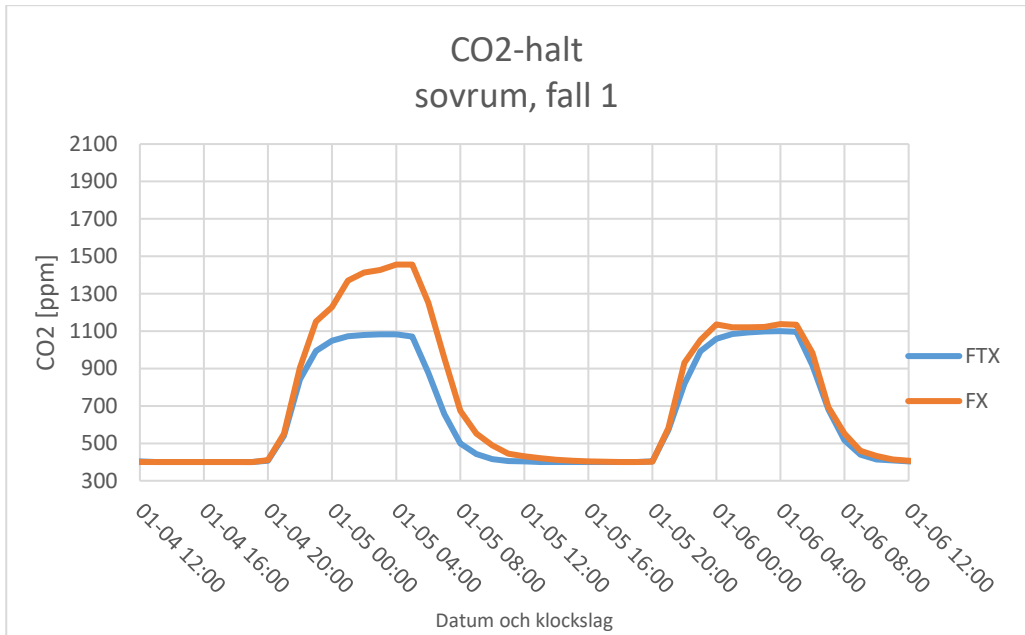
Luftkvaliteten, som använder halten CO₂ som indikator på om den är bra eller dålig, varierar stort under dygnet för båda systemen. För FX-systemet går det att utläsa ur figurerna en stor skillnad på luftens kvalitet beroende på om dörren till rummet är öppen eller inte. Figureerna nedan visar två dagar och generella trenden under simuleringsperioden. Samtliga sex figurer för hela simuleringsperioden finns i bilaga A, men maxhalten CO₂ per dag för FX- och FTX-systemet i sovrummet respektive vardagsrummet presenteras i Tabell 29 och Tabell 30.

För FTX-systemet är luftkvaliteten i sovrummet, som har ett mekaniskluftflöde på 14 l/s lika för fall 1 och 2, då dörren är stängd, Figur 21 och Figur 22. Halten CO₂ börjar öka på kvällen, överstiger 1000 ppm vid midnatt och uppnår sitt maxvärde på cirka 1100 ppm vid klockan 4 på morgonen och är tillbaka under 1000 ppm vid klockan 5. I fall 3 när sovrumsdörren är öppen, Figur 23, överstiger aldrig FTX-systemet 1000 ppm under simuleringsperioden.

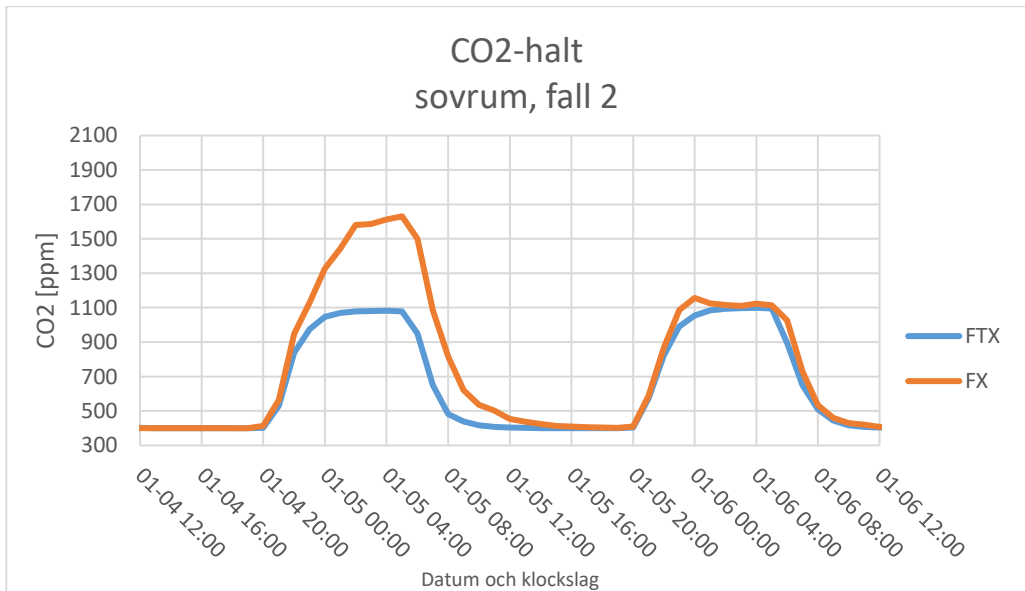
För FX-systemet, som har ett uteluftsflöde genom ytterväggen som varierar mellan 4 och 22 l/s under simuleringen, är trenden densamma som för FTX-systemet att halten börjar öka på kvällen, överstiger riktvärdet på natten och uppnår maxvärdet på morgonen innan det avtar igen. Halten varierar dock mellan de olika fallen. I fall 1 är maxvärdet nästan 2200 ppm och uppnås simuleringsdag ett enligt Tabell 29. Maxvärdet minskar sedan de nästkommande tre simuleringsdagarna innan det ökar igen. Från simuleringsdag fem och framåt går maxvärdet i vågor, Figur 21 visar denna trend.

Trenden för fall 2 i sovrummet för FX-systemet är samma som för fall 1, men maxvärdena är högre de fyra första simuleringsdagarna, med ett högsta simulerat värde på 2655 ppm, se Tabell 29. Från simuleringsdag fyra och framåt går maxvärdet i vågor, Figur 22 visar denna trend.

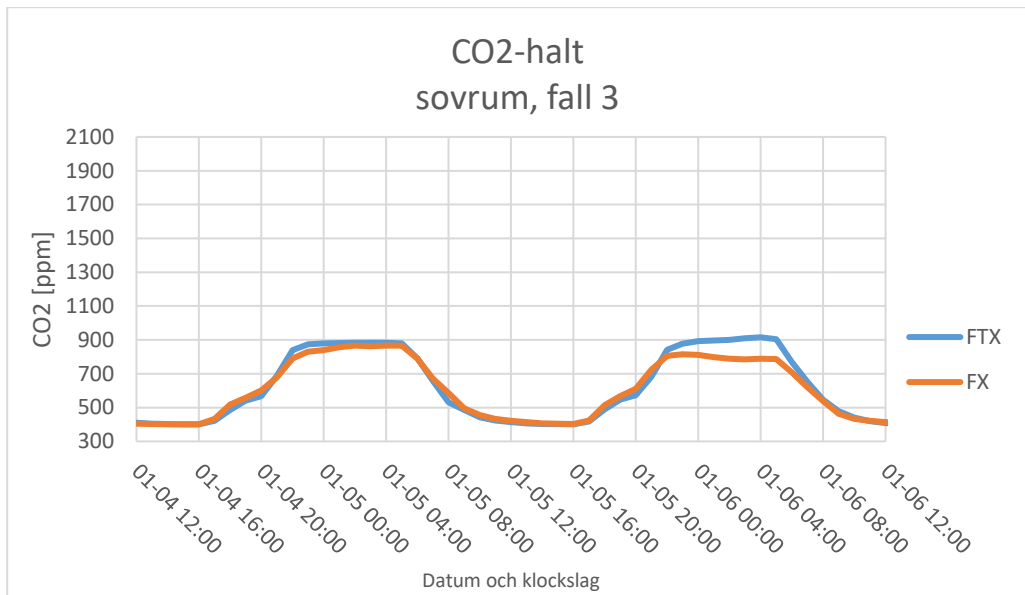
När sovrumsdörren är öppen är det bättre luftkvalitet i rummet, Figur 23. Då är FX-systemet något sämre än FTX-systemet första två simuleringsdagarna för att sedan ha ett lägre maxvärde än FTX-systemet resterande dagar under simuleringen.



Figur 21 Koldioxidhalten i sovrummet mellan 4e och 6e januari för fall 1, dörr stängd



Figur 22 Koldioxidhalten i sovrummet mellan 4e och 6e januari för fall 2, dörr stängd



Figur 23 Koldioxidhalten i sovrummet mellan 4e och 6e januari för fall 3, dörr öppen

Tabell 29 Maxhalten koldioxid för varje dag, fall och system i sovrummet

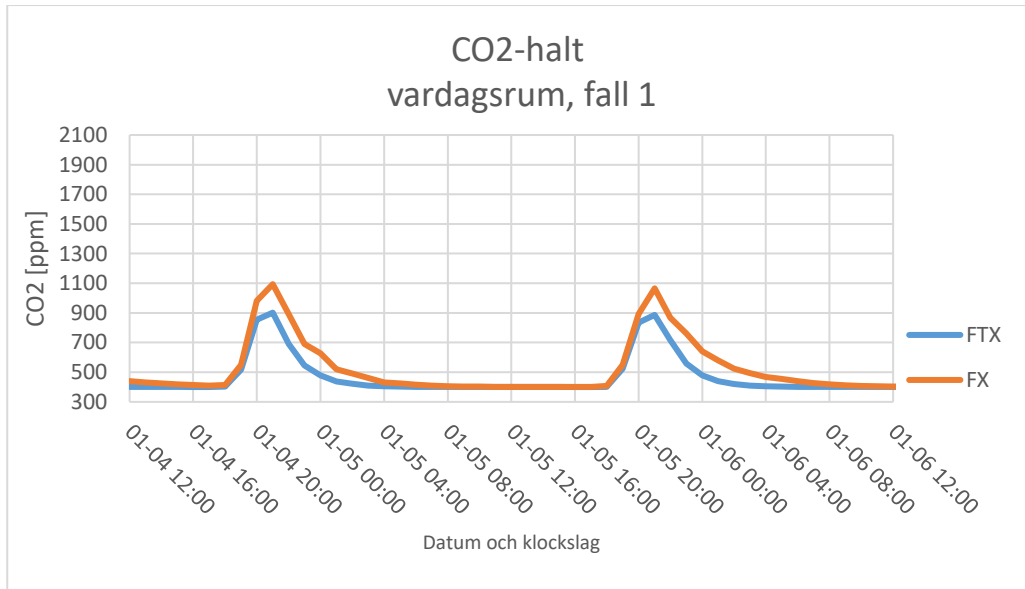
Datum	Fall 1, dörr stängd		Fall 2, dörr stängd		Fall 3, dörr öppen	
	FX	FTX	FX	FTX	FX	FTX
2024-01-01	2 190	1 100	2 660	1 100	950	900
2024-01-02	1 930	1 100	2 240	1 100	1 200	930
2024-01-03	1 630	1 100	1 780	1 100	930	980
2024-01-04	1 190	1 100	1 180	1 100	830	940
2024-01-05	1 460	1 080	1 630	1 080	870	880
2024-01-06	1 140	1 100	1 160	1 100	820	920
2024-01-07	1 340	1 100	1 430	1 080	840	880
2024-01-08	1 140	1 100	1 150	1 100	850	880

FTX-system ger tydligt lägre koldioxidhalter i sovrummet jämfört med FX-systemet. Sovrumsdörrens läge har också betydelse för koldioxidhalten i sovrummet. Enda fallet som koldioxidhalten understiger 1000 ppm då människor vistas i sovrummet är när sovrumsdörren är öppen och FTX-system används.

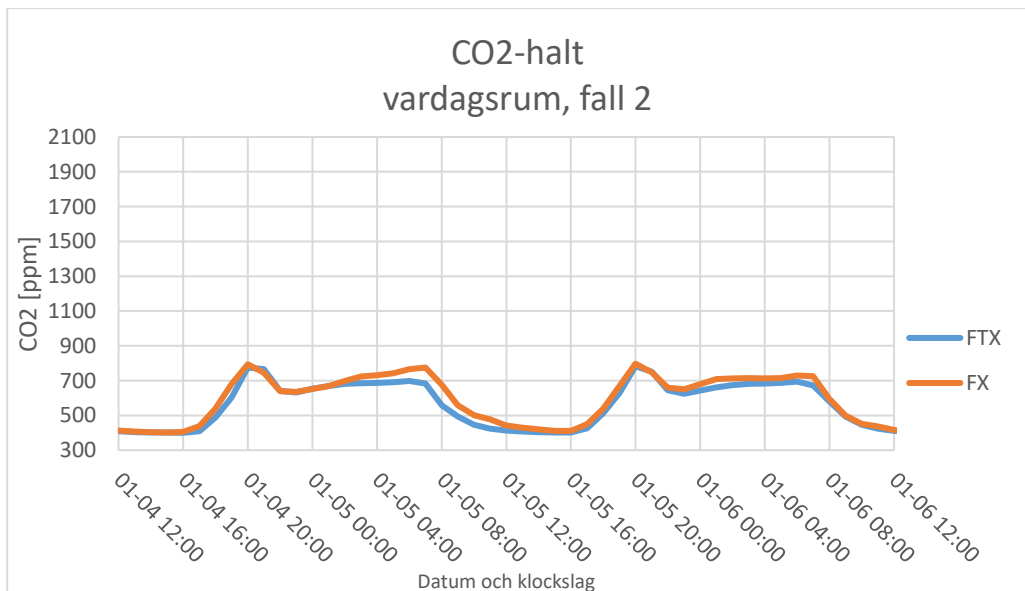
CO₂-halten i vardagsrummet är under 1000 ppm i samtliga tre fall för FTX-systemet, och för fall 2 och fall 3 för FX-systemet. För fall 1 med FX-systemet är maxvärdet strax över 1000 ppm Tabell 30. I fall 3 har FX-systemet bättre luftkvalitet än FTX-systemet för fem av simuleringsdagarna.

För fall 1 är det från simuleringsdag tre och framåt en topp per dag som överskrider riktvärdet på 1000 ppm, de gångerna som värdet överskrids är halten runt 1100 ppm, se

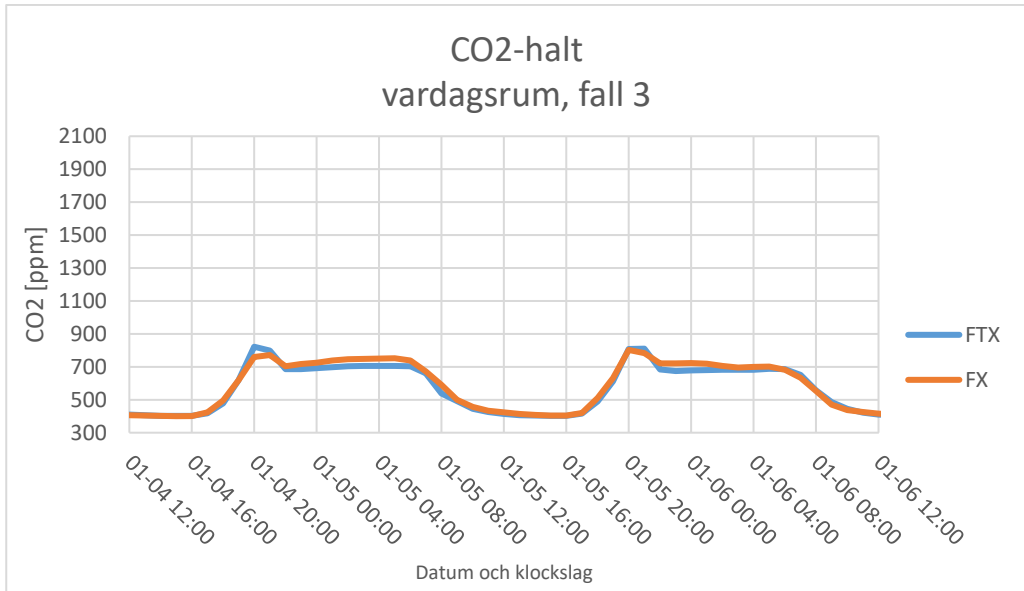
Figur 24. Fall 1 sticker ut i jämförelse med fall 2 och fall 3, Figur 25 respektive Figur 26. I fall 1 stiger halten CO₂ vid 18 tiden till 900 ppm för FTX-systemet och runt 1100 ppm för FX-systemet och sjunker sedan igen till 400 ppm. För fall 2 och fall 3 stiger halten vid klockan 17 till en halt på cirka 800 ppm för båda systemen. Ungefär klockan 22 börjar halten sjunka. Halten sjunker mellan 150 och 200 ppm innan den ökar vid midnatt fram till klockan 06 där den sedan minskar ner till 400 ppm. Den andra ökningen är större för FX-systemet än vad den är för FTX-systemet.



Figur 24 Koldioxidhalten i vardagsrummet mellan 4e och 6e januari för fall 1, dörr stängd



Figur 25 Koldioxidhalten i vardagsrummet mellan 4e och 6e januari för fall 2, dörr öppen



Figur 26 Koldioxidhalten i vardagsrummet mellan 4e och 6e januari för fall 3, dörr öppen

Tabell 30 Maxhalten koldioxid för varje dag, fall och system i vardagsrummet

Datum	Fall 1		Fall 2		Fall 3	
	FX	FTX	FX	FTX	FX	FTX
2024-01-01	970	910	790	780	780	850
2024-01-02	1100	910	820	830	800	840
2024-01-03	1120	920	820	800	820	850
2024-01-04	1090	900	790	770	770	820
2024-01-05	1070	890	800	780	800	810
2024-01-06	1070	900	790	780	830	800
2024-01-07	1140	910	790	800	740	820
2024-01-08	1070	900	810	810	830	860

4.2.2.1 Luftomväxling

Tabell 31 och Tabell 32 visar snittåldern på luften i timmar per dag under simuleringsperioden i sovrummet respektive vardagsrummet. Det går att utläsa ur tabellerna att luftomväxlingen i rummet är mindre för både FTX- och FX-systemet när dörren är stängd, det gäller både för sovrummet och för vardagsrummet.

Tabell 31 Luftens snittålder i timmar i sovrummet

Datum	Fall 1		Fall 2		Fall 3	
	FX	FTX	FX	FTX	FX	FTX
2024-01-01	2,2	1,0	3,1	1,0	0,1	0,2
2024-01-02	2,3	1,0	2,8	1,0	0,2	0,2
2024-01-03	2,1	1,0	2,4	1,0	0,1	0,2
2024-01-04	1,0	0,9	1,0	1,0	0,1	0,2
2024-01-05	1,5	1,0	1,7	1,0	0,1	0,2
2024-01-06	1,2	1,0	1,2	1,0	0,1	0,2
2024-01-07	1,2	1,0	1,2	1,0	0,1	0,2
2024-01-08	1,2	1,0	1,3	1,0	0,1	0,2

Tabell 32 Luftens snittålder i timmar i vardagsrummet

Datum	Fall 1		Fall 2		Fall 3	
	FX	FTX	FX	FTX	FX	FTX
2024-01-01	1,5	1,4	0,1	0,2	0,1	0,2
2024-01-02	1,9	1,4	0,1	0,2	0,1	0,2
2024-01-03	2,6	1,4	0,1	0,2	0,1	0,2
2024-01-04	3,1	1,4	0,2	0,2	0,2	0,2
2024-01-05	2,2	1,4	0,1	0,1	0,1	0,2
2024-01-06	2,6	1,4	0,1	0,2	0,2	0,2
2024-01-07	2,6	1,4	0,1	0,2	0,2	0,2
2024-01-08	2,5	1,4	0,1	0,2	0,2	0,2

4.2.3 Analys

När inneklimatet för FTX-systemet och FX-systemet jämförs mot varandra blir skillnaden tydlig att FTX-systemet ger ett bättre och jämnare inneklimat. FTX-systemet uppnår den önskvärda innetemperaturen och håller denna temperatur under hela simuleringsperioden. Värsta fallet för FTX-systemet är fall 1 i vardagsrummet där skillnaden mellan högsta och lägsta operativa temperatur under simuleringen var 1,4 °C och bästa fallet var fall 3 i vardagsrummet där den operativa temperaturskillnaden var 0,5 °C. Den operativa temperaturen med FX-systemet har en större variation under simuleringsperioden med en skillnad mellan högsta och lägsta operativa temperatur på 3,8 °C i värsta fallet som är fall 2 i sovrummet. Bästa fallet för FX-systemet är fall 3 i

vardagsrummet där skillnaden under simuleringsperioden var 1,5 °C. Fall 1 som var det fall med störst skillnad för FTX-systemet är bättre än bästa fallet för FX-systemet.

I vardagsrummet där personnärvaron är lägre är systemen jämlika, maxhalten CO₂ för fall 1 är cirka 200 ppm högre för FX-systemet, för fall 2 är maxhalten ungefär den samma och för fall 3 är maxhalten högre för FTX-systemet alla dagar förutom en.

FX-systemet är också märkbart känsligare för dörrar än FTX-systemet. När rummen simulerades med dörren öppen blev halten betydligt bättre, medan det inte gjorde någon större skillnad för FTX-systemet. Vad som noterades var att CO₂ halten i ett rum när dörren var stängd följer närvaroschemat mer än när dörren till rummet var öppen för både FX- och FTX-systemet. I fall 3 ökar CO₂-halten i sovrummet så fort det var närvaro i lägenheten jämfört med fall 1 och 2 då halten inte börjar öka förrän det är närvaro i rummet. Liknade trend går att utläsa i vardagsrummet. I fall 1 då dörren är stängd, minskar CO₂ halten tillbaka ner till samma halt som innan personnärvaron, medan för fall 2 och 3 sjunker halten något men påverkas fortfarande av personnärvaron i lägenheten och återgår inte till samma halt som innan personnärvaro förrän personerna lämnat lägenheten.

4.3 Ekonomi

I resultatet visas först besparingen och investeringsanalysen för jämförelsen att uppgradera direkt från S-system till FTX- eller FX-system. Resultatet för besparingen och investeringen från F- och FT-system till FX- respektive FTX-system presenteras efter.

4.3.1 Driftkostnad – från S-system till FTX respektive FX

Driftkostnaden som beräknades på två olika sätt, förhållande mellan pris och användning och uppdelade kostnader. Tabell 33 visar kostnaden för driften av den kalibrerade modellen med ett S-system och modellen med ett FTX-system vid den förenklade beräkningen och Tabell 34 är driftkostnaden vid uppdelade kostnadsposter. Den förenklade modellen ger en högre årsdriftkostnad än den uppdelade. Driftkostnaden är 16 000 kr mer för S-systemet och 14 800 kr mer för FTX-systemet. Det ger två olika besparingar på driftkostnaden för FTX-systemet som skiljer sig på cirka 1 200 kr per år. Fullständiga beräkningar ligger i bilaga B

Tabell 33 Driftkostnad och besparing för S- och FTX-systemet med förenklad beräkning

	Kalibrerad modell	FTX	Besparing
Summa	99 300 kr	82 700 kr	16 600 kr

Tabell 34 Driftkostnad och besparing för S- och FTX-systemet med uppdelad beräkning

	Kalibrerad modell	FTX	Besparing
Summa	78 200 kr	60 600 kr	17 800 kr

FX-systemet kostar 60 900 kr att driva per år. Skillnaden mellan besparingarna för FX-systemet är 21 000 kr. Besparingen blir större när S-systemets driftkostnad beräknas

med den förenklade metoden. Tabell 35 visar besparingen för FX-systemet för båda beräkningar av S-systemet.

Tabell 35 Besparingen för FX-systemet vid förenklad och uppdelad beräkning av S-systemets driftkostnad

Besparing förenklad beräkning självdrag	Besparing uppdelade kostnadsposter självdrag
38 400 kr	17 500 kr

4.3.2 Investeringskostnad – från S-system till FTX respektive FX

Fullständiga beräkningar med utdrag från Wikells finns i bilaga C. Investeringskostnaderna presenteras i Tabell 36. Investeringskostnaderna består av tre delar, aggregatkostnaden, fläktrum och material till kanaler. I posterna för fläktrum och material är arbetskostnaden inräknad. Investeringen för ett FTX-system är mer än dubbelt så dyr jämfört med FX-systemet.

Tabell 36 Investeringskostnad för FX- och FTX-systemet

	Aggregat	Fläktrum	Material	Total
FTX	243 500 kr	160 700 kr	453 700 kr	858 000 kr
FX	146 100 kr	105 000 kr	173 000 kr	424 100 kr

4.3.3 Nuvärdesanalys och Payback-metoden – från S-system till FTX respektive FX

Nuvärdesanalysen utfördes för besparingarna både från den förenklade och uppdelade beräkningen. Resultatet visar att ingen av systemen är lönsam med det satta avkastningskravet på 10 % och beräkningstid på 30 år. NNV-talet är störst för FX-systemet vid den förenklade beräkningen, men fortfarande negativt. Samtliga nuvärdesbesparingar och NNV-tal presenteras i Tabell 37.

Tabell 37 Nuvärdesbesparingen och nettonuvärdet för de olika investeringarna

System	Förenklad beräkning		Uppdelad beräkning	
	FTX	FX	FTX	FX
Nuvärdesbesparingar	157 000 kr	362 000 kr	168 000 kr	165 000 kr
NNV	-701 000 kr	-62 000 kr	-690 000 kr	-259 000 kr

Avkastningskravet varierades mellan 0 % och 10 % för att undersöka vid vilken procentsats som NNV blev positiv. Tabell 38 visar vid en avkastning på 8 % blir FX-systemet med förenklad beräkning av driftkostnaden lönsam. För FX-systemet med uppdelad beräkning av driftkostnaden blir investeringen lönsam vid 1 %. Investeringen i FTX-systemet är inte lönsam efter 30 år med någon av beräkningarna med dessa procentsatser.

Tabell 38 Varierande procentsatser för att se när/om investeringen blev lönsam

System	Förenklad beräkning		Uppdelad beräkning	
	FTX	FX	FTX	FX
Nuvärdesbesparingar	0 %	8 %	0 %	1 %
NNV	- 324 000 kr	8 000 kr	-360 000 kr	28 000 kr

Beräkningen enligt payback-metoden bekräftar nuvärdesanalysen att FTX-systemet inte är lönsamt och att FX-systemet kan bli lönsamt inom den antagna livslängden på 30 år. Tabell 39 visar hur det tar 22 respektive 19 år länge tid än den antagna livslängden innan FTX-systemet blir lönsam. FX-systemet blir lönsamt inom tiden för livslängden för båda beräkningarna.

Tabell 39 Payback-tiden för de två systemen och två beräkningsmetoderna

System	Förenklad beräkning		Uppdelad beräkning	
	FTX	FX	FTX	FX
Payback-tid	52	12	49	25

4.3.4 Driftkostnad från FT- och F-system till FTX respektive FX

Driftkostnaden för F- och FT-systemet beräknades på samma sätt som S- och FTX-systemet då primärenergikällan är fjärrvärme. Tabell 40 visar driftkostnaden och besparingen för FT- och FTX-systemen för både den förenklade och uppdelade beräkningen och Tabell 41 visar driftkostnaden för F- och FX-systemen för både den förenklade och uppdelade beräkningen.

Tabell 40 Driftkostnad och besparing för FT- och FTX-systemet med förenklad och uppdelad beräkning

	FT	FTX	Besparing
Förenklad	119 900 kr	82 700 kr	37 300
Uppdelad	95 300	60 600 kr	34 700

Tabell 41 Driftkostnad och besparing för F- och FX-systemet med förenklad och uppdelad beräkning

	F	FX	Besparing
Förenklad	124 800 kr	60 900 kr	64 100
Uppdelad	103 700 kr	60 600 kr	43 100

4.3.5 Investeringskostnad från FT och F till FTX och FX

Investeringskostnaden att gå från FT- och F-system till FTX- respektive FX-system redovisas i Tabell 42. Då kostnaden antogs vara densamma är det endast prisskillnaden på aggregaten med respektive utan återvinning. Investeringskostnaden för uppgraderingarna presenteras i

Tabell 42 Investeringskostnaden att uppgradera från FT till FTX respektive från F till FX

System	Investeringskostnad [kr]
FT till FTX	121 750
F till FX	73 050

4.3.6 Nuvärdesanalys och payback-metod – från FT- och F-system till FTX respektive FX

Nuvärdesanalysen och payback-metoden använde samma investeringskostnader för aggregat och fläktrum som jämförelsen med S-systemet, men material- och byggkostnader exkluderades från denna analys då de hade behövts för båda uppgraderingarna.

Förutsättningarna för nuvärdesanalysen med en beräkningstid på 30 år och en diskonteringsränta på 10 % visade att en uppgradering från ett FT-system till ett FTX-system respektive från ett F-system till ett FX-systemet är en lönsam investering med både den förenklade och uppdelade beräkning av driftkostnader, Tabell 43.

Tabell 43 Nuvärdesmetoden för båda beräkningssätt och uppgraderingar

System	Förenklad beräkning		Uppdelad beräkning	
	FTX	FX	FTX	FX
Nuvärdesbesparingar	351 000 kr	602 000 kr	326 000 kr	404 000 kr
NNV	230 000 kr	529 000 kr	205 000 kr	331 000 kr

Payback-metoden bekräftar nuvärdesanalysen att denna investering är lönsam med återbetalning av investeringskostnader som är kortare än livslängden, Tabell 44.

Tabell 44 Payback-metoden för uppgradering från FT till FTX respektive F till FX

System	Förenklad beräkning		Uppdelad beräkning	
	FTX	FX	FTX	FX
Payback-tid	4	2	4	2

5 Diskussion

Grunden till arbetet är att energianvändningen i samhället måste minska och uppvärmning av byggnader är en stor del. Det finns ett stort antal äldre flerbostadshus som har en underkänd OVK. Att uppgradera ventilationen och uppvärmningssystemet kan då lösa båda problemen samtidigt.

I diskussionen kommer valen i metoden och resultat från kapitel 3 analyseras och diskuteras. Hur resultaten påverkats av de gjorda valen i metoden, hur de påverkar varandra och hur de hade kunnat förbättras.

5.1 Byggnaden

Tillgängligt underlag gav en del egenskaper som användes vid modellbygget, men flera viktiga egenskaper som: byggnadens faktiska U-värde, fönsters egenskaper och köldbryggors storlek var okända. Kalibrering mot energianvändningen gjorde att de kunde uppskattas på ett bra sätt, men det finns en risk att vissa egenskaper fick ett för stort värde medan andra fick ett för litet.

Mellanbjälklagets uppbyggnad, som uppskattades från *Så byggdes husen* (Björk, et al., 2016) antas inte ha haft någon större inverkan på energisimuleringen då det ligger mellan två uppvärmda utrymmen. Däremot spelar bjälklagens konstruktion mot källaren och vinden roll då de utrymmena antogs vara ouppvärmda ytor. Kombinationen av ritningarna och *Så byggdes husen* gav tillräckligt med information för att modellera byggdelar som motsvarar verkligheten och ge ett trovärdigt resultat.

I källaren finns idag fjärrvärmväxlaren för att värma lägenheterna i byggnaden. Fördelen med att placera både FX- och FTX-aggregaten i källaren är att rördragningen för radiatorsystemet hade blivit mindre då rören redan är dragna här. Nackdelen med att placera aggregaten i källaren är att frånluften skall dras neråt och sedan släppas ut i marknivå. För att kunna släppa ut avluften på marknivå hade en omfattande ombyggnation behövt utföras och placera avluftsdon på innergården. Ännu en nackdel för FTX-systemet är att uteluftsintaget då kommer vara i markplan som ökar risken att förorenad luft ventileras in. Det går att undvika uteluftsintag i markplan i detta fall, men då hade det varit tvunget att bygga ett schakt som har plats för kanaler från tak till källare.

Alternativet som valdes var därför att placera aggregaten på vinden. Det gör att uteluftsintaget för FTX-systemet hamnar på taket där luften är renare och avluftsdonen dras rakt upp genom taket, vilket är en lättare byggnation. Nackdelen med detta förslag är att vindsutrymmet annars kan användas för att bygga extra lägenheter som genererar inkomster

5.2 Energianvändning

Antagandet att all energianvändning under sommaren för originalfallet var tappvarmvattenanvändning gjordes för att ett värde enkelt skulle kunna dras bort från energianvändningen. Detta värde jämfördes med normalanvändningen enligt BEN 2 (2017) som visade på att antagandet var rimligt.

Simuleringen visade på att energianvändningen för båda systemen minskade på årsbasis i jämförelse med självdrag. Däremot när hänsyn togs till viktningfaktorer enligt BBR 31 (2024) för primärenergikällan blev energiprestandan för FX-systemet högre än ursprunget då el, som har en sämre viktningfaktor, ersatte fjärrvärme. Valet att ta bort fjärrvärmen för FX-system gjordes då det resonades att abonnemangskostnaden hade kunnat bli en väldigt stor del av fjärrvärmekostnaden. Dock så hade man nog inte tagit bort fjärrvärme som primärenergikälla för FX-systemet om det redan finns installerat i byggnaden.

Minskningen i energianvändningen för FTX-systemet jämfört med ursprungsfallet var väntat, mindre fjärrvärme behövs då radiatorerna inte behöver täcka för den effektförlusten som uppkommer när tilluften är kall. FX-systemets minskning av energianvändning var även den väntad. Värmen som återvinns från frånluften värmer upp det vätskeburna systemet som gör att mindre värme behövs köpas.

Energianvändningen hade kunnat minska mer om jämförelsen hade gjorts mot ett S-system där flödena hade varit godkända. De högre flödena i S-systemet hade gjort att energianvändningen under uppvärmningssäsongen hade varit större då mer kall luft tas in i lägenheterna än vad det gjordes i denna undersökning.

Vad som hade kunnat förbättra modellen är om det hade varit känt vilken effekt de befintliga radiatorerna hade och modellerat med de värdena istället för de idealiserade radiatorerna. Vilken maxeffekt som de idealiserade radiatorerna i de olika lägenheterna använde har inte analyserats. Fördelen med valet av denna radiatormodell är ett de ger ett resultat vid önskad innetemperatur. Från inneklimateksamuleringarna framgår det att när radiatorernas effekt begränsas uppnås inte den önskade temperaturen i lägenheten, vilket styrker att det varit intressant att veta radiatorernas utformning och kapacitet vid ändring av ventilationssystemet.

I detta arbete har energiberäkningarna för FX-systemet korrigerats när värmeåtervinningen är större än behovet genom att minska hur mycket värmeåtervinning som sker i FX-aggregatet. Denna korrigering gjordes utan att ändra aggregatets COP-värde, detta har minskat mängden el som FX-aggregatet behöver. Ett annat sätt som hade kunnat räknas på som hade kunnat resulterat i en större energianvändning för FX-systemet är om COP-värdet hade korrigerats till ett mindre värde när återvinningen är större än behovet

Primärenergitalen som presenteras i resultatet kan mer ses som en indikator på vilka konsekvenser det får i en jämförelse mellan dessa två system vid klassning mot BBR.

Vid beräkning av primärenergitalet för original-byggnaden och den kalibrerade modellen har fastighetsel bortsetts från. För FTX-systemet har el till exempel till fläktar som systemet använder förenklats och adderats till energianvändningen för uppvärmningen. Det gör att primärenergitalet för FTX-systemet är något lågt.

Primärenergitalen är beräknade med förutsättningen att fjärrvärme finns som primärenergikälla. Finns inte fjärrvärme tillgängligt blir el den primära energikällan som leder till att primärenergitalet ökar då viktningen ändras från 0,7 till 1,8.

5.3 Inneklimat

Inneklimatet jämför bara FX-systemet mot FTX-systemet. Det hade varit intressant att jämför dessa med hur byggnaden ventileras i dagsläget, men den data fanns inte tillgänglig för den aktuella byggnaden. Att simulera inneklimatet för en byggnad med underkänd OVK utan att veta var tilluftstillförseln sker eller hur stort frånluftsflödet är ger ingen rättvisande bild av inneklimatet.

Att temperaturen i sovrummet sjunker mot slutet av simuleringsperioden för FX-systemet var inte oväntat när man jämför med utomhustemperaturen. Den kallare uteluften tas in direkt i rummet genom ventiler i väggen utan förvärmning. FTX-systemet visar på en jämnare innetemperatur på grund av den förvärmda tilluften.

Det går att utläsa en trend att öppna dörrar bidrar till en jämnare temperatur i hela lägenheten. I fall 3 i sovrummet, när både sovrumsdörren och vardagsrumsdörren är öppna, med FX-systemet blir det mindre skillnad i innetemperaturen jämfört med fall 1, båda dörrarna stängda, och fall 2, sovrumsdörren är stängd och vardagsrumsdörren är öppen. Samma trend går att utläsa för vardagsrummet. I fall 1 där dörren till vardagsrummet är stängd är det svalare i rummet och skillnaden i temperaturen är större än för fall 2 och 3.

Det ska dock anmärkas att den valda effekten på radiatorn i simuleringen är något låg för FX-systemet och det är därför den inte uppnår den önskade temperaturen. I verkligheten hade en radiator med större effekt valts. I energisimuleringen så uppnår FX-systemet den önskvärda temperaturen under hela simuleringsperioden och har en lägre energianvändning än FTX-systemet.

Koldioxidhalten ökar för samtliga fall vid personnärvaro på kvällen, skillnaden i luftkvaliteten ses när personerna lämnar rummet. För fall 1 när dörren är stängd sjunker koldioxidhalten tillbaka till samma värde som innan närvaron. För fall 2 och 3 när vardagsrumsdörren är öppen minskar halten lite men är fortfarande högre än innan personnärvaro oberoende av om sovrumsdörren är öppen eller stängd. Det tyder på att det finns en luftomväxling mellan vardagsrummet och hallen, men koldioxidhalten i hallen påverkas även av sovrummet. Detta stärks av att åldern på luften i de olika rummen är lägre i fallen då dörren till rummet är öppen, oberoende av system.

5.4 Ekonomi

Den uppgradering som måste göras med utgångspunkten av en icke godkänd OVK för S-systemet för att uppfylla samhällets krav på inomhusmiljö och flöden innebär en investeringskostnad. Ekonomiskt visar nuvärdesanalysen att denna nödvändiga uppgradering inte betalar sig ekonomiskt när den ställs mot den energibesparing som görs. Kostnadsbesparingen för förbättrad hälsa och komfort har inte inkluderats eftersom denna i nuläget är svår att beräkna. Om utgångspunkten är en godkänd OVK för S-systemet hade energibesparingen och besparingen för driftkostnaden blivit större, men med tanke på investeringskostnadens storlek hade detta troligen inte haft någon större inverkan på investeringsanalysen. Investeringskostnaden är för stor i förhållande till besparingen som ett FTX-system ger varje år. Det redan när det endast är materialkostnader som använts i beräkningen, eventuella åtgärder till fasaden eller projekteringskostnad är inte inkluderad i detta pris. Hade dessa kostnader inkluderats så hade nuvärdesanalysen blivit mer negativ än vad den redan är

Vad som hade ökat besparingen varje år är om hyran hade höjts vilket skulle kunna motiveras med ökningen av komforten på grund av den värmda tilluften, men då utgångsläget för undersökningen är att byggnaden har en underkänd OVK är uppgraderingen en åtgärd som återställer flödet till en godkänd nivå. Däremot när nya hyresgäster flyttar in så flyttar de in i en lägenhet med ett modernt och effektivt ventilationssystem som då hade kunnat få en högre hyra. Denna höjda hyra kommer sen leda till en större inkomst som gör att investeringen kan betala av sig snabbare.

Beräkningen för driftkostnaden av S- och FTX-systemet gjordes på två olika sätt, en uppdelad och en förenklad beräkning. Det framgår i resultatet att kostnaden för 1 kWh skiljer sig märkbart mellan de två beräkningsmetoderna. Den förenklade beräkningen utgick ifrån en faktura för användningen under februari månad vilket sen användes som underlag för samtliga månader under året. I beräkningen har moms exkluderats som gör att energipriset är en underskattning av vad det faktiskt är. Det höga priset blir missvisande på sommaren då det inte är ett årsmedelvärde utan priset en kall månad. I den uppdelade beräkningen blir prisets rörelse mer rätt då 1 kWh kostar mer på vintern än vad det gör på sommaren, däremot så var tappvarmvattnet inte med i den uppdelade beräkningen. Rimligen skulle därför kostnaden för 1 kWh ligga någonstans mitt emellan de beräknade kostnaderna.

Kostnaden för aggregaten inkluderade kostnaden för att bygga ett fläktrum på vinden. Om det faktiskt finns behov av ett fläktrum är inte säkert. Motiveringen var att det i framtiden finns möjligheter att bygga lägenheter på vinden. I dagens läge där vinden är ett kallt utrymme hade det kanske gått att installera systemet på vinden utan fläktrum, men det försvårar möjligheterna att bygga annat på vinden.

Materialkostnaden för FTX-systemet blir mer än dubbelt så dyrt jämfört med materialet för FX-systemet av två anledningar, den första är att kanalsystemet är ungefär dubbel så stort men även att tilluftskanalerna behöver mer isolering än vad frånluftskanalerna har vilket leder till att arbetskostnaden för installation blir större.

Vad som hade kunnat göra jämförelsen mer lönsam är om byggnaden inte haft fjärrvärme som primärenergikälla. Hade den nuvarande primärenergikällan varit ett fossilt bränsle eller direktverkande el hade besparingen i driftkostnad per år kunnat bli större och primärenergitalet hade varit större.

Investeringsanalysen då man uppgraderar från ett FT-system till ett FTX-system respektive F-system till FX-system visade sig var en väldigt lönsam investering som betalade av sig på 2 år för FX-systemet och 4 år för FTX-systemet kan vara en mer rättvis jämförelse då utgångsläget är att byggnaden har en underkänd OVK. Investering i ett nytt system måste därför göras och då visar studien på att det kan vara mer värt att uppgradera till ett mekaniskt system med värmeåtervinning.

Följder som är svåra att räkna på vid uppgradering av ventilationen till mer energisnåla alternativ som inte tas hänsyn till i undersökningen är att det ger byggnaden en möjlighet att få gröna bolån som banker baserar på en byggnads energiklass (Boverket, 2025). Det kan även leda till att byggnadens värde ökar.

6 Slutsats

Samtliga frågor i frågeställningen går att svara på. Båda systemen har visat att de är bättre än originalfallet men de har olika styrkor jämfört med varandra.

När man jämför energianvändningen mellan FX- och FTX-systemet så är FX-systemet bättre då det använder mindre energi. Tar man hänsyn till primärenergitalet så blir bedömningen den omvända och FTX-systemet är bättre än FX-systemet.

Att uppgradera till ett F- eller FT-system istället för FX- eller FTX-system är inte värt det. Energinvändningen ökar från originalfallet och är högre än FX- och FTX-systemet.

Inneklimatet med ett FTX-system är bättre än FX-systemet, dock med förbehållet att radiatorernas begränsning inte är korrelerat mot de verkliga radiatorerna. Temperaturen håller sig mer jämn då den inte påverkas av utetemperaturen. Luften inomhus är också bättre för FTX-systemet. FTX-systemet håller ned CO₂ halten bättre vid personnärvaro än FX-systemet.

Ur ett ekonomiskt perspektiv är FX-systemet är bättre än FTX-systemet. Det är billigare investeringskostnad och driftkostnaden är lägre. FX-systemet betalar av sig snabbare än vad FTX-systemet gör. Att uppgradera ventilationen från ett icke godkänt S-system för att uppfylla samhällets krav på inomhusmiljön, bland annat tillräckliga flöden, innebär en kostnad. Menom man jämför en uppgradering från F- och FT-system så blir båda investeringarna lönsamma.

När man ska avgöra vilket av de två systemen man ska installera får varje fastighetsägare göra en avvägning vilken eller vilka av de tre faktorerna som är viktigast och bestämma sig därefter.

7 Framtida studier

Inneklimatet undersöktes under en kall vintervecka, det hade varit intressant att studera hur de två systemen hade fungerat under en varm sommarvecka. Hur klara systemen att hantera risken för övertemperatur på sommaren.

Det hade även varit intressant vad som hade hänt om man kopplat ihop FX-systemet med det befintliga fjärrvärmesystemet istället för att spetsa med el. Hur hade driftkostnaden ändrats, hade energianvändningen påverkats och vad hade primärenergitalet blivit.

Referenser

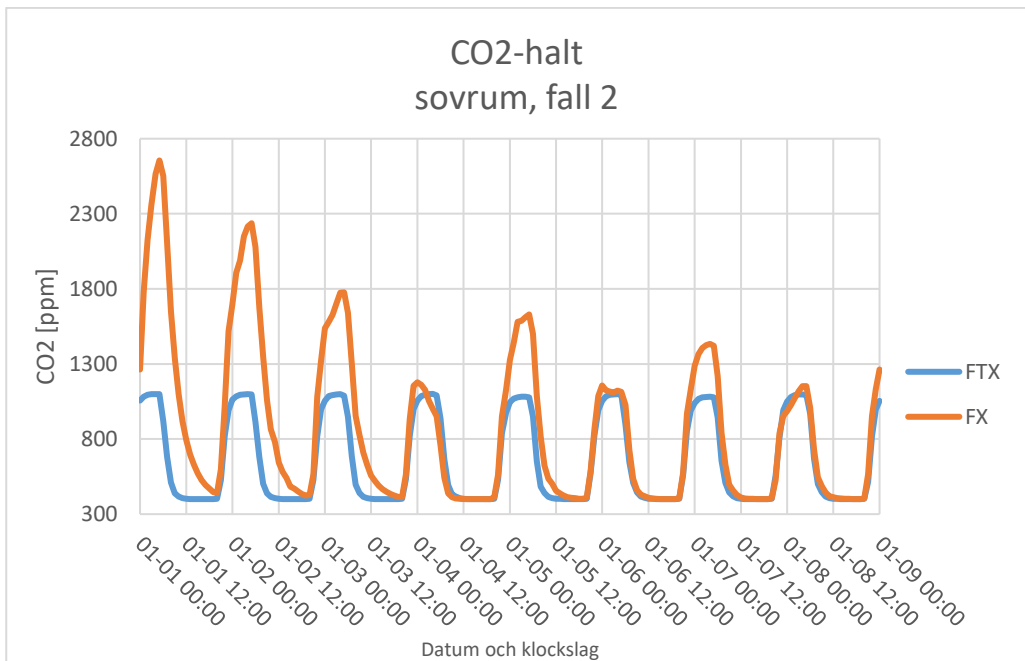
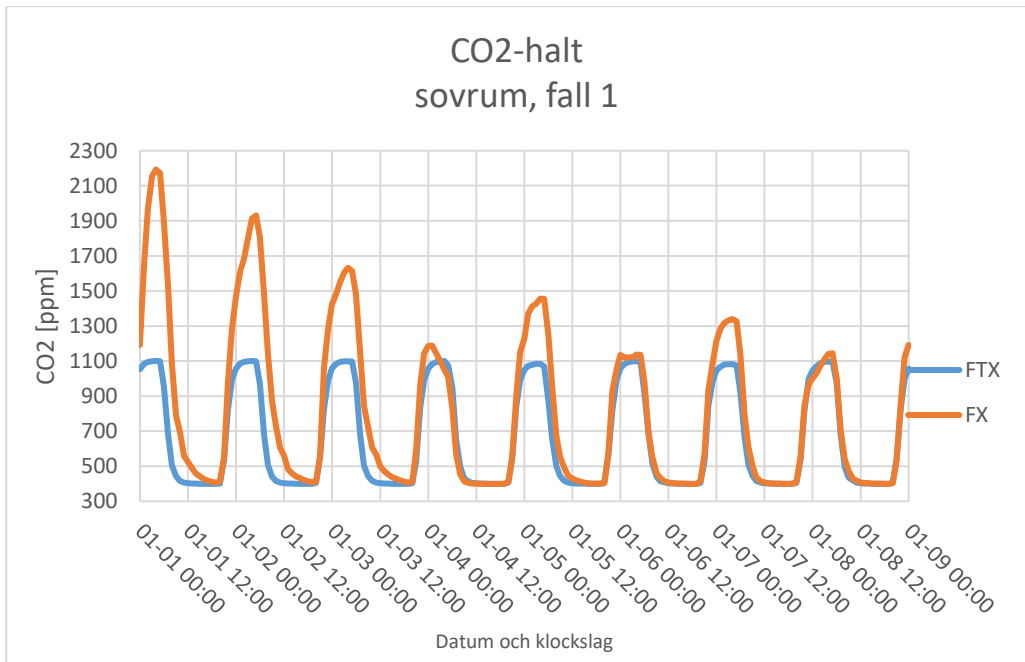
- Abel, E. & Elmroth, A., 2017. *Byggnaden som system*, Lund: Studentlitteratur AB.
- Andersson, R., 2000. Economic evaluation of ergonomic solutions: Part 1 - Guidelines for the practitioner. i: A. Mital, Å. Kilbom & S. Kumar, red. *Ergonomics Guidelines and Problem Solving, Volume 1*. u.o.:Elsevier Science, pp. 463-471.
- Andreasson, M., Borgström, M. & Werner, S., 2009. *Värmeanvändning i flerbostadshus och lokaler*, u.o.: Svensk Fjärrvärme.
- Are Myhren, J., Olofsson, T. & Bergdahl, M., 2013. *Lågtemperaturuppvärmning med tilluftsradiorer och värmeåtervinning i frånluft*, u.o.: Energi och miljökompetenscentrum.
- Beck Solutions AB, 2025. *Elpriser 2024*. [Online] Available at: <https://www.elbruk.se/elpris-historik-2024> [Använd 25 November 2025].
- Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L., 2016. *Så byggdes husen 1880-2000*. 2:a upplagan red. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Block, M. & Bokalders, V., 2023. *Bygg ekologi*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- Boverket, 2025. *Bestämmelser om obligatorisk ventilationskontroll (OVK)*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/ovk/> [Använd 05 01 2026].
- Boverket, 1995. *Självdragsventilation*, Karlskrona: Boverket, byggavdelning.
- Boverket, 2010. *Teknisk status i den svenska bebyggelsen*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2012. *Regelsamling för funktionskontroll av ventilationssystem, OVK*, Karlskrona: Boverket februari 2012.
- Boverket, 2017. *Boverkets föreskrifter om ändringar i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, BBR 25, (BFS 2017:5)*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2017. *Boverkets föreskrifter om ändringar av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och normalår, BEN 2, (BFS 2017:6)*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2020. *Boverkets byggregler, BBR, BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2021. *Slutrapport för uppdraget att förstärka arbetet för en god inomhusmiljö*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2024. *Boverkets föreskrifter om skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö samt hushållning med vatten och avfall, (BFS 2024:08)*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2024. *Boverkets föreskrifter om ändringar av Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, BBR 31, (BFS 2024:14)*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2025. *Gröna Bolån*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/gronabolån/> [Använd 8 1 2026].
- Eon, 2025. *Fjärrvärmepriser för företag och bostadsrättsföreningar*. [Online] Available at: <https://www.eon.se/foeretag/vaerme-och-kyla/fjarrvarme/fjarrvarmepriser> [Använd 7 December 2025].

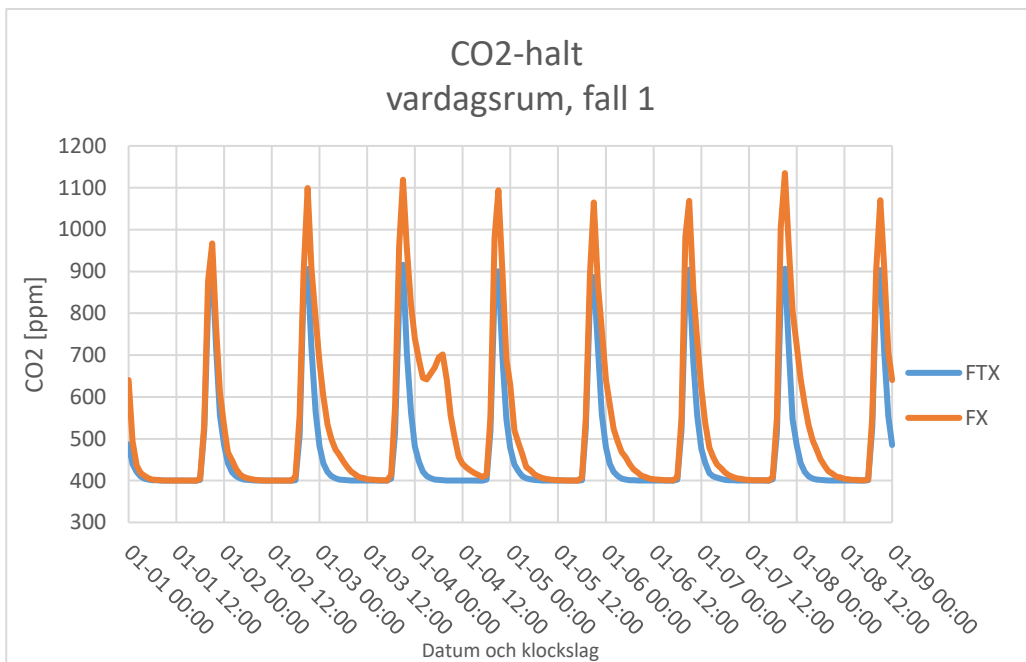
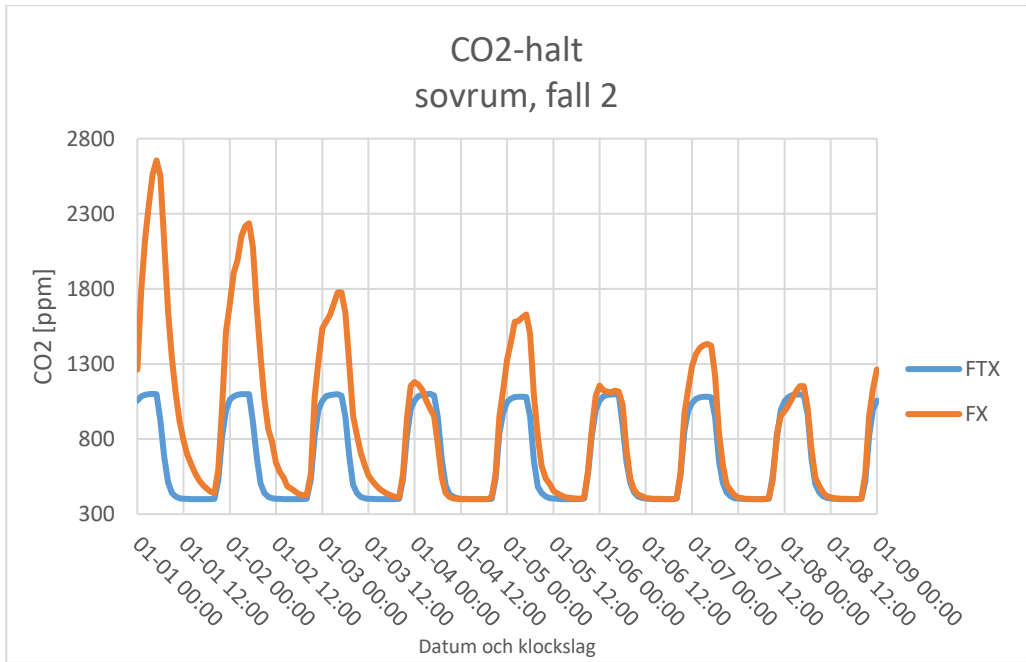
- Europeiska unionen, 2023. *EUR-Lex*. [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023L1791>
- Folkhälsomyndigheten, 2014. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation, FoHMFS 2014:18*, Stockholm: u.n.
- Folkhälsomyndigheten, 2024. *Gemensamma författningssamlingen avseende hälso- och sjukvård, socialtjänst, läkemedel, folkhälsa m.m., HSLF-FS 2024:10*, Stockholm: u.n.
- Hensen Centnerová, L., 2018. On the history of indoor environment and its relation to health and wellbeing. *The Rehva European HVAC Journal*, April, pp. 14-20.
- Kungl. Byggnadsstyrelsen, 1960. *Anvisningar till dyggnadsstadgan BABS 1960*. 1:a upplagan red. Stockholm : Kungl. Byggnadsstyrelsen.
- López Plasas, F. & Sáenz de Tejada, C., 2024. Natural ventilation to improve indoor air quality (IAQ) in existing homes: The development of health-based and context-specific user guidelines. *Energy and Buildings*, 9 Maj.
- Polarpumpen, u.d. *Mekanisk frånluftsventilation med värmeåtervinning (FX)*. [Online] Available at: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/inomhusklimat/ventilation/ventilationsteknik-och-olika-ventilationssystem/mekanisk-franluftsventilation-med-varmeatervinning-fx/>
[Använd 8 december 2025].
- Statens Planverk, 1967. *Svensk Byggnorm 67*. 1:a upplagan red. Stockholm: Statens Planverk.
- Statens Planverk, 1979. *SBN 1975*. 3:e utgåvan red. Stockholm: Statens Planverk.
- Sveby, 2025. *Klimatdatafiler-for-2024*. [Online] Available at: <https://www.sveby.org/klimatdatafiler-for-2024/>
[Använd 13 oktober 2025].
- Svensk Ventilation, u.d. *FTX – Till och Frånluftsventilation med värmeåtervinning*. [Online] Available at: <https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/ftx-varmeatervinning/>
[Använd 18 01 2026].
- Svensk Ventilation, u.d. *Olika typer av värmeväxlare*. [Online] Available at: <https://www.svenskventilation.se/ventilation/varmevaxlare/>
[Använd 8 december 2025].

Bilagor

Bilaga A

Fullständiga figurer för inneklimat





Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

Bilaga B

Beräkning av driftkostnad för ventilationssystemen

Månad	Simulerade självdrag			
	Fjärrvärme	Effektandel	Flödesandel	totalkostnad
Januari	12 002,43 kr	3 730,04 kr	1 748,05 kr	17 480,52 kr
Februari	8 472,93 kr	2 509,75 kr	1 220,30 kr	12 202,98 kr
Mars	7 947,11 kr	2 313,57 kr	1 140,08 kr	11 400,75 kr
April	1 770,71 kr	2 122,66 kr	432,60 kr	4 325,96 kr
Maj	484,52 kr	982,15 kr	162,96 kr	1 629,62 kr
Juni	396,66 kr	438,85 kr	92,83 kr	928,35 kr
Juli	333,23 kr	115,39 kr	49,85 kr	498,46 kr
Augusti	327,02 kr	- kr	36,34 kr	363,35 kr
September	406,34 kr	855,79 kr	140,24 kr	1 402,37 kr
Oktober	1 375,61 kr	1 330,65 kr	300,69 kr	3 006,95 kr
November	7 735,74 kr	2 644,48 kr	1 153,36 kr	11 533,58 kr
December	9 599,00 kr	2 691,06 kr	1 365,56 kr	13 655,62 kr
			Summa	78 428,51 kr

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

Månad	FTX					
	Fjärrvärme	Effektandel	Flödesandel 10%	El fläktar	Energiskatt	totalkostnad
Januari	9 800,07 kr	1 984,87 kr	1 309,44 kr	266,43 kr	135,72 kr	13 496,53 kr
Februari	6 944,38 kr	1 455,22 kr	933,29 kr	160,00 kr	123,56 kr	9 616,45 kr
Mars	6 396,85 kr	1 172,07 kr	840,99 kr	203,01 kr	137,13 kr	8 750,05 kr
April	1 413,93 kr	785,47 kr	244,38 kr	195,28 kr	133,84 kr	2 772,89 kr
Maj	425,80 kr	115,49 kr	60,14 kr	166,66 kr	141,03 kr	909,12 kr
Juni	379,34 kr	77,76 kr	50,79 kr	200,51 kr	136,87 kr	845,27 kr
Juli	332,77 kr	20,54 kr	39,26 kr	143,80 kr	142,01 kr	678,38 kr
Augusti	327,02 kr	0,00 kr	36,34 kr	152,58 kr	142,18 kr	658,12 kr
September	383,95 kr	101,68 kr	53,96 kr	98,02 kr	136,79 kr	774,40 kr
Oktober	1 138,22 kr	577,78 kr	190,67 kr	98,32 kr	139,57 kr	2 144,56 kr
November	6 458,61 kr	1 271,84 kr	858,94 kr	263,94 kr	133,45 kr	8 986,78 kr
December	8 019,56 kr	1 553,65 kr	1 063,69 kr	222,06 kr	137,05 kr	10 996,01 kr
					Summa	60 628,56 kr

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

Månad	Självdrag	FTX
Januari	19 403,19 kr	15 842,84 kr
Februari	13 697,37 kr	11 226,32 kr
Mars	12 847,33 kr	10 341,18 kr
April	8 808,64 kr	7 033,80 kr
Maj	2 410,29 kr	2 118,20 kr
Juni	1 973,23 kr	1 887,09 kr
Juli	1 657,68 kr	1 655,40 kr
Augusti	1 626,79 kr	1 626,82 kr
September	2 021,41 kr	1 910,01 kr
Oktober	6 843,16 kr	5 662,25 kr
November	12 505,64 kr	10 441,03 kr
December	15 517,80 kr	12 964,46 kr
Summa	99 312,53 kr	82 709,40 kr

FX					
Månad	Spetsvärme el	El pump	El fläktar	Ernergiskatt	totalkostnad
Januari	5 832,40 kr	5 719,78 kr	81,58 kr	5 926,27 kr	17 560,03 kr
Februari	874,87 kr	3 378,19 kr	48,55 kr	3 322,07 kr	7 623,68 kr
Mars	393,54 kr	3 725,56 kr	61,46 kr	2 823,99 kr	7 004,55 kr
April	113,71 kr	2 598,73 kr	58,64 kr	1 899,16 kr	4 670,24 kr
Maj	- kr	587,49 kr	49,06 kr	538,64 kr	1 175,19 kr
Juni	- kr	581,44 kr	58,88 kr	437,09 kr	1 077,41 kr
Juli	- kr	290,82 kr	42,04 kr	328,72 kr	661,58 kr
Augusti	- kr	287,75 kr	44,55 kr	309,65 kr	641,95 kr
September	- kr	317,09 kr	28,80 kr	482,68 kr	828,57 kr
Oktober	- kr	1 010,55 kr	29,25 kr	1 476,07 kr	2 515,87 kr
November	607,90 kr	4 718,75 kr	79,49 kr	2 733,40 kr	8 139,54 kr
December	1 070,96 kr	4 435,02 kr	67,27 kr	3 439,58 kr	9 012,83 kr
				Summa	60 911,44 kr

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

FT, uppdelad						
Månad	Fjärrvärme	Effektandel	Flödesandel 10%	EI fläktar	Energiskatt	Total månadskostnad
Januari	13 957,48 kr	1 984,87 kr	1 771,37 kr	266,43 kr	114,03 kr	18 094,18 kr
Februari	9 936,55 kr	1 455,22 kr	1 265,75 kr	160,00 kr	68,48 kr	12 886,00 kr
Mars	9 523,62 kr	1 172,07 kr	1 188,41 kr	203,01 kr	86,89 kr	12 173,99 kr
April	6 713,35 kr	785,47 kr	833,20 kr	195,28 kr	83,58 kr	8 610,88 kr
Maj	2 164,95 kr	115,49 kr	253,38 kr	166,66 kr	71,33 kr	2 771,81 kr
Juni	1 770,51 kr	77,76 kr	205,36 kr	200,51 kr	85,82 kr	2 339,97 kr
Juli	1 318,01 kr	20,54 kr	148,73 kr	143,80 kr	61,55 kr	1 692,62 kr
Augusti	1 206,22 kr	0,00 kr	134,02 kr	152,58 kr	65,30 kr	1 558,13 kr
September	1 846,18 kr	101,68 kr	216,43 kr	98,02 kr	41,95 kr	2 304,26 kr
Oktober	5 179,77 kr	577,78 kr	639,73 kr	98,32 kr	42,08 kr	6 537,68 kr
November	9 032,59 kr	1 271,84 kr	1 144,94 kr	263,94 kr	112,97 kr	11 826,27 kr
December	11 172,36 kr	1 553,65 kr	1 414,00 kr	222,06 kr	95,04 kr	14 457,11 kr
					Summa	95 252,91 kr

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

	F, uppdelad					
Månad	Fjärrvärme	Effektdel	Flödesdel 10%	El fläktar	Energiskatt	Total månadskostnad
Januari	15 123,71 kr	3 114,31 kr	2 026,45 kr	81,58 kr	34,92 kr	20 380,97 kr
Februari	11 037,04 kr	2 365,40 kr	1 489,16 kr	48,55 kr	20,78 kr	14 960,92 kr
Mars	10 081,28 kr	2 001,95 kr	1 342,58 kr	61,46 kr	26,30 kr	13 513,57 kr
April	7 015,69 kr	1 448,03 kr	940,41 kr	58,64 kr	25,10 kr	9 487,88 kr
Maj	1 896,52 kr	361,08 kr	250,84 kr	49,06 kr	21,00 kr	2 578,50 kr
Juni	1 540,96 kr	267,56 kr	200,95 kr	58,88 kr	25,20 kr	2 093,53 kr
Juli	1 081,50 kr	87,88 kr	129,93 kr	42,04 kr	17,99 kr	1 359,35 kr
Augusti	1 007,50 kr	2,26 kr	112,19 kr	44,55 kr	19,07 kr	1 185,57 kr
September	1 717,97 kr	321,33 kr	226,59 kr	28,80 kr	12,33 kr	2 307,01 kr
Oktober	5 536,07 kr	1 009,27 kr	727,26 kr	29,25 kr	12,52 kr	7 314,36 kr
November	9 660,79 kr	1 972,83 kr	1 292,62 kr	79,49 kr	34,02 kr	13 039,75 kr
December	11 482,16 kr	2 388,02 kr	1 541,13 kr	67,27 kr	28,79 kr	15 507,38 kr
					Summa	103 728,80 kr

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

	FT, förenklad	F, förenklad
Månad	Kostnad	Kostnad
Januari	22 678,70 kr	24 449,06 kr
Februari	16 145,33 kr	17 842,53 kr
Mars	15 474,38 kr	16 297,45 kr
April	10 908,14 kr	11 341,60 kr
Maj	3 517,70 kr	3 065,93 kr
Juni	2 876,81 kr	2 491,12 kr
Juli	2 141,55 kr	1 748,36 kr
Augusti	1 959,92 kr	1 628,72 kr
September	2 999,75 kr	2 777,27 kr
Oktober	8 416,31 kr	8 949,64 kr
November	14 676,53 kr	15 617,68 kr
December	18 153,32 kr	18 562,12 kr
Summa	119 948,39 kr	124 771,50 kr

Bilaga C

Beräkning av investeringskostnad

Dimension [mm]	FX	FTX	
	Totala löpmeter [m]	Löpmeter frånluft [m]	Löpmeter tilluft [m]
80	22,8	22,8	46,8
100	3,4	3,4	51,5
125	58,9	58,9	27,9
200	33	33	33
250	36,9	36,9	21,5
315	0,7	0,7	16,2
400	3	3	3
Total löpmeter	158,7	158,7	199,9

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

FTX					
Referensnummer Wikells	Kanal dimension	Materialkostnad kr/m	kr material	kr/m material och arbete	kr ink arbete
11.040	400 uteluft, isol V2	1 128,00 kr	3 384,00 kr	3 349,00 kr	10 047,00 kr
11.051	400 avluft, isolV2	1 128,00 kr	3 384,00 kr	3 349,00 kr	10 047,00 kr
-	80 tilluft, isov V2	239,83 kr	11 224,07 kr	820,22 kr	38 386,31 kr
11.023	100 tilluft, isol V2	283,00 kr	14 574,50 kr	967,00 kr	49 800,50 kr
11.024	125 tilluft, isol V2	334,00 kr	9 318,60 kr	1 082,00 kr	30 187,80 kr
11.026	200 tilluft, Isol v2	530,00 kr	17 490,00 kr	1 733,00 kr	57 189,00 kr
11.027	250 tilluft, isol V2	754,00 kr	16 211,00 kr	2 281,00 kr	49 041,50 kr
11.028	315 tilluft, isol V2	908,00 kr	14 709,60 kr	2 843,00 kr	46 056,60 kr
-	80 Frånluft, isov V1	239,83 kr	5 468,14 kr	695,51 kr	15 857,59 kr
11.012	100 frånluft, isol V1	283,00 kr	962,20 kr	813,00 kr	2 764,20 kr
11.013	125 frånluft, isol V1	334,00 kr	19 672,60 kr	918,00 kr	54 070,20 kr
11.014	160 frånluft, isol V1	385,00 kr	12 705,00 kr	1 029,00 kr	33 957,00 kr
11.015	200 frånluft, isol V1	530,00 kr	19 557,00 kr	1 321,00 kr	48 744,90 kr
11.016	250 frånluft, isol V1	754,00 kr	527,80 kr	1 651,00 kr	1 155,70 kr
11.063	315 kanal på vind, isol V4	718,00 kr	2 724,00 kr	3 445,00 kr	6 414,00 kr
				Total exkl moms	453 719,31 kr

Frånluftsvärmepump eller FTX-ventilation i ett äldre flerbostadshus med självdrag

FX					
Referensnummer Wikells	Kanal dimension	Materialkostnad kr/m	kr material	kr/m material och arbete	kr material och arbete
11.051	400 Avluft, isol V2	1 128,00 kr	3 384,00 kr	3 349,00 kr	10 047,00 kr
-	80 Frånluft, isov V1	239,83 kr	5 468,14 kr	695,51 kr	15 857,59 kr
11.012	100 frånluft, isol V1	283,00 kr	962,20 kr	813,00 kr	2 764,20 kr
11.013	125 frånluft, isol V1	334,00 kr	19 672,60 kr	918,00 kr	54 070,20 kr
11.014	160 frånluft, isol V1	385,00 kr	12 705,00 kr	1 029,00 kr	33 957,00 kr
11.015	200 frånluft, isol V1	530,00 kr	19 557,00 kr	1 321,00 kr	48 744,90 kr
11.016	250 frånluft, isol V1	754,00 kr	527,80 kr	1 651,00 kr	1 155,70 kr
11.063	315 kanal på vind, isol V4	718,00 kr	2 724,00 kr	3 445,00 kr	6 414,00 kr
				Summa	173 010,59 kr