



CHALMERS



Energieffektivisering av ett äldre flerbostadshus

En utredning av energisparande åtgärder i ett flerbostadshus från 60-talet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet i Samhällsbyggnadsteknik

**JOHAN BYBERG
HENRIK ÖLMGREN**

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Energieffektivisering av ett äldre bostadshus

En utredning av energisparande åtgärder i ett flerbostadshus från 60-talet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

JOHAN BYBERG

HENRIK ÖLMGREN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2022

Energieffektivisering av ett äldre flerbostadshus

En utredning av energisparande åtgärder i ett flerbostadshus från 60-talet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

JOHAN BYBERG

HENRIK ÖLMGREN

© JOHAN BYBERG & HENRIK ÖLMGREN, 2022

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2022

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bild på undersökt byggnad. Källa: Amlövs Fastighetsförvaltning.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2022

Energieffektivisering av ett äldre flerbostadshus

En utredning av energisparande åtgärder i ett flerbostadshus från 60-talet

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

JOHAN BYBERG

HENRIK ÖLMGREN

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Idag står sektorn bostäder och service för cirka 40 procent av den totala energianvändningen i Sverige, vilket år 2021 var cirka 144 TWh. Energi för uppvärmning och tappvarmvatten i flerbostadshus utgör 29 TWh, vilket motsvarar 20 procent, av sektorns energianvändning. Majoriteten av flerbostadshusen som står i Sverige idag uppfördes mellan åren 1941–1980. Studier visar att renoveringsskulden för de här byggnaderna är stort, och för att nå Sveriges och EU:s miljömål kopplade till energianvändningen, kommer det att krävas att majoriteten av flerbostadshusen rustas upp och energieffektiviseras. Syftet med examensarbete var därför att undersöka ett befintligt flerbostadshus från 60-talet och utvärdera olika energieffektiviserande åtgärder. Detta gjordes med hjälp av energisimuleringsprogrammet IDA ICE. Byggnaden modellerades upp och kalibrerades för att stämma överens med verklig energianvändning. Åtgärdsförslag simulerades sedan och resultaten jämfördes.

Baserat på de simulerade resultaten kunde sedan primärenergitalen för den nya energianvändningen beräknas. Därefter utvärderades åtgärderna med hjälp av återbetalningsmetoden och nuvärdesmetoden för att ta reda på återbetalningstiden samt åtgärdernas lönsamhet.

Med hjälp av åtgärdsförslagen byte till FTX-system, installation av frånluftsvärmepump samt ett åtgärdspaket som innefattade FTX-system, byte av fönster och tilläggsisolering av fasad kunde nyproduktionskravet för energiprestanda uppnås. Samtliga åtgärder, med undantag för tilläggsisolering av tak, visade inte utifrån de valda investeringskalkylerna på någon ekonomisk lönsamhet.

Slutsatser som kunde dras utifrån resultatet var att installationstekniska åtgärder ger mer energibesparingar per investerad krona och att det därför bör fokuseras på installationstekniska åtgärder om man vill minska en byggnads energianvändning och primärenergital. En annan slutsats som drogs var att det krävs ekonomiska incitament för att öka intresset att utföra energieffektiviserande åtgärder. Även hur priset på energi kan ha en stor påverkan på om energieffektiviseringsåtgärder blir ekonomiskt lönsamma eller inte.

Nyckelord: Energieffektivisering, energianvändning, flerbostadshus, IDA ICE

Energy efficiency improvements of an older apartment building

An investigation of energy-saving measures in an apartment building from the 60s

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

JOHAN BYBERG

HENRIK ÖLMGREN

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

ABSTRACT

Today, the housing and service sector accounts for about 40 percent of the total energy use in Sweden, which in 2021 was about 144 TWh. Energy for heating and domestic hot water in apartment buildings accounts for 29 TWh, which corresponds to 20 percent, of the sector's energy use. Most apartment buildings in Sweden today were built between the years 1941–1980. Studies show that the renovation debt for these buildings is large, and to achieve Sweden's and the EU's environmental goals linked to energy use, it will be necessary for most apartment buildings to be refurbished and made energy efficient. The purpose of this thesis is therefore to investigate an existing apartment building from the 60s and evaluate various energy efficiency measures. This will be done using the energy simulation program IDA ICE. Information about the building was compiled and the building was then modeled. The model was calibrated so that simulated energy use corresponded to actual energy use. Based on the original model, action publishers could then be produced, which were based on the results of the simulation on a calibrated model. The proposed measures were implemented in the original model and simulated. Based on the simulated results, the primary energy number for the new energy use could be calculated. The measures were then evaluated using the payoff method and the present value method to find out the repayment period and the profitability of the measures.

With the help of the proposed measures, changing to FTX system, installation of an exhaust air heat pump and a package of measures including FTX system, replacement of windows and additional insulation of facade, the new production requirement for energy performance could be achieved. All measures, except for additional insulation of roofs, did not show any economic profitability based on the chosen investment calculations.

Conclusions that can be drawn from the result are that measures involving technical systems provides more energy savings per invested krona and if you want to reduce a buildings energy use and primary energy number, you should focus on those measures. Another conclusion drawn was that financial incentives are needed to increase interest in carrying out energy efficiency measures. Also, how the price of energy can have a major impact on energy efficiency measures becoming economically profitable or not.

Key words: Energy efficiency, energy use, apartment buildings, IDA ICE

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
BETECKNINGAR	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	4
1.3 Frågeställningar	4
1.4 Metod	4
1.5 Avgränsningar	5
2 TEORI	6
2.1 Energieffektivisering	6
2.2 Energideklaration	7
2.3 Installationstekniska åtgärder	9
2.3.1 Ventilationssystem	9
2.3.2 Belysning	10
2.3.3 Tappvarmvatten och VVC	10
2.4 Byggnadstekniska åtgärder	11
2.4.1 Tak	12
2.4.2 Väggar	12
2.4.3 Fönster	12
2.4.4 Köldbryggor	13
2.5 Styr- och reglertekniska åtgärder	13
2.5.1 Värmesystem	13
2.5.2 Injustering värmesystem	14
2.5.3 Injustering ventilation	14
2.6 Ekonomisk värdering, lönsamhet med en åtgärd	15
2.6.1 Återbetalningsmetoden, payback	16
2.6.2 Nuvärdesmetoden	16
2.7 Ekonomiskt stöd för energieffektivisering av flerbostadshus	17
2.8 Krav och rekommendationer	18
2.8.1 OVK-protokoll	18
2.8.2 BEN 2	19
2.9 Fjärrvärme och fjärrvärmepriser	20
2.10 Energi-index och Normalsårskorrigerig	22
2.11 Byggnadens energibalans	24
	III

2.12	IDA ICE	25
3	STUDERAD BYGGNAD	26
3.1	Energideklaration	27
3.2	Byggnadsteknik	27
3.3	Installationsteknik	27
3.4	Energianvändning och energistatistik	28
4	IDA ICE MODELL AV STUDERAD BYGGNAD	29
4.1	Kalibrering av modell	29
4.2	Indata för beräkning av utgångsläge	30
4.3	Bilder på modell	31
4.4	Verklig förbrukning vs simulerad förbrukning	32
4.5	Byggnadens energibalans	33
5	FÖRESLAGNA ÅTGÄRDER OCH KOSTNADER	35
5.1	Åtgärder transmissionsförluster	35
5.1.1	Tilläggsisolering fasad	35
5.1.2	Byte av fönster med lägre u-värde	36
5.1.3	Tilläggsisolering tak	36
5.2	Åtgärder ventilation	36
5.2.1	FTX-system	36
5.2.2	Frånluftsvärmepump, FVP	36
5.3	Mindre omfattande åtgärder	37
6	ENERGIBERÄKNINGAR FÖR FÖRESLAGNA ÅTGÄRDER	38
6.1	Investeringskalkyler för föreslagna åtgärder	40
6.2	Kalkylförutsättningar för föreslagna åtgärder	41
6.3	Resultat investeringskalkyler	41
7	DISKUSSION OCH FELKÄLLOR	43
8	SLUTSATS	46
9	REFERENSER	47
10	BILAGOR	51
10.1	Beräkning VVC- och värmedistributionsförluster	51
10.2	Beräkning frånluftsvärmepump NIBE	52

Förord

Detta examensarbete genomfördes på institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik under avdelningen installationsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet utfördes under vårterminen 2022 och omfattar 15 högskolepoäng. Båda författarna studerar högskoleingenjörsprogrammet i samhällsbyggnadsteknik.

Vi vill börja med att rikta ett stort tack till vår handledare Hannes Andersson på Wikström Installationskonsult AB som varit med och stöttat oss genom hela arbetet. Vi vill även rikta ett stort tack till Fredrik Hultman, Anders Ögard, Anders Malmberg och övriga konsulter på Wikström Installationskonsult AB som även dem har varit med under hela arbetets gång och stöttat oss. Vi vill även tacka våra examinatorer Anders Trüschel och Torbjörn Lindholm som vi kunnat bolla idéer och tankar med.

Göteborg juni 2022
JOHAN BYBERG
HENRIK ÖLMGREN

Beteckningar

A_{temp}

Invändning area som uppvärms till 10 °C eller mer. Arean innefattar innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt. Garage och liknande utrymmen inräknas inte.

BBR

Boverkets byggregler, BBR, innehåller föreskrifter och allmänna råd till vissa krav i plan- och bygglagen, PBL, och plan- och byggförordningen, PBF.

EP_{pet}

Det värde som beskriver byggnadens energiprestanda uttryckt som ett primärenergital. Primärenergitalet utgörs av byggnadens energianvändning, där energi till uppvärmning har korrigerats med en geografisk justeringsfaktor (F_{geo}), multiplicerat med viktningfaktor för energibärare och fördelats på A_{temp} (kWh/m² och år).

OVK

Obligatorisk ventilationskontroll. Ska göras regelbundet i de flesta byggnaderna. Syftet är att kontrollera att kraven för ventilationsflödena och på så vis bibehålla ett bra inomhusklimat.

SFP

Summan av eleffekten för samtliga fläktar som ingår i ventilationssystemet dividerat med det största av tilluftsflödet eller frånluftsflödet, kW/ (m³ /s).

U-värde

Värmegenomgångskoefficient. Högre u-värde innebär större värmegenomgång genom en byggnadsdel per kvadratmeter vid en viss temperaturdifferens, (W/m²K).

U_{medel}

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för hela klimatskalet (W/m²K).

Normalårskorrigerig

Tar bort effekterna från en ovanligt kall eller varm vinter så att energistatistik från olika tidsperioder kan jämföras utan påverkan av utetemperatur.

Fastighetsel

Fastighetsel är elektricitet som förbrukas av utrustning som betjänar en byggnad, till exempel el till belysning av trapphus/källare, el till ventilationsfläktar, el till pumpar i värmesystemet, med mera.

Lönsamhet

En åtgärd bedöms som lönsam om den förväntade besparingen är större än kostnaden. Vid lönsamhetsberäkningar bör hänsyn tas till åtgärdens förväntade livslängd.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige finns det idag ca 4.8 miljoner hushåll. En betydande del, ca 2.4 miljoner, är lägenheter i flerbostadshus (SCB, 2022). En stor del av flerbostadshusen kommer att kräva omfattande renoweringar som en del av en global strävan mot ökad hållbarhet under de kommande åren. Att energieffektivisera byggnader handlar inte bara om att installera solpaneler på taket för att minska elräkningarna, även om det är en bra idé i sig. I stället syftar det till att minska energianvändningen genom att göra förbättringar i byggnadens klimatskärm och installationstekniska lösningar, utan att försämra husets funktion och innemiljö (Abel & Elmroth, 2016). Den största utmaningen är att veta hur långt man ska gå och hur mycket komfort och prestanda en åtgärd verkligen kommer att ge. En annan utmaning med att energieffektivisera redan befintliga byggnader, jämfört med nyproduktion, är att dessa ofta inte byggdes med syftet att vara så energieffektiva som möjligt.

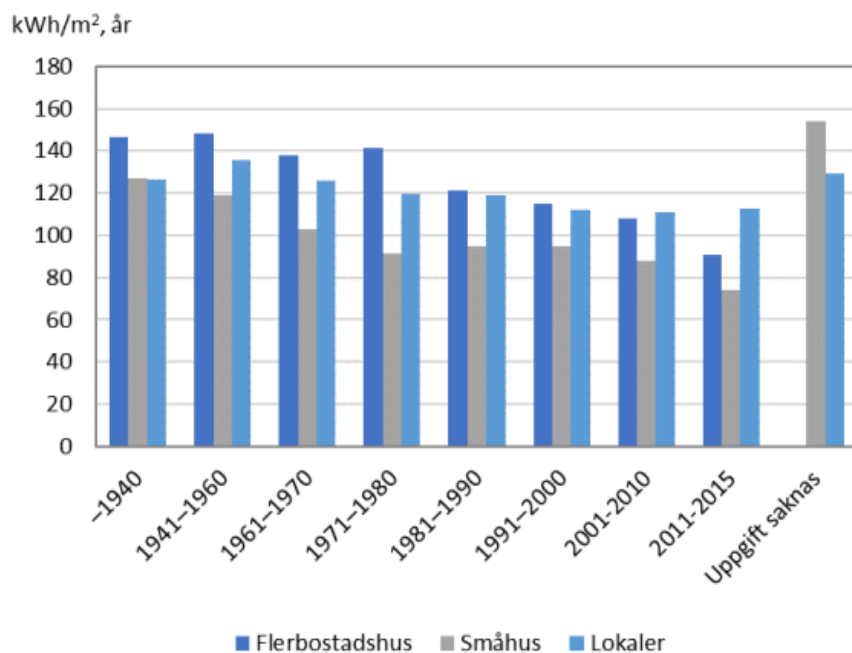
Under början av 1960-talet fram till mitten av 1970-talet byggdes över en miljon bostäder i Sverige, en tid av bostadsbyggande som går under namnet miljonprogrammet. Efter andra världskriget fick ekonomin ett rejält uppsving, detta i kombination med ökad befolkningstillväxt, urbanisering och prisreglerade hyror ledde till att efterfrågan på bostäder ökade markant. Bostadsbristen kom att bli en viktig politisk fråga och statens lösning på problemet var miljonprogrammet där man under de kommande åren skulle bygga en miljon nya bostäder. Det som karakteriserar miljonprogram-byggnader är att man byggde standardiserat och rationellt för att få så korta byggtider som möjligt och hålla nere kostnader. Fokus låg på att bygga bort bostadskrisen och öka bostadsstandarden, inte så mycket på byggnadernas energiprestanda och attraktivitet (Boverket, 2020a).

Nästan var femte bostad som finns i Sverige idag tillkom under miljonprogrammet och många av dessa bostäder är i desperat behov av tekniska uppgraderingar och energieffektivisering så att de inte når slutet av sin tekniska livslängd. Detta inkluderar bland annat byte av spill- och tappvattenstammar, uppdatering av elinstallationer, ventilation, fönster, balkonger och ytterväggar. Förutsättningarna och behoven ser dock olika ut och varierar från fastighet till fastighet. Dessa behov beror bland annat på vilka underhåll som gjorts på bostaden, vilken byggteknik som har använts och vilka förutsättningar ägaren som behöver finansiera har (Boverket, 2020a).

Renovering av byggnader kan betraktas som en av de viktigaste aspekterna vad gäller minskad energianvändning i samhället. Enligt Energimyndigheten stod sektorn bostäder och service för ca 40 procent, 144 TWh, av den slutliga energianvändningen i Sverige år 2021 (Energimyndigheten, 2022a). I sektorn ingår småhus, flerbostadshus och lokaler. Energinvändningen delas upp i olika delar, där ingående delar är fastighetsenergi, hushållsenergi, verksamhetsenergi samt energi för uppvärmning och varmvatten. Av dessa delar utgör energi för uppvärmning och varmvatten huvudparten med ca 60 procent av sektorns totala energianvändning, vilket år 2019 motsvarade 77 TWh. Fördelningen av energin som går till uppvärmning och

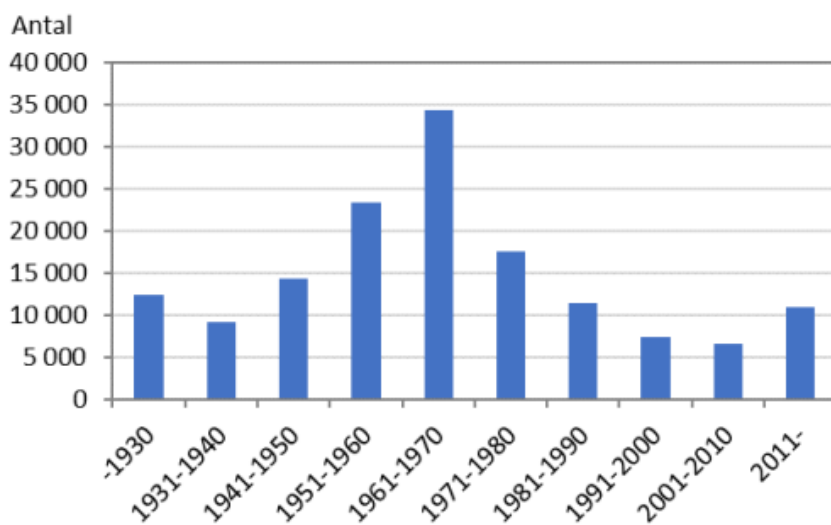
varmvatten är relativt jämnt fördelad mellan de olika byggnadskategorierna, där den undersökta kategorien flerbostadshus står för 29 TWh, ca 38 procent (Boverket, 2019a).

Vilket år en byggnad uppfördes har en stor del i hur dess utformning, mängd isolering, byggnadens täthet, typ av ventilation och andra installationstekniska egenskaper ser ut. Därav finns det även en stor variation i energianvändning beroende på byggnadsår (Boverket, 2019a).



Figur 1 Genomsnittlig energianvändning per m² för uppvärmning och varmvatten år 2016, efter byggår och byggnadskategori (Boverket, 2019a)

Hur fördelningen ser ut för antalet uppförda flerbostadshus per årtionde redovisas i figur 2.



Figur 2 Antal flerbostadshus fördelat på byggnadsår (Boverket, 2019a).

Majoriteten av flerbostadshusen, ca 61 procent, uppfördes mellan åren 1941–1980. Den tekniska livslängden för många material och installationer ligger mellan 25–50 år (Länsförsäkringar, u.å.). Därav finns det idag ett stort renoveringsbehov av dessa byggnader. I en rapport från Boverket (Boverket, 2019a) visas hur stor del av den totala boarean som redan har renoverats samt area som kommer att behöva renoveras. Respektive area är uppdelad efter byggnadsår, se tabell 1.

Tabell 1 Andel redan renoverad area av den totala arean och andel area med renoveringsbehov (Boverket, 2019a).

Byggår	Andel redan renoverad area	Andel area med renoveringsbehov
Före 1940	13 %	87 %
1941 - 1960	13 %	87 %
1961 - 1970	18 %	82 %
1971 - 1980	12 %	88 %

Idag ligger renoveringstakten på dessa byggnader långt under önskat värde. En studie från RISE visar att renoveringskulden i Sverige är hög. I studien har man kollat på byggnader vars värdeår överstiger 50 år då detta ofta är det högre tidsintervallet för behov av renovering. Studien visar att renoveringstakten har ökat de senaste 10 åren, jämfört med tidigare decennier, men att antalet renoverade byggnader per år understiger antalet byggnader som uppnår en värdeålder på 50 år. Därmed ökar renoveringskulden successivt för varje år som går (Boverket, 2019a).

Av det nationella byggnadsbeståndet är alltså majoriteten i stort behov av renovering, och det kommer krävas stora investeringar för att värdesäkra och höja standarden av dessa byggnader. Enligt Boverket uppskattas kostnaden för dessa renoveringar uppgå till ca 500 miljarder kronor (Boverket, 2020a). Det finns alltså en stor energibesparingspotential och dessa renoveringar är nödvändiga om man vill uppnå de miljömål som satts upp angående energianvändning.

Både Sverige och EU har ett flertal miljömål som är kopplade till energianvändning och att minska energianvändning från befintliga byggnader är en viktig del av att uppnå dessa. Ett av dessa mål är att Sverige ska halvera sin energianvändning till år 2030 jämfört med energianvändningen 2005 (Regeringen, 2016). Enligt Energimyndigheten minskade energianvändningen med 29 procent under perioden 2005–2019 (Energimyndigheten, 2021). Att Sverige år 2045 ska ha ett nettonollutsläpp och minska växthusgasutsläppen med 85 procent, jämfört med år 1990, är ett annat mål som är kopplat till energianvändning (Sveriges Miljömål, 2022). År 2020 var växthusgasutsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion 3,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter, eller 9 procent av de totala växthusgasutsläppen (Naturvårdsverket, 2022). Om vi ska nå målet kommer det krävas att vi blir mer energieffektiva och att energin som produceras kommer från förnyelsebara energikällor. Detta är något som även tas upp under delmål 9 i Sveriges miljö kvalitetsmål “God bebyggd miljö”, som säger: Användningen av energi, mark, vatten och andra naturresurser sker på ett effektivt, resursbesparande och miljöanpassat sätt för att på sikt minska och att främst förnybara energikällor används (Sveriges Miljömål, 2018).

1.2 Syfte och mål

I dagsläget läggs mycket fokus på hur nya byggnader kan byggas så energieffektivt som möjligt, men för att klara de miljömål som finns kring energianvändning så krävs det att befintliga byggnader ses över för att möta dagens standarder. Syftet med detta examensarbete är att undersöka ett befintligt flerbostadshus från 60-talet och utvärdera olika energieffektiviserande åtgärder med hjälp av simuleringsprogrammet IDA ICE.

Målet med examensarbetet är att hitta åtgärder som minskar den specifika byggnadens totala energianvändning för att därefter utvärdera vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva i förhållande till mängden energi som sparas.

1.3 Frågeställningar

- Är det möjligt att renovera ett flerbostadshus från 60-talet för att klara av dagens standard gällande energianvändning?
- Vilka åtgärder minskar energianvändningen mest?
- Vilka åtgärder är mest kostnadseffektiva?
- Är det ekonomiskt lönsamt att utföra åtgärderna?

1.4 Metod

Arbetet inleddes med att skapa en uppfattning om begreppet ”energieffektivisering” och vad detta innebar för just byggnader. Litteratur i form av vetenskapliga artiklar, myndighetsrapporter, artiklar och böcker studerades vilket gav en djupare förståelse av begreppet. Från fastighetsbolaget gavs sedan uppgifter om den undersökta byggnaden i form av ritningar, energistatistik och övrig teknisk information som var nödvändig. Därefter skedde ett platsbesök vid fastigheten som undersöktes där ansvarig drifttekniker medverkade och besvarade frågor som uppkommit. Efter platsbesöket sammanställdes all information och denna användes sedan som underlag för modellen som skulle byggas i simuleringsprogrammet IDA ICE. IDA ICE användes som simuleringsprogram då det är ett beprövat program som används i branschen. Programmet tar många parametrar i beaktande och ger tydliga resultat som kan jämföras med verkliga värden.

För att den energisparande åtgärden skulle bli verklighetstrogen krävdes det att den simulerade energianvändningen avvek så lite som möjligt från den verkliga. För att åstadkomma detta behövde modellen kalibreras och en del parametrar som var svåra att mäta fick antas utifrån standarder och krav. När modellen väl var kalibrerad kunde åtgärderna implementeras i programmet och simuleras. Simuleringen med åtgärden kunde sen jämföras med den ursprungliga simuleringen, utan åtgärder, för att se hur energianvändningen förändrats. Därefter kunde flera åtgärder kombineras i samma modell för att sedan simuleras. Val av undersökta åtgärder baserades på den ursprungliga simuleringens resultat, där man kunde se vilka poster som hade störst energiförluster, exempelvis transmission. Utgångspunkten för åtgärderna var dessutom att de ska vara realistiska åtgärder som kan genomföras och som går att simulera i IDA ICE.

När simuleringar för alla de tänkta åtgärderna var genomförda gjordes ekonomiska analyser för att beräkna lönsamheten hos åtgärder, både enskilda och som paketlösningar. Under arbetets gång undersöktes även åtgärder som inte gick att simulera i IDA ICE, energibesparingar från dessa beräknades för hand.

1.5 Avgränsningar

- Främst åtgärder som är möjliga att simulera i IDA ICE kommer att prioriteras.
- Endast ett flerbostadshus kommer att utvärderas kring energieffektiviserande åtgärder.
- Ett antal värden kommer antas på grund av svårigheter att göra mätningar.
- De ekonomiska kalkylerna som utförs kommer att vara i förenklad form och prissättningen kommer att uppskattas.
- Om föreslagna åtgärder är möjliga att implementera i undersökt byggnad kommer att betraktas översiktligt.

2 Teori

2.1 Energieffektivisering

Begreppet energieffektivitet kan för byggnader definieras som “lägsta möjliga energianvändning med behållen eller förbättrad funktion och kvalitet samt med balans mellan energivinst och resurssatsning” (Abel & Elmroth, 2016).

Anledningen till att man har befintliga hus och varför man bygger nya hus är att de fyller någon sorts funktion, vare sig det är att bo i dem eller att använda dem för något annat ändamål. I befintliga hus behöver åtgärder vidtas för att minska energianvändningen, precis som nya måste utformas för att förbruka mindre energi. Ett byggnads användbarhet eller hållbarhet ska inte äventyras av energibesparingsåtgärder, vare sig de genomförs i ett befintligt hus eller vid projektering av ett nytt. För att spara energi effektivt måste de tekniska lösningar som väljs, och de åtgärder som vidtas, vara rimligt resurskrävande i förhållande till mängden energi som sparas. Detta ger två kriterier för energieffektivitet (Abel & Elmroth, 2016):

- Tekniska lösningar eller åtgärder för minskning av energibehov får inte försämra husets funktion, inomhusmiljö eller tekniska kvalitet.
- Resursförbrukning för tekniska lösningar eller för åtgärder som minskar behovet av energi måste balanseras av den verkliga totala energibesparingen.

Uppfyller inte åtgärden något eller båda av de här kriterierna innebär det att åtgärden inte kan räknas som energieffektiviserande, även om byggnadens energianvändning minskas (Abel & Elmroth, 2016).

2.2 Energideklaration

Bygg- och fastighetssektorn står idag för cirka 40 procent av all energianvändning i EU. I arbetet med att minska energianvändningen i Sverige för sektorn infördes år 2006 energideklaration. Energideklarationen blev ett krav som ställdes på alla nya och befintliga byggnader i syfte att främja effektiv energianvändning och samtidigt säkerställa gott inomhusklimat i byggnader (Boverket, 2019b).

Genom energideklarationer får fastighetsägare en översikt över byggnadens energiprestanda. En byggnads energiprestanda har under åren uttryckts på olika vis. Mellan åren 2014–2018 användes specifik energianvändning som mått på byggnadens förbrukade energi. Med specifik energianvändning avses den mängd energi som förbrukas av en byggnad. Från den 1:a januari 2019 ändrades energideklarationen och byggnadens energiprestanda började uttryckas som primärenergi tal i stället för specifik energianvändning. Skillnaden är att primärenergitalet tar hänsyn till hur energin som byggnaden förbrukar, produceras (Boverket, 2019b). Fjärrvärme, fjärrkyla, biobränsle, fossil olja och fossil gas ges olika viktningsfaktorer som baseras på hur mycket energi som krävs för att exempelvis leverera 1 kWh el till byggnaden (Boverket, 2021). Viktningsfaktorer presenteras i tabell 2.

Tabell 2 Viktningsfaktorer för olika energibärare (Boverket, 2021).

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

Utifrån primärenergitalet betygssätts sedan byggnaden efter ett betygssystem som förhåller sig till nyproduktionskravet, vilket är 75 kWh/m² år. Betygssystemet är uppbyggt av sju olika energiklasser (Boverket, 2019b), vilka redovisas nedan.

Tabell 3 Krav för olika energiklasser baserat på energiprimärtal (Boverket, 2019b).

Energiklass	Krav	Numeriskt värde (kWh/m ² år)
A	EP är ≤ 50 procent av kravet för en ny byggnad	37.5 kWh/m ² år
B	EP är > 50 - ≤ 75 procent av kravet för en ny byggnad	37.5–56.25 kWh/prest år
C	EP är > 75 - ≤ 100 procent kravet för en ny byggnad	56.25–75 kWh/m ² år
D	EP är > 100 - ≤ 135 procent av kravet för en ny byggnad	75–101.25 kWh/m ² år
E	EP är > 135 - ≤ 180 procent av kravet för en ny byggnad	101.25–135 kWh/m ² år
F	EP är > 180 - ≤ 235 procent av kravet för en ny byggnad	135–176.25 kWh/m ² år
G	EP är > 235 procent av kravet för en ny byggnad	>176.25 kWh/m ² år

Beräkning av energiprimärtalet utförs med ekvationen nedan (Boverket, 2021):

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

F_{geo} = Geografisk justeringsfaktor (0,9 i Göteborg)

E_{uppv} = Energi till uppvärmning (kWh/år)

E_{kyl} = Energi till kylning (kWh/år)

E_{tvv} = Energi till tappvarmvatten (kWh/år)

E_f = Fastighetsenergi (kWh/år)

VF = Viktningsfaktor för använd energibärare

A_{temp} = Uppvärmad yta (m^2)

Utöver energiprestandan på byggnaden så presenteras i energideklarationen även möjliga åtgärder för att minska byggnadens energianvändning (Boverket, 2019b). Åtgärderna delas upp i följande kategorier:

- Installationstekniska åtgärder
- Byggnadstekniska åtgärder
- Styr- och reglertekniska åtgärder.

Härnäst presenteras vilka åtgärder de olika kategorierna innefattar.

2.3 Installationstekniska åtgärder

Installationstekniska åtgärder avser bland annat de åtgärder som berör byggnadens ventilation, belysning och varmvatten.

2.3.1 Ventilationssystem

Ventilationssystemets syfte är att förse bostaden med frisk uteluft, föra bort förorenad inneluft och i vissa fall värma eller kyla luften. Ett fungerande ventilationssystem ska även se till att föroreningar inte sprids mellan rummen, exempelvis från ett kök med ofta förorenad luft till ett sovrum (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Hur högt uteluftsflödet ska vara i en byggnad framgår i BBR. För bostäder gäller ett krav på 0.35 l/s/m^2 och för lokaler 7 l/s och person + 0.35 l/s/m^2 . Ventilation i bostäder sker vanligen dygnet runt medan driften i lokalbyggnader oftast anpassas efter öppettider och närvaro. För en bostad kan uteluftsflödet reduceras till $0,1 \text{ l/s/m}^2$ om ingen människa befinner sig i bostaden och om det kan ske utan att påverka luftflödet till andra lägenheter (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Det finns många olika typer av ventilationssystem varav de vanligaste som finns i byggnader idag är:

- Självdragsventilation, typ S
- Mekanisk frånluftsventilation, typ F
- Frånluftsventilation med värmepump, FVP
- Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning, FTX

Självdragsventilation är ett system som är vanligt förekommande i äldre bostäder, ofta byggda innan 1970. Självdragsventilation drivs i huvudsak av termiska krafter och som namnet antyder saknas fläkt. Detta kan leda till ventilationsflödet ej uppnår kraven under sommarmånaderna då temperaturskillnaderna är för små. På samma vis kan det under vintern leda till att huset blir överventilerat och därmed få en onödigt stor energiåtgång för uppvärmning. Ur energisynpunkt är det därmed inte ett hållbart system då ingen värme i frånluften återvinns samt att det är svårt att reglera då fläkt saknas (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Mekanisk frånluftsventilation har till skillnad från självdragsventilation en frånluftsfläkt som skapar ett undertryck i byggnaden. Undertrycket tvingar på sätt uteluft genom uteluftsventiler som är placerade i sovrum eller vardagsrum. Systemet är reglerbart och man kan därmed kontrollera luftomsättningen. Fördelar med frånluftsventilation jämfört med självdrag är därmed att kraven i BBR kan upprätthållas året runt, men precis som för självdrag är systemet mindre optimalt ur energisynpunkt då ingen värme i frånluften tas tillvara på. Dessutom går frånluftfläkten konstant året om och drar elenergi (Warfvinge, Dahlblom 2010).

Det vanligaste systemet som används idag vid nyproduktion är FTX. Systemet består utav både till-och frånluftskanaler samt ett FTX-aggregat. Vad som kännetecknar ett FTX-aggregat är att det innehåller en värmeåtervinnare som återvinner värme från frånluften. Det finns olika typer av värmeåtervinnare, de vanligaste är motströmsvärmeväxlare och roterande värmeväxlare. Verkningsgraden på dessa varierar man kan vara så hög som 85 procent. Jämförs systemet med ett mekaniskt

frånluftssystem drar fläktarna i aggregatet cirka det dubbla i elenergi, dels på grund av att systemet består utav både en till- och frånluftsfläkt, dels att det krävs en extra tryckhöjning då luften ska passera genom aggregatdelarna. Även om mängden elenergi som krävs blir högre, är systemet fortfarande ur energisynpunkt, betydligt mer effektivt (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

I befintliga byggnader som inte projekterades med FTX som systemval, kan det vara svårt att i efterhand implementera. För det första kräver FTX-aggregatet ett betydligt större utrymme än F-aggregat. För det andra så krävs det schakt och håltagningar för både till- och frånluftskanaler.

En stor del av dagens byggnadsbestånd består utav äldre byggnader där ursprungliga systemvalet för ventilation var mekanisk frånluft (Borglund, 2020). Idag är det därför vanligt att byggnader med mekaniskt frånluftssystem kompletteras med en frånluftsvärmepump (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Installation av frånluftsvärmepump på redan befintligt system kräver inte samma omfattning i arbete som byte till FTX-system och kan därför i många fall vara en mer kostnadseffektiv lösning.

Frånluftsvärmepumpar kan vara särskilt användbara i flerbostadshus med en samlad frånluftskanal. Frånluftsvärmepumpar fungerar på vintern såväl som på sommaren eftersom frånluften håller en konstant hög temperatur. Frånluftsvärmepumpen kan leverera värme till både värme- och tappvarmvattensystemet, men den kan bara ta in en begränsad mängd värmeenergi från frånluften. En värmepumps kapacitet beror på ventilationsflödet (Energirådgivningen, u.å.).

2.3.2 Belysning

Att se över vilken typ av belysning en byggnad har är en relativt enkel åtgärd för att minska elanvändningen. Val av armaturer, användning av lågenergilampor samt belysning som är närvarostyrd kan sänka nuvarande belysningskostnader med upp till 80 procent (Vattenfall, u.å.).

2.3.3 Tappvarmvatten och VVC

Sveriges hushåll står för cirka 20 procent av den totala vattenanvändningen. Slår man ut det per person blir användningen cirka 160 l per person och dygn. Av den totala användningen utgör varmvatten omkring en tredjedel (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Ett sätt för att minska tappvarmvattenanvändningen i framför allt flerbostadshus är att införa individuell mätning och debitering (IMD). IMD leder till att människor blir mer medvetna om hur mycket vatten de förbrukar och en rapport visar att varmvattenförbrukning kan minska med upp till 26 procent efter införande (Elinder et al., 2021).

Vattnet som leds till hushållen har en temperatur mellan 4–15 grader beroende på årstid. Vattnet värms upp till en temperatur på högst 60 grader i en värmeväxlare eller annan typ av varmvattenberedare, för att undvika risken för skällning, och får inte någonstans i tappvarmvattensystemet understiga 50 grader. Detta är krav som framgår i BBR och anledningen är att vid för låga temperaturer finns risk för tillväxt av Legionella (Warfvinge, Dahlblom 2010).

För att upprätthålla kravtemperaturerna när det inte förekommer någon varmvattenanvändning, som exempelvis under natten, används varmvattencirkulation (VVC). VVC innebär, precis som det låter, att man låter varmvatten cirkulera i stället för att det blir stillastående och kyls ner. VVC-ledningarna går oftast parallellt med varmvattenledningen och cirkulationen upprätthålls med hjälp av en pump. Energiförluster i samband med VVC varierar beroende på isolergraden på rören. Ett oisolerat rör kan ha effektförluster på upp till 70 W/m medan ett välisolerat rör kan ha så lite som 4.1 W/m (Jensen & Nyberg, 2021). I en kartläggning gjord av BeBo gjordes mätningar på 12 fastigheter. Där uppmättes VVC-förluster som varierade mellan 2.3 och 28 kWh/m² år (BeBo, 2015). Stora VVC-förluster kan även medföra behov av större VVC-pump, då högre flöde krävs för att begränsa temperaturfallet. Större pumpar drar mer el och höjer på så vis elanvändningen (Kretz, 2014).

2.4 Byggnadstekniska åtgärder

Byggnadstekniska åtgärder innefattar åtgärder på byggnadskonstruktionen och avser bland annat åtgärder på byggnadens klimatskärm.

En byggnads klimatskärm är de byggnadsdelar som bildar en gräns mellan byggnadens inneklimat och klimatet utanför. Här ingår: golv, tak, ytterväggar, fönster och dörrar. Kvaliteten på byggnadsdelarna i klimatskärmen är avgörande för hur stora transmissionsförlusterna på en byggnad är och påverkar därmed energibalansen (Boverket, 2020c). I Boverkets byggregler (BBR) framgår riktvärden på högsta värmegenomgångskoefficienten vid nyproduktion (Boverket, 2021), se tabell 4.

Tabell 4 Värmegenomgångskoefficient som ska eftersträvas för enskilda byggnadsdelar U_i [W/m²K] (Boverket, 2021).

U_i	[W/m ² K]
U_{tak}	0,13
$U_{vägg}$	0,18
U_{golv}	0,15
$U_{fönster}$	1,2
$U_{ytterdörr}$	1,2

Det finns även riktvärde för genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m . Värdet på U_m räknas ut med följande ekvation och bör inte överstiga 0.4 W/m²K (Boverket, 2021).

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \psi_k + \sum_{j=1}^p x_j}{A_{om}}$$

l_k = Längd linjär köldbrygga (m)

ψ_k = värmegenomgångskoefficient för linjär köldbrygga (W/m²K)

x_j = värmegenomgångskoefficient för punktköldbrygga (W/m²K)

A_{om} = byggnadsdelars omslutningsarea (m²)

2.4.1 Tak

Att tilläggsisolera taket är en effektiv åtgärd när det kommer till att minska energianvändningen. Varm luft stiger och för att minska värmeförlusten är det därför viktigt att man har bra vindsisolering. Genom att isolera vindsbjälklaget kan uppvärmningskostnaderna minska med upp till 25 procent (Isover, u.å.).

Idag när nya hus byggs är det vanligt att man använder en isolering om minst 400 mm (Paroc, u.å.). Takkonstruktionen på äldre byggnader är ofta mindre välisolerad. Fram till 1990-talet var isoleringen sällan tjockare än 100–200 mm. Är byggnaden äldre kan isolertjockleken vara ännu mindre eller saknas helt (Byggstart, 2022).

Vid tilläggsisolering av tak är det viktigt att säkra konstruktionen mot fukt då det oftast i äldre byggnader saknas en invändig fuktspärr (Byggnadsvårdsföreningen, 2008).

2.4.2 Väggar

Då väggar i många fall utgör den största delen av byggnadens klimatskärm leder det till att en stor del av byggnadens transmissionsförluster sker här. Äldre byggnader som uppfördes före, och till viss del under miljonprogrammet karaktäriseras av okomplicerade homogena väggkonstruktioner. Till skillnad från idag, där man har flera material där alla fyller en viss funktion, hade man förr väggar med relativt få komponenter som vart och ett hade ett flertal funktioner samtidigt. Exempelvis kunde en putsad tegelvägg fungera som både bärande och isolerande samt som skydd mot regn och vind (Abel & Elmroth, 2016). Att tilläggsisolera ytterväggar i äldre byggnader kan därmed vara en åtgärd som sparar stora mängder energi.

Vid tilläggsisolering av ytterväggar finns det flera tillvägagångssätt och man kan isolera både invändigt och utvändigt. Utvändigt isolering är oftast mest lämplig då isolerskiktet blir obrutet och därmed ger bästa effekt, samtidigt som boarean förblir oförändrad. Vid utvändigt tilläggsisolering av fasad används främst sten- och glasullsisolering. Isoleringen fästs tätt på den befintliga fasaden och puts läggs utanpå och skapar ett skyddande ytskikt. Nackdelar med att isolera utvändigt är att det kan påverka en byggnads karaktärsdrag och förfula exteriören (Cato, 2016).

2.4.3 Fönster

Fönster är en av de byggnadsdelar i klimatskärmen där mest transmissionsförluster sker i förhållande till yta på grund av dess höga u-värde. I äldre hus med tvåglasfönster kan u-värdet vara så högt som 3 W/m²K (Energi- och klimatrådgivarna i Skåne, u.å.). Detta medför stora värmeförluster och fönsterbyte har därför stor energibesparingspotential.

De senaste åren har glas- och fönstertechnik utvecklats och numera finns fönster med så låga u-värden som 0,7 W/m²K, så kallade passivfönster (Nordiska fönster, 2022).

2.4.4 Köldbryggor

Med köldbryggor menas de områden i klimatskärmen där extra värme läcker ut i förhållande till den annars välisolerade byggnadsdelen. Köldbryggor har ofta värmeläckage i flera dimensioner och uppstår oftast i anslutningar mellan olika byggnadselement som exempelvis mellan vägg-tak. Köldbryggor uppkommer även i inhomogena byggnadselement där ett material leder värme bättre än det andra, exempelvis i en vägg där träreglar är omgivna av isolering (Boverket, 2012).

Vid beräkning av u-värdet beaktas tre varianter av köldbryggor:

- Köldbryggor som finns i klimatskärmen
- Linjära köldbryggor
- Punktformiga köldbryggor

Enskilda köldbryggor kan beräknas men är ofta väldigt tidskrävande och ineffektivt. Från erfarenhet har man kommit fram till att effekten av de linjära köldbryggorna, för småhus, oftast motsvarar ett påslag på 15–20 procent på U_m -värdet. För flerbostadshus kan påslaget vara ännu högre (Boverket, 2012).

2.5 Styr- och reglertekniska åtgärder

Styr- och reglertekniska åtgärder handlar om styrning av de befintliga installationstekniska systemen som finns i byggnaden. Det kan vara styrning av värme, ventilation eller belysning. Åtgärder som har med styr och regler att göra innebär oftast inga nya installationer utan handlar om att optimera redan befintliga system. Åtgärderna är oftast mindre omfattande än installations- och byggnadstekniska åtgärder men har fortfarande en stor energibesparingspotential i förhållande till investering.

2.5.1 Värmesystem

Värmesystemets uppgift är att under de kallare månaderna skapa ett komfortabelt inomhusklimat gällande lufttemperaturer, temperaturgradient, strålningsförhållanden och lufthastighet. Systemet är uppbyggt av 4 huvuddelar (Warfvinge & Dahlblom, 2010), vilka är:

- värmare i rummet
- distributionssystem som fördelar värmen i byggnaden
- värmekälla
- system för styrning och reglering

Det finns olika typer av värmesystem och val av värmesystem avgörs ofta utifrån byggnadens värmebehov och lokala förutsättningar. Ett av de vanligare systemen som används idag för flerbostadshus är ett vattenburet system av tvårörstyp med radiatorer, vilket även är det system som används i den undersökta fastigheten (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

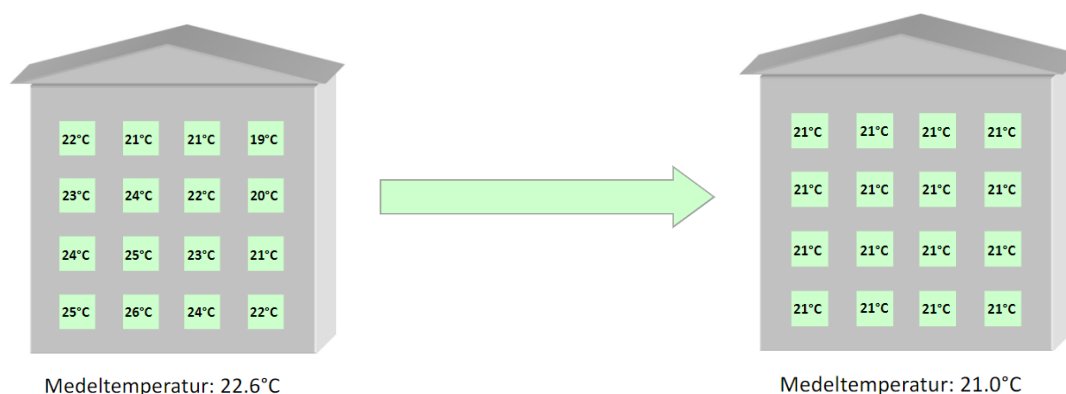
Ett vattenburet system av tvårörstyp består av en tillloppsledning som leder varmt vatten till radiatorn samt en returledning som returnerar vattnet till värmekällan. Då alla radiatorer är parallellkopplade ges samma tilloppstemperatur till varje radiator,

till skillnad från ett ettrörssystem. Cirkulationen upprätthålls av en pump (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Framledningstemperaturen i värmesystemet regleras efter utetemperaturen. En kallare utetemperatur kräver högre framledningstemperatur (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Under de varma sommarmånaderna brukar fastighetsägare stänga av systemet då inget värmebehov finns.

2.5.2 Injustering värmesystem

Temperaturen i ett flerbostadshus kan ofta skilja sig från lägenhet till lägenhet. Normaltemperaturen i lägenheter bör ligga runt 21 grader på vintern och bör inte överstiga 25 grader under en längre period på sommaren. Varje grads ökning av temperaturen inomhus vintertid medför ungefär 5 procent ökning i energianvändning. För att motverka ojämn värmefördelning i byggnaden, där en lägenhet håller 23 grader medan en annan lägenhet håller 20 grader, är det viktigt att värmesystemen injusteras. Detta bör ske kontinuerligt var 10–15 år. Injustering ska även göras om man byter ut en komponent i systemet, till exempel cirkulationspump, då en ändring påverkar resten av systemet. Hur stora energibesparingarna blir skiljer sig från fall till fall men normalt sett ger en injustering en besparing på 3–30 procent av uppvärmningskostnaderna (Energirådgivningen, 2022).



Figur 4 Dåligt injusterat värmesystem jämfört med ett bra injusterat värmesystem (A. Trüschel, personlig kommunikation, 2021).

2.5.3 Injustering ventilation

Injustering av ventilationssystemet är viktigt så att alla delar av fastigheten får projekterat luftflöde och att det råder balans i systemet. Ett väl anpassat ventilationssystem med rätt luftflöden minskar både energianvändning och ventilationsljud. I ett obalanserat system kan ventilationsflödena skilja sig stort från rum till rum. Vid höga flöden blir värmebortförelsen via ventilation onödigt stor, detta blir extra märkbart i byggnader med mekanisk frånluftsventilation, då ingen värme i frånluften återvinns. Dessutom innebär för höga flöden att fläkten går på högre varvtal än nödvändigt vilket ökar elanvändningen. Låga flöden leder till försämrad luftkvalitet och kan medföra fukt och mögelproblem (Ovkservice, 2022).

2.6 Ekonomisk värdering, lönsamhet med en åtgärd

Vid energisparande åtgärder är det nödvändigt att jämföra den energi som sparas i framtiden med kostnaden av de material och arbetsinsatser som krävs vid investeringstillfället, för att på så vis avgöra om en energivinst är tillräckligt stor i förhållande till resurserna som uppoffras. Som en del av detta behöver du ett tydligt mått på energi och andra resurser, och du behöver även en metod för att jämföra nuvarande insatser med framtida resultat. Det finns flera metoder för att göra det. En metod är att göra en livscykelanalys, LCA, vilket innebär att all miljöpåverkan beaktas. Att utföra en LCA för en åtgärd är en komplex och tidskrävande process. Därför används ibland enklare miljöbaserade metoder, där ett eller flera skadliga utsläpp antas, som till exempel koldioxidutsläpp. Genom att göra detta blir resultaten enklare och lättare att jämföra (Abel & Elmroth, 2016).

Då det ofta är ekonomin som styr, och inte miljöbesparingar, är det vanligast att man använder penningmått och ekonomiska modeller vid en bedömning av energieffektiviserande åtgärder (Abel & Elmroth, 2016).

Även om ekonomiska värderingar inte är miljöbedömningar är både resurskostnader och energikostnader kopplade till miljön, till exempel genom regleringar och skatter som är motiverade utifrån miljöhänsyn. Skillnaden mellan en miljövärdering och en ekonomisk värdering är att miljövärderingar vanligtvis inte inkluderar mänskligt arbete, medan ekonomiska värderingar gör det. Faktum är att en ekonomisk värdering är enkel och lätt att förstå och den överensstämmer med en fastighetsförvaltares verklighet. Det är den sorten som används i praktiken (Abel & Elmroth, 2016).

För att avgöra om en energibesparande investering är lönsam i längden för en person eller företag används lönsamhetskalkyler. En lönsamhetskalkyl ger ett underlag för beslut om investering, hur resurser ska fördelas och vilka lösningar som ska övervägas. För att avgöra om de avsedda åtgärderna ska genomföras eller inte är det avgörande att de beräkningar som lämnas ger ett tydligt svar. Dessutom är det viktigt att ha en bedömningsmodell som är transparent och att alla deltagare är medvetna om att valet av indata kan ha en effekt på utfallet. Resurser och material som krävs beräknas utifrån investeringskostnader. För att balansera energibesparingar och resursuppoffringar kan olika accepterade ekonomiska modeller användas. När man utvärderar en investerings lönsamhet är det viktigt att ta hänsyn till hur mycket den kommer att generera i framtiden. Investeringar som görs nu måste vara jämförbara med framtida inkomster eller sparande. Räntorna är ett sätt att koppla ihop ekonomiska händelser som äger rum vid olika tidpunkter (Abel & Elmroth, 2016).

Att ha pengar tillgängliga nu är vanligtvis bättre än att ha dem senare. Räntan avgör förhållandet mellan hur mycket pengar du har idag och den alternativa framtida inkomsten. Räntan speglar hur viktig framtida inkomst är jämfört med att kunna få tillgång till pengar idag. Kapitalägare har möjlighet att behålla sina pengar, investera dem eller låna ut dem för att erhålla vinst i framtiden. För att göra investeringen eller utlåningen lönsam måste räntan vara tillräckligt stor för att vara attraktiv jämfört med att behålla kapitalet eller använda det för något annat ändamål (Abel & Elmroth, 2016).

2.6.1 Återbetalningsmetoden, payback

Återbetalningsmetoden, eller payback-metoden, är en enkel kalkylmodell som visar hur lång tid det tar att tjäna in den ursprungliga investeringen. Kriteriet för om en investering är lönsam eller inte är om den genererar besparingar som täcker upp den ursprungliga investeringen inom en viss tidsperiod (Abel & Elmroth, 2016).

$$\frac{B_0}{a} < T_{\text{å}} \text{ år}$$

Där

B_0 = belopp som investeras (kr)

a = inkomster/besparingar (kr/år)

$T_{\text{å}}$ = återbetalningstiden (år)

Metoden är simpel och resultat är lätt att förstå. Metoden räknas dock inte som en lönsamhetsberäkningsmetod, utan visar endast hur snabbt den ursprungliga investeringen blir återbetald. Ränta och investeringens livslängd tas inte i beaktande vilket gör att metoden är olämplig för investeringar i byggnader. Det är dock vanligt att man använder återbetalningsmetoden som ett underlag för att se vilka åtgärder som kan vara intressant att kolla mer på. Har en åtgärd till exempel allt för lång återbetalningstid kan man direkt utesluta denna (Abel & Elmroth, 2016).

2.6.2 Nuvärdesmetoden

Med hjälp av nuvärdesmetoden jämförs investeringen med sparandet över kalkylperioden. Kostnader, intäkter och besparingar förknippade med investeringar omräknas till ett nuvärde, det vill säga till investeringstidpunkten med kalkylräntan. Om nettosparandet eller nettoinkomsten har en positiv nuvärdessumma, är investeringen lönsam. Desto högre nuvärdessumman är desto bättre är investeringen. Nackdelar med metoden är att den inte ger en direkt känsla över hur lönsam investeringen är (Abel & Elmroth, 2016). Nuvärdet beräknas med ekvation nedan:

$$A_0 = a * I(r_{k,n}) > B_0$$

Där

A_0 = Nuvärdessumma (kr)

a = Årliga nettobesparingar (kr)

$r_{k,n}$ = Kalkylräntan för tidsintervallet (år)

B_0 = Belopp som investerats (kr)

Kalkylräntan som används beror helt på vilka avkastningskrav man har på investerat kapital. I en fungerande ekonomi har man vanligtvis inflation, vilket innebär att pengarna minskar i värde. Därför justerar man vanligen den nominella kalkylräntan och tar inflationen i beaktande, vilket ger något som kallas realränta (Abel & Elmroth, 2016).

$$r_{k,real} = r_n - w$$

Där

$r_{k,real}$ = real kalkylränta (%)

r_n = nominell kalkylränta (%)

w = inflation (%)

När man utvärderar energieffektiviserande investeringar är det även rimligt att man tar förväntade stigande energipriser i beaktande, därför korrigeras den reala kalkylräntan med den årliga relativa energiprisökningen (Abel & Elmroth, 2016).

$$r_{k,korr} = r_{k,real} - q$$

Där

$r_{k,korr}$ = *Korrigerad realkalkylränta (%)*

q = *årliga relativa energiprisökningen (%)*

Därefter har man en kalkylränta som tar hänsyn till både inflation samt stigande energipriser.

Till skillnad från återbetalningsmetoden tar nuvärdemetoden den ekonomiska livslängden i beaktande vilket gör metoden mer pålitlig (Abel & Elmroth, 2016).

2.7 Ekonomiskt stöd för energieffektivisering av flerbostadshus

Den 20 juni 2021 röstade regeringen fram ett beslut om att erbjuda stöd för energieffektiviserande åtgärder för flerbostadshus. Stödet erbjöds till privata fastighetsbolag, bostadsrättsföreningar, allmännyttiga bostadsföretag samt stiftelser och kooperativa bostadsföreningar. Stödet finansierades med medel från EU och för att stödmottagaren skulle få sin ansökan beviljad av Länsstyrelsen krävdes att de energieffektiviserande åtgärderna minskade byggnadens primärenergital med 20 procent eller mer. Stödet avvecklades i samband med statens budget för 2022 (Boverket, 2022).

2.8 Krav och rekommendationer

2.8.1 OVK-protokoll

OVK står för obligatorisk ventilationskontroll och ska göras regelbundet i de flesta byggnaderna. Syftet med OVK är att kontrollera så att kraven för ventilationsflöden hålls och på så vis bibehålla ett bra inomhusklimat. OVK blev ett krav år 1991 och ska för flerbostadshus utföras en gång var sjätte år. Byggnadens ägare ansvarar för att en OVK utförs och den ska utföras av en certifierad besiktningsman. Vid varje kontroll ska besiktningsmannen skriva ett protokoll för att rapportera resultaten. Ett skickas till byggnadens ägare och ett till kommunens byggnadsnämnd (Boverket, 2021b).

Vid **varje** OVK ska det kontrolleras att:

- Det inte finns föroreningar i ventilationssystem som kan spridas i byggnaden.
- Skötselanvisningar och instruktioner finns lätt tillgängliga.
- Ventilationssystemet fungerar på det sätt som är avsett.

Vid **en första** besiktning ska följande kontrolleras:

- Funktionen och egenskaperna hos ventilationssystemet stämmer överens med gällande föreskrifter.

Vid **återkommande** besiktningar ska följande kontrolleras:

- Kontrollera att funktionen och egenskaperna hos ventilationssystemet i huvudsak överensstämmer med de föreskrifter som gällde när systemet togs i bruk.
- Undersöka vilka åtgärder som kan vidtas för att förbättra energihushållningen i ventilationssystemet och som inte medför ett försämrat inomhusklimat.

Det är sen upp till ägaren om åtgärderna som föreslagits ska genomföras.

2.8.2 BEN 2

BEN 2 är en föreskrift utgiven av Boverket som används till att ta fram byggnadens energianvändning knutet till ett normalt brukande och ett normalår. I BEN 2 hittas schablonvärden som kan användas för energiberäkningar av flerbostadshus när mätningar inte är möjliga eller saknas. Schablonvärdena baseras på studier, uppföljningar och erfarenhetsvärden (Boverket, 2017). Några av de schablonvärden som använts i arbetet redovisas nedan, i tabell 5.

Tabell 5 Schablonvärden för energiberäkningar, normalt bruk (Boverket, 2017).

Parameter	Delparameter	Delparameter	Värden
Tappvarmvatten	Energi (kWh/m ² A _{temp} år)		25/n _{tvv}
Hushållsenergi	Energi (kWh/m ² A _{temp} år)		30
	Internlast (%)	Möjlig att tillgodogöras under uppvärmningssäsong	70
Personvärme	Antal personer		Enligt tabell 6
	Tid (h/d/v)		14/7/52
	Effektavgivning (W/person)		80
Vädringspåslag	Energi (kWh/m ² A _{temp} år)		4

För tappvarmvatten ansätts ett värde på 25 kWh/m²A_{temp} år. Värdet är baserat på normalt brukande. Normalt brukande används för att en byggnad ska bedömas rättvist och inte påverkas av ett användarbeteende, exempelvis om en användare har varit extra slösaktig eller sparsam med sin tappvarmvattenanvändning (Sveby, 2009).

För hushållsenergi ansätts ett värde på 30 kWh/m²A_{temp} år varav 70 procent av energin kan tillgodogöras som internlast under uppvärmningssäsong. Hushållsenergi avser energin som används för hushållsändamål, exempelvis spis, kyl, belysning och datorer. På samma sätt som för tappvarmvatten ansätts detta värde i energiberäkningar för att skapa en rättvis bild av byggnadens energianvändning (Sveby, 2009).

Personvärme avser den värme som genereras av människor i en byggnad. Effektavgivning ansätts till 80 W, vilket är ett medelvärde för vuxna och barn vid olika aktiviteter. Utöver effekten som avges från människor finns ett rekommenderat tidschema som kan användas. Där görs ett antagande att människor spenderar 14 av dygnets timmar i sin bostad, 7 dagar i veckan, 52 veckor om året (Sveby, 2009). Hur många personer som bor i en bostad är inte alltid lätt att veta. Därför finns även schablonvärden i BEN som ansätter ett värde på antal boende baserat på en lägenhetsstorlek (Boverket, 2017), se tabell 6.

Tabell 6 Värden för beräkning av antal personer beroende på lägenhetsstorlek (Boverket, 2017).

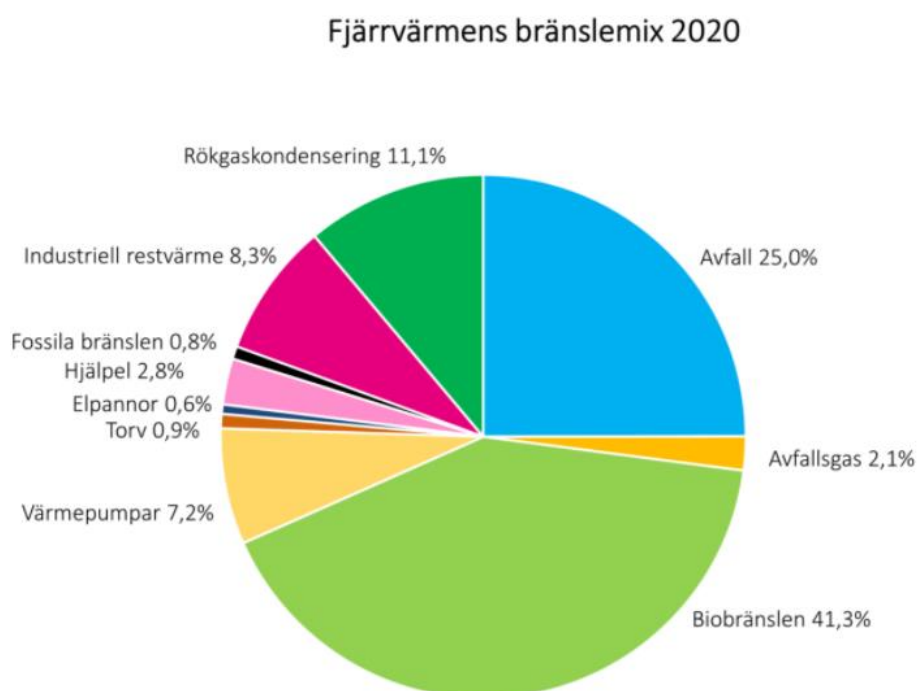
Antal rum och kök	1	2	3	4	5
Antal personer	1,42	1,63	2,18	2,79	3,51

Att göra påslag för vädring bör även tas i beaktande vid energiberäkningar då det visats att vädringsvanor kan ha stor påverkan på byggnadens energianvändning. På grund av värme som försvinner ut när man vädrar under uppvärmningssäsongen används $4 \text{ kWh/m}^2 A_{temp} \text{ år}$ som ett påslag för att ta hänsyn till förlusterna (Boverket 2017).

Något som inte tas hänsyn till i BEN är förluster som uppkommer via styrning och reglering av värmesystem. Förlusterna beror bland annat på att det finns en viss tröghet i systemet. Styr- och reglerförluster brukar uppskattas till cirka 10 procent av den totala värmeanvändningen (F. Hultman, personlig kommunikation, 2022).

2.9 Fjärrvärme och fjärrvärmepriser

Fjärrvärme är den dominerande uppvärmningsmetoden och används i cirka 90 procent av flerbostadshusen i Sverige. Fjärrvärmenätet startar i ett värmeverk där vatten hettas upp till 70–120 grader, beroende på årstid och väder (Energimarknadsbyrån, 2020). För att värma vattnet används flera olika typer av bränslen. Bränslemixen består till mer än 90 procent av förnybara källor där biobränslen utgör 41 procent, avfall 25 procent och 8 procent industriell överskottsvärme (Khodayari, 2021).



Figur 5 Fördelning fjärrvärmens bränslemix år 2020 (Khodayari, 2021).

Efter att vattnet värmts upp i värmeverken fördelas det med hjälp av fjärrvärmenätet ut till fastigheterna. I fastigheterna går det varma vattnet in i fjärrvärmecentralen, där det oftast finns två värmeväxlare, en avsedd för tappvarmvatten och en för värmesystemet. Här överförs värmen och därefter transporteras det kylda vattnet tillbaka till värmeverket där det värms upp på nytt (Energimarknadsbyrån, 2020).

Fjärrvärmen som förser bygganden med värme kommer från Göteborgs Energi. På Göteborgs energi delas fjärrvärmepriserna in i 3 kategorier: energi, effekt och effektivitet. Samtliga priser som redovisas är för företag och är exklusive moms (Göteborg Energi, 2022a).

Energi

Av dessa delar utgör energi den största delen med ca 60 procent av den totala kostnaden. Energi är ett mått på hur mycket värme som köpts till fastigheten. För att beräkna energikostnaden multipliceras den totala förbrukningen med den månads energipris. Kostnaden för energin varierar efter årstid, och är dyrare under de kallare månaderna (Göteborg Energi, 2022a). I tabell 7 redovisas fjärrvärmepriser för energi från Göteborgs Energi.

Tabell 7 *Energiprisernas variation beroende på säsong (Göteborgs Energi, 2022).*

Säsong	Energipris	Månader
Vinter	521 kr/MWh	Jan, Feb, Mar, Dec
Vår/höst	359 kr/MWh	April, Okt, Nov
Sommar	100 kr/MWh	Maj, Juni, Juli, Aug, Sept

Anledningen till variationen i pris mellan månaderna beror på att värmeåtervinningsgraden är betydligt högre under de varmare månaderna, vilket möjliggör ett lägre energipris (Göteborg Energi, 2022a).

Effekt

Effekten utgör ca 40 procent av fjärrvärmepriset och beror på hur du använder din värme. En jämn värmeanvändning minskar kostnaden jämfört med ett ojämnt uttag. Effektpriset utgörs av en rörlig och en fast del där båda bestäms av tredygnsmedeleffekten. Tredygnsmedeleffekten beräknas genom att ta fram ett medelvärde på de tre högsta dygnsmedeleffekterna från de senaste 12 månaderna. Därefter klassificeras den inom ett intervall och får ett fast och ett rörligt pris (Göteborg Energi, 2022a), se tabell 8.

Tabell 8 *Priser baserade på tredygnsmedeleffekten (Göteborg Energi, 2022).*

Tredygnsmedeleffekt	Fast pris	Rörligt pris
0–100 kW	9235 kr/år	880 kr/kW, år
101–250 kW	14 285 kr/år	830 kr/kW, år
251–500 kW	28 090 kr/år	775 kr/kW, år
501–1000 kW	58 150 kr/år	715 kr/kW, år
1001–2500 kW	123 215 kr/år	650 kr/kW, år
>2500 kW	298 285 kr/år	580 kr/kW, år

Det totala priset från effekt-delen blir den beräknade tredygnsmedeleffekten multiplicerat med det rörliga priset och därefter adderas det fasta priset.

Effektivitet/returtemperatur

Kostnaden från effektiviteten utgör ca +-5 procent och baseras på hur väl värmen som leds till fastigheten utnyttjas. I en fastighet där värmen utnyttjas väl krävs lägre flöden och därmed mindre vatten i cirkulation. Detta ger lägre kostnader. En fastighets effektivitet beror på den returtemperatur som fjärrvärmecentralen i byggnaden lämnar ifrån sig. En lägre returtemperatur innebär en högre effektivitet (Göteborg Energi, 2022a).

För att beräkna kostnaden från effektivitet-delen görs en jämförelse mellan returtemperaturen från din fastighet och hela systemet medelreturtemperatur. Ligger fastigheten returtemperatur under systemets medelreturtemperatur så ger det en rabatt per förbrukad megawattimme och grad. Ligger returtemperaturen över medelvärdet tillkommer i stället en avgift (Göteborg Energi, 2022a).

2.10 Energi-index och Normalsårskorrigerering

Normalårskorrigerering gör det möjligt att mäta hur energibehovet för uppvärmning skiljer sig från ett normalår. En ovanligt kall eller varm vinter kan göra att energistatistiken för det året blir missvisande, och därför är det viktigt att statistiken normalårs korrigeras för att på så vis få bort effekterna av det onormala vädret. En normalårskorrigerad statistik visar alltså inte den exakta energianvändningen för det berörda året utan gör det i stället möjligt att jämföra energianvändningsdata för olika perioder, oberoende av den aktuella utomhustemperaturen (SMHI, 2022).

Det finns två olika metoder för att normalårskorrigera energianvändning, Graddagar och Energiindex. SMHI Energiindexmetoden är en mer sofistikerad modell där vädrets komplexitet speglas medan Graddagsmetoden endast ger ett mått på hur utomhustemperaturen skiljer sig från det normala. Då SMHI:s energiindexmetod ger en mer verklighetsförankrad bild av vädret och energianvändningen under ett normalt år används denna metod i arbetet. Med SMHI Energiindex tar man förutom utomhustemperaturen hänsyn till solstrålning, molnighet och vind i kombination med byggnadens läge, egenskaper och användningssätt (SMHI, 2022).

Hur normalårskorrigerar man?

Efter att man valt en metod, i detta fall energiindex, måste man identifiera och dra bort byggnadens baslast. Byggnadens baslast är den del av energianvändningen som inte påverkas av väder och här ingår energi för uppvärmning av tappvarmvatten samt VVC-förluster (SMHI, 2022). Har man tillgång till aktuell energistatistik för den undersökta byggnaden kan baslasten relativt enkelt tas fram genom att kolla på energianvändningen under sommarmånaderna. Under perioden juni-augusti används generellt ingen energi till uppvärmning utan endast till tappvarmvatten och VVC. För att få baslasten för hela året multipliceras juli månads energianvändningen med 12. Här förutsätts att tappvarmvattenanvändningen ser lika ut för alla månader under året. Riktigt så ser det inte ut i verkligheten. Enligt Svenska Bostäders mätaravläsningar är varmvattenflödet ca 5–10% lägre sommartid, och 5–10% högre vintertid, jämfört med årsgenomsnittet (BeBo, 2015).

När baslasten beräknats tas denna bort från byggnadens totala energianvändning, även fastighetselen tas bort. Kvar blir endast energin som går till uppvärmning. Denna

korrigeras sedan med hjälp av korrigeringsfaktorn i SMHI:s energiindex, som är unik för varje månad (SMHI, 2022).

Räkneexempel

Antag en fastighet belägen i Göteborg som använder 100 MWh fjärrvärme under december månad 2021. Baslasten utgör 25 MWh.

$$\begin{aligned} \text{Total förbrukning} - \text{Baslast} &= \text{Energi till uppvärmning} \\ 100 - 25 &= 75 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Energien för uppvärmning korrigeras med korrigeringsfaktorn (för Göteborg) som hämtas från SMHI energiindex. Är korrigeringsfaktorn större än 1 innebär det att det har varit en varmare månad än normalt.

Energi till uppvärmning/korrigeringsfaktor = Energi till uppvärmning(korrigerad)

$$\frac{75}{1.061} = 70.7 \text{ MWh}$$

Addera sedan byggnadens baslast på den korrigerade uppvärmningsenergin.

$$70.7 + 25 = 95.7 \text{ MWh}$$

Den normalårskorrigerade energianvändningen för månaden blir därmed 95.7 MWh. Om man vill få fram byggnadens totala energianvändningen behövs även fastighetselen adderas.

2.11 Byggnadens energibalans

Energi kan förekomma i många olika former och när man pratar om energi i byggnader så skiljer man på värmeenergi (Q) och elektrisk energi (W). Skillnaden mellan de två är att elektrisk energi är en högvärdig energiform som kan omvandlas till andra former av energi, som till exempel rörelseenergi och värmeenergi. Värmeenergi å andra sidan är en lågvärdig energiform som är svår att omvandla till något annat än just värme. I en byggnads energibalans brukar man dela upp värmeenergi och elektrisk energi i mindre poster. Tillförd och bortförd energi i byggnaden beskrivs med följande ekvation (Abel & Elmroth, 2016):

$$Q_{energi} = Q_{värme} + W = Q_t + Q_i + Q_v + Q_{tvv} + Q_{dr} + W_f + W_h - Q_{vå} - Q_{tillskott} - Q_{sol}$$

Q_{energi} =Energibehov vid normal och avsedd användning av huset

$Q_{värme}$ =Värmebehov vid normal och avsedd användning av huset

W =elbehov vid normal och avsedd användning av huset

Q_t =Värmeförluster p.g.a. transmission genom byggnadens omslutande ytor

Q_i =Värmeförluster på grund av luftläckning genom otätheter i klimatskärmen och/eller förorsakade av vädring

Q_v =Värmebehov för ventilation, räknad som uppvärmning av uteluft till innetemperatur

Q_{tvv} =värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten

Q_{dr} =Distributions- och reglerförluster inne i huset

W_f =Elanvändning för att driva motorer till pumpar och fläktar, drivel till frånluftsvärmepumpar och övrig så kallad fastighetsel

W_h =Hushållselanvändning

$Q_{vå}$ =Värme som kan återvinnas och tillgodogöras huset genom installerade ventilationsvärmväxlare, frånluftsvärmepump, avloppsvärmväxlare eller dylikt

$Q_{tillskott}$ =Värmetillskott som kan tillgodogöras för att ersätta värmetillförsel i huset från så kallade internlasters såsom värme från personer, från hushållselanvändning, från tappvarmvatten och eventuellt övriga tillskott inom huset

Q_{sol} =Värmetillskott genom solinstrålning genom fönster som huset kan tillgodogöra

Att beräkna en byggnads totala energibehov kan vara en rätt så komplex uppgift eftersom det är många delar som ska beaktas. Idag finns många tillförlitliga beräkningsprogram som gör dessa beräkningar åt en. Programmen är praktiskt lämpade för nyproduktion och för redan befintliga byggnader (Abel & Elmroth, 2016).

2.12 IDA ICE

IDA ICE är ett väletablerat simuleringsprogram som stödjer multi-zon och studie av inomhusklimatfenomen samt energianvändning i byggnader. Studier har visat att simuleringsresultat och mätdata är mycket jämförbara. Med IDA ICE går det att göra enklare energistudier, men möjligheten finns för att göra mer utförliga studier. I programmet finns olika data för klimat, material och system. Modellering sker i en 3D-miljö och ger därmed bra visuell feedback. Programmet innehåller en enkel procedur för att beräkna och rapportera kyla, värme, luftbehov och energi med olika luftbehandlingssystem, vilket gör det enkelt att jämföra olika system och resultat (EQUA, 2022).

IDA ICE kan användas för att genomföra kompletta energi- och designstudier som involverar klimatskärm, system, anläggning och styrstrategier (EQUA, 2022).

Utdata och rapporter som kan fås ut av IDA ICE täcker bland annat (EQUA, 2022):

- Rums värme- och energibalanser: solstrålning, utrustning, belysning, mekanisk ventilation, värme- och kylsystem, luftläckage, köldbryggor och transmission.
- Styr signaler: fönsteröppning och skuggning.
- Antal personer: för varje rum eller hela byggnaden.
- Värme- och massöverföring: detaljerade värmeflöden av ytor och luftströmmar.
- Energibehov.

3 Studerad byggnad

Byggnaden som studeras är belägen i Kallebäck i Göteborg och uppfördes år 1963. Byggnaden är av typen skivhus och har nio våningar, 75 lägenheter, en tvättstuga och ett undre och övre källarplan. Lägenheterna varierar i storlek där de minsta är tvåor om ca $60 m^2$ och de största är fyror om ca $102 m^2$.



Figur 6 Bild på studerad byggnad (Amlövs, 2022).

Uppvärmningstypen för fastigheten är fjärrvärme där undercentralen är placerad på undre källarplan. Nya fönster installerades år 2006 och en av tre frånluftsfläktar är utbytt. Gavelfasaderna renoverades och tilläggsisolerades år 1997 och fasaderna på långsidorna är original. Ytterväggarna är original och består av lättbetong samt $\frac{1}{2}$ -tegel. På taket finns tre utrymmen där bland annat fläktrum och maskinrum för hiss hittas.

Tabell 9 Översiktlig information om undersökt byggnad.

Objektsbyggnad	
Byggnadsår	1963
Antal lägenheter	75
Antal källarvåningar	2
Antal trapphus	3
Antal hissar	3
Antal tvättstugor	1
Area BOA, m^2	6034
Area LOA, m^2	0
A_{temp} , m^2	7871

3.1 Energideklaration

Nedan presenteras senast utförda energideklaration för byggnaden. Den utfördes 18:e december 2018 och energiprestandan uttrycks i specifik energianvändning och inte i primärenergital. Därmed är viktningsfaktorerna på energibärarna inte medräknade som gäller för alla energideklarationer från 1: a januari 2019. Skulle energideklarationen göras med de värden som presenteras i deklARATIONEN skulle energiprestandan landa på 84,7 kWh/m² år, vilket är en stor förbättring jämfört med 106 kWh/m² år. Hade byggnaden energideklarerats idag hade energiklassen i stället varit energiklass D i stället för E. Hur energin för värmen är normalsårskorrigerad framgår inte och detta värde kommer därför inte användas som riktvärde utan egna normalsårskorrigerade värden kommer göras baserat på verklig statistik.

3.2 Byggnadsteknik

Nedan beskrivs byggnadstekniken som använts samt hur de olika byggnadsdelarna är uppbyggda, även u-värden presenteras. U-värdena är hämtade från IDA ICE där lagerföljden för varje byggnadselement byggts upp med korrekt material och tjocklek. Ingående lager samt tjocklek baseras på ritningsmaterial och beskrivningar.

Tabell 10 Information om klimatskärmens uppbyggnad.

Byggnadsdel	Uppbyggnad	U-värde (W/m ² K)
Ytterväggar	½-stentegel, 200 mm lättbetong	0,5
Yttervägg gavel	9 mm aluminium, 30 mm fasadskiva, 70 mm isolering, 200 mm lättbetong	0,21
Vindsbjälklag	50 mm finkrossad lättbetong, 100 mm mineralull, 150 mm lättbetong	0,2396
Väggar (tak)	Plåt, 55 mm mineralull, 100 mm betong	0,6258
Fönster	2-glasfönster	1,1
Grund	220 mm lättbetong	0,611
Källarväggar	220 mm lättbetong	0,611

3.3 Installationsteknik

Beskrivning av befintliga installationstekniska system i byggnaden. Systemvalen i byggnaden har identifierats med hjälp av ritningar samt platsbesök.

Tabell 11 Information om byggnadens installationstekniska system.

Ventilation	Mekanisk frånluft, 3 frånluftsfläktar, en direkt driven och 2 remdrivna
Uppvärmning	Fjärrvärme med 2-rörs radiatorsystem och termostatventiler
Tappvarmvatten	VVC kopplat till undercentralen
Undercentral	Placerad på undre källarplan

3.4 Energianvändning och energistatistik

Nedan presenteras byggnadens verkliga energianvändning för året 2019 och det här är energianvändning som kommer att användas som riktvärde för simulerad energianvändning i IDA ICE. Statistiken för åren 2020–2021 har valts att bortses från på grund av COVID 19-pandemin. Människor har spenderat mer tid hemma än normalt vilket gör att siffrorna för dessa år kan vara missvisande. Förbrukningsdata är hämtad från fastighetsbolaget.

Tabell 12 Information om byggnadens energianvändning.

Objektsbyggnad	År 2019
Värme (MWh), okorrigerad	427,9
Värme, (MWh), korrigerad	491,8
Varmvatten, verklig förbrukning (MWh)	138,6
Varmvatten, normalt bruk (MWh)	196,7
VVC-och värmedistributionsförluster (MWh)	95
Värme och varmvatten, (kWh/m²A_{temp})	99,5
Fastighetsel, (MWh)	64,35
Fastighetsel, (kWh/m ² A _{temp})	8,2
Specifik energianvändning, (kWh/m²A_{temp})	107,7
Primärenergital, (kWh/m²A_{temp})	89,2
Tappkallvatten, (m ³)	4904
Tappvarmvatten, (m ³)	2640
Tappvarmvatten + VVC, (kWh/m ² A _{temp})	37,1

I ovanstående tabell har vissa antaganden gjorts. Den exakta varmvattenanvändningen fanns ingen statistik på och därför har ett antagande gjorts att tappvarmvatten utgör ca 35 procent av den totala vattenanvändningen. Antagandet är baserat på erfarenhetsvärden från konsulter på Wikströms Installationskonsult AB.

Från tabellen går det även att utläsa att det finns en skillnad på verklig förbrukning och normalt bruk av varmvatten. Skillnaden beror på att man vid energiberäkningar utgår från en byggnads energianvändning vid normalt brukande. Vid normalt brukande sätts energianvändningen för varmvatten till 25 kWh/m²A_{temp} enligt BEN 2.

VVC-och värmedistributionsförluster är baserade på fjärrvärmeförbrukningen under sommarmånaderna. Under juli som är den varmaste månaden antas att ingen fjärrvärme används till uppvärmning och att all fjärrvärme går till att värma tappvarmvatten och VVC. För att beräkna VVC- och värmedistributionsförluster beräknades först den verkliga tappvarmvattenanvändningen, därefter korrigerades den med juli månads korrigeringsfaktor. Därefter subtraherades tappvarmvattenanvändningen med den totala fjärrvärmeförbrukningen för månaden. Det som återstår bör på så vis vara VVC- och värmedistributionsförluster, se bilaga 10.1 för uträkning.

4 IDA ICE modell av studerad byggnad

IDA ICE modellen är baserad på bygghandlingar, BBR-krav, ritningar, OVK-protokoll och annan indata tillhandahållen av fastighetsbolaget. På grund av att en del information inte fanns tillgänglig om byggnaden, samt svårigheter med att göra egna mätningar, har en del antaganden gjorts baserat på rådande krav och erfarenhetsmässiga värden.

4.1 Kalibrering av modell

För att resultat från olika energisparande åtgärder ska kunna utvärderas på ett realistiskt sätt är det viktigt att modellens simulerade energianvändning stämmer överens med den verkliga energianvändningen. Som tidigare nämnts fanns en del information om bygganden inte tillgänglig och därför gjordes en del antaganden utifrån krav och erfarenhetsmässiga värden. Utifrån simulerade resultat gjordes därefter ändringar för att få modellen att stämma överens med den verkliga förbrukningen.

Antaganden och ändringar som gjorts:

- Lufttäthet, till en början sattes detta värde till $0,8 \text{ l/sm}^2$ utifrån gamla BBR krav (Boverket, 2020c). Värdet sänktes till $0,4 \text{ l/sm}^2$ då värmen som försvann genom infiltration blev alldeles för hög. Värdet kan anses lågt då det är en äldre byggnad, men i samband med att fönsterna byttes år 2006 gjordes troligen förtätande åtgärder, nya fönsterlistor o.s.v.
- Köldbryggor, räknades inte fram utan påslag gjordes i stället på klimatskalets U-värden. Först antogs ett påslag på 25 procent men denna siffra korrigerades till 20 procent då den simulerade energianvändningen blev alldeles för hög jämfört med den verkliga.
- Ventilationsflöde, då OVK-protokollet endast visade luftflöden för 27 av 75 lägenheter räknades ett medelvärde ut baserat på detta som sedan användes i samtliga lägenheter. Då det inte fanns några mätningar i allmänna utrymmen antogs kravet i BBR på $0,35 \text{ l/sm}^2$.
- Personvärme, då det exakta antalet personer som bor i byggnaden är svårt att veta exakt användes schablonvärden från BEN 2 som används för energiberäkningar vid nyproduktion.
- Internvärme, då det är svårt att veta exakt hur mycket internvärme som genereras från lampor, vitvaror och andra maskiner användes även här schablonvärden från BEN 2.

4.2 Indata för beräkning av utgångsläge

Indata för simuleringar i IDA ICE redovisas i tabellen nedan.

Tabell 13 Indata för ursprungsmodell i IDA ICE.

Indata simulering utgångsläget	Enhet	Värde	Anmärkning
A_{temp}	m^2	7668,5	Något lägre än verklig, cirka 2,5 %-
Klimatskal area	m^2	5501	
Andel fönster i klimatskalet	%	19,4	
U-värden			
Yttervägg	W/m^2K	0,6007	20 % påslag för köldbryggor
Yttervägg gavel	W/m^2K	0,253	20 % påslag för köldbryggor
Tak_{medel}	W/m^2K	0,3546	20 % påslag för köldbryggor
Fönster	W/m^2K	1,32	20 % påslag för köldbryggor
Grund	W/m^2K	0,611	
Källarväggar	W/m^2K	0,611	
Ventilation (lägenheter)	l/sm^2	0,386	Medelvärde från OVK-protokoll gjort på 27 av 75 lägenheter.
Ventilation (övriga utrymmen)	l/sm^2	0,2	Antaget värde
Luftläckning	l/sm^2	0,4	Antaget värde
Önskad temperatur, lägenhet	Grader	21–25	Värde givet från fastighetsbolaget
Önskad temperatur, övriga utrymmen	Grader	15	Värde givet från fastighetsbolaget
Internvärme (utrustning och belysning)	$kWh/m^2 A_{temp}$	21	Från BEN 2
Personvärme	Personer/lägenhet	1,63–2,79	Från BEN 2
Klimatprofil	-	Göteborg/Landvetter	
Vindprofil	-	Förort	

4.3 Bilder på modell



Figur 7 Fasad Syd.



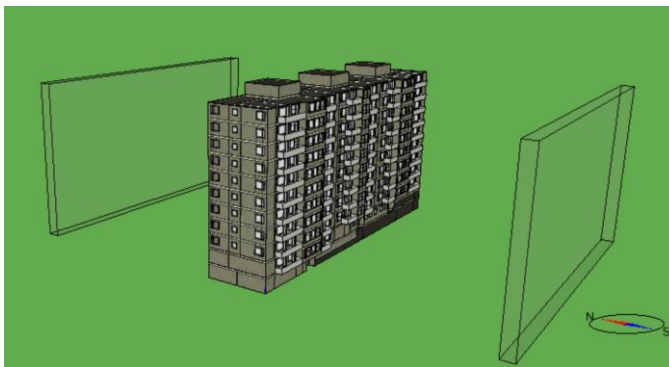
Figur 8 Fasad Väst.



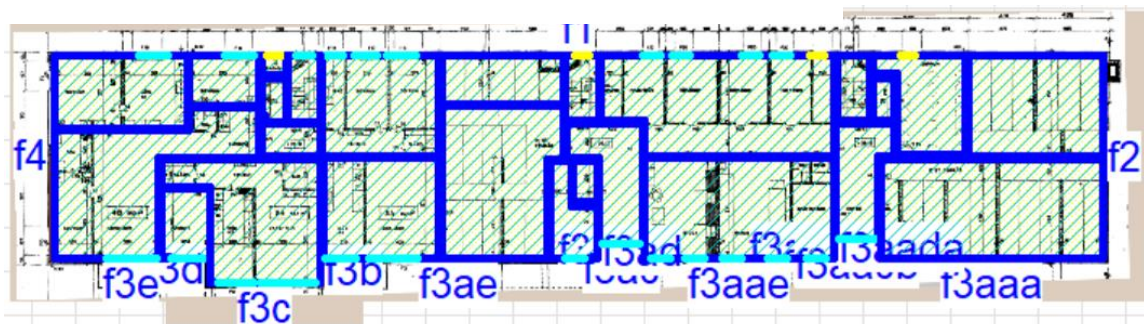
Figur 9 Fasad Norr.



Figur 10 Fasad Öst.



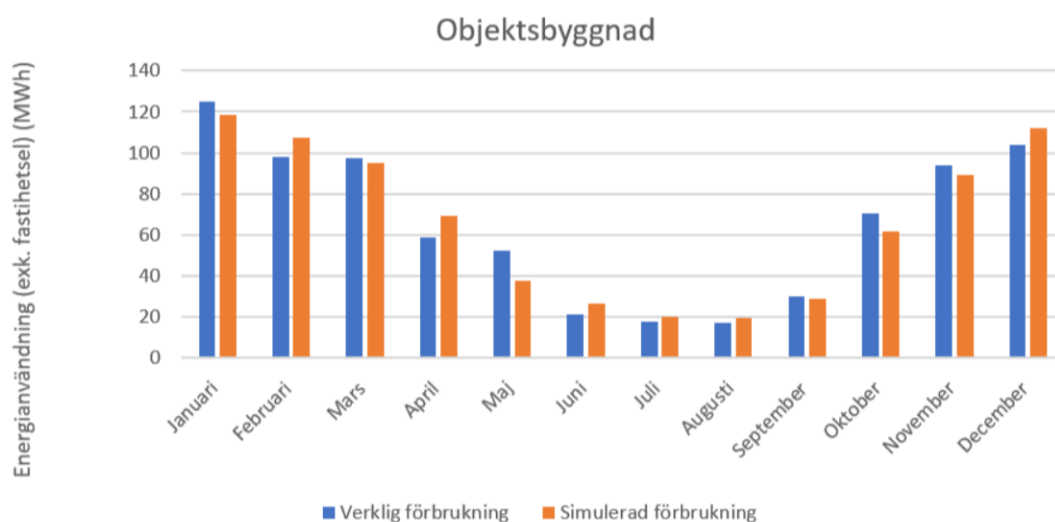
Figur 11 Översikt objektsbyggnad och omkringliggande byggnader.



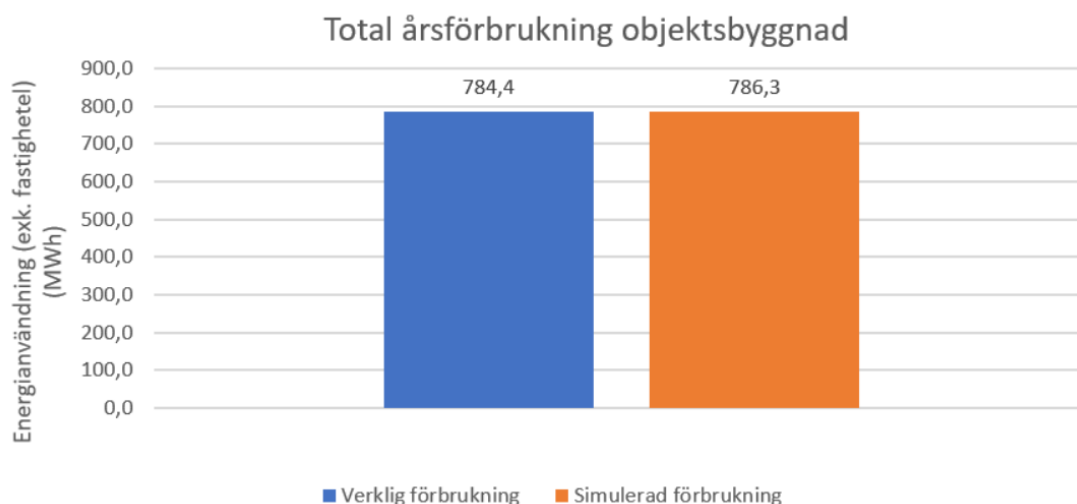
Figur 12 Planvy undre källarplan.

4.4 Verklig förbrukning vs simulerad förbrukning

Målet med simuleringen var att den simulerade energianvändningen skulle avvika med högst 10 procent från den verkliga energianvändningen. Den simulerade energianvändningen blev cirka 0,3 procent högre än den verkliga och var därmed mer än godtagbar. Resultaten redovisas i figur 13 och 14.



Figur 13 Verklig vs simulerad energianvändning, månad för månad.



Figur 14 Verklig vs simulerad energianvändning exklusive fastighetsel, ett år

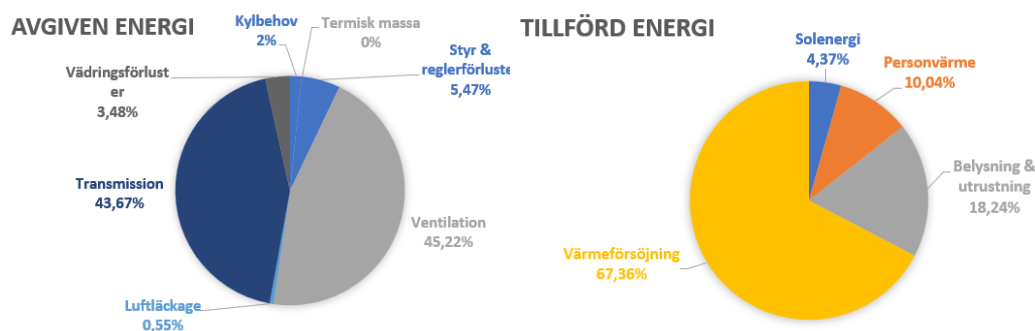
I figur 14 presenterats den totala förbrukningen för ett helt år, för både den verkliga och den simulerade energianvändning. För att kunna göra en jämförelse mellan verkliga och simulerad total energianvändningen har normalårskorrigerad värmeförbrukning används samt normaltbruk för varmvattenförbrukningen.

4.5 Byggnadens energibalans

Här presenteras byggnadens energibalans. Värdena är hämtade från simuleringen utifrån byggnadens nuläge. Styr- och regler -och vädringsförluster har lagts till i efterhand då detta inte tas hänsyn till i IDA ICE.

Tabell 14 Byggnadens energibalans utifrån simulerade värden i IDA ICE.

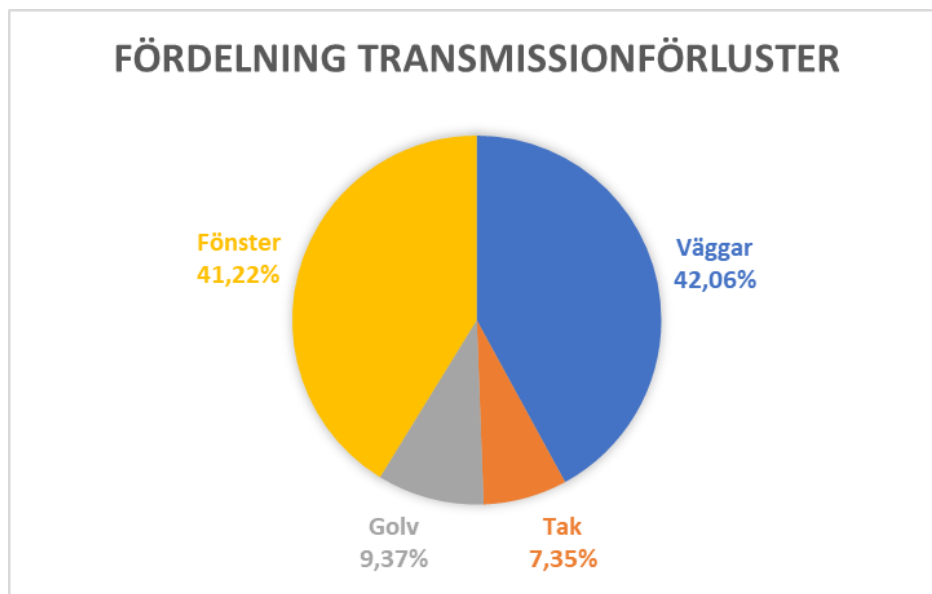
Avgiven energi	kWh
Styr & reglerförluster	42 093.5
Ventilation	408 897.3
Luftläckage	4 956.4
Klimatskal inkl. köldbryggor	232 107,3
Vädringsförluster	31 484.0
Termisk massa	18.6
Kylbehov	146 28.2
Total:	734185.3
Tillförd energi	
Solenergi	32 070.8
Personvärme	73 675.5
Belysning & utrustning	133 925.7
Värmeförsörjning	494 512.3
Total:	734 185.3
Avgiven - Tillförd	0



Figur 15 Grafisk illustration över fördelningen av tillförd- och avgiven energi.

Utifrån figur 15 går det att avläsa att transmissionsförluster tillsammans med förluster via ventilation utgör närmare 90 procent av den totala mängden avgiven energi.

Då transmissionsförlusterna varierar beroende på byggnadselement i klimatskalet valdes därför att göra en närmare analys för att se vilka element där förlusterna var som högst. Fördelningen av transmissionsförluster i klimatskalet redovisas i figur 16.



Figur 16 Fördelning av transmissionsförluster per byggnadsdel.

5 Föreslagna åtgärder och kostnader

Målet med de tänkta åtgärderna är att se om det går att minska byggnadens energiprestanda till ett värde som motsvarar dagens krav för nyproduktion, vilket är 75 kWh/m²/år. I dagsläget har byggnaden en verklig energiprestanda på 89,2 kWh/m²/år. Om målet ska uppnås krävs det därmed att de föreslagna åtgärderna minskar den totala energianvändningen med cirka 16 procent.

För den simulerade energianvändningen i IDA ICE blev energiprestandan 89,6 kWh/m²/år, cirka 0,3 procent högre än den verkliga. För att kompensera för denna avvikelse, trots att den är liten, har vi valt att höja nyproduktionskravet med 0,3 procent för den simulerade versionen, till 75,4 kWh/m²/år. För den simulerade energianvändningen innebär detta att åtgärderna måste minska energianvändningen från 89,6 kWh/m²/år till 75,4 kWh/m²/år för att få samma minskning på 16 procent.

Tabell 15 Visar korrigerat krav för nyproduktion i simulerad version.

	Energiprestanda, kWh/m ² /år	Krav för nyproduktion, kWh/m ² /år
Verklig	89,2	75
Simulerad	89,6	75,4

Åtgärderna som tagits fram är baserade på resultatet från simuleringen av byggnadens utgångsläge. En utgångspunkt för åtgärderna är att de ska vara realistiska åtgärder, som går att utföra, samt att de kan simuleras i IDA ICE. Åtgärderna kommer även att utvärderas ur ett ekonomiskt perspektiv för att se om investeringen är lönsam.

5.1 Åtgärder transmissionsförluster

Från simuleringen av utgångsläget kan man se att transmission utgör en stor del av alla energiförluster. Av transmissionsförlusterna utgör ytterväggar och fönster störst andel, därför föreslås tilläggsisolering av fasad och byte av fönster. Nuvarande takkonstruktion har bristfällig isolering jämfört med dagens standard, därför föreslås även att tilläggsisolera takkonstruktionen. Föreslagna åtgärder för att minska transmissionsförluster är:

- Tilläggsisolering fasad.
- Byte av fönster med lägre u-värden.
- Tilläggsisolering tak

5.1.1 Tilläggsisolering fasad

Utifrån referensobjekt där man tilläggsisolerat fasaden på liknande byggnader (BeBo, 2021), har ett förslag tagits fram för tilläggsisolering av befintlig fasad. Förslaget är att fasaden tilläggsisoleras med 50 mm alternativt 100 mm mineralull och att den täcks med 20 mm hårdputs. Det hade varit möjligt att isolera med ett tjockare lager mineralull, men av estetiska skäl valdes detta bort. Mineralullskivorna limmas eller skruvas fast på den befintliga fasaden och därefter används puts som yttre skikt. Kostnader för tilläggsisolering av fasad varierar men ligger enligt Byggstarts prisdatabas inom intervallet 1300–2500 kr per kvadratmeter (Byggstart, 2022b).

5.1.2 Byte av fönster med lägre u-värde

Då transmission genom fönster utgör en stor del av de totala transmissionsförlusterna undersöktes därför hur stor påverkan en installation av ett fönster med lägre u-värde skulle ha på byggnadens totala energibehov. Senaste fönsterbytet gjordes år 2006 och nuvarande fönster har ett u-värde på 1.1 W/m²K och kan därmed anses som ett okej fönster sett till dagens standard på fönster. De bästa fönsterna som finns på marknaden idag har ett u-värde på cirka 0.7 W/m²K, därför prövades åtgärden att byta fönster till fönster med ett u-värde på 0.7 W/m²K. Kostnaden för ett fönsterbyte varierar beroende på typen av fönster. Enligt Aaerons bok med underhållskostnader ligger kostnaden för lågenergifönster (3-glas, 1–2 m²) på cirka 14 000 kr styck (Aaeron, 2021). I priset ingår arbets- och installationskostnader.

5.1.3 Tilläggsisolering tak

Nuvarande takkonstruktion har endast 100 mm isolering, därför föreslås även att tilläggsisolera konstruktionen med ytterligare 300 mm isolering. Priset för tilläggsisolering av tak varierar beroende på tidsåtgång, typ av isolering och tillägsarbeten men brukar variera mellan 400–1500 kr per kvadratmeter (Byggstart, 2022a).

5.2 Åtgärder ventilation

Då man i nuläget använder ett F-system utan värmeåtervinning blir förlusterna från ventilationen onödigt stora. Därför undersöktes olika åtgärder för att ta vara på värmen i frånluften och på så vis minska förlusterna via ventilation.

5.2.1 FTX-system

FTX-system tar vara på värme från frånluften med hjälp av en värmeväxlare. Temperaturverkningsgraden på värmeväxlaren varierar beroende på typ men har för våra simuleringar ansatts till 85 procent. Priset på en sådan här åtgärd varierar kraftigt beroende på om till- och frånluftskanaler är installerade. I ett projekt, med liknande förutsättningar som undersökt byggnad uppgick kostnaden till 71 966 kr per lägenhet (BeBo, 2015b).

5.2.2 Frånluftsvärmepump, FVP

Då installation av FTX-system i en stor byggnad är en omfattande process valdes även att undersöka installation av frånluftsvärmepump på befintligt frånluftssystem. Även här återvinns värme från frånluften. Åtgärden är svår att simulera i IDA ICE och potentiella energibesparingar kommer att beräknas med hjälp av NIBES energiberäkningsprogram där en specifik värmepump väljs, se bilaga 10.2 för energiberäkning. Priset för installation av frånluftsvärmepump är även det hämtat från ett referensobjekt med liknande förutsättningar. Här uppgick kostnaden till 46 000 kr per lägenhet (BeBo, 2014).

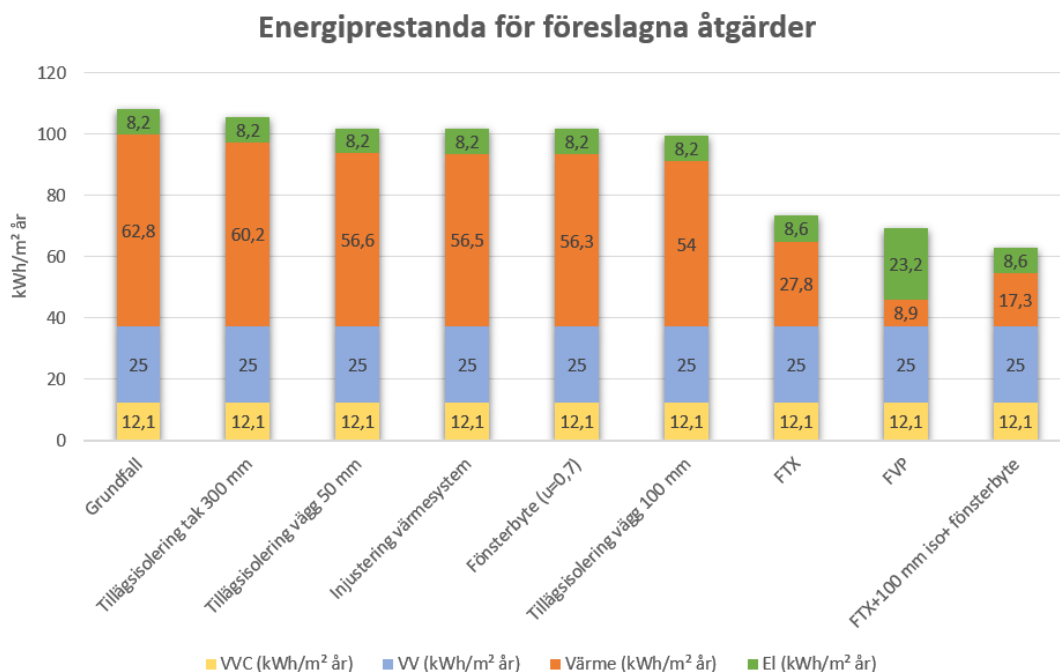
Dessutom gavs ett till prisförslag genom erfarenhetsvärden på en totalkostnad av 2 500 000 kr för hela installationen (H. Andersson, personlig kommunikation, 2022).

5.3 Mindre omfattande åtgärder

Då ovan nämnda åtgärder är mer omfattande och kräver större investeringar valde vi även att undersöka hur energianvändningen kan minskas med en mindre omfattande åtgärd. Då termostatventilerna i undersökt byggnad är cirka 20 år gamla kan det vara läge att byta dessa och göra en injustering av värmesystemet. Priset för byte av termostatventiler samt injustering i liknande projekt, med motsvarande storlek som studerad byggnad, uppgick till ca 7000 kr/lägenhet (Wahlström et al., 2020).

6 Energiberäkningar för föreslagna åtgärder

Baserat på energisimuleringen av ursprungsfallet i IDA ICE har energibesparingar från de planerade åtgärderna beräknats, resultatet redovisas i diagrammet nedan.



Figur 17 Energiprestanda för föreslagna åtgärder.

I diagrammet ovan är det den specifika energianvändningen från grundfallet och för olika åtgärder som visas. Varmvatten och VVC förblir konstant då ingen av de föreslagna åtgärderna har någon direkt inverkan på förbrukningen.

Värmeförbrukningen och elförbrukningen varierar beroende på vilken åtgärd typ av åtgärd som implementeras. Förbättringar i klimatskärmen påverkar endast värmeförbrukningen medan installationstekniska åtgärder har en påverkan på både värme- och elförbrukning.

Tabell 16 *Energibesparing för föreslagna åtgärder samt primärenergital och energiklass.*

Åtgärd	Värme (ink. VV+VVC), kWh/m ² år	Fastighetsel, kWh/m ² år	Besparing, kWh/m ² år	Energiprestanda, primärenergital, kWh/m ² år	Ny energiklass
Grundfallet	99,9	8,2	-	89,6	D
Tilläggsisolering tak 300 mm	97,2	8,2	2,7	87,6	D
Injustering värmesystem	93,7	8,2	6,2	84,8	D
Tilläggsisolering vägg 50 mm	93,6	8,2	6,3	84,7	D
Fönsterbyte (u=0,7)	93,4	8,2	6,5	84,5	D
Tilläggsisolering vägg 100 mm	91	8,2	8,9	82,7	D
FTX	64,9	8,6	34,6	63,1	C
FVP	46	23,2	38,9	74,7	C
FTX + 100 mm iso vägg+ fönsterbyte	54,4	8,6	45,1	54,9	B

I tabell 16 går det att avläsa den energibesparingen som varje enskild åtgärd skulle generera var för sig samt vad ett åtgärds paket skulle ge i energibesparing. Dessutom presenteras energiprestanda i form av primärenergital där viktningsfaktorer för fjärrvärme och el är medräknade. Utifrån primärenergitalet kan sedan en energiklass fastställas.

6.1 Investeringskalkyler för föreslagna åtgärder

För att beräkna återbetalningstiden och lönsamheten för föreslagna åtgärder har återbetalnings- och nuvärdesmetoden använts. Återbetalningsmetoden används för att den ger ett tydligt resultat som är lätt att förstå och det går direkt att se hur lång tid det tar innan investeringen är återbetald. Återbetalningsmetoden tar inte ränta, energiprisökningar, inflation och investeringens livslängd i beaktande. Därför utvärderades även åtgärdernas lönsamhet med nuvärdesmodellen som tar samtliga nämnda parametrar i beaktande.

För båda kalkylerna behövdes investeringskostnaden, B_0 , för åtgärderna. För många av åtgärderna uppgavs ett intervall på kostnaden. Prisexempel 1 är baserat på medelvärdet av det högsta och lägsta priset i intervallet. Prisexempel 2 är det lägsta inom intervallet. För frånluftsvärmepumpen refererar prisexempel 1 till ett referensobjekt medan prisexempel 2 refererar till ett annat referensobjekt. Övriga prissättningar är hämtade från prisdatabaser och referensobjekt där liknande åtgärder utförts.

Tabell 17 *Investeringskostnader för samtliga åtgärder utslagna per lägenhet samt för hela byggnaden.*

Åtgärd	Kostnad per lägenhet (kr)	Kostnad för byggnad, B_0 , (kr)
Tilläggsisolering tak 300 mm, prisexempel 1	9760	732 000
Tilläggsisolering tak 300 mm, prisexempel 2	3904	292 800
Injustering värmesystem	7000	525 000
Tilläggsisolering vägg 50 mm, prisexempel 1	76 800	5 760 000
Tilläggsisolering vägg 50 mm, prisexempel 2	62 400	4 680 000
Fönsterbyte ($u=0,7$)	158 107	11 858 000
Tilläggsisolering vägg 100 mm, prisexempel 1	91 200	6 840 000
Tilläggsisolering vägg 100 mm, prisexempel 2	74 100	5 557 500
FTX	71 966	5 400 000
FVP, prisexempel 1	46 000	3 450 000
FVP, prisexempel 2	33 333	2 500 000
FTX + 100 mm iso vägg+ fönsterbyte	309 307	23 198 000

Som kan ses i tabell 17 beskrivs de olika investeringskostnaderna för de föreslagna åtgärderna. Kostnad per lägenhet samt den totala kostnaden för hela byggnaden presenteras.

6.2 Kalkylförutsättningar för föreslagna åtgärder

Kalkylförutsättningarna för lönsamhetsberäkningarna presenteras i tabell 18 nedan.

Tabell 18 Kalkylförutsättningar för investeringskalkyler.

Livslängd installationstekniska åtgärder	År	20
Livslängd, byggnadsfysiska åtgärder	År	50
Livslängd, styr- och reglertekniska åtgärder	År	15
Elpris	kr/kWh	1.4
Fjärrvärmepris	kr/kWh	0.7
Kalkylränta	%/år	7
Inflation	%/år	2
Energiprisökning	%/år	2
Real korrigerad kalkylränta	%/år	3

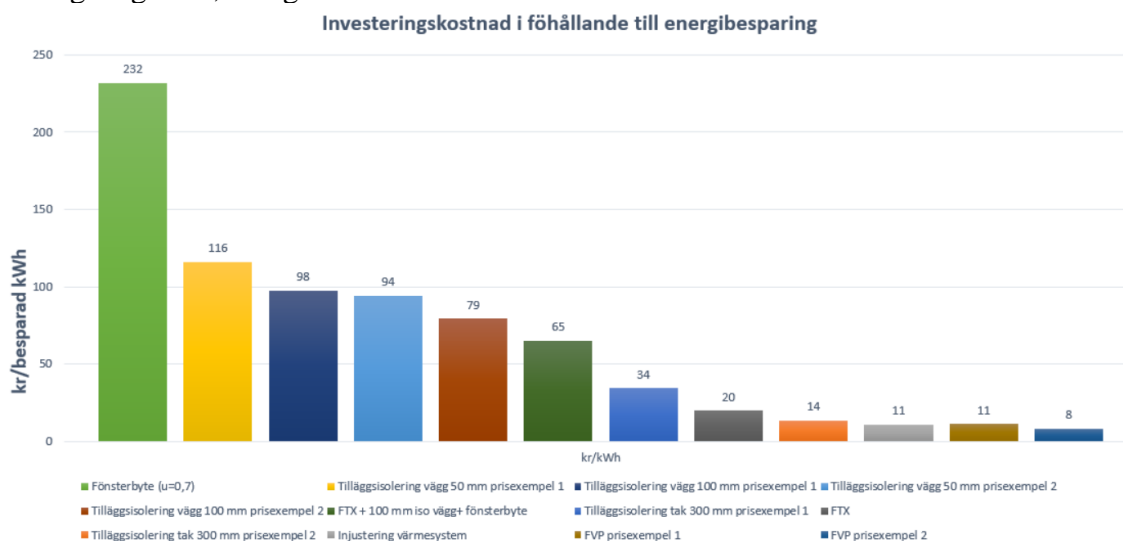
För kalkylerna har fjärrvärme- och elpriser ansatts till 0,7 respektive 1,4 kr/kWh. Detta är inte exakt vad priset är idag då det varierar, men för enkelhetens skull har dessa priser antagits till de ekonomiska kalkylerna. Antagandet kring fjärrvärme baseras på ett snitt som räknades ut via Göteborgs Energis fjärrvärmesaxa. Gällande elpriset så baserades det antagandet på hur elpriserna varierat senaste året (Göteborgs Energi, 2022b).

6.3 Resultat investeringskalkyler

Tabell 19 Redovisar besparing, återbetalningstid samt nettonuvärde.

Åtgärd:	Livslängd (år):	Investeringskostnad (kr):	Besparing (kr/år):	Återbetalningstid (år):	Nuvärde (kr):
Tilläggsisolering tak 300 mm	50	Prisexempel 1: 732 000 Prisexempel 2: 292 800	14 876	49,2 19,68	-349 255 89 955
Tilläggsisolering vägg 50 mm	50	Prisexempel 1: 5 760 000 Prisexempel 2: 4 680 000	34 712	165,9 134,8	-4 866 895 -3 786 871
Fönsterbyte (u=0,7)	50	11 858 000	35 813	331,1	-10 936 567
Tilläggsisolering vägg 100 mm	50	Prisexempel 1: 6 840 000 Prisexempel 2: 5 557 500	49 036	139,5 113,3	-5 578 353 -4 295 818
Injustering värmesystem	15	558 841	34 711	16,1	-262 755
FTX	20	5 400 000	188 432	28,7	-2 596 607
FVP	20	Prisexempel 1: 3 450 000 Prisexempel 2: 2 500 000	131 682	26,2 19	-1 490 904 -540 901
FTX + 100 mm iso vägg+ fönsterbyte	20 / 50 / 50	23 198 000	246 283	94,2	-16 861 212

Nedan presenteras investeringskostnaden i förhållande till mängden sparad energi för samtliga åtgärder, se figur 12.



Figur 18 Investeringskostnader delat med total energibesparing för varje åtgärd.

Ur diagrammet ovan kan man utläsa att den åtgärd som har högst kostnad i förhållande till mängden energi som sparas är byte av fönster. Där betalar man 232 kr för varje minskad kilowattimme. Detta kan delvis bero på att fönsterna nyligen är bytta och energibesparingen blir till följd inte så stor jämfört med om det hade varit de ursprungliga fönsterna. Åtgärden med lägst kostnad är frånluftsvärmepump där man betalar 8 kr för varje minskad kilowattimme.

7 Diskussion och felkällor

Målet med arbetet var att undersöka om det genom implementering av energieffektiviserande åtgärder, är möjligt att minska energiprimärtalet på ett flerbostadshus från 60-talet till den energiprestanda som ställs på nyproduktion idag. Dessutom skulle de föreslagna åtgärderna utvärderas utifrån ett ekonomiskt perspektiv för att se vilka åtgärder som är mest kostandeffektiva i förhållande till mängden energi som sparas.

Enligt utförda beräkningar och simuleringar är det möjligt att nå en energiprestanda som motsvarar kravet för nyproduktion. En av åtgärderna som uppnådde kravet var installation av frånluftsvärmepump, som resulterade i ett primärenergital på 74,7 kWh/m² år. Åtgärden resulterade i en minskning av fjärrvärmebehovet för uppvärmning med cirka 85 procent, från 62,8 kWh/m² år till 8,9 kWh/m² år. Samtidigt ökade fastighetselen för byggnaden med cirka 183 procent, från 8,2 kWh/m² år till 23,2 kWh/m² år. Den specifika energianvändningen för åtgärden hamnade på 69,2 kWh/m² år men på grund av en högre förbrukning av elenergi, som har en högre viktningfaktor än fjärrvärme, blev primärenergitalet något högre.

Även om installation av en frånluftsvärmepump resulterar i att byggnaden når nyproduktionskravet för energiprestanda var åtgärden enligt utförda investeringskalkyler endast i ett fall lönsam. Återbetalningstiden för prisexempel 1 och prisexempel 2 var 26,2, respektive 19 år. Ur ett ekonomiskt perspektiv anses åtgärden med prisexempel 1 som en olönsam investering då återbetalningstiden är längre än åtgärdens tekniska livslängd. Samtidigt anses prisexempel 2 som en lönsam investering enligt återbetalningsmetoden då återbetalningstiden är kortare än den tekniska livslängden. Nettonuvärdet för åtgärden med två olika prisexempel var båda negativa, vilket tyder på att investeringen är olönsam. För prisexempel 1 blev nettonuvärdet -1 490 904 kr medan nettonuvärdet för prisexempel 2 blev -540 901 kr och därmed betydligt lägre än prisexempel 1.

En annan åtgärd som resulterade i att nyproduktionskravet för energiprestanda uppnåddes var installation av FTX-aggregat. Genom att byta ventilationssystem från befintliga mekanisk frånluft till FTX minskade primärenergitalet till 63,1 kWh/m² år. Åtgärden resulterade i en minskning av fjärrvärmebehovet för uppvärmning med cirka 56 procent, från 62,8 kWh/m² år till 27,8 kWh/m² år. Samtidigt ökade fastighetselen med cirka 5 procent, från 8,2 kWh/m² år till 8,6 kWh/m² år. Ökningen av fastighetselen kan anses som något lågt då ett FTX-system generellt drar dubbelt så mycket energi jämfört med ett mekaniskt frånluftssystem. Anledningen till att detta inte visas i resultaten kan först och främst bero på att det finns tre frånluftsfläktar i den befintliga byggnaden som byts ut till ett aggregat som består av två fläktar. Detta kan ge något lägre energiåtgång till fläktarna. Dessutom var två av tre frånluftsfläktar gamla remdrivna fläktar med högt SFP som medför att det befintliga systemet förbrukar mer energi än vad de hade behövt.

Den specifika energianvändningen för installation av FTX-system hamnade på 63,1 kWh/m² år. Åtgärden gynnades av att fjärrvärmebehovet för uppvärmning minskade markant samtidigt som fastighetselen ökade marginellt. Som enskild åtgärd är FTX den åtgärd som minskade energiprimärtalet mest.

Även om byte av ventilationssystem till FTX-system var den åtgärd som minskade primärenergitalet mest anses inte åtgärden ur ett ekonomiskt perspektiv som lönsam. Återbetalningstiden för installation av FTX-system var 28,7 år vilket är längre än den tekniska livslängden på 20 år och på vis olönsam. Nettonuvärdet för installation av FTX-system blev -2 596 607, vilket tyder på en olönsam investering.

Åtgärds paketet som föreslogs nådde även det nyproduktionskravet gällande energiprestanda. Genom att kombinera några av de enskilda föreslagna åtgärderna kunde ett primärenergital på 54,9 kWh/m² år nås, vilket är inom intervallet för energiklass B och därmed en energiklass bättre än nyproduktionskravet. Åtgärden resulterade i en minskning av fjärrvärmebehovet för uppvärmning med cirka 73 %, från 62,8 kWh/m² år till 17,3 kWh/m² år. Samtidigt ökade fastighetselen även här med cirka 5 %, från 8,2 kWh/m² år till 8,6 kWh/m² år.

Den specifika energianvändningen för åtgärds paketet hamnade på 63 kWh/m² år. Åtgärds paketet gynnades av att fjärrvärmebehovet minskade markant och att fastighetselen ökade marginellt.

Även om åtgärds paketet var det som minskade primärenergitalet mest var det inte lönsamt ur ett ekonomiskt perspektiv. Återbetalningstiden för åtgärds paketet blev 94,2 år vilket är långt över dess tekniska livslängd och därmed en olönsam investering. Nettonuvärdet för åtgärds paketet blev -16 861 212 kr vilket bekräftar olönsamheten för investeringen.

Åtgärder som inte nådde kraven gällande energiprestanda för nyproduktion var åtgärderna som räknas till byggnadstekniska åtgärder samt injustering av värmesystemet. Av de undersökta byggnadstekniska åtgärderna var 100 mm tilläggsisolering av ytterväggen den åtgärd som minskade primärenergitalet mest, från 89,6 kWh/m² kWh/m² till 82,7 kWh/m². Även om åtgärden minskade primärenergitalet mest så var åtgärden inte lönsam ur ett ekonomiskt perspektiv. Återbetalningstiden för de två framtagna prisexemplen var 139,5 respektive 113,3 år och nettonuvärdet blev -5 578 353 respektive -4 295 818 kr.

Av alla åtgärder som testades var det endast en åtgärd som blev lönsam i både återbetalnings- och nuvärdesmetoden. Tilläggsisolering av taket med prisexempel 2 hade en återbetalningstid på 19,68 år vilket är under den tekniska livslängden, dessutom hade den ett nuvärde på 89 995 kr, där ett positivt värde tyder på en lönsam investering. Även om åtgärden var lönsam så var det den, av testade åtgärder, som gav minst minskning av energianvändningen. Fjärrvärmebehovet för uppvärmning minskade med endast 4 procent, från 62,8 kWh/m² till 60 kWh/m². Detta resulterade i en minskning av primärenergitalet på cirka 2,3 procent, från 89,6 kWh/m² till 87,6 kWh/m². Orsaken till att investeringen blir lönsam, trots den marginella påverkan på energianvändningen, är att investeringskostnaden är så pass låg i förhållande till den energi som sparas.

Utöver tilläggsisolering av tak blev alla de andra energieffektiviserande åtgärderna ekonomiskt olönsamma. Den som visade sig minst lönsam var byte av fönster. Återbetalningstiden för denna åtgärd blev 331,1 år och hade ett nettonuvärde på -10 936 567. Anledningen till detta är att fönsterna byttes relativt nyligen, år 2006, och

standarden på dem i stort sett är i klass med de fönster som används idag. Varför resterande åtgärder blev ekonomiskt olönsamma kan bero på ett flertal faktorer. Då varje byggnad är unik och har olika förutsättningar är det svårt att få en exakt prisbild över vad de olika åtgärderna egentligen kostar. I det här arbetet har vi utgått från prisdatabaser samt referensobjekt där liknande åtgärder har utförts. Men osäkerheten är stor då prisintervallet är stort. För de prisuppgifter som hittades kring exempelvis tilläggsisolering av fasad var intervallet 1300–2500 kr per kvadratmeter. Exakt vart inom detta intervall, kostnaden för vår byggnad hamnar är svårt att säga. Vilket är en anledning till att två olika prisexempel inom intervallet har redovisats för de flesta åtgärderna.

Andra orsaker som kan ha påverkat slutresultatet är att många antaganden har gjorts för grundfallet. Den simulerade totala energianvändningen var cirka 0,3 procent högre än den verkliga energianvändningen, vilket är en relativt liten avvikelse. Men hur fördelningen mellan de olika energiparametrarna egentligen ser ut är svårt att veta exakt. Luftflödena i lägenheterna baserades på ett ofullständigt OVK-protokoll och där endast 27 av 75 lägenheter testats. Antagandet om att resten av lägenheterna har samma luftflöden som de som testats kan vara helt fel och inte alls stämma överens med verkligheten. Likaså har antaganden gjort gällande intern- och personvärme som inte alls behöver stämma överens med hur det är i verkligheten och kan på så sätt påverka resultatet. Även luftläckage och köldbryggor har antagits. Luftläckage för byggnaden ansattes till 0,4 l/sm² vilket är ett lågt värde för ett äldre flerbostadshus. Antagandet baserades på att fönsterbyte gjordes 2006 och att tätningar gjordes i samband med detta som på så sätt minskar luftläckaget. Det behöver dock inte betyda att det är ett korrekt antagande och denna siffra kan vara betydligt högre i verkligheten. Byggnaden som undersöktes hade F-system som bygger på ett ständigt undertryck. Ett ständigt undertryck innebär att grundflödet alltid erhålls och medför dessutom att luftläckaget inte har så stor inverkan på energianvändningen. Hade systemet i stället varit ett FT-system i byggnaden som har både till- och frånluftsfläktar hade luftläckage haft större inverkan på energianvändningen. I ett FT-system är andelen luft som förs in i byggnaden lika stor som andelen som förs ut och är på så sätt ett balanserat system. Ett högt luftläckage kan då medföra att balansen rubbas och systemet blir därför känsligt mot infiltration.

För köldbryggor antogs ett påslag på 20 procent på u-värdet för klimatskalet, vilket baserades på erfarenhetsvärden. Detta behöver inte betyda att det är fallet för byggnaden som undersöktes. Dessutom har SFP på frånluftsfläktarna antagits och detta påverkar i sin tur hur fastighetselen fördelas, som i sin tur påverkar resultatet. Många av de antaganden som gjorts hade gått att mäta och räkna ut men då hade arbetet krävt mer tid. Även om inga antaganden hade gjorts och man mätt och beräknat allt så är det fortfarande ett simuleringsprogram som åtgärderna är utförda i och en simulering går aldrig att få helt verklighetstrogen.

För åtgärder som inte gick att simulera i IDA ICE, exempelvis frånluftsvärmepumpen, har beräkningar gjorts utifrån optimala förhållanden i energiberäkningsprogram utgivna av dem som säljer produkten. Det finns alltså en risk att energibesparingarna som presenteras är missvisande och troligen för höga.

8 Slutsats

Resultatet visar att det är möjligt att öka energiprestandan på ett befintligt flerbostadshus från 60-talet för att klara de energikrav som ställs på nyproduktion idag.

Av de enskilda åtgärderna som testades var det installation av en frånluftsvärmepump samt byte av ventilationssystem till FTX som gör att kraven uppnås. Åtgärds paketet som testades klarade av kraven för energiklass B. Av de åtgärds kategorierna som undersöktes är det de installationstekniska åtgärderna som resulterade i lägst primärenergital och specifik energianvändning. De byggnadstekniska åtgärderna, som handlade om att minska transmissionsförluster i klimatskärmen, är de åtgärder som ger minst energibesparingar.

Vad som kunde utvärderas ur lönsamhetskalkylerna var att energieffektiviserande åtgärder på ett flerbostadshus oftast inte är lönsamma. De installationstekniska åtgärderna visade sig relativt de byggnadstekniska ge mer energibesparingar per investerad krona. Ingen av de föreslagna åtgärderna visar sig dock, med undantag för tilläggsisolering av taket, ge en ekonomisk lönsamhet. Om man vill minska energianvändningen och primärenergitalet i en byggnad så bör fokus därmed ligga på de installationstekniska åtgärderna i första hand, men man kan inte räkna med att de blir ekonomiskt lönsamma.

Energieffektiviserande renoveringar är i dagsläget inte alltid ekonomiskt lönsamma, och då det oftast är ekonomin som styr kommer avvägningar behöva göras mellan ekonomi och miljö för att nå de miljömål kring energianvändning som finns. Ekonomiska incitament i form av statliga bidrag bör återinföras för att på vis öka intresset hos fastighetsägare att utföra energieffektiviserande renoveringar. En annan faktor som påverkar om de energieffektiviserande åtgärderna blir lönsamma är energipriset. Skulle en kraftig ökning av energipriset ske i framtiden kommer det leda till att energieffektiviseringsåtgärder blir attraktivare investeringar.

9 Referenser

- Abel, E., & Elmroth, A. (2016). *Byggnaden som system* (4 ed.). Lund: Studentlitteratur.
- Amlövs. (2022). *Våra områden*. Hämtad från: <https://amlovs.se/vara-omraden/>
- Aareon. (2021). *Underhållskostnader 2021*. Aaeron AB
- BeBo. (2021). *AB Bollnäs Bostäder - Utvärderad renovering*. Hämtad från: <https://www.bebostad.se/projekt/bygg-renoveringsprojekt/ab-bollnas-bostader-utvarderad-renovering>
- BeBo. (2015). *Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus - mätningar i 12 fastigheter*. Hämtad från: <slutrapport-kartlaegning-av-vvc-foerluster.pdf> (bebostad.se)
- BeBo. (2015b). *Demonstrationsprojekt för energieffektivisering i befintliga flerbostadshus*. Hämtad från: [Mall BeBo \(bebostad.se\)](Mall BeBo (bebostad.se))
- BeBo. (2014). *Slutrapport för Klackvägen – Stockholmshem AB*. Hämtad från: [Mall BeBo \(bebostad.se\)](Mall BeBo (bebostad.se))
- Borglund, A-S. (2020, 18 mars). *Modern ventilation sparar mycket energi i gamla hus*. E2B2. Hämtad från: <Modern ventilation sparar mycket energi i gamla hus - E2B2>
- Boverket. (2020c). *Boverkets byggregler, BBR, från 1994* (BFS 1993:57 BBR 1). Boverket. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/aldre-lagar-regler--handbocker/aldre-regler-om-byggande/bbr-fran-1994/>
- Boverket. (2012, augusti). *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler* (Utgåva 2). Boverket. Hämtad från: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energi-hushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf>
- Boverket. (2020a). *Under miljonprogrammet byggdes en miljon bostäder*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/miljonprogrammet/>
- Boverket. (2020b, 1 september). *Klimatskärmens isolering – genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, Um*. Hämtad från: <Klimatskärmens isolering – genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, Um - Boverket>
- Boverket. (2021a). *Boverkets byggregler (2011:6) -föreskrifter och allmänna råd*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>
- Boverket. (2019a). *Underlag till den tredje nationella strategin för energieffektiviserande renovering* (2019:26). Hämtad från:

<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2019/underlag-till-den-tredje-nationella-strategin-for-energieffektiviserande-renovering.pdf>

Boverket. (2019b, 9 mars). *Ska din byggnad ha en energideklaration?*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/>

Boverket. (2022, 4 januari). *Stöd till energieffektivisering i flerbostadshus*. Hämtad från: [Stöd till energieffektivisering i flerbostadshus - Boverket](#)

Boverket. (2017). *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår;*. (BFS 2017:6). Boverket. Hämtad från: [Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd \(2016:12\) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BFS 2017:6](#)

Byggnadsvårdsföreningen. (2008, 20 augusti). *Tilläggsisolera – men inte för mycket!*. Hämtad från: [Tilläggsisolera - men inte för mycket! - Svenska Byggnadsvårdsföreningen \(byggnadsvard.se\)](#)

Byggstart. (2022a). *Isolera taket: En komplett guide (typer, pris, tips)*. Hämtad från: [Isolera taket: En komplett guiden \(typer, pris, tips\) \(byggstart.se\)](#)

Byggstart. (2022b). *Vad kostar det att tilläggsisolera? Pris i 2022*. Hämtad från: <https://www.byggstart.se/pris/tillaggsisolera>

Cato, M. (2016, 24 maj). *Smart fasad*. *Fastighetstidningen*. Hämtad från: [Smart fasad – Fastighetstidningen](#)

Elinder, M., Hu, X., Liang, C-Y. (2021). *Water Conservation and the Common Pool Problem: Can Pricing Address FreeRiding in Residential Hot Water Consumption?*. Research Institute of Industrial Economics. No. 1402. Hämtad från: [wp1402.pdf \(ifn.se\)](#)

Energimarknadsbyrån. (2020, 10 mars). *Vad är fjärrvärme?*. Hämtad från: [Vad är fjärrvärme? | Energimarknadsbyrån \(energimarknadsbyran.se\)](#)

Energimyndigheten. (2021). *Energiindikatorer 2021: Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål (ER 2021:10)*. Arkitektkopia AB, Bromma. Hämtad från: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/>

Energimyndigheten. (2022a, 1 april). *Energiläget*. Hämtad från: [Ny statistik över Energianvändningen i småhus, flerbostadshus och lokaler \(energimyndigheten.se\)](#)

Energirådgivningen. (2022). *Uppvärmning i flerbostadshus*. Hämtad från: [Uppvärmning flerbostadshus | Energirådgivningen \(energiradgivningen.se\)](#)

- Energirådgivningen. (u.å.). *Uppvärmning i flerbostadshus*. Hämtad från: <https://energiradgivningen.se/uppvarmning-flerbostadshus/>
- Energi- och klimatrådgivarna i Skåne. (u.å.). *Fönster*. Hämtad från: <https://www.ekrs.se/fonster>
- EQUA. (2022). *IDA Indoor Climate and Energy*. Hämtad från: <https://www.equa.se/se/ida-ice>
- Göteborgs Energi. (2022a). *Fjärrvärmepriser*. Hämtad från: [Fjärrvärmepriser \(goteborgenergi.se\)](https://www.goteborgenergi.se)
- Göteborgs Energi. (2022b). *Aktuellt elpris*. Hämtad från: <https://www.goteborgenergi.se/privat/el/elpriser>
- Isover. (u.å.). *Isolera tak och vind*. Hämtad från: <https://www.isover.se/isolera-tak-och-vind>
- Jensen, T., & Nyberg, P. (2021). *Alternativa VVC-lösningar i flerbostadshus* (2021:4). BeBo. Hämtad från: [bebo-forstudier-alternativa-vvc-system-v3-2.pdf \(bebostad.se\)](https://www.bebostad.se/bebo-forstudier-alternativa-vvc-system-v3-2.pdf)
- Khodayari, R. (2021, 14 december). Tillförd energi. *Energiföretagen*. Hämtad från: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/tillford-energi/?fbclid=IwAR1ZHpcdVNmBVFbr9K6QFIwvQXOsF6CSUvhQDGVV3p1odo h6WKFFdoRkcWiU>
- Kretz, M. (2014). Så hanterar byggbolagen VVC-förluster. *Energi&Miljö*. Hämtad från: [Så hanterar byggbolagen VVC-förluster | energi-miljo.se](https://www.energi-miljo.se/sa-hanterar-byggbolagen-vvc-forluster)
- Länsförsäkringar. (u.å.). *Teknisk livslängd för olika material och installationer*. Hämtad från: <https://www.lansforsakringar.se/goteborg-och-bohuslan/privat/forsakring/hemforsakring/reovera/teknisk-livslangd/>
- Nordiska fönster. (2022). *FAST FÖNSTER ALUMINIUM 3-GLAS - NORRLAND PASSIV*. Hämtad från: <https://www.nordiskafonster.se/fast-fonster/tra-aluminium/norrland-passiv/fast-fonster-aluminium-3-glas>
- Naturvårdsverket. (2022). *El och fjärrvärme, utsläpp av växthusgaser*. Hämtad från: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-el-och-fjarrvarme/>
- Ovkservice. (2022). *INJUSTERING AV VENTILATIONEN*. Hämtad från: [Ventilationsinjustering - Injustering i Malmö, Lund, Helsingborg \(ovkservice.se\)](https://www.ovkservice.se/ventilationsinjustering-injustering-i-malmo-lund-helsingborg)
- Paroc. (u.å.). *Isoleringslösningar för vind och snedtak*. Hämtad från: [Isolera vind och snedtak inifrån - Paroc.se](https://www.paroc.se/isolera-vind-och-snedtak-inifrån)

Regeringen. (2016, 28 november). *Överenskommelse om Sveriges mål för energieffektivisering*. Hämtad från: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/11/overenskommelse-om-sveriges-mal-for-energieffektivisering/>

SMHI. (2022). *Guide Normalårskorrigerigering – Värme*. Hämtad från: [Guide Normalårskorrigerigering - Energi-Index.pdf \(smhi.se\)](https://www.smhi.se/energi/energiindex/guide-normalar-korrigerigering-energi-index)

Statistiska centralbyrån. (2022, 8 april) *Hushåll i Sverige*. Hämtad från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/hushall-i-sverige/>

Sveby. (2009, 14 april). *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*. Hämtad från: [brukarindata_bostader.pdf \(sveby.org\)](https://www.sveby.se/brukarindata-bostader)

Sveriges Miljömål. (2018, 8 mars). *Preciseringar av God bebyggd miljö*. Hämtad från: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/preciseringar-av-god-bebyggd-miljo/>

Sveriges Miljömål. (2022, 31 mars). *Utsläpp av växthusgaser till år 2045*. Hämtad från: <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2045/>

Vattenfall. (u.å.). *Se över belysningen*. Hämtad från: [Minska elkostnaderna med ny belysning - Vattenfall](https://www.vattenfall.se/om-oss/nyheter-och-press/2019/09/minska-elkostnaderna-med-ny-belysning-vattenfall)

Wahlström, Å., Maripuu, M-L., Werner, G., Carlsson, E., Jonsson, R. (2020, 15 december). *Krav på IMD i befintliga flerbostadshus och alternativet energieffektivisering*. CIT Energy Management & WSP. Hämtad från: [IMD och energieffektivisering \(bebostad.se\)](https://www.citenergy.se/krav-pa-imd-i-befintliga-flerbostadshus-och-alternativet-energieffektivisering)

Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer (1:18)*. Lund: Studentlitteratur AB.

10 Bilagor

10.1 Beräkning VVC- och värmedistributionsförluster

Beräkning VVC- och värmedistributionsförluster			Kommentar:
Total volym vatten 2019 (m3/år)	7544		
Volym varmvatten (m3/år)	2640,4 (m3/år)		35 % av totala vattenvolymen
Volym varmvatten (m3/månad)	220,0333333 (m3/månad)		Varmvatten användning utslaget på 12 månader
Energi för att värma vatten från 10 till 55 grader	11551,75 kWh/månad		$Q=p \cdot c_p \cdot V \cdot \Delta t$
	138621 kWh/år		Energi årsvis
Fjärrvärmeförbrukning Juli	16000 kWh		
Korrigeringsfaktor för Juli (tappvarmvatten)	0,7		Under juli månad antas 70 % av normal månads varmvattenförbrukning
Korrigerad tappvarmvattenanvändning	8086,225		Energi för tappvarmvatten subtraheras från fjärrvärmeförbrukningen för juli månad
VVC förluster (en månad)	7913,775		VVC- och värmedistributionsförluster för en månad
VVC förluster (ett år)	94965,3		VVC- och värmedistributionsförluster för ett år

10.2 Beräkning frånluftsvärmepump NIBE

ENERGIBERÄKNING

FASTIGHETENS ENERGIPRESTANDA

Energibehov för uppvärmning	786740 kWh/år
- av vad är varmvatten	291740 kWh/år
Effektbehov	331,4 kW

FÖRE INSTALLATION AV VP

Energi att köpa -Fjärrvärme (100%)	786740 kWh/år
------------------------------------	---------------

EFTER VÄRMEPUMP INSTALLERAD

Energi att köpa -El	134798 kWh/år
-Fjärrvärme (100%)	337982 kWh/år

BESPARING

Energibesparing	313960 kWh/år
CO2 besparing	25184 kg/år

KLIMATDATA

Årsmedeltemperatur	8,1 °C
Dimensionerande utetemperatur	-16,6 °C

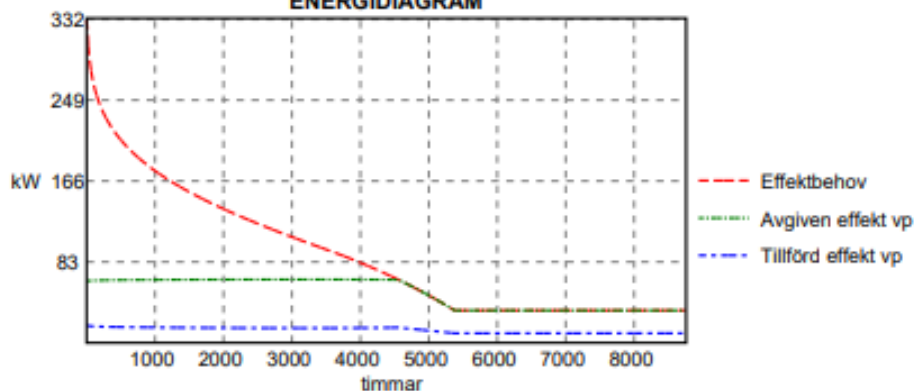
FASTIGHETEN

Rumstemperatur	21,0 °C
Uppvärmning stängs av	12,0 °C
Framledningstemperatur vid DUT	55 °C
Returtemperatur vid DUT	45 °C

ENERGIPRESTANDA MED

-NIBE F1345-60 med dubbla kompressorer	1 st
Avgiven energi vp	448758 kWh/år
Tillförd energi vp	124062 kWh/år
Tillsatsenergi, totalt	337982 kWh/år
Energiförbrukning värmebärarpump	10736 kWh/år
Energitäckningsgrad	57 %
Årsvärmefaktor, vp	3,6
Årsvärmefaktor, totalt	1,7
Fast eller flytande kondensering	Flytande
Avgiven effekt vp vid DUT	63,3 kW
Tillförd effekt vp vid DUT	18,0 kW
Rekommenderad tillsatseffekt	268,1 kW
Effektäckningsgrad	19 %

ENERGIDIAGRAM



VENTILATIONSÅTERVINNING

Maximal kyleffekt	50 kW
Maximalt brineflöde av Etylen Glykol(28 vol %)	3,2 dm³/s
Inkommande köldbärartemperatur medel	6,0 °C
-temperaturskillnad	4,0 °C



CHALMERS