

Avdelningarna för Byggnadsfysik, TVBH-5062 och Byggproduktion, TVBP-5391

Examensarbete
Lund 2010

Effektiv beräkning av energiåtgärder

Modell för ekonomisk och energiteknisk analys
av befintliga kontorsbyggnader

Tim Arvehammar
Ingemar Jönsson



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Effektiv beräkning av energiåtgärder

Modell för ekonomisk och energiteknisk analys
av befintliga kontorsbyggnader

Tim Arvehammar
Ingemar Jönsson

Avdelningarna för Byggnadsfysik och Byggproduktion
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
Sverige

ISRN LUTVDG/TVBH--10/5062--SE(82)
ISRN LUTVDG/TVBP--10/5391--SE(82)
©2010 Tim Arvehammar och Ingemar Jönsson

Förord

Först vill vi tacka våra handledare. Stephen Burke på avdelningen för Byggnadsfysik för hjälp med idéer, litteratur, program och många pratstunder. Stefan Olander på Byggproduktion för hjälp med litteratur, upplägg, uppmuntran och ekonomiska frågor. Christopher Irminger från Bengt Dahlgren för grundidén till projektet, idéer om innehåll och uppmuntran under projektets gång. Sen har vi ett speciellt tack till Jonas Lindemann på Byggnadsmekanik för stor hjälp med programmeringen och även flera personer på avdelningarna Byggnadsfysik och installationsteknik som varit involverade med tips, idéer och kritik, stort tack. Tack även till Per-Olof Mattsson för den sista korrekturläsningen innan tryckning. Sen får vi inte glömma er andra som skrivit examensarbete uppe i vårt examensarbetsrum. Kaffepauserna har gjort arbetet mycket roligare.

Slutligen vill vi även rikta ett stort tack till våra nära och kära för er förståelse för att vi varit tvungna att försumma er lite för att få klart examensarbetet.

Lund den 14 september 2010

/

Tim Arvehammar

Ingemar Jönsson

Sammanfattning

Titel: Effektiv beräkning av energiåtgärder - Modell för ekonomisk och energiteknisk analys av befintliga kontorsbyggnader.

Författare: Tim Arvehammar, Ingemar Jönsson

Handledare: Stephen Burke, Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH
Stefan Olander, Avdelningen för Byggnadsproduktion, LTH
Christopher Irminger, Bengt Dahlgren

Problemställning:

I dagsläget finns det bara energiberäkningsprogram som kräver omfattande indata och kräver att man har stor kunskap om en byggnad. Problematiken för rapporten ligger i hur energiåtgärders minskning av energianvändning uppskattas med enkel och lättillgänglig data, samtidigt som reliabiliteten och validiteten behålls hög. Dessutom ska de ekonomiska vinsterna uppskattas och bedömas mellan de olika åtgärderna.

Syfte:

Syftet är att ta fram en modell för att automatiskt beräkna energibesparingar och göra en ekonomisk bedömning vid olika åtgärder och kombinationer av åtgärder på en kontorsbyggnad. Modellen ska göra detta snabbt med så låga krav på indata som möjligt.

Metod:

En litteraturstudie genomförs för att skapa en grundläggande kunskap inom området. En modell för hur beräkningarna ska utföras tas fram och efterhand som nya frågeställningar uppstår fördjupas litteraturstudien. För att kontrollera modellens reliabilitet och validitet utarbetas ett beräkningsprogram som under arbetets gång testar modellen. Framtagning av modellen sker genom analys av byggnaders energisignatur och olika tester.

Slutsatser:

Modellen som tagits fram bygger på att utifrån en kontorsbyggnads energisignatur, beräkna olika nyckeldata, som U-värdet och internvärme. Den uträknade nyckeldata används sedan i balansekvationen för att beräkna åtgärdernas inverkan på energianvändningen. Utifrån detta beräknas sedan livscykelkostnaderna och internräntan för åtgärderna. Efter att modellen har testats och resultaten har analyserats och jämförts med resultat från energiberäkningsprogrammet Vip+ kan det konstateras att det finns potential för förbättringar. Modellen har förhållandevis bra uträknade värden men det finns flera felkällor som identifieras och borde åtgärdas innan modellen används på riktiga byggnader. Några av de saker som borde läggas till i modellen är hänsyn till värmekapacitet och inomhusmiljöförbättringar. Den ekonomiska delen ger en bra översikt för en jämförelse mellan de olika åtgärdspaketerna genom att jämföra LCC. En noggrannare restvärdesfunktion borde utarbetas och det borde beräknas de ekonomiska vinningarna med inomhusmiljöförbättringar.

Nyckelord: LCC, Lokalbyggnad, energisignatur, energiåtgärder, ombyggnad

Abstract

Title: Efficient calculation of energy saving measures – A model for economical and energy analysis of a officebuilding

Authors: Tim Arvehammar, Ingemar Jönsson

Supervisor: Stephen Burke, Department of Building Physics, LTH
Stefan Olander, Department of Building Production, LTH
Christopher Irminger, Bengt Dahlgren

Problem:

Today there are energy evaluation programs that demands extensive input data which requires that the operator to have a large amount of data about the building. The problem is to determining a simple way to calculate the energy gain from different measures using a limited amount of input data. The model shall also calculate the economical gains between different measures.

Purpose:

The aim is to develop a model to automatically calculate energy savings and make a financial assessment of various energy savings measures and combinations, for an office building. The model is going to do this quickly with a low level of input-data.

Method:

A literature review was carried out to establish a basic knowledge in the field. A mathematical model was made and as new questions arise a deeper literature review is made. To verify the model's reliability a calculation program was created to test the model. The development of the model is made from an analysis of the energy signature, and with various tests.

Conclusion:

The model has been developed based on the basis of a building's energy signature and from there it calculates key data, such as U- value and internal heat gain. The calculated data is then used in the balance equation and the energy saving measures are put in to calculate the energy change in the equation. From this an LCC calculation is made and the IRR is calculated. The results from model have been analyzed and compared with results from the energy calculation program Vip+. It is possible to see that there are potentials for improvements in the model. The model has relatively good calculated values but there are several errors that should be corrected before the model is used on real buildings. Some things that should be added to the model include the thermal capacity and indoor environmental improvements. The financial section gives a good overview for a comparison between the different combinations of measures by comparing the LCC. A new way of determining the residual value of the measures should be made, in addition to a way to integrate the indoor environmental improvements in the economic evaluation.

Keywords: LCC, Office building, energy signature, energy saving measures

Register

1	Inledning.....	9
1.1	Bakgrund.....	9
1.2	Problem	9
1.3	Syfte	10
1.4	Avgränsningar	10
2	Metodik	11
2.1	Informationsinsamling.....	11
2.2	Källkritik	11
2.3	Modellutveckling	11
2.4	Test och analys av modell.....	12
2.5	Osäkerhet med metoden.....	12
2.6	Rapporten	12
3	Teori.....	13
3.1	Lokalbyggnad	13
3.2	Byggnadens energibalans	16
3.3	Energiåtgärder	21
3.4	LCC (Livscykelkostnad).....	24
3.5	Använda program och data	26
3.6	Energideklaration	28
3.7	Regressionsanalys.....	28
4	Resultat.....	30
4.1	Modellen och testprogrammet	30
4.2	Analys av energisignatur i en lokalbyggnad	33
4.3	Modell för beräkningar av U-värde och internvärme	40
4.4	Beräkning av åtgärder med energibalanskvationen	52
4.5	Ekonomisk bedömning	55
4.6	Analys av byggnad	58
4.7	Analys av resultatet	63
5	Diskussion och slutsats.....	71
5.1	Diskussion	71
5.2	Vidare studier och utveckling	74
5.3	Slutsats.....	75

6	Referenser	77
	Bilagor.....	79
	Bilaga 1: Testhus.....	79
	Bilaga 2: Referensobjekt.....	81

Ordförklaring

AFS- arbetsmiljöverkets föreskrifter.

A-temp – Den area som värms upp i en byggnad.

Balanstemperatur - den utomhustemperatur där värmeförlusterna ut ur byggnaden/rummet är lika stora som den interna värmealstringen, även kallad gränstemperatur.

BBR – boverkets byggregler.

Clo – Kläders värmeisolering vid +21 grader Celsius.

Energisignatur – En representation i ett diagram över en byggnads energianvändning gentemot utetemperaturen.

Determinationskoefficient – Den andel obesvarad variation som kan förklaras av en statistisk modell.

Internvärme – Värme som avges direkt till rumsluften från personer, lampor och apparater samt värme som avges indirekt via byggnadskonstruktioner som solstrålning och värmestrålning från varma ytor i rummet.

LCA – Life cycle analysis, kostnadsanalys över ett projekts livslängd, med medtagande av miljöfaktorer.

LCC – Life cycle costing, kostnadsanalys över ett projekts hela livslängd.

Met - Enheten MET (Metabolic unit). 1 MET innebär användning av 1 kcal per kilo kroppsvikt och per timme.

Operativ temperatur – Den upplevda temperaturen i rummet.

OVK – Obligatorisk ventilationskontroll, kontroll av ventilation som skall finnas för varje större byggnad i Sverige.

Parallellmodellen för värmetransport – beaktar värmetransporten genom en kombination av material när de olika materialen ligger parallellt bredvid varandra.

Python – Python är ett programmeringsspråk med stöd för både objektorienterad och funktionell programmering. Det är ett öppet programspråk vilket gör att det finns flera färdiga moduler som kan användas för exempelvis plottning av kurvor.

Reliabilitet – Anger tillförlitligheten i mätningen.

Rumsuppvärmning – Uppvärmning som sker inne i byggnadens rum, t.ex. genom radiatorer. Denna uppvärmning innefattar alltså inte ventilationsuppvärmning.

Sann middag - Sann middag är när solen passerar den övre delen av observatörens himmelsmeridian.

SFP – Specific fan power, elåtgången för fläkten i förhållande till hur mycket luft som fläkten driver.

Validitet – Ett mått på hur väl en mätning överrensstämmer med det som avses att mätas.

Vistelsezon - Det område i en byggnad som ska hållas vid det bestämda inneklimatet. Begränsas uppåt av ett vertikalt plan på 1,7 m höjd och av horisontella plan 0,6 meter från varje vägg. Undantag gäller för ytterväggar där det horisontella planet är 1 meter in från väggen.

Teckenförklaring

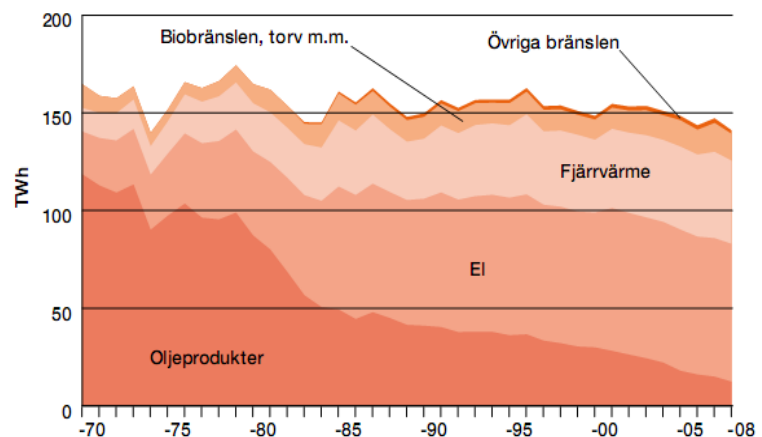
Beteckning	Förklaring	Enhet
P_{tr}	Effekt genom transmission från byggnad	W
P_l	Effekt genom luftläckage från byggnad	W
P_{vent}	Effekt genom ventilation från byggnad	W
$P_{tillförsel}$	Effektillskott från värmesystem till byggnad	W
P_{sol}	Effektillskott från sol till byggnad	W
P_{int}	Effektillskott från internvärme till byggnad	W
U	Byggdelens U- värde	W/(m ² K)
A	Area	m ²
t_r	Inomhustemperatur	C°
t_e	Utomhustemperatur	C°
$q_{läck}$	Läckflöde	l/s
ρ	Luftens densitet	kg/m ³
c_p	Luftens specifika värmekapacitet	J/(kg K)
$k_{läck}$	Byggdelens läckflöde	l/(s m ²)
g	Total soltransmittans	-
I_{Direkt}	Solens direkta instrålning mot ytan	W/m ²
I_{sol}	Solens totala instrålning mot ytan	W/m ²
I_{Diffus}	Solens diffusa instrålning mot ytan	W/m ²
r	Reflektion i procent från omgivande område	-
$P_{tillförd}$	Den totala tillförda effekten	W
N	Utnyttjandegrad	-
P_{vv}	Värmeeffekt till varmvatten	W
t_b	Balanstemperaturen	C°
SFP	Specifik fläkteffekt (Specific fan power)	(W m ³)/s
$P_{Fläkt}$	Fläktens effect	W
$t_{Fläkt}$	Temperaturökning från fläkt	C°
η	Verkningsgrad	-
i	Kalkylräntan	-
R	Internräntan	-
Sol	Solenergi som tillförs byggnaden	Wh

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Under de senaste decennierna har svenska staten arbetat med att sänka energibehovet i Sverige. Sveriges nationella mål är att sänka energibehovet med 20 % till 2020. För att göra detta använder sig staten av flera olika styrmedel. Bland annat subventionerar man villaägare med direktverkande el som vill byta till fjärrvärme. Man subventionerar även investeringar i solceller för både företag och privatpersoner för att få energiproduktionen att gå mot mera miljövänliga alternativ. Bostads och servicesektorn stod 2009 för 36 % av Sveriges energianvändning, motsvarande 141 TWh, 86 av detta användes i diverse lokaler (Energimyndigheten², 2009).

Under 1970-2008 har energianvändningen minskat. Detta har flera bidragande orsaker. Bland annat har den minskat för att personer installerat värmepumpar. Men också på grund av energibesparande åtgärder i äldre bebyggelse som exempelvis tilläggsisolering och nya fönster med ett lägre U-värde. Användningen av el



Figur 1.1-1: **Energianvändning för bostäder och service sektorn 1970-2008** påverkas av två olika trender, dels blir apparaterna effektivare, men samtidigt får de fler funktioner som drar upp energianvändningen (Energimyndigheten, 2009).

I Sverige jobbar staten med att ständigt förbättra energiprestandan hos byggnader. För att säkerställa att man får en bra energiprestanda och godtagbar inomhusmiljö finns det flera olika regelverk som reglerar området. Samhällets minimikrav för en byggnad finns sammanförda i föreskrifterna BVL (Byggnadsverkslagen), BVF (Byggnadsverksförordningen), BBR (Boverkets byggregler) och BKR (Boverkets konstruktionsregler). BBR och BKR måste tillämpas på nybyggnationer och utbyggnader av befintlig bebyggelse. Vissa regler ska även tillämpas vid större ombyggnader (Boverket², 2010). Regler för ombyggnad håller på att utarbetas.

År 2006 infördes även en ny lag om att alla större svenska byggnader ska energideklarerars. Genom en energideklaration fås en överblick över byggnaders energianvändning och var besparingsmöjligheterna i det äldre fastighetsbeståndet finns. Eftersom deklARATIONEN ska innehålla förslag på energiförbättringar skapar det en motivation hos ägaren att minska sina energikostnader (Adalberth, 2008).

1.2 Problem

För att utföra energiberäkningar på en byggnad så kräver dagens beräkningsprogram oftast omfattande inmatningsdata och stora kunskaper i hur en byggnad fungerar. Alternativt kan överslagsmässiga beräkningar användas, men dessa blir lätt missvisande eftersom de inte tar hänsyn till samspelet mellan flera olika åtgärder. Vid beräkning av åtgärder beaktas flera

olika typer av energi i form av el, kyla och värme, vilket påverkar även de ekonomiska beräkningarna för lönsamhet.

Den övergripande frågeställningen som denna rapport baseras på är om det går att ta fram enklare och snabbare sätt att bedöma åtgärder än med dagens beräkningsprogram, samtidigt som reliabiliteten och validiteten för beräkningarna är fortsatt hög. För att fastighetsägarna ska få incitament att genomföra energibesparande åtgärder så behövs ett bra beslutsunderlag för att bedöma åtgärders lönsamhet. Samtidigt får beslutsunderlaget inte vara överdrivet kostsamt att ta fram. Det leder till frågorna:

- Hur kan energiåtgärders minskning i energiförbrukning uppskattas med enkel och lättillgänglig indata, samtidigt som reliabilitet och validitet är hög?
- Hur kan vinsterna med energiåtgärder uppskattas och bedömas sinsemellan?

Parametrar som måste beaktas vid energiberäkningar är: var sker energiåtgången i en lokalbyggnad och hur beräknas detta, vilken påverkan har olika åtgärder på varandra, vilka energityper påverkas av specifika åtgärder, hur fås väsentliga inparametrar när endast lättillgänglig indata ska användas. För ekonomiska beräkningar måste följande beaktas: vilken ekonomisk metod är bäst vid jämförelse av åtgärder, hur tas hänsyn till varierande livslängd, hur kan samhällsekonomiska vinster bedömas och hur bedöms riskerna mellan olika åtgärder.

1.3 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram en modell för ett beräkningsprogram som ska bedöma energiåtgången efter att energiåtgärder eller kombinationer av energiåtgärder utförts på en befintlig kontorsbyggnad. Modellen kommer dock att kunna användas på vissa andra typer av byggnader. Modellen ska göra detta utifrån lättillgänglig information. Den ska även bedöma åtgärderna och kombinationerna av åtgärder ekonomiskt. Utöver att skapa modellen så är syftet även att utvärdera modellens reliabilitet och validitet genom att testa modellen i ett testprogram.

1.4 Avgränsningar

Varken modellen eller testprogrammet som skapas är tänkta att vara färdigutvecklade produkter utan fokus i projektet är att kunna bedöma om tillräknelig reliabilitet och validitet går att nå för att modellen ska vara värd att utveckla vidare.

Modellen som tas fram kommer därmed bara att fungera på en viss typ av byggnad där begränsningar är satta på befintliga installationer. Detta gäller konstant ventilation under dygnet, fast tilluftstemperatur, fast max och min innetemperatur och ingen värmeåtervinning. Dessutom måste byggnaden ha uppvärmning både under och utanför arbetstid vid någon utomhustemperatur under året.

Modellen beaktar endast ett begränsat antal åtgärder vilka är värmeåtervinning, minskad ventilation, ändrad innetemperatur, minskning av luftläckage, belysning och byte av fönster.

Dessutom kommer inte hänsyn tas till pannverkningsgrader, värmekapacitet i byggnaden, kondensering eller avdunstning.

2 Metodik

För att skapa sig en uppfattning över möjliga modeller för att bedöma en lokalbyggnads energiförbrukning görs först en omfattande informationsinsamling angående lokalbyggnader och dess energiförbrukning. Utifrån informationsinsamlingen och samtal med handledare och personal på avdelningarna Byggnadsfysik, Installationsteknik och Byggproduktion på LTH väljs en övergripande modell för hur en lokalbyggnads energiförbrukning ska kunna beräknas. Därefter genomförs fördjupad litteraturstudie samtidigt som modellen utvecklas i detalj. Under utvecklingen testas modellen i ett testprogram kontinuerligt på testbyggnader. Den slutliga modellen testas sedan på en ny testbyggnad där större omfattande analys av resultatet genomförs. Rapporten utvecklas under arbetets gång.

2.1 Informationsinsamling

Den första informationsinsamlingen syftade till att skapa förståelse för hur en lokalbyggnads energianvändning fungerade. En bred studie på litteratur som omfattade områden kring energisignaturer, energianvändning, energiåtgärder samt ekonomi genomförs som en grund för framtagning av hur modellen skall upprättas. Informationen diskuterades även med handledare och personal på LTH. För hjälp med att hitta lämplig litteratur har även handledare och andra personer med kunskap inom områdena tillfrågats.

Den andra fördjupade informationsinsamlingen fokuserar på vilka faktorer som är viktiga att ta hänsyn till och hur dessa faktorer ska sammanfogas vid energi- och ekonomiberäkningar. Detta görs med litteraturstudie och informationsinsamling när behov uppkommer vid utvecklande och testandet av modellen. Vid undersökande av litteratur har främst valts böcker och artiklar som varit tillgängliga genom databaser som Libris och Lovisa. Artiklar och liknande arbeten har även använts från alternativa källor via internet, som exempelvis ELIN (Electronic Library Information Navigator) samt på hemsidorna hos avdelningarna för Byggnadsfysik, Installationsteknik och Byggproduktion.

2.2 Källkritik

För att säkerhetsställa kvaliteten hos den litteratur som använts så har källorna bedömts källkritiskt. Vid möjlighet har flera källor använts inom samma ämne för att kunna jämföra dessa. Om författare refererat till tidigare litteratur har i första hand ursprungskällan sökts. Dock har ibland ursprungskällan varit svår att hitta, vilket inneburit att denna inte kunnat användas. När tvivel har uppkommit angående en källas korrekthet så har källan förkastats. Artiklar som granskats och godkänts i erkända publikationsbyråer och doktorsavhandlingar har ansetts vara tillförlitliga källor. Detta gäller även officiella hemsidor som är knutna till stora organisationer eller staten som t.ex. SCB och boverket. Vid användning av resultat i tidigare examensarbeten så har resultaten bedömts mot liknande resultat från andra källor. Vid användning av internetkällor så har en kritisk bedömning gjorts genom jämförande med flera källor eller genom diskussion om informationen är korrekt och tillförlitlig, innan informationen har använts i arbetet.

2.3 Modellutveckling

En övergripande modell skapas utifrån den övergripande informationsinsamlingen. Modellen innefattar tre delar, framtagning av nyckeldata för byggnaden, beräkning av åtgärder och

ekonomiska beräkningar. Under utvecklingen av modellen skapas ett testprogram där modellen testas mot fiktiva hus med data framtagen i Vip+ (program för beräkning av energianvändning i byggnader). Modellen för att ta fram nyckeldata för byggnader utgår från byggnadens energisignatur. Eftersom det inte gått att få fram beprövade metoder för att ta fram nyckeldata ur energisignaturen så genomfördes först en omfattande analys av en lokalbyggnads energisignatur. Utifrån analysen utvecklas idéer för hur framtagning av nyckeldata skall ske. Idéerna testas med metoden "trial and error", d.v.s. idéerna testas och när fel uppstår så analyseras felen, sedan tas en ny idé fram och ett nytt test genomförs. För delarna som behandlar beräkning av åtgärder och ekonomiska beräkningar finns mer beprövade modeller att tillgå från litteraturstudien, men även dessa resultat verifieras med testprogrammet mot kontrollberäkningar.

2.4 Test och analys av modell

Som tidigare nämnts testas modellen successivt under utvecklingen mot fiktiva hus framtagna i Vip+. Slutligen görs ett större test mot en ny fiktiv byggnad med mer varierade parametrar än tidigare byggnader. Testet görs med testprogrammet som tagits fram under utveckling av modellen. Energieresultatet av testet jämförs mot resultat av åtgärdsberäkningar i Vip+. Skillnaderna analyseras i detalj vad gäller värme, kyl och el energi och även analys av ekonomisk data genomförs vad gällde LCC och internränta.

Utifrån resultatet från testet diskuteras fördelar och problemen med modellen och vilka förbättringsmöjligheter som finns för vidareutveckling. Att endast fiktiva hus används beror på att den mängd data som behövs för att verifiera resultaten i ett tidigt utvecklingsskede är svår att få fram på verkliga byggnader.

2.5 Osäkerhet med metoden

Mycket av metoden för utveckling av modellen har gjorts med "trial and error" där modellen har testats mot fiktiva byggnader i ett annat energiberäkningsprogram, Vip+. Det innebär att om inte Vip+ beräknar korrekt så kommer inte den framtagna modellen göra det heller. Dock har de flesta delarna i modellen även stöd i befintliga studier och erkända teorier. Ett annat problem är att de fiktiva hus som skapats har inte kunnat beakta alla skillnader i parametrar som en byggnad kan ha. Det vill säga att risk finns att specifika hus med parametrar som inte testats ger felaktiga värden. Att inte ett verkligt hus analyserats med modellen innebär även risk för att modellen ger felaktiga resultat när den används i verkligheten.

2.6 Rapporten

I rapporten tas teorier upp som framkommit under litteraturstudien som är väsentliga för modellen och framtagning av modellen. I resultatdelen behandlas först modellen översiktligt samt analys av energisignaturen på en lokalbyggnad. Sedan beaktas de olika delarna i modellen, d.v.s. framtagning av U-värde och internvärme, energiberäkning på åtgärder och ekonomisk bedömning av åtgärder. Dessa behandlas som separata delar i resultatet så att varje del kan bedömas var för sig. Slutligen i resultatdelen beskrivs den slutliga testbyggnaden och analyserna runt resultatet på denna. Efter resultatdelen tas diskussionerna runt resultatet och modellen upp samt möjlig vidareutveckling av modellen.

3 Teori

3.1 Lokalbyggnad

En lokalbyggnad skiljer sig markant från en bostad när det gäller energieffektivisering. Hur mycket värmeöverskott som behöver tas omhand och hur mycket uppvärmning som behövs beror på den interna värmealstringen, klimatet och hur väl isolerad byggnaden är. Klimatet i en ort går inte att påverka, utan det är den interna värmealstringen och klimatskalet som kan påverkas. Ju högre intern värmealstring en byggnad har och ju mindre värmeförluster genom klimatskalet, desto lägre blir balanstemperatur för rumsuppvärmningen i byggnaden. Detta innebär att med en hög intern värmealstring och en välisolerad byggnad så kommer balanstemperaturen att bli låg, vilket i sin tur leder till att större delen av året måste värmeöverskott föras bort (Abel, 2008). I en bostad är den interna värmealstringen oftast marginell och då behövs bara system för att tillföra värme. Detta gör att ventilationssystemen därmed bara syftar till att tillhandahålla god luftkvalitet. Här finns mycket i energisynpunkt att vinna med ett välisolerat klimatskal och värmeåtervinning (Abel, 2008). I en lokalbyggnad har man istället ofta stora interna värmelaster under brukande av lokalen som producerar värme. Detta varierar självklart beroende på verksamheten men gäller för t.ex. kontor och biografer. Här måste värmeöverskott föras bort (Warfvinge, 2003). Utanför arbetstiden finns dock ett värmeunderskott och byggnaden måste värmas till en miniminivå. Detta innebär att klimatsystemet behöver ta hand om både ett över- och ett underskott av värme. Eftersom exempelvis ventilationen både ska se till att det är en god luftkvalitet samt att värmeöverskottet ventileras bort så innebär detta att ett större ventilationssystem behövs som klara större flöden (Warfvinge, 2003). För att minska värmeöverskottet i lokalbyggnaden under arbetstid så kan solavskärmning användas. Den har även en bra inverkan på inomklimatet eftersom man genom att skugga fönstren hindrar störande reflexer i rummet (Adalberth, 2008).

3.1.1 Krav på lokalbyggnad

För en lokal finns det tre grupper av krav som måste uppfyllas: myndighets-, verksamhets- och byggnadsspecifika krav. Myndighetskraven behandlar säkerhet och hälsa som hanteras i BFS (Boverkets Författnings Samling). Dessa krav måste alltid vara uppfyllda, d.v.s. en miniminivå. Verksamhetskrav är krav som behövs för att byggnaden ska kunna användas för sitt ändamål. Kraven kan specificera byggnaden vad gäller rumsantal, areor, rumssamband eller specificera inomhusklimatet vad gäller dagsljus, termiskt klimat, luftkvalitet, belysning, ljudklimat m.m. (Abel, 2008). De byggnadsspecifika kraven är de krav som styr byggnadens kvalitet vad gäller estetik, planlösning, energibehov, underhåll m.m. Dessa kan gälla generalitet och flexibilitet, fuktsäkring, effektivt utnyttjande av hus och rum, tekniskt och ekonomiskt optimala lösningar, driftsäkerhet, m.m. Det är dock viktigt att de byggnadsspecifika kraven inte motverkar verksamhetskraven (Abel, 2008).

3.1.2 Inneklimat

Vid energiåtgärder är det viktigt att ta hänsyn till inneklimatet och då speciellt termiskt klimat, luftkvalitet och luftfuktighet, som direkt påverkas av husets klimatsystem. Det termiska klimatet innefattar luftens temperatur, omgivande ytors temperatur, luftens fuktighet och lufthastigheten (Warfvinge, 2003). Luftkvalitet innefattar föroreningar i luften som kan störa

eller skada människan t.ex. partikelformiga föroreningar och gasformiga föroreningar. Luftrenhet handlar om föroreningar i luften som gör att vissa processer störs eller skadas i en verksamhet. En sådan verksamhet kan vara bibliotek, laboratorier, eller operations-salar där luftföroreningar kan orsaka problem i arbetet (Abel, 2008).

När det gäller det termiska klimatet är det viktigt att ta hänsyn till hur många människor som vistas i lokalen och vad för aktiviteter de utför. Dessa producerar värmeenergi som oftast mäts i met (60 W/m^2 hudyta). Hur klimatet upplevs påverkas också av hur personerna i lokalen är klädda, mängden mäts i enheten clo (Warfvinge, 2003). Vid en kontroll av det termiska klimatet bör inte enbart lufttemperaturen mätas, utan istället bör operativ temperatur användas. Denna kan både mätas och beräknas och tar hänsyn till lufttemperaturen och strålning från omgivande ytor. Den operativa temperaturen ses som ett mått på hur människan uppfattar det termiska klimatet (Hansen, 1997). För att uppnå en god luftkvalitet och luftrenhet är det viktigt att ta hand om luftföroreningar, d.v.s. de partikelformiga och gasformiga föroreningarna. Dessa måste behandlas på olika sätt eftersom de alstras och tas omhand olika. Gasformiga föroreningar alstras av människor, byggmaterial och inredning, och består av både oorganiska föroreningar (t.ex. koldioxid) och organiska föroreningar (t.ex. kolväten som alkaner) (Abel, 2008). Partikelformiga föroreningar kan komma från processer i naturen eller genom mänskliga aktiviteter. Dessa kan vara pollen, utsläpp från trafik, hudavlagringar, bakterier m.m. Partiklar kan oftast relativt enkelt tas omhand med filter medan det kan vara svårare att eliminera gaser. Gaser kan renas med t.ex. aktivt kol men är dyrt (Abel, 2008).

Vid mätningar av inneklimatet är det även viktigt att ta hänsyn till luftdrag och det upplevda obehaget som detta medför. Beroende på luftläckagets storlek kan det ge upphov till luftrörelser i rummet vilket gör att vissa personer kan uppleva drag och obehag i vistelsezonen. Beroende på aktiviteten hos personen upplevs drag vid olika temperaturer och lufthastigheter. En person som är stillasittande upplever obehag mycket tidigare än en person som utför andra mer fysiska aktiviteter (Hansen, 1997). Den operativa temperaturen regleras i BBR, med rekommendationen att man har minst 18°C i arbetsrum och en maximal lufthastighet på under $0,15 \text{ m/s}$ under uppvärmningssäsongen (Boverket¹, 2008).

Inneklimatet har också en påverkan på produktiviteten för personerna i rummet. En person i en bra termisk miljö arbetar normalt fortare och gör färre misstag än en person i en dålig termisk miljö, speciellt märks det vid undertemperaturer. Det blir i förlängningen en vinst att ha en bra innemiljö, även om de ekonomiska följderna är svåra att uppskatta direkt (Sikander, 2007).

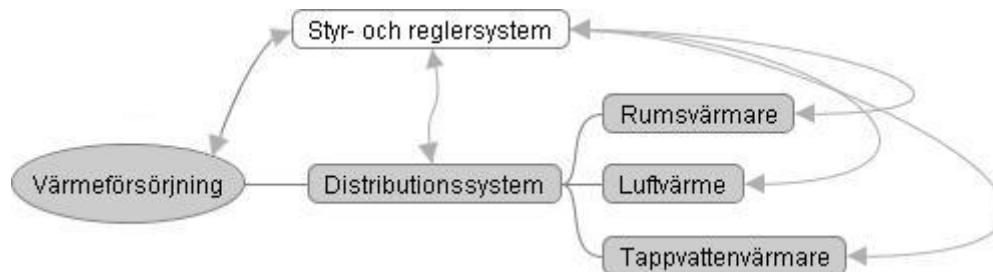
3.1.3 Värmetillförsel och värmesystemets uppbyggnad

Värmeförsörjningen i en byggnad ska kompensera för byggnadens varierande värmebehov. Detta kan ske med egen panna (olja, pellets, naturgas), värmealstring i byggnaden genom omvandling av elektrisk energi (direktel, elpanna, värmepump), värmetillförsel utifrån (värmecentral, fjärrvärme) eller solvärme (Faber, 2002). Vanligen beror sedan värmesystemets komplexitet i en byggnad av storleken på värmebehovet, vilket ger en tumregel om att ju mindre värmebehov, desto enklare kan systemet vara.

Värmesystemen i en byggnad består av fyra huvuddelar (Abel, 2008):

- System för värmeförsörjning
- System för fördelning och distribution av värmen
- Värmeväxlare för överföring av värme till rum, tilluft och tappvarmvatten
- System som styr värmeförsörjningen, distributionen och avgivning till enskilda rum

I figur 3.1-1 kan man se uppbyggnaden av värmesystemet.



Figur 3.1-1: Värmesystemets uppbyggnad (Abel, 2008)

Distributionssystem för värme finns i varianter av både luft och vatten. Det vanligaste i Sverige är cirkulerande varmvatten med radiatorer, vilket både är tyst och har lång livslängd (Abel, 2008). Fram till mitten av 1970-talet dimensionerades värmesystemen med framledningstemperatur på 80 grader men idag är framledningstemperaturen oftast 60 grader eller lägre. Detta ger mindre värmeförluster i distributionssystemet vilket speciellt är positivt i stora distributionssystem. Eftersom gamla system ofta är överdimensionerade, på grund av säkerhetsmarginaler, så kan överdimensioneringen användas till att minska vattenflödet, tryckfallet och även framledningstemperaturen (Abel, 2008). Den minskade framledningstemperaturen ger mindre effektförluster och bättre förutsättningar för användning av värmepumpar, fjärrvärme eller solvärme (Andrén, 1999).

Styr och reglersystem för värmesystemen har två funktioner, att anpassa framledningstemperaturen och att fördela rätt mängd värme till de olika rummen. I ett vattenradiatorsystem anpassas oftast framledningstemperaturen efter utomhustemperaturen. Fördelningen till de olika rummen kan ske med en termostatventil på radiatorerna i de olika rummen (Abel, 2008).

3.1.4 Värmebortförel

En lokalbyggnad bör utformas så att både värmeöverskottet och föroreningsalstringen blir små. Detta minskar kostnaderna för luftbehandling och värmebortförel. Detta innebär att byggnaden bör utformas med höga rum, stora öppna volymer, god värmelagring i byggmaterialet, solavskärmning och en låg internvärmeproduktion (Abel, 2008). I befintliga lokaler är det oftast lättast att ändra solavskärmningen och att förändra internvärmerna. Den överskottsvarme som finns kvar efter dessa åtgärder finns det flera sätt att ta hand om, t.ex. med självdragssystem och tekniska system. Tekniska systemen är de som oftast krävs i lokalbyggnader för att få ett acceptabelt inneklimat och dessa kan delas in i två principer: luftsystem och kallvattensystem (Abel, 2008).

3.1.4.1 Kylsystemets uppbyggnad

I luftsystem får ventilationen en dubbel uppgift, både föra bort föroreningar och värmeöverskott. Om luften har lägre tilluftstemperatur än frånluften så förs värme bort. I lokaler krävs det oftast större flöden för värmeöverskott än för att hålla god luftkvalitet vilket gör värmen dimensionerande (Warfvinge, 2003). När det gäller kallvattensystem så är det vanliga att kylning av rummet görs med kylda ytor, t.ex. kylbafflar, fläktkylare eller induktionskylare. System med kalla ytor är lätt att projektera, kräver lite utrymme och är tyst. Men eftersom det i nya lokalbyggnader ofta måste föras bort värme även under vintern, så måste dessa i motsats till luftsystem även kylas på vintern vilket kan ge ökade kostnader. Under de timmar på året när det är risk för kondens i kylsystemet så bör tilluften avfuktas när kylsystem används (Abel, 2008).

3.1.4.2 Värmeöverskott

Värmeöverskottet som behöver tas omhand utgörs av skillnaden mellan internvärme och värmeförluster genom klimatskalet, alltså den del som måste föras bort med hjälp av en klimatanläggning. Den interna värmealstringen utgörs av värme från människor, apparater, belysning, solinstrålning och värmeutbyte mellan rummets ytor och luft. När det är sommar är värmeförlusterna genom klimatskärmen små och kan t.o.m. vara negativa vilket ger ett värmetilskott (Abel, 2008). Den ofta dimensionerande faktorn i byggnader för kylsystem är solinstrålning, dock inte i fönsterlösa lokaler som varuhus. För att påverka solinstrålningen så är solavskärmning, fönsterplacering och fönsterstorlek viktiga faktorer (Adalberth, 2008). Belysning står ofta för huvuddelen av elförbrukningen i verksamheten och bidrar till en stor del av värmeöverskottet under arbetstiden vilket kräver mer energi i form av kylning. Därför bör belysningen utformas effektivt så att lamporna ger så låg värmeutveckling som möjligt i förhållande till ljusstyrkan. Det är också viktigt att belysningen släcks i lokaler som inte används. Annan källa till värme är kontorsmaskiner och apparater i verksamheten, vilket idag blivit en stor källa till värmeöverskott (Abel, 2008).

3.2 Byggnadens energibalans

Med energibalans eller värmebalans, menas att byggnaden är i balans med utetemperaturen. Det vill säga att tillförseln av energi är lika stor som energiförlusten för byggnaden. För en byggnad utan klimatstyrande installationer består temperaturens jämvikt av förluster genom klimatskärmen, lagring av värme i byggnadskonstruktionen samt den interna värmeutvecklingen (Abel, 2006).

Energibalansen ser ut enligt följande (Warfvinge, 2003):

$$P_{tr} + P_l + P_{vent} + P_{tillförsel} + P_{sol} + P_{int} = 0 \quad (3.2:1)$$

Den slutliga summan blir noll då tillförseln av värme väger upp förluster i byggnader, eller som kan ske i byggnader med övertemperaturer, kylningen väger upp överskottet av värme.

3.2.1 Förluster genom klimatskärmen

Förluster genom klimatskärmen består av dels transmissionsförluster men också luftläckage genom väggar, golv och tak. Transmissionsförlusterna genom klimatskärmen är ofta stora delar av energiförlusten i en byggnad. För att beräkna transmissionsförluster utgår man från

arean av byggnadsdelen och multiplicerar den med byggnadsdelens U-värde vilket skapar ekvationen (Jensen, 2008):

$$P_{tr} = \sum U_j \cdot A_j \cdot (t_r - t_e) \quad (3.2: 2)$$

Förlusterna för luftläckage beror av de olika byggnadsdelarnas täthet. Om luftläckaget för byggnadsdelarna sätts till q (m^3/s) får man ekvationen (Johansson, 2005):

$$P_l = q_{l\ddot{a}ck} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_r - t_e) \quad (3.2: 3)$$

Att beräkna $q_{l\ddot{a}ck}$ är komplicerat att göra korrekt eftersom många faktorer påverkar läckaget. För beräkningar av luftläckaget kan dock vissa förenklingar göras. En ekvation som används av t.ex. beräkningsprogrammet Enorm vid till och frånluftssystem är (Johansson, 2005):

$$q_{l\ddot{a}ck} = 0.05 \cdot k_{l\ddot{a}ck} \cdot A \quad (3.2: 4)$$

$k_{l\ddot{a}ck}$ kan mätas enligt standarden SS-EN 13829 enligt BBR (Boverket¹, 2008). Idag ställs inga krav på högsta tillåtna värde i BBR men äldre krav angavs vid 50 Pa tryckskillnad som 0,8 l/ (s m^2) i bostäder och 1,6 l/ (s m^2) i andra utrymmen (Boverket², 2010).

3.2.2 Intern värmeutveckling

Internvärmen består av värme från apparaturer, belysning och personvärme samt byggnadens värmekapacitet och solinstrålning. Dock är solinstrålningen beräknad separat i balansekvationen. Värmekapaciteten i byggnaden absorberar eller avger värme när konstruktionen inte är i jämvikt med innetemperaturen i byggnaden vilket leder till att ett tillskott eller en förlust av värme fås från värmekapaciteten (Abel, 2008). Den interna värmeutvecklingen utan solinstrålning beskrivs av P_{int} i ekvationen.

Den interna värmeutvecklingen är givetvis inte konstant under dygnet utan kan variera kraftigt. Speciellt i lokaler varierar internvärmen kraftigt beroende på om lokalen brukas eller inte (Rabl, 1992).

3.2.3 Solinstrålning

Solinstrålningen kan utgöra ett väsentligt värmetillskott till en byggnad. Beräkningar av solinstrålningen görs med hjälp av solvinklar för varje enskild timme. Solinstrålningen kan fås från programmet Meteonorm, se avsnitt 3.5. Vid beräkningar av solinstrålningen finns det behov av att titta på kringliggande område och byggnader för att se hur stor del av strålningen som blockeras. Den direkta solinstrålningen blockeras vid skuggning av ett fönster. Vid diffus solinstrålning får man avgöra hur stor del av horisonten som är synlig för att därigenom beräkna den diffusa strålningen på fönstret och dess påverkan (Brown, 1971).

3.2.3.1 Direkt solinstrålning

Solinstrålningen beräknas med hjälp av timvinkeln. Timvinkeln beräknas utifrån Greenwich som är 0 meridianen. För beräkning av sann soltid ligger Sverige (Stockholm) en soltimme efter Greenwich, dvs. 15°. Detta ger följande ekvation för beräkningen av timvinkeln (Brown, 1971):

$$t = \left(K - \frac{k}{60} - 12 \right) * 15 \quad (3.2: 5)$$

Där K är timmar och k är minuter för klockslaget. Vid beräkningar för olika geografiska områden som Malmö gentemot Stockholm kan man variera förskjutningen i minuter (k).

Variabeln deklination innebär vinkeln mellan solstrålningens riktning i förhållande till ekvatorplanet vid sann middag. Man använder samma deklination för varje timme under ett dygn enligt formeln (Da Rosa, 2009):

$$\delta = 23.44 \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{dag - 80}{365.25} \right) \right) \quad (3.2: 6)$$

Med hjälp av framräknade timvinklar och framtagen deklination kan solhöjden beräknas, som är vinkeln mellan solstrålningens riktning och horisontalplanet. Den geografiska latituden för platsen sätts som φ .

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (3.2: 7)$$

Ekvationen för solasymptoten (Brown, 1971):

$$\sin a = \cos \delta \cdot \left(\frac{\sin t}{\cos h} \right) \quad (3.2: 8)$$

Den horisontella vinkeln beräknas utifrån asymptoten och väggvinkeln och sätts som beta (β). Väggvinkeln definieras som v och utgår från söderläge då v är 0 grader, väster 90 grader, öster -90 grader och norr 180 grader. Beta beräknas då enligt följande:

$$\beta = a - v \quad (3.2: 9)$$

Om $|a - v| > 180$ beräknas beta genom:

$$\beta = 360 - |a - v| \quad (3.2: 10)$$

Ytans lutning betecknas med γ . Den sammanvägda vinkeln mot solen blir då enligt följande (Da Rosa, 2009):

$$\cos i = \sin h \cdot \sin \gamma + \cos h \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \quad (3.2: 11)$$

Vid beräkningarna räknas instrålningen mot en vertikal yta ($\cos \gamma = \cos 90 = 0$). Intensiteten hos strålen i strålningsriktningen betecknas I_n , och strålningens intensitet I_{direkt} .

$$I_{\text{direkt}} = I_{\text{sol}} \cdot \cos i \quad (3.2: 12)$$

3.2.3.2 Diffus solinstrålning

Den diffusa strålningen beräknas som en integral över synligheten vid horisonten (dvs. ett område med höga kullar omkring kommer att få mindre diffus strålning än om omgivande ytor är plana) (Brown, 1971).

$$I_{\text{diffusberäknad}} = \pi \cdot I_{\text{diffus}} \int_h^{\pi/2} \sin(2 \cdot h) dh \quad (3.2: 13)$$

Detta ger då vid en fri horisont ($h=0$) ett värde på:

$$I_{\text{diffusberäknad}} = \pi \cdot I_{\text{diffus}} \quad (3.2: 14)$$

Om horisonten är delvis skydd beräknar man hur stor procentandel som är skydd vid integrationen, genom att bedöma horisontens höjd fås ekvationen (Brown, 1971):

$$p \cdot I_{diffusberäknad} = \pi \cdot I_{diffus} \int_{h_p}^{\pi/2} \sin(2 \cdot h) dh \quad (3.2: 15)$$

$$p = \cos^2(h_p) \quad (3.2: 16)$$

Vid vertikal yta blir den diffusa strålningen ett halvklot och får då halva storleken mot den beräknade:

$$I_{diffusvertikal} = \frac{1}{2} \cdot I_{diffusberäknad} \quad (3.2: 17)$$

3.2.3.3 Reflektad solinstrålning

Den mängd sol som träffar marken antingen reflekteras eller absorberas. Beroende på hur området ser ut och vilket material marken är av kan reflektionen öka eller minska. Reflektion av ett större plant område framför byggnaden ger reflektion enligt formeln (Brown, 1971):

$$I_{reflekt} = \frac{1}{2} \cdot r \cdot (I_{diffus} + I_{direkt}) \quad (3.2: 18)$$

3.2.3.4 Total solinstrålning

Den totala solinstrålningen är en summering av den direkta, den diffusa och den reflekterade strålningen.

$$I_{sol} = I_{direkt} + I_{diffus} + I_{reflekt} \quad (3.2: 19)$$

Beroende på fönstertyp beräknas sedan instrålningen genom fönstret enligt formeln (Brown, 1971):

$$P_{sol} = g \cdot A_{fönster} \cdot I_{sol} \quad (3.2: 20)$$

Där g representerar fönstrets genomsläpplighet av värme genom kortvågig strålning och transmittans och I betecknar solstrålningen mot fönstren.

3.2.4 Ventilationsförluster

Under stora delar av året värms ventilationsluften upp innan den tillförs byggnaden. Under vissa sommarmånader kan det däremot vara tillrådligt att kyla ventilationsluften för att undvika övertemperaturer (Abel, 2008). Ventilationen beskrivs närmare i avsnitt 3.3, åtgärder. I energibalans ekvationen definieras ventilationsförlusterna av P_{vent} . För beräkning av frånluftsförlusterna och uppvärmningsbehovet används följande formler (Warfvinge, 2003).

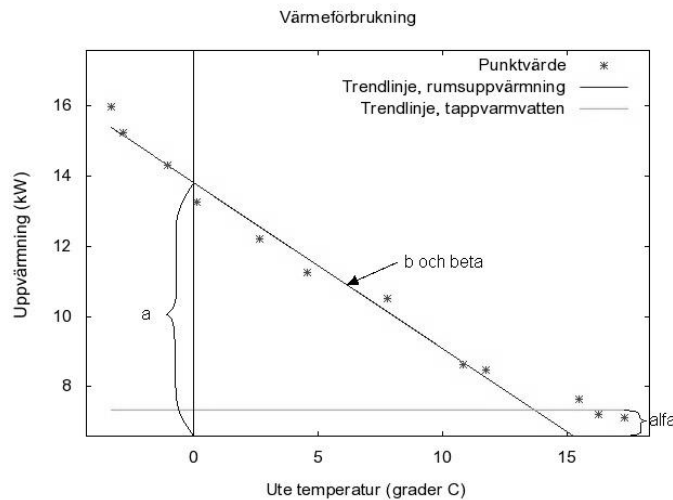
$$P_{ventförlust} = q_{frånluft} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{frånluft} - t_{uteluft}) \quad (3.2: 21)$$

Total effekt för uppvärmning av tilluften, den totala erforderade effekten som krävs är skillnaden mellan tilluften och uteluften:

$$P_{ventuppvärm} = q_{tilluft} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{tilluft} - t_{uteluft}) \quad (3.2: 22)$$

3.2.5 Energisignaturen

Energisignatur på en byggnad fås med linjär regression på byggnadens energianvändning mot utetemperaturen. Exempel på en energisignatur kan ses i figur 3.2-1. Anledningen till det linjära beteendet kommer av att energiförbrukningen kan beskrivas enligt värmebalansen med ekvation 3.2:23. Dock är ett krav att mätdata ska vara uppmätt under tillräckligt långa perioder för att de dynamiska effekterna och svängande förlopp ska kunna försummas, som t.ex. värmelagring (Schulz, 2003).



Figur 3.2-1: Energisignatur på byggnad med a, b, beta och alfa utsatta.

$$P_{tillförd} = \sum_{y_{tor}} (U \cdot A + q_{läck} \cdot \rho \cdot c_p + n_t \cdot q_{vent} \cdot \rho \cdot c_p) \cdot (t_r - t_e) - n(I \cdot A + P_{int}) \cdot P_{vv} \quad (3.2: 23)$$

$$\sum_{y_{tor}} (U \cdot A + q_{läck} \cdot \rho \cdot c_p + n_t \cdot q_{vent} \cdot \rho \cdot c_p) = \text{värmeförluster som är temperaturberoende (W/°C)} \quad (3.2: 24)$$

I figur 3.2-1 motsvarar alfa energin som går åt för att värma tappvarmvattnet och beta motsvarar värmeförlusterna som är temperaturberoende. Ekvationen kan även skrivas enligt ekvation 3.2:25 där + tecknet innebär att differensen sätts till noll om värdet blir negativt (Schulz, 2003):

$$P_{tillförd} = \alpha + \beta(t_b - t_e)_+ \quad (3.2: 25)$$

Omskrivet enligt räta linjens ekvation, $y = a + bx$, så fås att $\alpha + \beta \cdot T_{balans} = a$ och $\beta = b$. Felkällor som kan uppkomma när man använder energisignaturmodellen för att uppskatta värmeanvändningen kan vara (Schulz, 2003):

- Ej injusterat värmesystem
- Användarnas beteende
- Solinstrålningen, gäller även i kalla klimat
- Byggnadens dynamiska beteende
- Infiltration beroende på temperaturdifferenser eller vindpåverkan

- Statistiska, systematiska och slumpmässiga fel
- Minsta kvadratmetoden, när störningar finns på datamaterialet och störningarnas medelvärde är skilt från noll eller där variansen inte är konstant
- Feldefinierad modell, variabler som är väsentliga är utelämnade
- Mätfel

När energisignaturmodellen används på lokalbyggnader så påverkas även energisignaturen av om det är stora skillnader mellan olika perioder vad gäller internvärmeproduktion. Detta kan gälla under helger och semestertider när det inte är personer i lokalerna. Dock har de flesta byggnader månadsvis mätning av energin så specifika dagar går inte att urskilja i mätningen. Detta går att lösa genom att använda en frekvensfunktion som anger hur många dagar under månaden som det finns personer i lokalen i förhållande till det totala antalet dagar. Energisignaturen kommer då beskrivas av olika uppsättningar av a- och b- värden beroende på om det är personer där under dagarna eller om det inte befinner sig personer där (Rabl, 1992).

Energibalansen går även att använda vid kylning av byggnad för att bedöma energianvändningen. När det gäller kylanvändningen är det dock bättre att göra regressionen mot utetemperaturen multiplicerad med relativa fuktigheten för att uppnå en hög determinationskoefficient på regressionen (Yu, 2005).

3.3 Energiåtgärder

Det finns flertalet olika energibesparingar man kan utföra för att förbättra en befintlig byggnation och spara energi. Det har valts att ta upp sex olika åtgärder vilket är samma åtgärder som kommer användas senare i modellen som tas fram i rapporten. Många av de valda åtgärderna har även en viss inverkan på inomhusmiljön.

3.3.1 Fönster

Fönster som oftast har betydligt högre U-värde än omkringliggande ytterväggar vilket orsakar extra värmeläckage. Detta gör att det kan vara tillrådligt att byta ut äldre fönster mot nyare mer energisnåla sådana. Effekten av ett fönsterbyte påverkar både energiåtgången i byggnaden och inomhusmiljön. Nya fönster medför mindre transmissionsförluster vilket minskar uppvärmningskostnaderna. De ger också förbättringar på inomhusmiljön då man minskar kalldraget från fönstret. Tätningen kring fönstret förbättras normalt också vilket minskar läckaget och draget kring fönstret. Dessutom är ljudisoleringen hos nya fönster bättre än hos äldre fönster vilket minskar risken för buller. Innan byte bör dock en kontroll göras för att se om kommunen har invändningar vid byte av fönster eftersom detta förändrar utseendet hos fasaden (Adalberth, 2009). Vid beräkning av värmeförluster genom fönster används ekvation 3.2:2 för transmission.

3.3.2 Tätning

En otät byggnad medför förluster i klimatskärmen och förluster på grund av mindre möjlighet till energiåtervinning. Andra problem som otätheter kan leda till är exempelvis fuktskador och sänkning av den termiska komforten (Sikander, 2007). Läckagen är ofta störst i golvinklar, takvinklar, kring dörrar och kring fönster. Vid läckage i en takvinkel sjunker

temperaturen på omgivande ytor. Detta skapar strålning som sänker den operativa temperaturen i rummet. En otät byggnad släpper också in mycket föroreningar utifrån som påverkar innemiljön, till skillnad från när luften går genom ventilationssystemet där den kan renas. Tätning är en åtgärd som har både ekonomiska och miljöförbättrande effekter. Men om stora delar av tilluften sker genom otätheter finns det risk för att tätning leder till sämre luftomsättning. Det är därför viktigt att det kontrolleras att det finns tillräckligt med ventilation efter tätningen. Dock kan det vara svårt att kalkylera med de miljöförbättrande åtgärderna (Sikander, 2007).

3.3.3 Belysning

Belysningen är i dagsläget en bidragande orsak till övervärme i byggnader. Regeringen kommer under de närmaste åren att göra en utfasning av olika typer av lampor för att skapa en mer energieffektiv belysning. Utfasningen kommer att ske enligt följande schema (Energimyndigheten, 2009¹):

- Förbud mot matta glödlampor, samt klara 100 Watts glödlampor, september 2009
- Förbud mot klara 75 Watts glödlampor, september 2010
- Förbud mot klara 60 Watts glödlampor, september 2011
- Förbud mot klara 50, 25 och 15 Watts glödlampor, september 2012
- Skärpta krav på lågenergilampor och LED- lampor, september 2013
- Skärpta krav på halogenlampor, september 2016

För att utföra en beräkning av möjligheterna att spara energi på att byta belysning är det viktigt att veta vilken typ av belysning man har i dagsläget. Genom att kontrollera vilken typ av armatur och hur många watt lampan använder kan man beräkna elanvändningen samt värmeutvecklingen från lampan (Energimyndigheten¹, 2009).

Vanliga lampor i matt glas samt klarglas kan i dagsläget ersättas med en motsvarande lampa med ett wattal på ungefär en femtedel, dvs. en lampa i klarglas på 60W kan ersättas med en lågenergilampa på 12W (Energimyndigheten¹, 2009). Vid byte till lågenergilampor kan man minska både elanvändningen, den interna värmeproduktionen och därmed även kylbehovet i byggnaden.

3.3.4 Ventilation

Det finns tre olika huvudtyper av ventilation: självdragsystem (S-system), frånluftsventilation (F- system), från- och tilluft (FT- system). Dessutom kan värmeåtervinning installeras. På ett från- och tilluftsventilations system kallas systemet då FTX- system. FT och FTX- system är vanliga i lokalbyggnader. Ventilationen i lokaler används ofta för att ventileras bort överflödigt värme, utöver luftföroreningar, för att skapa en god arbetsmiljö. FT och FTX systemen har större möjlighet att reglera flödena, vilket gör det lättare att kontrollera inomhusklimatet (Adalberth, 2008). För att minska energiförlusterna från ventilationssystemet så kan flödet minskas under tider när ingen vistas i lokalerna, t.ex. utanför arbetstid eller med behovsstyrd ventilation (Abel, 2008). Detta minskar både elanvändningen och uppvärmningen av ventilationsluften. Ett visst grundflöde måste dock finnas i byggnaden, mest för att försöka bibehålla ett undertryck i byggnaden. Ett övertryck kan leda till att luft som innehåller fukt pressats ut i byggnadsskalet där risk finns att fukten kondenseras och ger upphov till fuktskador (Boverket¹, 2008).

SFP

För att göra en bedömning av fläktarnas eller ventilationsaggregatets energieffektivitet beräknas SFP- värdet, som är förhållandet mellan tillförd eleffekt och luftflödet. Om inte effekten är uppmätt så kan standardvärden för SFP användas (Adalberth, 2008).

$$SFP = \frac{\text{Tillförd eleffekt}}{\text{Luftflöde}} \quad (3.3:3)$$

Effektförbrukning för fläkt

Eleffekten i fläktarna är beroende av tre faktorer, SFP-talet, flödet som SFP-talet skattades från och det verkliga flödet. Det innebär att effekten ändras när flödet ändras. Eleffekten är teoretiskt sett proportionell mot flödet i kubik. Praktiskt sett har man dock märkt att verkligheten ligger närmare flödet i kvadrat på grund av förluster i fläktens motor och att fläktens effektivitet inte är konstant (Johansson, 2005).

$$P_{Fläkt} = SFP \cdot \frac{q^i}{q_{SFP}^{i-1}} \quad (3.3:3)$$

Värmeutveckling för fläkt

Den el som fläktarna använder omvandlas till värme och förs med luftflödena. Det leder till uppvärmning av till- respektive frånluft. Ungefär hälften av värmen kan antas värma tilluften och hälften frånluften, vilket leder till följande ekvation (Johansson, 2005):

$$t_{Fläkt} = \frac{P_{Fläkt}}{2q\rho c_p} \quad (3.3:4)$$

3.3.5 Värmeåtervinning

Återvinning av energin från frånluften kan ske antingen med värmeväxlare eller med en frånluftsvärmepump. Vid användning av en frånluftsvärmepump överför man värmen till antingen tappvarmvattnet eller radiatorsystemet. Värmeväxlaren består oftast av antingen en plattvärmeväxlare eller en roterande växlare. Det finns även varianter vid frånluftsvärmepumpar där man kombinerar värmning av tilluften med värmning av tapp- eller radiatorvatten.

Sparad effekt från värmeväxlaren

Verkningsgraden i en värmeväxlare kan beräknas men finns ofta tillgänglig när man införskaffar sin värmeväxlare. För plattvärmeväxlare är temperaturverkningsgraden ca 0,7 och för roterande värmeväxlare kan den vara upp mot 0,85 (Warfvinge, 2003).

Den återvunna effekten från värmeväxlaren beräknas med ekvation 3.3:5.

$$P_{Återvunnen} = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \eta \cdot (t_{frånluft} - t_{uteluft}) \quad (3.3:5)$$

Den återvunna effekten tillförs tilluften vilket innebär att den sparade effekten är lika med den återvunna effekten ifall effektbehovet för ventilationsuppvärmning är högre än den återvunna energin, annars lika med effektbehovet för ventilationsuppvärmning.

3.3.6 Innetemperaturförändring

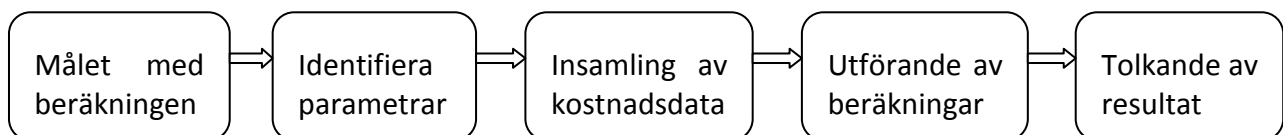
Genom att minska minsta tillåtna innetemperatur minskas även energin som krävs för uppvärmningen. Detsamma gäller för kylning om högsta tillåtna innetemperatur höjs. Ett problem är att den termiska komforten kan försämrats samtidigt, vilket i sin tur kan leda till minskad produktivitet för de som arbetar i byggnaden (Hansen, 1997).

3.4 LCC (Livscykelkostnad)

LCC är en livscykelbedömning av en tillgång där man betraktar hela livslängden. Det innebär att hänsyn tas till intäkter och kostnader under hela livslängden som grundinköp, underhåll, intäkter och skrotvärdet (Nilsson, 1994).

LCC beräkningen ger en uppskattning om hur kostnaderna blir i framtiden. Den ger även en överblick över hur kostnaderna ser ut över livslängden vilket skapar större medvetenhet hos investeraren (Davis Langdon, 2007). LCC kan användas vid bedömning av miljöeffekter bakom en investering, detta tas upp djupare i avsnittet om LCA och även delvis i avsnittet om kalkylränta.

Vid en LCC går flera olika steg och delmoment igenom innan det slutligen görs en analys av det uträknade resultatet (Davis Langdon, 2007).



3.4.1 Risker med LCC

För att göra en korrekt bedömning vid beräkning av en LCC-kostnad är det viktigt att se till olika risker som finns vid bedömningen.

Framtida priser är en osäkerhet som måste beaktas i beräkningar. Genom att använda sig av inflationen tas hänsyn till de ekonomiska förändringarna som valutan genomgår. Priserna hos köpt energi och underhåll m.m. är beroende av utbudet och efterfrågan (Stone, 1967).

En aspekt att ta hänsyn till inom LCC är skatter och bidrag. Staten använder dessa som ekonomiska styrmedel för att driva forskning och utveckling i en önskad riktning (Energimyndigheten¹, 2010).

3.4.2 LCA (Livscykelanalys)

Det finns flera sätt att utföra en LCC beräkning. Ett alternativ till att göra en LCC beräkning är att utföra en LCA beräkning. En LCA beräkning är en mer omfattande LCC beräkning som tar mer hänsyn till miljöperspektivet vid beräkningen. Vid en LCA beräkning görs i så stor utsträckning som möjligt en kvantifiering av de olika miljöeffekterna även om det inte alltid är möjligt (Davis Langdon, 2007). Vid exempelvis inomhusmiljöförbättringar görs en analys av hur stor intäkt som fås av ökningen i produktivitet som sker till följd av förbättringen (Ljung, 1999).

Detta gör att vid användande av LCA fås oftast inte samma resultat som vid en LCC beräkning. Vid analys kan båda metoderna användas bredvid varandra för att ta fram den bästa investeringen ur både ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. LCC kan även användas

för att ta fram de bästa ekonomiska alternativen först. Sedan görs en vidare studie på dessa alternativ med LCA för att ta fram det bästa alternativet även ur miljömässig synvinkel (Davis Langdon, 2007).

3.4.2.1 Kalkylränta

Kalkylräntan eller diskonteringsränta är den ränta som definierar avkastningskravet på investeringen. Kalkylräntan består av flera olika delar och är ofta svår att uppskatta eftersom det är svårt att bedöma hur ekonomin kommer att utveckla sig. I kalkylräntan ingår faktorer som inflationen, önskat avkastningskrav och en riskfaktor. Avkastningskravet bedöms ofta mot andra investeringsalternativ, exempelvis placering av kapitalet på banken. Riskfaktorn används för att beakta oförutsedda faktorer som kan uppkomma i framtiden. (Nilsson, 1999). Kalkylräntan kan benämnas som real eller nominell kalkylränta, där nominell kalkylränta är den reala kalkylräntan plus inflation. (Ljung, 2004)

Vid bedömning av kalkylräntan kan även icke mätbara parametrar vägas in. Exempelvis förbättringar på arbetsmiljön, miljövinningar och god publicitet. Detta ger inget direkt ekonomisk vinst men ger vinningar på andra sätt. Därmed kan kalkylräntan sänkas vid dessa bedömningar (Ljung, 2004). En metod för väga in miljöpåverkan är att kalkylräntan sätts beroende på miljöpåverkan av investeringen (Gluch, 2003). Kalkylräntan kan då delas in i tre olika grupper. En grön kalkylränta som sätts lågt om investeringen har en bra miljöpåverkan, gul kalkylränta om det har mindre bra miljöpåverkan och röd för investeringar som har sämst miljöpåverkan.

3.4.3 Nuvärdesmetoden

Nuvärdesmetoden, även kallad kapitalvärdesmetoden, används för att beräkna den totala avkastningen på en investering gentemot investerat kapital beroende av kalkylräntan. Det vill säga det kapital som intjänas utöver kravet på kalkylränta, räknat till dagens penningvärde. Om G betecknar grundinvesteringen, S restvärdet, i kalkylräntan och a är skillnaden mellan de löpande kostnaderna och intäkterna följer formeln (Investeringsbedömning, 1999):

$$Nuvärde = -G + a \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{(1+i)^k} \right) + S \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.4:1)$$

Vid jämförelse mellan olika investeringar så är den investering som ger mest nuvärde den mest lönsamma vid satt kalkylränta och lika livslängd. Vid olika livslängder är det möjligt att beräkna ett restvärde som representerar det resterande värde som finns kvar i åtgärden.

En intressant jämförelse kan vara att titta på hur stor investering som görs i förhållande till intjänat kapital. Man använder sig därför också av kapitalvärdeskvot som är kapitalvärde per investerad krona vilket ger ekvationen (Ljung, 2004):

$$Nuvärdeskvot = \frac{Nuvärde}{Grundinvestering} \quad (3.4:2)$$

3.4.4 Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden används för att beräkna det årliga överskottet för en investering, vilket kallas annuitet. Vid jämförelser räknas den investering som ger högst annuitet per år som den bästa investeringen (Ljung, 1999).

Vid användning och jämförelse av alternativ med olika livslängd bygger annuitetsmetoden på att man har eviga återköp. D.v.s. att när en livslängd har löpt ut för ett alternativ återköps detta med samma startparametrar som den hade första gången. Detta innebär att en direkt jämförelse mellan olika annuiteter kan göras (Ljung, 1999).

3.4.5 Pay – Backmetoden

Pay – backmetoden bygger på att beräkning görs för hur lång tid det tar för en investering att återbetala sig, det vill säga det antal år det tar innan en investering ger vinst. Den tar dock ingen hänsyn till storleken på vinsten som görs med investeringen. Beräkningen utförs med nuvärdet satt till noll och med fast kalkylränta. Restvärdet tas inte med i beräkningen om dess ekonomiska livslängd inte är uppfylld (Nilsson, 1993). En svaghet med metoden är att inte hänsyn tas till vad som händer efter att återbetalningstiden är uppfylld (Ljung, 1999).

3.4.6 Internränta

Vid internräntemetoden beräknas internräntan vilket jämförs med önskad kalkylränta. Detta görs genom att nuvärdet ansätts till noll (Nilsson, 1993). Detta ger internräntan, vilket är den högsta kalkylräntan då investeringen fortfarande är lönsam.

$$Nuvärde = -G + a \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{(1+r)^k} \right) + S \frac{1}{(1+r)^n} = 0 \quad (3.4:3)$$

Risken med metoden är att orimligt höga internräntor kan fås vid vissa investeringar. Den framräknade internräntan bygger på att det intjänade kapitalet kan investeras till samma höga ränta. Detta leder till att väldigt lönsamma kortsiktiga investeringar kan vinna fördel gentemot mer moderata långsiktiga investeringar. Ett annat problem är att om det sker teckenförändringar i beräkningsserien finns det risker för att flera olika internräntor fås fram (Ljung, 1999).

3.5 Använda program och data

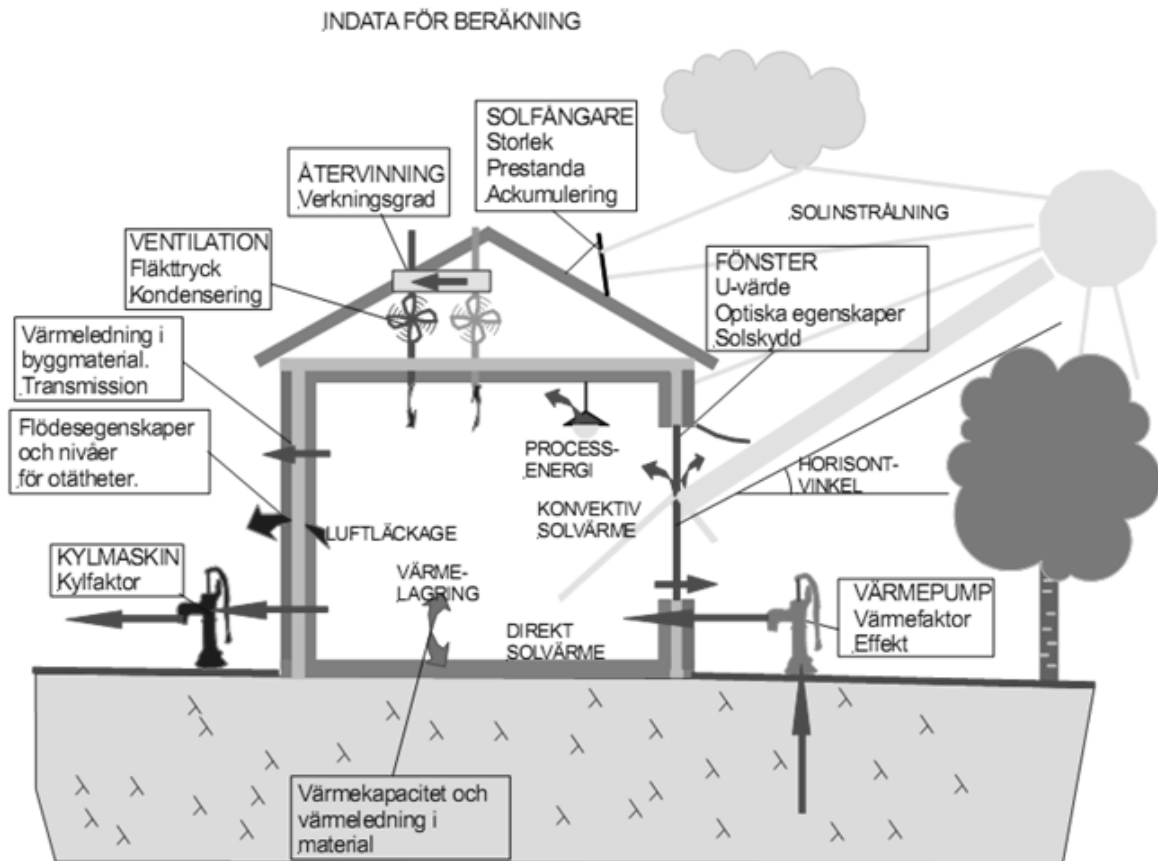
Nedan beskrivs använda statistiska informationskällor från Meteororm, Repab underhållskostnader och Sektionsfakta samt programmet Vip+.

3.5.1 Meteororm

Meteororm är ett program innehållande klimatdata producerat av företaget Meteotest. Klimatinformationen bygger på mätningar gjorda av 8 055 olika väderstationer runt om i världen. Väderstationerna mäter lufthastighet, nederbörd, temperatur, luftfuktighet och solstrålning. Mätningarna har pågått mellan åren 1961-1990, 1996-2005. Genom interpolation kan programmet även beräkna sannolika värden för områden som saknar väderstationer (Meteororm, 2010).

3.5.2 Vip+

Vip+ är ett datorbaserat verktyg för energiberäkningar på bostads och lokalbyggnader producerat av företaget Strusoft. Vip+ tar hänsyn till energiflöden enligt bilden nedan vid beräkning av energianvändningen:



Figur 3.5-1 Energiberäkningsmodell för Vip+ (Strusoft² 2009)

Programmet arbetar efter en dynamisk beräkningsmodell vilket betyder att programmet gör en ny uträkning för varje timme under ett år (eller kortare perioder om man vill). Vid beräkning används klimatdata från byggnadens ort, vilket getts ut av företaget Meteotest (Strusoft¹, 2010).

Vid inmatning av data krävs omfattande kunskap om byggnaden och dess system. Samtliga väggar/golv/tak etc. ska matas in korrekt med U-värden, luftgenomsläplighet, solabsorption samt flödesexponent. Dessutom måste samtliga system matas in, exempelvis värmesystem, solskydd, ventilation, och kylsystem. Dessutom krävs flera parametrar som exempelvis lägsta och högsta inomhustemperatur innan värme- respektive kylsystemet träder i kraft (Strusoft², 2010).

Vid energiberäkningar fås viktiga nyckeltal, exempelvis byggnadens U-värde samt energiåtgången under året, timme för timme eller samlat på längre perioder (Strusoft², 2010).

3.5.3 Repab underhållskostnader och sektionsfakta

Repab underhållskostnader och sektionsfakta är böcker innehållande sammanställt material från byggbranschen där cirkapriser för investeringen, underhållskostnader och kostnader för vissa ingrepp i byggnaden, anges. Detta ger ett statistiskt underlag för att utföra ekonomiska kalkyler. Sektionsfakta ges ut av Wikells byggberäkningar AB och finns för närvarande för nybyggnad, ROT, EL och VVS. Böckerna omarbetas och ändras vartannat år (Wikells, 2010). Repab är ett konsultföretag som även ger ut programvara och faktaböcker om ekonomisk data för fastigheter och byggnationer. Böckerna innehåller information som exempelvis underhållskostnader, investeringskostnader och förväntad livslängd för installationen (Repab, 2010).

3.6 Energideklaration

Sedan oktober 2006 finns det lag på att varje byggnad med en golvyta större än 1000 m² ska ha gjort en energideklaration. Energideklarationen ska innehålla information om byggnadens energiprestanda och information om det finns möjlighet att förbättra denna utan att försämra inomhusmiljön. Rekommendationer ska ges på de kostnadseffektiva energiförbättringarna. En energideklaration ska göras var tionde år, och får enbart utföras av en ackrediterad juridisk person, ex. ett företag (Lag: 2006:985).

Vid utförandet av en energideklaration är det viktigt att inhämta korrekta fakta kring byggnaden från ritningar och andra dokument som exempelvis OVK- protokoll, driftskort och radonmättningsprotokoll (Adalberth, 2008).

3.6.1 OVK- protokoll

Vid kontroller av ventilationssystem använder man sig av OVK- protokoll (obligatorisk ventilationskontroll). OVK protokollet skall innehålla mätvärden och information om byggnadens ventilationssystem. Den ska även innehålla en analys om ventilationssystemets funktion (Förordning: 1991:1273).

3.7 Regressionsanalys

Den enklaste formen av regression är att anpassa en rät linje till ett datamaterial. Linjen anpassas för att kunna förutsäga hur ett värde beror av en parameter. En rät linje går alltid att anpassa till ett datamaterial oavsett om det verkligen finns ett linjärt samband eller inte. Om det finns linjärt samband går det att undersöka med korrelationsanalys. Linjens ekvation beskrivs av ekvation 3.7:1 (Gunnarsson, 2002).

$$y = a + bx \quad (3.7:1)$$

För att anpassa en linje till ett datamaterial så används ofta minsta kvadratmetoden. Minsta kvadratmetoden innebär att a och b anpassas så att kvadratsumman blir så liten som möjligt. Kvadratsumman beskrivs med ekvation 3.7:2 (Körner, 2000).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3.7:2)$$

Korrelationskoefficienten (r) vid linjär regression mäter hur väl datamaterialet överensstämmer med det linjära sambandet. Korrelationen mäts med ett värde mellan -1

och 1. 1 innebär ett positivt linjärt samband och -1 innebär ett negativt linjärt samband medan 0 innebär att det inte finns något linjärt samband. Problem kan uppstå vid alltför få punkter. Om en linje anpassas mellan bara två punkterna så kommer ett perfekt linjärt samband att uppstå, dock är det tveksamt om resultatet är tillförlitligt. För att undersöka osäkerheten i sambandet kan ett signifikanstest av korrelationskoefficienten göras (Gunnarsson, 2002).

Determinationskoefficient beskriver hur stor del av variationen som kan beskrivas av den linjära modellen. Vid enkel linjär regression kan determinationskoefficienten räknas fram genom kvadraten av korrelationskoefficienten (r^2) (Gunnarsson, 2002).

Det är inte alltid som ett datamaterial kan beskrivas med en linjär modell. Andra modeller kan vara logaritmiska modeller eller polynomapproximation. Den linjära modellen är en polynomapproximation av första graden (Gunnarsson, 2002).

4 Resultat

I resultatdelen redovisas först den modell som översiktligt tagits fram, efter det redovisas hur ett testprogram fungerar, som bygger på modellen. Sedan görs en analys av energisignaturen i en lokalbyggnad som kommer ligga till grund för utvecklingen av modellen. Därefter kommer en genomgång av de tre delarna i modellen, beräkning av U-värde och internvärme, beräkning av åtgärder med energibalanskvationen och beräkning av ekonomisk data. Slutligen redovisas ett test av modellen på en fiktiv byggnad samt en analys av resultatet. Resultatet presenteras och analyseras ur både ett energitekniskt och ett ekonomiskt perspektiv.

4.1 Modellen och testprogrammet

Modellen som tas fram i denna rapport är tänkt att användas för att analysera energiåtgärder ur energitekniskt och ekonomiskt perspektiv. Indata som används ska vara lätt att tillgå från energideklarationen, OVK- protokoll och grundläggande data för huset. Detta skiljer denna modell från andra beräkningsprogram som finns på marknaden, som kräver mycket mer omfattande indata. Detta innebär samtidigt att den endast fungerar på befintliga byggnader i drift. Modellen kan delas in i tre delar:

- beräkning av genomsnittligt U-värde och internvärme
- beräkning av åtgärder med energibalanskvationen
- beräkning av ekonomisk data

För att testa modellen skapas ett testprogram som bygger på modellen, som sedan testas på fiktiva byggnader skapade i beräkningsprogrammet Vip+. Testprogrammet är tänkt att kunna räkna ut en byggnads tappvarmvattenförbrukning, U-värde och internvärme samt jämföra enskilda och kombinationer av energiåtgärder både med avseende på energiförbrukning och på ekonomi.

Det som ofta är tidskrävande vid energiberäkningar i andra program är att skapa modellen för byggnaden med samtliga väggar, golv, tak och övrigt material. Ibland finns inte ens kompletta eller korrekta ritningar att tillgå. Även internvärmeproduktionen i en byggnad kan vara svår att uppskatta. I denna modell fås dessa värden beräknade genom en analys av energisignaturen. Problemet är att samtidigt som endast lättillgänglig indata används så får inte resultaten avvika för mycket från verkligheten. Varje förenkling innebär en risk att resultatet har för stor avvikelse och därmed blir obrukbart.

Den modell som tagits fram använder sig av grundläggande data från ritningarna i form av area på byggnaden, höjd, bredd, längd, fönsterarea, m.m. Dessutom tas data från energibesiktningen som inomhustemperatur, energi för uppvärmning och energi för kylning samt data från OVK- protokollet som flöden, tilluftstemperatur m.m. Genom modellen beräknas sedan byggnadens internvärme, tappvarmvattenförbrukning och U-värdet för byggnadens skal.



Figur 4.1-1 Testprogrammets beräkningssteg

Med denna information är det sedan möjligt att med energibalansen för byggnaden beräkna energianvändningen vid olika energiåtgärder. Automatiskt kan flera åtgärder undersökas och även hur åtgärderna påverkar varandra inbördes kommer att synas i resultaten för uppvärmning, kylning och elanvändning. För de åtgärder som önskas undersökas kommer alla möjliga kombinationer beräknas som kan göras på byggnaden. När energianvändningen är beräknad kan resultatet analyseras ur ett energitekniskt perspektiv.

Genom att ange prisutvecklingen för fjärrvärme, el och inflationen så görs en LCC beräkning med avseende på nuvärdet för att se vilken kombination av åtgärder som är mest lönsam. Även internräntan tas fram för att underlätta en riskbedömning för investeringen. De olika beräkningsstegen för modellen är redovisade i figur 4.1-1.

Testprogrammet är skrivet i programspråket Python och har i dagsläget inget grafiskt gränssnitt. All indata matas direkt in i koden, men i en framtida versioner är det tänkt att ett grafiskt gränssnitt ska utvecklas.

Även om indata som används är tänkt att vara enkel och begränsad är det fortfarande en del parametrar som ska matas in, vilket kan delas in i två kategorier. Första kategorins parametrar beskriver den indata som måste finnas om det aktuella huset, som ventilation, omslutningsarea, fönsterarea mm. Den andra kategorin består av data kring de åtgärder som är tänkta att genomföras på huset, vad gäller tekniska och ekonomiska parametrar. Här ingår även de allmänna ekonomiska parametrarna som kalkylränta, inflation och prisförändringar.

4.1.1 Husdata

För att utföra beräkningarna kommer det att krävas indata för byggnaden. Följande data måste skrivas in i programkoden för beräkning av husets energibalans. Parametrarna är enligt nedanstående lista för byggnaden:

- Den inköpta energin för värme, tappvarmvatten och kyla
- Arbetstider under dagar med arbete under det gångna året
- Byggnadens placering (ort och vridning i förhållande till söder)
- Husets volym, A-temp och omslutnings ytor, det vill säga de ytor som utgör byggnadens ytterskal
- Innetemperatur (lägsta och högsta)
- Husets läckage i l/(s*m² omslutningsarea) vid tryckskillnaden 50 Pa
- Ventilationsdata
- Fönsterdata
- Väderdata från orten (timdata)

4.1.2 Åtgärdsdata

För att göra beräkningar med de olika åtgärderna kommer det att krävas ytterligare information av användaren. För testprogrammet används sex olika åtgärder och kombinationer av dessa. Data som matas in är energitekniska parametrar, som U-värde och flöde. Dessutom behövs de ekonomiska parametrarna initial kostnad, underhållskostnad och livslängd. Endast parametrar för de åtgärder som önskas undersökas behöver matas in.

Möjliga åtgärder är:

- Fönster
- Värmeåtervinning
- Belysning
- Förändring av innetemperaturer
- Minskning eller ökning av ventilation
- Tätning av klimatskalet

4.1.3 Ekonomisk indata

För att göra de ekonomiska beräkningarna krävs information om de olika åtgärdernas kostnader och livslängd. Dessa matas in i testprogrammet och kan uppskattas från Repab Underhållskostnader och Sektionsfakta, detta beskrivs i avsnitt 3.5. I en framtida version av ett färdigt program bör förslag på uppskattad kostnad kunna ges automatiskt. Utöver åtgärdsspecifik ekonomisk indata så måste allmänna parametrar för det ekonomiska läget anges som prisförändringar för el, fjärrvärme samt inflationen vilka kan hämtas från statistiska centralbyråns hemsida. En önskad kalkylränta måste även anges i testprogrammet. Utifrån dessa parametrar kan sedan den mest lönsamma kombinationen beräknas genom att ta fram kombinationen med lägst LCC.

4.1.4 Redovisning av utdata

Utdata fås som listutskrifter i programmet. Bland informationen finns den förändrade energianvändningen, elanvändningen och kylanvändningen i förhållande till grundvärdena för byggnaden. Den innehåller också den LCC som har beräknats för de enskilda åtgärderna samt för de olika åtgärds kombinationerna. Internräntan redovisas också för att underlätta bedömning av de ekonomiska riskerna med en kombination.

4.1.5 Begränsningar med modellen

Den modell som tas fram är endast tänkt som en tidig utveckling av en modell för att testa om resultaten från beräkningar är tillräckligt bra för att vidareutveckling skall vara intressant. Därför har vissa begränsningar satts på de hus som ska undersökas för att underlätta utvecklingen.

- Fast ventilationsflöde över dygnet
- Fast tilluftstemperatur
- Ingen värmeåtervinning
- Fasta innetemperaturer
- Ingen solavskärmning

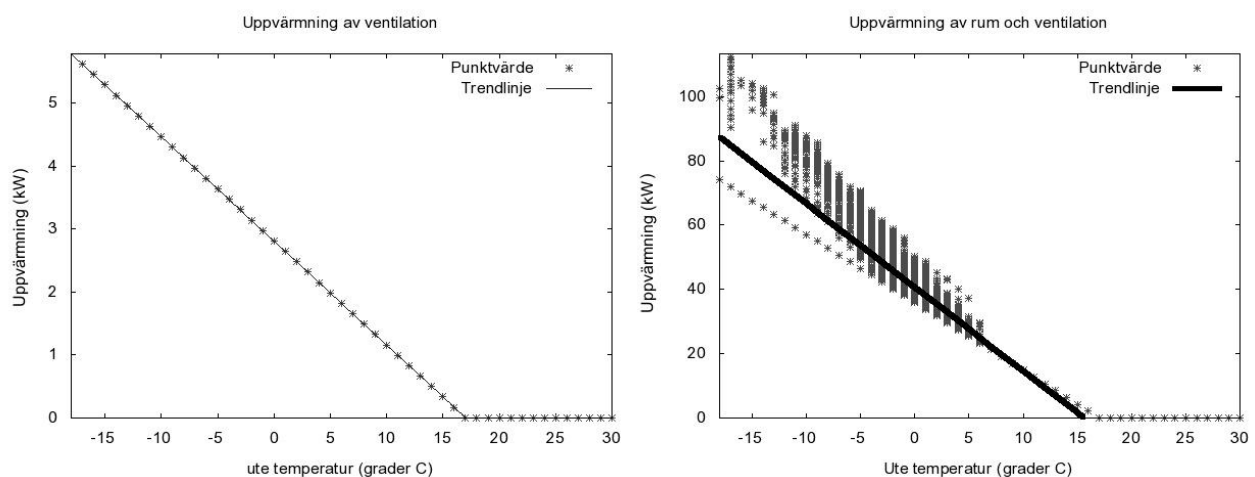
- Öppen terräng
- Ingen hänsyn tas till pannverkningsgrad
- Ingen hänsyn tas till kondensering
- Värmekapacitet beaktas inte
- Uppvärmning sker både under och utanför arbetstid vid någon temperatur

Många av begränsningarna går förhållandevis enkelt att åtgärda vid en vidareutveckling av modellen, vissa är dock mer komplicerade att åtgärda än andra. Begränsningen att uppvärmning måste ske både under och utanför arbetstid vid någon temperatur är dock alltid ett krav, vilket kommer förklaras senare.

4.2 Analys av energisignatur i en lokalbyggnad

Syftet med denna analys är att ta fram en modell för att beräkna internvärmen och U-värdet i en byggnad, vilket görs genom en analys av lokalbyggnadens energisignatur. I teoridelen har energisignaturens uppbyggnad förklarats och hur den varierar beroende av utetemperaturen se avsnitt 3.2. Det som är speciellt med energisignaturen i en lokalbyggnad är att den kan ses som en kombination av flera energisignaturer med olika balanstemperaturer. Detta gäller visserligen även i ett bostadshus, men är tydligare i lokalbyggnader. I detta stycke kommer de olika delarna i signaturen beskrivas som är ventilation, rumsuppvärmning under arbetstid och rumsuppvärmning utanför arbetstid. Det kommer även beskrivas vilka faktorer som påverkar dessa delar och hur de slutligen samverkar till en månadsvis energianvändning. Modeller för att ta fram U-värde och internvärmen behandlas också.

Det finns tre typer av lokalbyggnader när man ser till energisignaturen. Den första är byggnader som inte har någon eller väldigt låg uppvärmning utöver tilluftsventilationen. Den andra är byggnader med uppvärmning utanför arbetstiden men ingen uppvärmning under arbetstid. Samt den tredje är byggnader som har uppvärmning både under och utanför arbetstid. För att visa skillnaderna i energianvändning för de olika typerna så har den timvisa energianvändningen plottats mot utetemperatur i ett punktdiagram under ett år. En trendlinje har även tagits fram med hjälp av linjär regression. De två första fallen kan ses i figur 4.2-1 och det tredje fallet syns till vänster i figur 4.2-2. Tappvattenförbrukningen är borttagen från energiförbrukningen under denna analys för att skapa tydligare bilder. Husen är fiktiva hus modellerade i Vip+ och energidata är hämtad från dessa simuleringar.



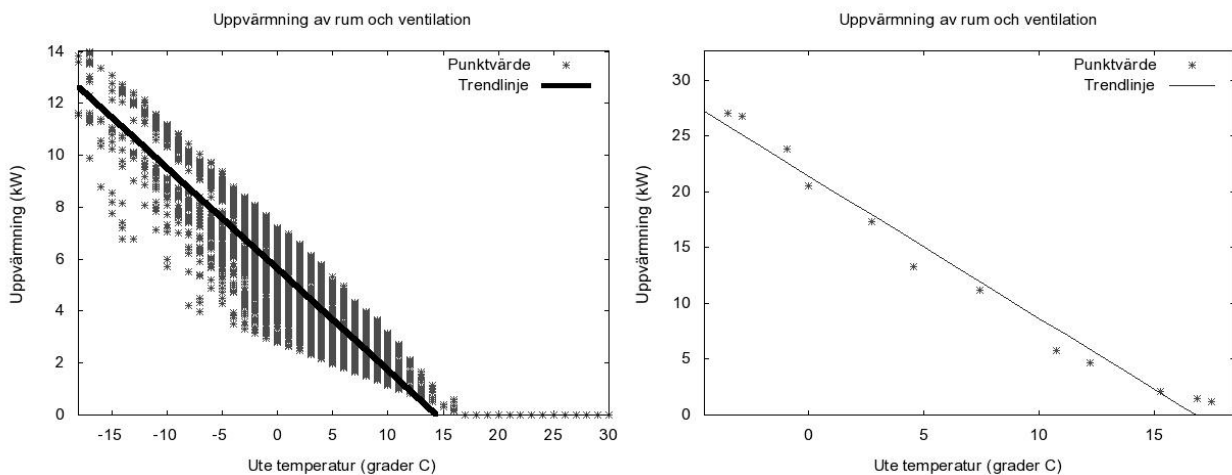
Figur 4.2-1: Till vänster en byggnad där uppvärmningen bara består av ventilationsuppvärmning. Till höger en byggnad där det även är rumsuppvärmning utanför arbetstid.

Det som är avgörande för vilken kategori som byggnaden hamnar i beror på om internvärmerna täcker de värmeförluster som sker genom klimatskalet under året. Om byggnaden har ett värmebehov utöver uppvärmningen av ventilationsluften samt vid vilken period av dygnet uppvärmningen sker så hamnar den i en av de tre kategorierna.

I en lokalbyggnad är internvärmerna ofta stora vilket innebär att det inte är ovanligt att internvärmerna täcker värmeförlusterna. Om lokalbyggnaden inte har någon uppvärmning utöver ventilationen är det troligt att den har en hög användning av kylenergi istället.

4.2.1 Dygnsvariationer och ventilation

Här kommer nu göras en noggrannare analys av ett hus som har både uppvärmning under och utanför arbetstid, vilket även är den typ av hus som testprogrammet senare kommer inrikta sig på. Data för huset finns i bilaga 1. Till höger i figur 4.2-2 visas byggnadens genomsnittliga effektbehov och trendlinje vilket motsvarar energisignaturen för byggnaden.



Figur 4.2-2: Till vänster en byggnad som har rumsuppvärmning under arbetstid och utanför. Till höger är samma byggnad men räknat på månads energianvändning utslaget per timme.

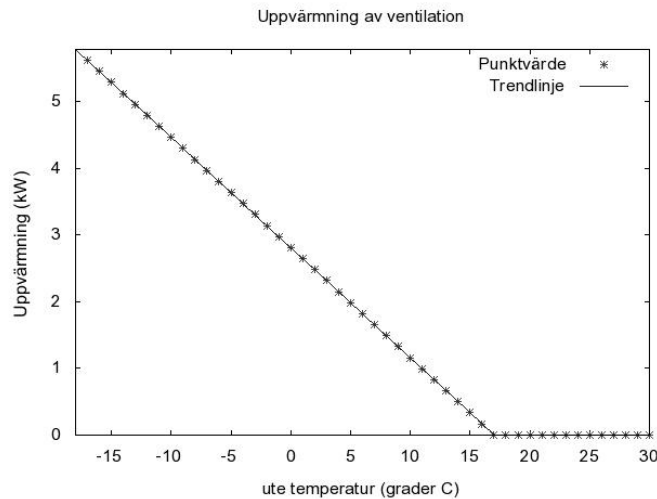
Trendlinjen för månadsvärdena har nästan samma lutning som trendlinjen för timvärden, men värdena är utspridda på ett större temperaturspann. Skillnaden i det större temperaturspannet beror på att de stora temperaturvariationer som uppstår vid timmätning försvinner när ett månadsgenomsnitt tas fram.

Anledningen till att trendlinjerna skär noll vid olika temperaturer beror på att vid beräkning av trendlinjen för timmar ingår inte timmar utan uppvärmning. Men vid regression av månadsvärden räknas även dessa punkter in i de månadsvisa medelvärdena.

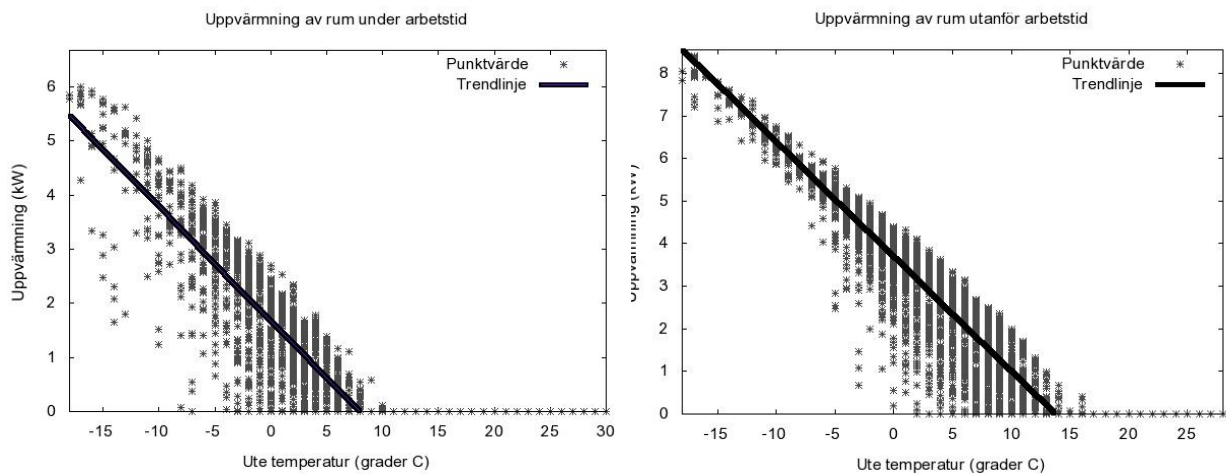
Derivatet av trendlinjerna vid både timvärden och månadsvärden kan användas till att uppskatta de totala värmeförlusterna ut ur byggnaden per timme vid en grads ändring. Detta gäller om det görs ett antagande om att internvärmerna är konstant. Att göra en uppskattning av energiförlusterna ur dessa två trendlinjerna är dock inte helt korrekt i något av fallen. Detta eftersom energisignaturen inte bör uppskattas till en rak linje, vilket förklaras senare.

Mycket av den tillförda värmeenergin till en byggnad används till uppvärmning av ventilationsluften om byggnaden har ett tilluftssystem med krav på minsta temperatur på

tilluften. Denna del är visserligen beroende av utetemperaturen men eftersom den inte påverkas av internvärmerna eller u-värdet, utan endast av ventilationsflödena så kommer denna utgöra en separat del i energisignaturen. I figur 4.2-3 är uppvärmningen av ventilationen visad i ett punktdiagram, denna byggnad har konstant flöde under hela dygnet. Vid beräkningen behandlas inte varierande vatteninnehåll i luften vid olika temperaturer.



Figur 4.2-3: Uppvärmning av ventilationen i byggnaden.



Figur 4.2-4: Rumsuppvärmning under arbetstid till vänster och till höger är rumsuppvärmningen utanför arbetstid.

I figur 4.2-2 över byggnadens energianvändning kunde ses en antydning till två olika trendlinjer vid de kallare temperaturerna. Detta beror på skillnader i internvärmeproduktion utanför och under arbetstid.

I figur 4.2-4 är timvärdena visade i ett punktdiagram med uppdelning under arbetstid och utanför arbetstid, här är effekten för uppvärmningen av ventilationsluften borttagen från kurvan. Trendlinjen för rumsuppvärmning kan användas för att uppskatta U-värdet. Byggnadens U-värde kan uppskattas om antagande görs att internvärmerna är konstant oavsett utetemperatur och att värden för värmeförluster utöver transmission kan beräknas. Med detta antagande så motsvarar rumsuppvärmningen rumsvärmeförlusterna.

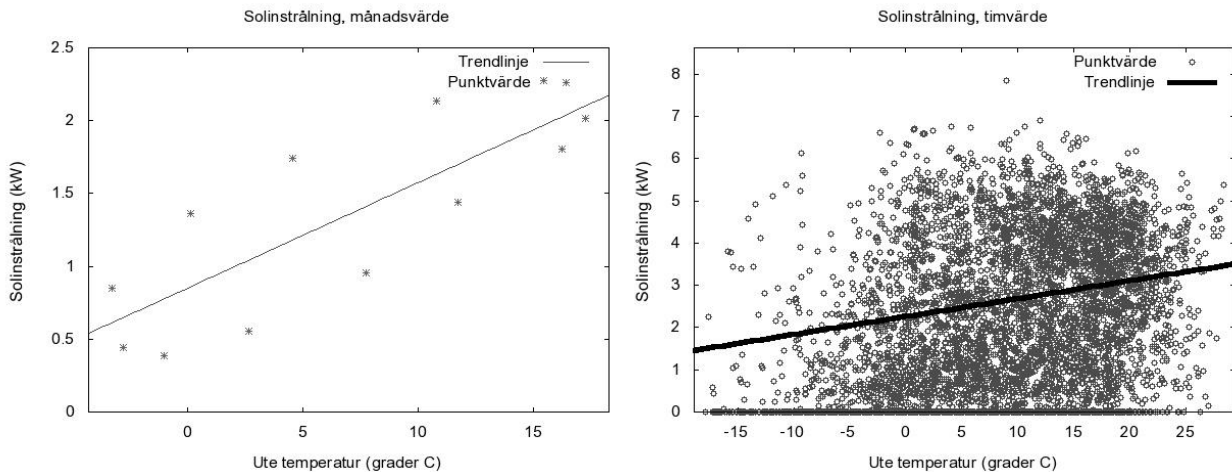
Trendlinjerna och dess derivata för den testade byggnaden kan beskrivas med ekvation 4.2:1 och ekvation 4.2:2.

$$\text{Trendlinjens ekvation (arbetstid): } -0,21 \cdot t + 1,695 \quad \frac{df}{dt} = -0,21 \quad (4.2:1)$$

$$\text{Trendlinjens ekvation (ej arbetstid): } -0,2679 \cdot t + 3,704 \quad \frac{df}{dt} = -0,2679 \quad (4.2:2)$$

Det går att se att derivatan på ekvationerna under arbetstid och utanför arbetstid är förhållandevis lika. Utanför arbetstid så är förändringen i rumsuppvärmning något högre vid en grads minskning av utetemperaturer än under arbetstid.

Den tillförda energin i byggnaden består av in- och utstrålning, uppvärmning, värme från personer, apparater och strålning från varma ytor. Värmeförlusterna består av transmission, läckage, ventilation och strålning till kalla ytor. Dessa delar är inte konstanta mot utetemperaturer under dygnet. Exempelvis varierar innetemperaturen i den simulerade byggnaden mellan 20 och 27 grader, vilket innebär att ytorna i byggnaden avger och tar upp värme vid olika tidpunkter vilket skapar skillnader i hur mycket energi byggnaden använder. Solen tillför även byggnaden värme på ytterväggarna olinjärt över dygnet, men det går även att se antydning till en linjär kurva i förhållande till utetemperaturer över längre tid. Detta gäller även instrålning genom fönster, se figur 4.2-5. Under natten sker motsatsen när värmestrålningen från byggnadens skal och från byggnadens fönster strålar mot himlen och sänker byggnadens temperatur. Vindhastigheten har även ett olinjärt utseende. Detta skapar spridningen runt regressionslinjen vilket även kan ge skillnad i lutning mellan olika delar av dygnet.



Figur 4.2-5: solinstrålningen mot utetemperaturer, till vänster månadsvärden och till höger timvärden, värden från vip+.

Solinstrålningen antas avvika från trendlinjen med en normalfördelning. Detta leder till att under så korta tidsperioder som en timme fås en hög standardavvikelse från trendlinjen, men när det ses till längre perioder så minskar standardavvikelsen. Hänsyn kommer inte att tas till hur de olika faktorerna varierar över dygnet i senare beräkningar. Att solen varierar i förhållande till utetemperaturer kommer dock att beaktas och solinstrålningen kommer att räknas separat i fortsättningen av analysen. Solinstrålningen står troligtvis även för en stor

del av skillnaden i lutning vid rumsuppvärmning under och utanför arbetstid, vilket troligtvis kommer minska skillnaden i derivata dessa emellan.

Solen har en trend att den levererar mer energi när det är varmare utomhus. Då solen ingår i internvärmens så innebär detta att det inte går att anta att internvärmens är konstant. Istället kommer internvärmens exkl. sol antas vara konstant vid perioderna under respektive utanför arbetstid. Detta innebär att rumsuppvärmningen inte motsvarar rumsvärmeförlusterna. Men balanstemperaturen för rumsuppvärmningen motsvarar fortfarande balanstemperaturen för rumsvärmeförluster. För att man ska kunna gå från rumsuppvärmning till rumsvärmeförluster kan man utnyttja någon av dessa två metoder.

- Korrigera rumsuppvärmningen med den tillgodoräknade solenergin.
- Testa olika U- värden tills man finner rätt uppvärmningsbehov.

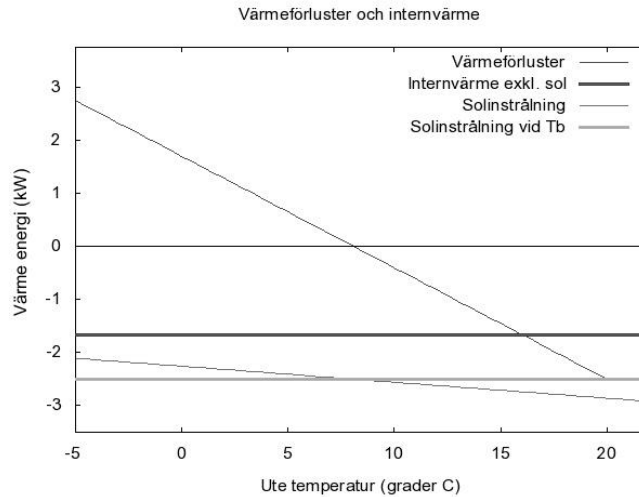
För den första metoden tas det reda på vilken mängd solinstrålning som går att tillgodoräkna byggnaden samtidigt som man har rumsuppvärmning. Detta kan vara problematiskt eftersom det är svårt att uppskatta hur mycket som går att tillgodoräkna sig av solinstrålningen, eftersom mycket av solenergin inte minskar uppvärmningsbehovet utan skapar ett värmeöverskott som måste kylas bort. Den andra metoden bygger på att man endast uppskattar hur mycket sol som kan tillgodoräknas vid de olika balanstemperaturerna. Utifrån detta tas nya balanstemperaturer fram för när internvärmens utan sol täcker uppvärmningsbehovet. Därefter testas olika U- värden, vilket ger olika internvärme och kontrollerar när uppvärmningsbehovet motsvarar det verkliga. Denna metod kommer beskrivas senare i avsnitt 4.3.

4.2.2 Internvärme

En viktig del är uppskattande av internvärmens ur rumsvärmeförlusterna. Internvärmens i byggnaden går att uppskatta genom antagandet att den är energin som täcker rumsvärmeförlusterna vid rumsuppvärmningens balanstemperatur. Eftersom internvärmens delas upp i solinstrålning och övrig internvärme så kan den beskrivas enligt ekvation 4.2:3.

$$\begin{aligned} \text{Internvärme exkl. sol} + \text{tillgodoräknad sol} \\ = \text{Värmeförluster vid rumsuppvärmningens TB} \quad (4.2:3) \end{aligned}$$

För att ta fram internvärmens så extrapoleras trendlinjen för rumsvärmeförluster vid balanstemperaturen till innetemperaturen. Absolutbeloppet av trendlinjens värde vid innetemperaturen är internvärmens, se figur 4.2-6.



Figur 4.2-6: Värmeförluster och internvärme i byggnad. Värmeenergi över 0 är tillförd energi, under 0 är internvärme.

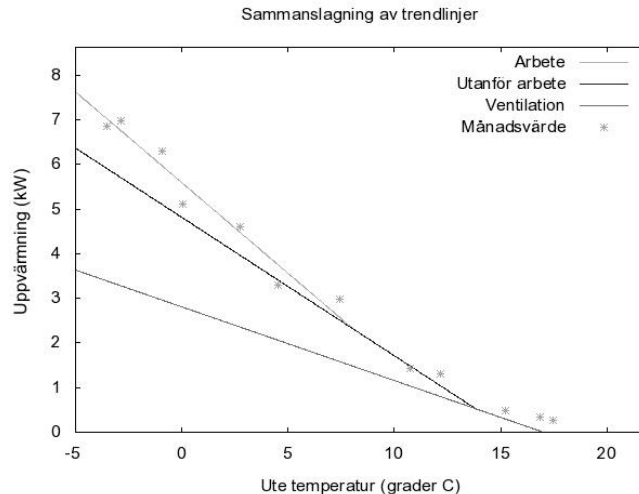
I diagrammet är både solinstrålningen vid balanstemperaturen och solinstrålningen i förhållande till utetemperaturer inritad. Den internvärme som räknas fram är baserad på solvärmens vid balanstemperaturen. Om det uppskattas hur mycket sol det går att tillgodoräkna byggnadens uppvärmning vid balanstemperaturen så kan en ny balanstemperatur för internvärme utan sol beräknas. Den nya balanstemperaturen blir då internvärmens exkl. sol. Internvärmens kan även uttryckas enligt ekvation 4.2:4.

$$\int_{tb_{rum}}^{tr} \frac{df_{värmeförluster,rum}}{dt} dt = Internvärme_{total\ vid\ tb} \quad (4.2:4)$$

I byggnaden kommer det bli två olika fall av internvärme eftersom det finns två olika balanstemperaturer, en för arbetstid och en utanför arbetstid.

4.2.3 Energisignaturen i helhet

När det görs en linjär regression på ventilationen, rumsuppvärmning under arbete och utanför arbete så fås tre olika trendlinjer. Dessa trendlinjer ger tre olika balanstemperaturer. När en uppskattning av energiförbrukningen görs under en specifik timme kommer förbrukningen att vara en kombination av ventilationen och antingen rumsuppvärmning under arbetstid eller utanför arbetstid beroende på vilken timme som uppskattas. Uppskattningen kommer troligtvis avvika ganska mycket från verkligt värde eftersom den har en hög standardavvikelse när det tittas på en enskild timme. Om det istället ses till ett helt dygn så kommer dygnet vara en kombination av alla tre energisignaturerna.



Figur 4.2-7: Sammanlagning av energisignaturerna samt punkter för byggnadens månadsförbrukning per timme i genomsnitt mot ute temperaturen. Med arbete och utanför arbete menas rums uppvärmning.

I figur 4.2-7 illustreras hur denna kombination ser ut i exempelbyggnaden. Här har energianvändning för uppvärmningen viktats i förhållande till arbetstimmar, d.v.s. om α % av dygnet är arbetstimmar så har energisignaturen för uppvärmning under arbetstid multiplicerats med α för att motsvara rätt antal timmar som signaturen påverkar. I figuren är även den genomsnittliga månadsanvändningen medtagen som punkter för att jämföra regressionslinjerna med månadsmedelförbrukningen.

Om det antas att en period, exempelvis en vecka eller en månad, har en genomsnittlig utetemperatur så går det att i figuren uppskatta byggnadens effektbehov under perioden. Detta med förutsättningen att förhållandet mellan arbetstid och utanför arbetstid stämmer med den viktning som gjorts i figuren. Som kan ses i figuren så följer månadsvärdena den sammansatta trendlinjen förhållandevis väl, det vill säga linjen som byggs upp av alla tre trendlinjer. En iakttagelse som bör göras är att vid tre olika utetemperaturer så byter den sammanslagna energisignaturen lutning. Om tilluftens minsta tillåtna temperatur istället varit under balanstemperaturen för rumsuppvärmning utanför arbetstid så skulle kurvorna kommit i en annan ordning men fortfarande bytt lutning två gånger, precis som innan.

För att uppskatta skalets U-värde och internvärmerna i byggnaden ur den månadsvisa energianvändningen så måste rumsuppvärmningen delas upp på ett fall för arbetstid och ett fall utanför arbetstid, efter att ventilationen är bortdragen från den totala energiförbrukningen. Om ventilationen varierar över dygnet så kommer även den behöva delas upp över dygnet. Sedan kan internvärmerna och U- värdet beräknas på det sätt som beskrivits tidigare. Metod för dessa beräkningar kommer att visas i avsnitt 4.3.

4.2.4 Sammanfattning

Lokalbyggnader kan ha tre olika energisignaturer, de som har endast uppvärmning av ventilation, de som även har rumsuppvärmning utanför arbetstid och de som har rumsuppvärmning under hela dygnet. I det sistnämnda fallet så kan energisignaturen delas upp i ventilationsuppvärmning, rumsuppvärmning under arbetstid och rumsuppvärmning utanför arbetstid. Vid regression på dessa delar så kommer det att bli tre olika balanstemperaturer. De två sistnämnda kommer ha stor spridning runt regressionslinjerna

på grund av att olinjära utetemperaturberoende faktorer skapar en påverkan. Om energisignaturen korrigeras för rumsuppvärmning så är det möjligt att beräkna internvärmeproduktionen och U- värdet i byggnaden, förutsatt att övriga värmeförluster är kända. För att beräkna internvärme och U- värdet ur energisignaturen vid månadsförbrukning måste först energisignaturen delas upp i sina tre olika delar. Om en korrigering görs för solens påverkan på rumsuppvärmningen så kan rumsvärmeförlusterna fås för byggnaden. U-värdet kan sedan beräknas ur rumsvärmeförlustkurvan. Internvärmen fås ur integralen av derivatan på funktionen för rumsvärmeförlusterna under och utanför arbetstid, när denna viktats om till att gälla över hela dygnet.

4.3 Modell för beräkningar av U-värde och internvärme

I föregående stycke beskrevs en analys av en energisignaturns olika delar och det nämndes att det är möjligt att ta fram U- värdet och internvärmen ur energisignaturen. I detta avsnitt beskrivs en modell för hur detta kan göras. Modellen är inriktad på att klara av att göra det när energianvändningen är mätt en gång i månaden. Solinstrålningen kommer att avskiljas från internvärmen i metoden. Framtagandet av metoden har gjorts experimentellt vid utvecklande av "testprogrammet". Modellen har testats under arbetets gång på olika byggnader som konstruerats i Vip+ med varierande internvärme, storlek på byggnad och U-värde.

Nedan kommer först beskrivas vilka grundförutsättningar som krävs för utnyttjande av modellen, de olika stegen i modellen, hur och varför de görs och hur internvärmen påverkas av att värmekapaciteten inte beräknas i byggnaden.

4.3.1 Grundförutsättningar

För att denna modell ska gå att använda så krävs att viss information angående byggnaden finns. Om det inte finns att tillgå all data som efterfrågas så kan den uppskattas, men detta kommer att försämra resultaten. Nedan redovisas en lista över vad för data som behövs för att beräkna U- värdet och internvärmen för en byggnad.

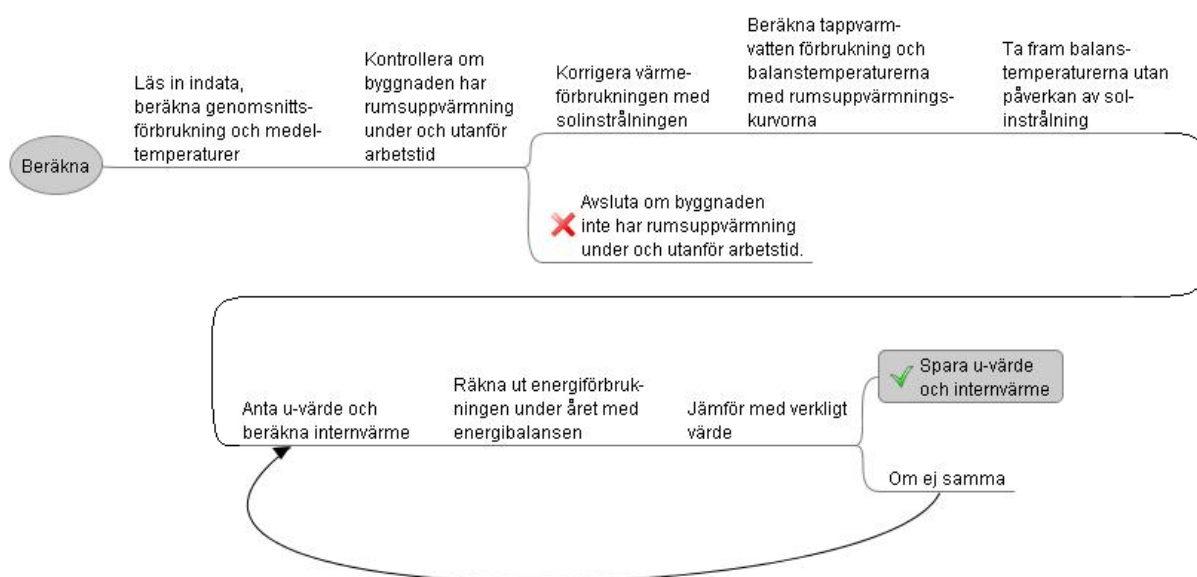
- Energianvändningsdata, värme alt. värme och tappvatten, kyla.
- Arbetstider under det gångna året för olika dagar under en vanlig vecka
- Byggnadens placering
 - Ort
 - Husets vridning i förhållande till söderläge
- Husets
 - Volym
 - Omslutnings ytor, de invändiga ytorna på ytterväggar, golv och tak på byggnaden
- Inne temperatur (lägsta)
- Läckagevärde för byggnadsskalet vid 50 Pa
- Ventilation
 - Flöden
 - Tillufts temperatur
 - SFP-tal

- Fönsterdata
 - Riktning
 - Area
 - g-värde
 - Solavskärmning
- Väderdata från orten, helst för samma år som den använda energidatan (timdata)
 - Ute temperatur
 - Solstrålning (direkt och diffus)

Det är viktigt att det tydligt framgår mellan vilka dagar som periodens energianvändning gäller eftersom energianvändningen kommer att delas med antalet timmar i perioden vilket annars ger fel genomsnitt. Uppskattningen av arbetstiderna är också viktig eftersom den används för uppdelning i olika energisignaturer. I denna del av programmet behövs endast den lägsta innetemperaturen eftersom hänsyn bara tas till uppvärmningen. När det gäller läckagevärdet så kan detta vara svårt att ta fram vilket innebär att värdet kan behöva uppskattas. För ventilationen behövs både till och frånluftsflöden eftersom tilluftsflödena används till att beräkna hur mycket energi som används för att värma tilluften till en miniminivå. För tilluft behövs även minsta tillåtna tilluftstemperatur och fläktens SFP-tal så att fläktens energianvändning kan beräknas. Fönsterdata och husets vridning krävs för att beräkna solinstrålningen. Väderdata från orten ska vara data för varje timme under året, helst för samma år som energianvändningen är från. Om detta inte är möjligt tas ett genomsnitt för de senaste årens väderlek.

4.3.2 Beräkningsmetoden

Modellen för att ta fram U-värdet och internvärmerna är framtagen under tiden som testprogrammet skapats. Det som kommer att beskrivas är därmed hur testprogrammet arbetar för att ta fram U-värdet och internvärmerna, vilket innebär att den ordning som de olika delarna beräknas är beskrivna efter hur de görs i testprogrammet. Vilka steg som genomförs kan ses i figur 4.3:1.



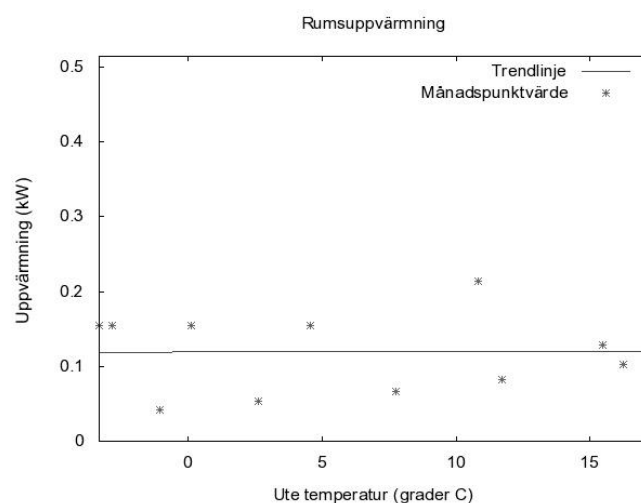
Figur 4.3-1: Beräkningsstegen för beräkning av U-värde och internvärme.

Som förberedelse för att inte problem ska uppstå med att vissa månader eller perioder är längre än andra och därmed använder mer energi så delas all energiåtgång med antalet timmar i varje period så att effektbehovet blir per timme. Perioderna som energianvändningen är angiven för kommer att vara beroende av medeltemperaturen under den tid som energin mätts, vilket innebär att genomsnittstemperaturer över de olika perioderna även beräknas ur väderdata för orten.

Nästa steg är att bestämma om byggnaden har rumsuppvärmning både under och/eller utanför arbetstid. I avsnitt 4.2 beskrevs tre typer av byggnader. Testprogrammet utvecklades så att det klarar att beräkna byggnader där det finns rumsuppvärmning både under och utanför arbetstid. Det är dock viktigt att ta reda på vilken typ av byggnad som energidatan kommer från så att programmet inte beräknar felaktig typ av byggnad och därmed ger missvisande resultat. För att göra detta så kontrolleras följande punkter:

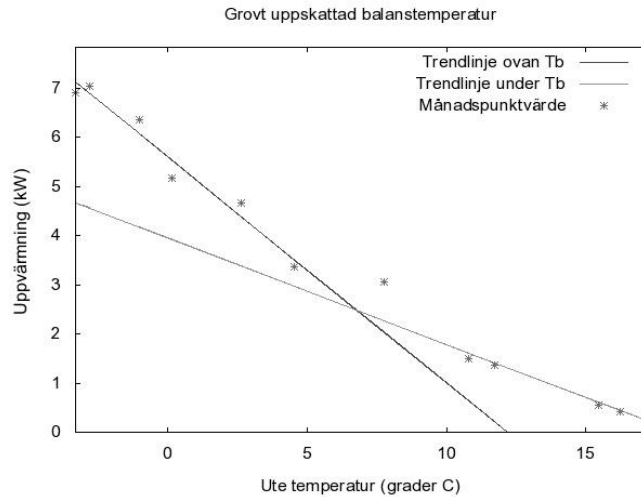
- Har byggnaden någon uppvärmning utöver ventilation?
- Ger en anpassning av månadernas energianvändning med skillnaderna till solens trendlinje förbättrad korrelation vid regressionsanalys?

Punkt ett kan lösas enkelt. Genom att beräkna energin som används till ventilations uppvärmning enligt avsnitt 3.2.4 och dra bort denna energi från den totala uppvärmningen så fås energianvändningen för rumsuppvärmningen samt tappvarmvatten. Om en trendlinje kan anpassas till dessa värden där trendlinjen har en derivata nära noll så har byggnaden ingen uppvärmning utöver ventilationen och tappvarmvattnet. Se figur 4.3-2.



Figur 4.3-2: Byggnad utan rumsuppvärmning.

För att lösa punkt två måste en analys göras på de månader som borde ha uppvärmning både under och utanför arbetstid, d.v.s. de kallaste månaderna. För att få ut dessa månader så testas först att göra en regression där ett antagande görs att det går att anpassa två linjära kurvor till datamaterialet för uppvärmning så att bästa möjliga överensstämmelse med punkterna nås, se figur 4.3-3. Den punkt som fås i skärningen mellan kurvorna antas vara en grov uppskattning av var balanstemperaturen borde ligga när uppvärmning sker både under och utanför arbetstid, se figur 4.3-3. Eftersom balanstemperaturen bara blir en uppskattning så kommer även månader som har en genomsnittlig utetemperatur nära balanstemperaturen att uteslutas.

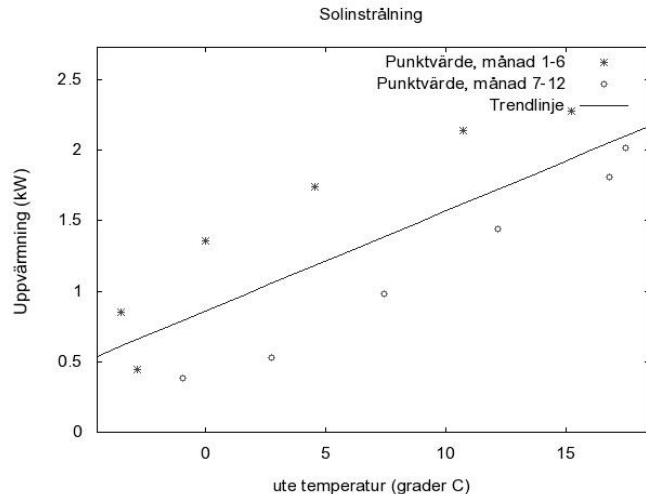


Figur 4.3-3: Grov uppskattning av balanstemperatur när uppvärmning sker under och utanför arbetstid.

Antagande görs att om byggnaden har uppvärmning både under och utanför arbetstiden så sker uppvärmningen i de månader med medeltemperatur under balanstemperaturen. För att kontrollera om antagandet stämmer kontrolleras korrelationen vid regression när en korrigering gjorts för variationen i solinstrålning. För att förklara hur detta görs behövs en fördjupning i solinstrålningens påverkan.

4.3.2.1 Solinstrålningens påverkan

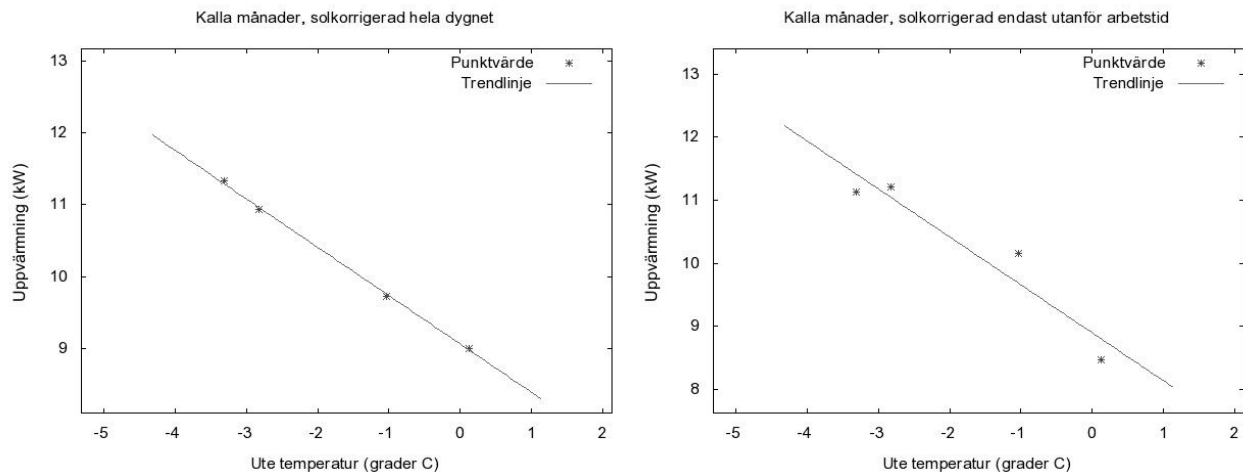
En stor del av skillnaderna som gör att månadsanvändningen avviker från ett linjärt samband kommer från att solinstrålningen varierar mellan olika månader. För att beräkna solinstrålningen används formlerna i avsnitt 3.2 för solinstrålning. Solinstrålningens storlek är beroende av faktorer som exempelvis fönstrens area, byggnadens placering och byggnadens vridning. I figur 4.3-4 är solinstrålningens genomsnittliga energitillskott genom fönstren insatt i ett punktdiagram mot utetemperaturen och en trendlinje är anpassad till solinstrålningen. Vad som tydligt kan ses är att solinstrålningen avviker förhållandevis mycket från trendlinjen under stora delar av året. Nästan alla punkterna ovan trendlinjen är från den första halvan av året och de punkter som är under trendlinjen är från andra halvan av året. Det innebär att det finns tydliga variationer under årets olika månader.



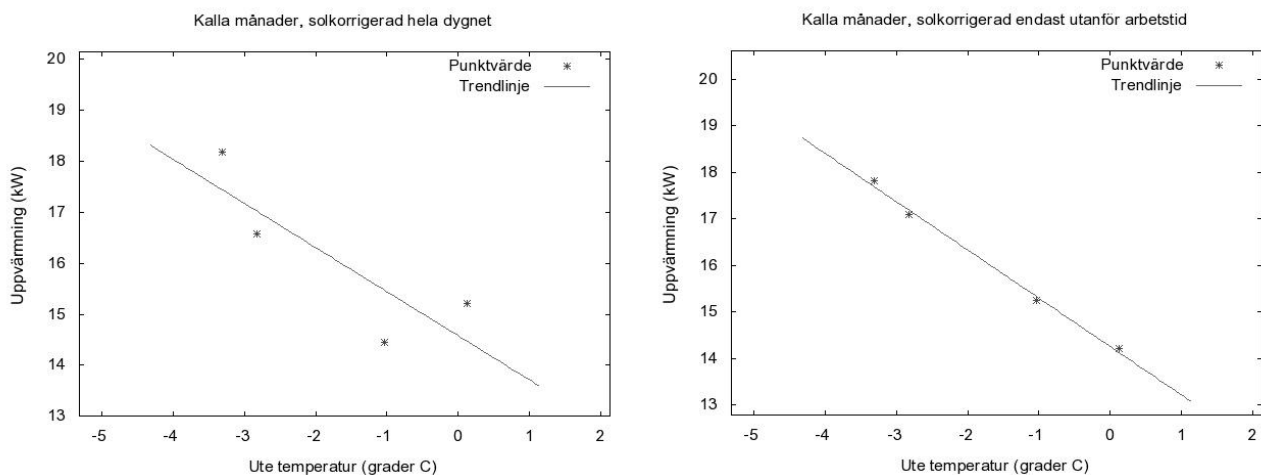
Figur 4.3-4: Trendlinje för solinstrålning och månadsvärden uppdelat mellan årets två halvår. Resultaten är tagna från beräkningsprogrammet VIP +

Om skillnaden beräknas mellan solens trendlinje och månadspunkterna så fås hur mycket solinstrålningen avviker från ett linjärt samband mot utetemperaturen under en specifik månad. Detta kan utnyttjas genom att skillnaden adderas till energianvändningen om punkten är över trendlinjen och subtraheras om punkten är under trendlinjen. Detta skapar ett ökat linjärt samband om byggnaden har uppvärmning under arbetstid. Om den inte har uppvärmning under arbetstid kommer detta att innebära att det görs en korrigering för solenergi på värden som inte är påverkade av solenergin, eller av bara en liten del solenergi. Utanför arbetstid innebär inte att ingen sol skiner utan kommer att korrigeras med den sol som finns utanför arbetstiden. I figur 4.3-5 har korrigering gjorts med sol som tillförs byggnaden under hela dygnet, i den vänstra bilden, och bara med sol utanför arbetstid i den högra bilden, på en byggnad som har uppvärmning både under och utanför arbetstid. I figur 4.3-6 har samma sak gjorts i en byggnad som bara har uppvärmning utanför arbetstid.

I vissa byggnader kommer korrigeringen att överkompensera med solinstrålning trots att uppvärmning sker eftersom byggnaden inte kan utnyttja all solinstrålning utan bara en viss procent av solinstrålningen. Därför måste solinstrålningen minskas till den mängd som kan tillgodoräknas med en viss procentkonstant. Genom att automatiskt testa flera värden på procentkonstanten och sen korrigera energianvändningen med den reducerade solen så fås olika determinationskoefficienter vid regressionsanalysen. Den konstant som ger högst determinationskoefficient motsvarar den del sol som kan tillgodoräknas. Samma sak görs med referensfallet med antagandet att bara uppvärmning sker utanför arbetstid. Om den högsta determinationskoefficienten fås vid solkorrigering med antagandet att uppvärmning sker under hela dygnet så har byggnaden uppvärmning under och utanför arbetstid vid de kalla månaderna. En viktig sak att kommentera här är att denna modell fungerar bra på testhus från Vip+, men problem kan möjligtvis uppstå vid tester på verkliga byggnader.



Figur 4.3-5: Solkorrigering av byggnads energiförbrukning, med uppvärmning bara utanför arbetstid, under de kalla månaderna. Till vänster korrigering under hela dygnet, till höger korrigering utanför arbetstid.



Figur 4.3-6: Solkorrigering av byggnads energiförbrukning, på byggnad med uppvärmning under hela dygnet, under de kalla månaderna. Till vänster korrigering under hela dygnet, till h. korrigering utanför arbetstid.

Exempelvis är inte den interna värmen, som personvärme, lika konstant som i Vip+. Dessa olinjära faktorer kan göra att en undersökning av solkorrelation påverkas av de olinjära delarna vilket gör att testet ger okorrekta resultat. Detta är något som måste undersökas innan modellen används på riktiga byggnader.

När det konstaterats att datamaterialet har rumsuppvärmning under och utanför arbetstid så är nästa steg att korrigera hela energianvändningen med solen. En metod är att korrigera med reducerad sol under hela dygnet de månader som ligger under balanstemperaturen och endast sol utanför arbetstid för månader ovan balanstemperaturen. Men för att förbättra korrigeringen så kan en undersökning göras angående hur stor del av månadernas timmar som verkligen underskrider balanstemperaturen. De timmar som underskrider balanstemperaturen korrigeras med sol under hela dygnet medan övriga timmar bara korrigeras med sol utanför arbetstid. Korrigeringen sker enligt ekvation 4.3:1.

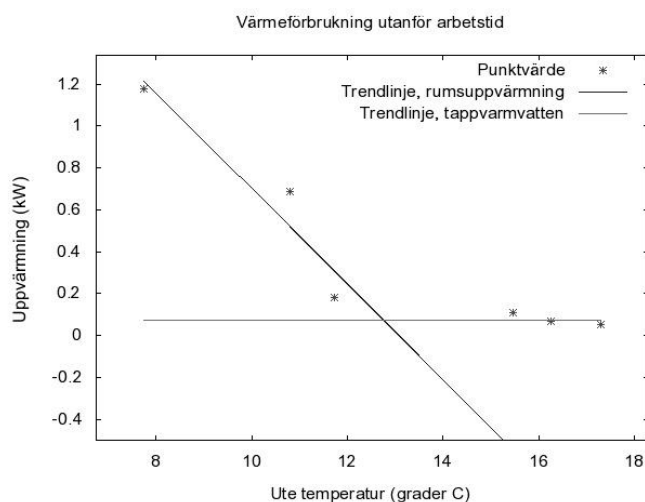
$$\mu \cdot Sol_{dygn} + (1 - \mu) \cdot Sol_{ej\ arbete} + energianvändning = Korrigerad\ energianvändning \quad (4.3:1)$$

Där μ är delen som underskrider balanstemperaturen och Sol är reducerad solinstrålning minus solens trendlinje.

4.3.2.2 Beräkning av rumsuppvärmningskurvor

För det solkorrigerade datamaterialet räknas ventilationen bort enligt avsnitt 3.2. För de månader som har uppvärmning både under och utanför arbetstid görs nu en ny regression. Denna regression kommer att användas för att beskriva rumsuppvärmningen när uppvärmning sker under hela dygnet. På de månader som har genomsnittlig utetemperatur över den uppskattade balanstemperaturen för uppvärmning under arbetstid görs en separat regressionsanalys där en linje tas fram med lutning och en där derivatan är noll, se figur 4.3-7. Linjen med derivata som är noll betecknas med α och ska motsvara energin till uppvärmning av tappvarmvatten. Denna kommer att vara högre än den verkliga tappvattenanvändningen eftersom månadens genomsnittstemperatur är beräknad över ett spann av temperaturer där en viss del av temperaturerna underskrider balanstemperaturen och därmed har uppvärmning. För att räkna bort denna uppvärmning kontrolleras timdata för de månader som har genomsnittstemperatur över balanstemperaturen. Genom att applicera ekvation 4.3:2 på de timmar som underskrider balanstemperaturen görs en uppskattning av hur mycket rumsuppvärmning som skett under månaderna, vilket kan räknas bort från α . Derivatan $\frac{df_{rumsuppvärmning}}{dt}$ är samma som gradienten på regressionen av de kalla månaderna. När väl tappvarmvattnet beräknats, räknas denna bort från energianvändningen eftersom tappvarmvattenanvändningen inte är intressant för U- värdet och internvärmerna.

$$P_{rumsuppvärmning} = \frac{df_{rumsuppvärmning}}{dt} \cdot (t_b - t_e) \quad (4.3:2)$$



Figur 4.3-7: Regressionsanalys på månaderna ovanför balanstemperaturen, den horisontella linjen representerar α .

Skärningen mellan α och trendlinjen är balanstemperaturen för rumsuppvärmning utanför arbete. Ett problem uppstår eftersom man gör regressionen av rumsuppvärmningen utanför arbetstid på väldigt få punkter. Detta innebär att det vid regressionen blir ett högt p-värde, se avsnitt 3.7, vilket innebär en hög osäkerhet för att det framtagna linjära sambandet

verkligen gäller för byggnaden. Eller enkelt beskrivet, om det finns små avvikelser på en månadsförbrukning så kommer detta att ge stora fel vid regressionen. Lösningen på detta är att inte använda själva kurvan utan endast balanstemperaturen som är framtagen. Även balanstemperaturen kommer ha en viss osäkerhet men enda sättet att lösa detta på är att ha kortare intervall än månadsvärden när mätning av energianvändningen görs för byggnaden.

De värden som är framtagna är trendlinjen för rumsuppvärmning när den genomsnittliga utetemperaturen är så låg att det finns rumsuppvärmning både under arbetet och utanför arbetet, samt balanstemperaturen för när rumsuppvärmning börjar utanför arbetstid. Även tappvarmvatten och ventilationsuppvärmning är framräknat, men dessa används bara för att ta fram rumsuppvärmningen och kommer därmed inte behövas mer.

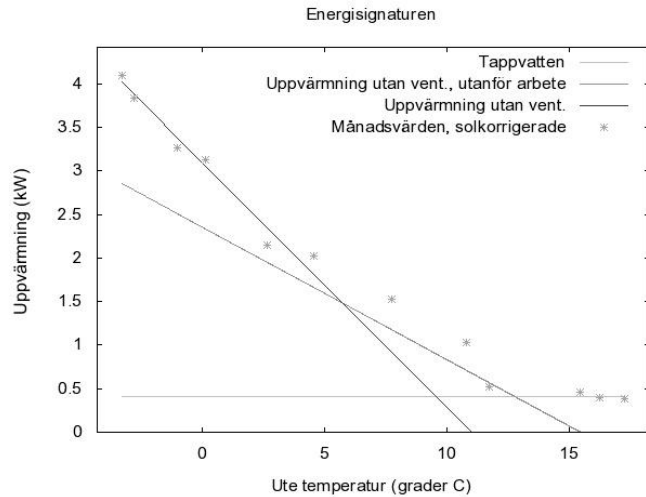
Vad gäller balanstemperaturen för när rumsuppvärmning började gälla både under och utanför arbetstid, som tidigare togs fram, så var denna bara en uppskattning. För att få fram en mer korrekt balanstemperatur så kommer antagandet om att förlusterna som ska täckas av rumsuppvärmning i en byggnad är lika stora både under och utanför arbetstid att utnyttjas. Detta samband togs upp i avsnitt 4.2. Vid detta antagande så kommer derivatan av trendlinjen ovanför balanstemperaturen att ungefär motsvara värmeförlusterna under en specifik timme. För att utnyttja sambandet så måste en viktning göras mellan de olika perioderna om de har olika antal timmar. Ekvationen 4.3:2 visar hur lutningen tas fram på energisignaturen för uppvärmning utanför arbetstid.

$$\left(1 - \frac{\sum \text{arbetstimmar}}{\sum \text{årets timmar}}\right) \cdot \frac{df}{dT_{tot}} = \frac{df}{dT_{utanför arbete}} \quad (4.3:2)$$

Där $\frac{df}{dT_{tot}}$ = trendlinjens lutning (uppvärmning hela dygnet)

Där $\frac{df}{dT_{utanför arbete}}$ = trendlinjens lutning (uppvärmning utanför arbete)

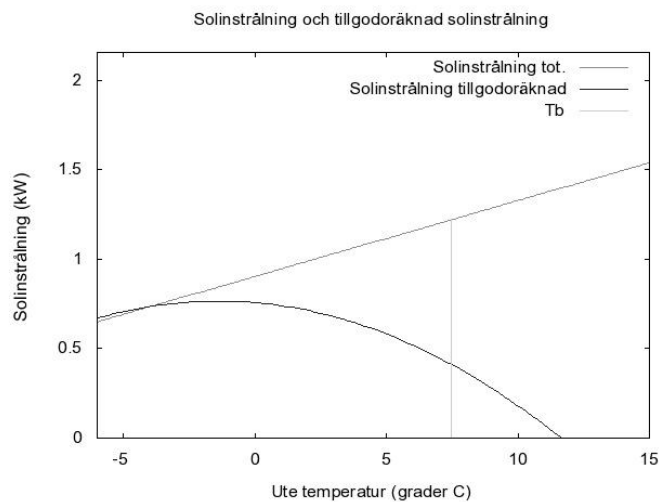
Med lutningen för rumsuppvärmningen och balanstemperaturen utanför arbetstid kan en funktion tas fram för trendlinjen för rumsuppvärmning. Med dessa i kombination med funktionen för trendlinjen när uppvärmning sker under hela dygnet fås balanstemperaturen under arbetstid i skärningen. Se figur 4.3-8 där skärningen visas samt även trendlinjerna för rumsuppvärmning och tappvarmvatten.



Figur 4.3-8: Beräknade trendlinjer för tappvarmvatten, uppvärmning utan ventilation under och utanför arbetstid och månadsvärden för energiförbrukningen.

4.3.2.3 Internvärme utan solinstrålning

Som tidigare nämnts så behöver solinstrålningen avskiljas från övrig internvärme eftersom solinstrålningen inte är linjär mot utetemperatur. Ett problem är att all solinstrålning inte går att tillgodoräkna som uppvärmning. För att kunna räkna bort solen vid balanstemperaturen så måste en uppskattning göras för hur mycket av den reducerade solinstrålning som kan tillgodoräknas vid denna utetemperatur. Om ett antagande görs att temperaturen är under balanstemperaturen för rumsuppvärmning under arbetstid för en specifik arbetstimme så kommer solen att tillgodoräknas, men om temperaturen är över balanstemperaturen (rumsuppvärmningen) så tillgodoräknas den inte, eftersom det då inte finns ett behov av att ha värming med hjälp av sol i byggnaden. Motsvarande antagande görs för en specifik timme utanför arbetstid. Om summering görs av solinstrålningen över månadsperioderna och sen tar fram timgenomsnitt så fås en trendlinje mellan månadsperioderna som kan uppskattas med en andragsradsfunktion. Både fallet med reducerad solinstrålning och tillgodoräknad sol kan ses i figur 4.3-9.



Figur 4.3-9: Solinstrålning under hela året och solinstrålning endast under timmar ovan balanstemperaturen som kan tillgodoräknas vid uppvärmning.

Ur trendlinjen för tillgodoräknad solinstrålning kan en uppskattning göras för hur mycket solinstrålning som kan tillgodoräknas vid balanstemperaturen. Det som nu önskas är att ta fram en ny balanstemperatur som är anpassad till internvärme utan sol. Detta görs med ekvation 4.3:3 om det är under arbetstid och ekvation 4.3:4 om det är utanför arbetstid.

$$Tb_{arbete} \cdot \frac{Sun_{Tb\ arbete}}{\left(\frac{\sum \text{arbetstimmar}}{\sum \text{årets timmar}}\right) \cdot \frac{df}{dT_{tot}}} = Tb_{rum,arbete\ exkl.sol} \quad (4.3:3)$$

$$Tb_{utanför\ arbete} \cdot \frac{Sun_{Tb\ utanför\ arbete}}{\left(1 - \frac{\sum \text{arbetstimmar}}{\sum \text{årets timmar}}\right) \cdot \frac{df}{dT_{tot}}} = Tb_{rum,utanför\ arbete\ exkl.sol} \quad (4.3:4)$$

För att se anledningen till ovanstående ekvationer så kan även figur 4.3-5 studeras. Som nämnts i avsnitt 4.2 påverkar solinstrålningen lutningen på rumsuppvärmningen vilket gör att rumsvärmeförlusterna inte motsvaras av rumsuppvärmningen. Men eftersom balanstemperaturen utan solinstrålning är framtagen så kan nu U- värdet beräknas med balansekvationen i byggnaden vilket är nästa steg.

4.3.2.4 U-värde och internvärme genom balansekvationen

När det ses till värmeförlusterna i en byggnad vid en specifik tidpunkt så fås ekvationen 4.3:5.

$$P_{värmeförluster} = P_{tr} + P_l + P_{vent} \quad (4.3:5)$$

Om man tittar på en specifik timmes värmeförlust till en byggnad så fås ekvation 4.3:6 och energibalansen i byggnaden för att hålla en specifik temperatur blir ekvation 4.3:7.

$$P_{värmeförluster} = P_{rumssuppv.} + P_{int,exkl\ sol} + P_{sol} + P_{vent,värme} \quad (4.3:6)$$

$$P_{värmeförluster} - P_{rumssuppv.} = 0 \quad (4.3:7)$$

Ett problem är att tilluften värms till en specifik temperatur oavsett om det behövs uppvärmning i byggnaden eller inte. Det innebär att rumsuppvärmningen kan vara negativ, alltså att rummen i byggnaden kyls samtidigt som man värmer tilluften. Därför är det vid beräkning av uppvärmning bäst att titta på rumsuppvärmning där ventilationen inte är medräknad, se ekvation 4.3:8.

$$P_{tot,rumssuppv.} = \sum_0^{\Sigma h} P_{värmeförluster} - P_{värmeförluster} + P_{vent,värme} \quad (4.3:8)$$

$$(P_{värmeförluster} - P_{värmeförluster} + P_{vent,värme}) > 0$$

Läckageförlusterna kan beräknas enligt ekvation 3.2:3, ventilationsförlusterna enligt ekvation 3.2:21, solen beräknas enligt avsnitt 3.2 och uppvärmning av ventilationsluften enligt ekvation 3.2:22. Det som inte kan beräknas är effektbehovet för transmissionsförlusterna vilket beskrivs med ekvation 4.3:9 och internvärmerna utan sol vilket beskrivs med ekvation 4.3:10.

$$P_{tr} = U_{skal} \cdot A_{tr} \cdot (t_r - t_u) \quad (4.3:9)$$

$$\int_{TB_{rum\ exkl.sol}}^{Tr} \frac{dP_{rumsvärmeförluster}}{dT} dT = P_{int,exkl.sol} \quad (4.3:10)$$

$$P_{\text{rumsvärmeförluster}} = P_{\text{tr}} + P_l + (P_{\text{vent}} - P_{\text{vent,värme}})$$

$(P_{\text{vent}} - P_{\text{vent,värme}})$ kommer att vara en konstant när utetemperaturen är under balanstemperaturen för rumsuppvärmning om den är lägre än ventilationsuppvärmningens balanstemperatur. Oavsett om så är fallet så ska $P_{\text{vent}} - P_{\text{vent,värme}}$ räknas med i $P_{\text{rumsvärmeförluster}}$. Om U-värdet för skalet är beräknat så innebär detta att både transmissionsförlusterna och internvärmen kan uppskattas. Eftersom det är känt vad den tillförda energin blir under ett år så innebär detta att ett U-värde kan antas och sedan summeras effektbehovet för varje timme under året. Om det beräknade energibehovet är lägre än det sanna energibehovet så höjs U-värdet och en ny beräkning sker. Slutligen fås U-värde och internvärme, när beräknat energibehov är lika med verkligt energibehov. Vid åtgärder på en byggnad som påverkar internvärmen som exempelvis fläktarna i ventilationen eller ändring av ventilationsflöden kan det vara rekommenderat att även bryta ut internvärmen från fläktarna, se avsnitt 3.3 för ekvationer.

4.3.2.5 Värmekapacitet

I testprogrammet som tas fram tas ingen direkt hänsyn till värmekapacitet. Värmekapaciteten ingår istället i internvärmen exkl. sol och denna antas konstant även när åtgärder görs på byggnadsskalet, ventilation eller ändring av innetemperaturer. Men åtgärder på dessa faktorer kommer att påverka värmekapaciteten och därmed förändra internvärmen. Detta kommer innebära att ett fel kommer uppstå när åtgärderna beräknas med konstant internvärme. En metod för att komma runt detta kan vara att efter att ett U-värde är framtaget så läggs värmekapacitet till i ekvation 4.3:5. För att inte öka inmatningsbördan för användaren så kan tre standardfall för invändiga massor i byggnader användas där fallen motsvarar lätt, mellan och tung byggnad. Alternativt så används både ekvationen för kylning och ekvation för uppvärmning för att beräkna ett mer korrekt värde på internvärmen och massan. Två ekvationer och två okända borde innebära att båda går att lösa ut, problem uppstår dock vid vädring. Se avsnittet 5.2 för fördjupning i detta.

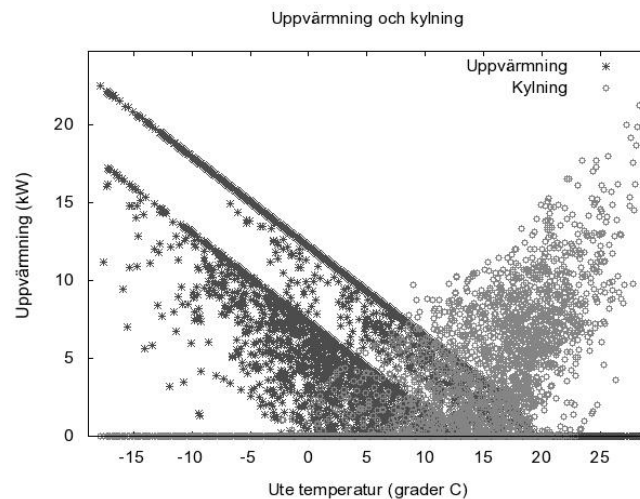
Eftersom ovanstående metod med värmekapacitet inte används i testprogrammet så kommer problem att uppstå när antagande görs att internvärmen är konstant och beräkning av kylbehovet ska göras. Byggnadens temperatur antas inte sjunka under den lägsta temperaturen som accepteras eller stiga över den högsta temperatur som accepteras. Detta innebär att temperaturen i byggnadsmaterialet innanför isoleringen, när det behövs uppvärmning, är antingen minst den accepterade lägsta temperaturen eller högre. Det innebär att värmekapaciteten ger ett positivt tillskott på internvärmen vid uppvärmning och motsatsen gäller vid kylning.

4.3.2.6 Kylning

Om det antas vara samma internvärme vid kylning som vid uppvärmning så kommer kylbehovet att överskattas. Om istället ett antagande görs att internvärmen är i samma proportioner mellan arbetstid och utanför arbetstid vid uppvärmning och kylning så kan internvärmen vid uppvärmning multipliceras med en konstant så att en korrigerad internvärme fås vid kylbehov. Detta beskrivs med ekvation 4.3:11.

$$k \cdot P_{\text{int,uppvärmning}} = P_{\text{int,kyla}} \quad k < 1 \quad (4.3:11)$$

Om innetemperaturen i ekvation 4.3:5 sätts till max innetemperatur i byggnaden och P_{int} ersätts med $k \cdot P_{int,uppvärmning}$ så fås kylbehovet genom att alla negativa tal adderas och övriga sätts till noll. Olika k kommer testas tills ett k ger samma värde för beräknat kylbehovet och verkligt kylbehov. Detta innebär att totalt fyra olika internvärmetal fås, två för uppvärmning och två för kylning. Vad som bör noteras är att den energi som räknas fram är överskottet av värme över 27 grader. I modellen tas ingen hänsyn till hur mycket energi som verkligen går åt för att kyla värmeöverskottet, vilket kommer påverkas av faktorer som kondensering och avdunstning. Rumsuppvärmning och kylbehovet för varje timme framräknat med testprogrammet kan ses i figur 4.3-10.



Figur 4.3-10: Rumsuppvärmning och kylning beräknat i testprogrammet

4.3.2.7 Hus utan rumsuppvärmning under hela dygnet

Modellen i detta avsnitt behandlar bara hus som har rumsuppvärmning både utanför och under arbetstid. Om huset inte har rumsuppvärmning under arbetstid så går det fortfarande att göra en regression på fallet utanför arbetstid och få ut U-värdet samt internvärmen utanför arbetstid, om det görs små modifieringar på metoden ovan. Internvärmen utan sol under arbetstid måste tyvärr anges. Om det inte finns rumsuppvärmning så kommer inte modellen att gå att använda alls, utan då måste internvärmen utan sol och U- värdet uppskattas. Ett problem i modellen är att internvärmen innehåller värmekapaciteten vilken kan vara svår att uppskatta. Om internvärmen ska uppskattas bör modellen vidareutvecklas med värmekapacitet så att användaren slipper uppskatta internvärmen med värmekapaciteten.

4.3.3 Sammanfattning

För att ta fram internvärme och U-värde i byggnaden så behövs grundläggande data från byggnaden, dess energianvändning och arbetstiderna. Modellen för detta är framtagen till att fungera på byggnader som har rumsuppvärmning under och utanför arbetstid under någon del av året. Därför kontrolleras detta för byggnaden som ska undersökas. Det görs genom att kontrollera om derivatan på rumsuppvärmningens energisignatur är skild från noll och om en korrigering med avseende på reducerad solinstrålning under dygnet ger en förbättrad korrelation av månadspunkterna till regressionslinjen. Det innebär att solinstrålning ger tillskott till internvärmen när rumsuppvärmning sker. Att korrigera med

solinstrålning görs genom en regressionsanalys på solinstrålningen. Skillnaden på månadspunkterna för solinstrålningen och trendlinjen från regressionen adderas till energianvändningen. Sedan beräknas rumsuppvärmningen. Genom att göra en regression på de kallaste månaderna så beräknas rumsuppvärmningen under hela dygnet. På de varmare månaderna fås rumsuppvärmning under natten och på de allra varmaste månaderna fås tappvarmvattenanvändningen. Eftersom det finns så få värden att göra regression på för att ta fram rumsuppvärmningen utanför arbetstid så används en frekvensfunktion för att ta fram lutningen på kurvan för rumsuppvärmningen utanför arbetstid från regressionen när uppvärmning sker under hela dygnet. Skärningen mellan tappvatten och rumsuppvärmning ger balanstemperaturen för rumsuppvärmning utanför arbetstid. Skärningen mellan rumsuppvärmningen utanför arbetstid och rumsuppvärmning under hela dygnet ger balanstemperaturen för rumsuppvärmning under arbetstid. Genom att uppskatta solinstrålningens påverkan vid balanstemperaturen och förlänga trendlinjerna för rumsuppvärmningen så fås balanstemperaturer som inte är påverkade av solinstrålning. Med dessa balanstemperaturer kan sedan internvärmerna och U- värdet beräknas ur balansekvationen. Genom att testa med olika U- värden och beräkna rumsvärmeförlusterna, solinstrålningen och internvärmerna och jämföra med rumsuppvärmning som byggnaden haft under det undersökta året så fås U- värdet och internvärmerna för byggnaden när beräknat energibehov motsvarar verkligt energibehov.

Modellen tar inte hänsyn till värmekapaciteten i byggnaden och för att få ut värmekapacitetens påverkan så måste värmekapaciteten beräknas separat efter att internvärmerna och ett medelvärde för byggnadsskalets U- värdet tagits fram. Att inte hänsyn tagits till värmekapacitet innebär att en högre internvärme fås vid uppvärmning än vid beräkning av kylning. Det innebär att separat internvärme måste beräknas när byggnaden har kylning.

Om byggnaden inte har rumsuppvärmning under arbetstid måste internvärmerna uppskattas under just arbetstid. Finns ingen rumsuppvärmning alls så måste en annan modell användas för att beräkna internvärme och U- värde eller så får dessa uppskattas.

4.4 Beräkning av åtgärder med energibalansekvationen

För beräkning av energianvändningen vid olika åtgärder så krävs indata från åtgärderna som påverkar energibalansen. Åtgärderna kommer sedan att beräknas med energibalansen och elen beräknas separat. De åtgärder som kommer behandlas är byte av fönster, värmeåtervinning, byte av belysning, förändring av innetemperaturen, minskning av ventilation och tätning av klimatskalet. Först kommer en beskrivning på vilken indata som behövs, sen beskrivs modellen och slutligen hur åtgärderna påverkar energianvändningen.

4.4.1 Grundförutsättningar

Indata som behövs bygger till stor del på samma indata som vid beräkning av U-värdet och internvärmerna. Indata som behöver kompletteras är i huvudsak åtgärdsspecifik indata. Nedan beskrivs allmän indata som behövs för beräkningen av energibalansen och specifik åtgärdsdata uppdelat på de olika åtgärderna. Endast indata för de åtgärder som önskas göras behöver anges.

För allmän beräkning:

- U-värde
- Internvärme under och utanför arbetstid vid kylning respektive uppvärmning
- Samma ingångsdata som vid beräkning av U- värde och internvärme (periodvis energiförbrukning är dock inte nödvändig)
- Husets A_{temp}
- Innetemperatur (högsta tillåtna)

Specifik åtgärdsdata (indata behövs endast för önskade åtgärder):

- Fönster
 - U-värde på befintligt fönster
 - U-värde och g-värde på nytt fönster
- Värmeåtervinning
 - Verkningsgrad
 - Nytt SFP- tal
 - Frånluftens temperatur (kan skilja sig från innetemperaturen om frånluftskanaler går utanför byggnaden)
- Belysning
 - Belysningens minskning av effektbehov
 - Belysningens användning utanför och under arbetstid
- Förändring av innetemperaturkrav
 - Accepterad min- respektive maxtemperatur
- Minskning av ventilation
 - Flödets minskning
 - Vid vilka tidpunkter flödet minskas
- Tätning av klimatskalet
 - Nytt flöde vid 50 Pa

4.4.2 Modell för beräkning av åtgärder

För att beräkna energianvändningen i byggnaden används energibalansen på samma sätt som beskrevs när internvärme och U-värde beräknades. Vid beräkningen används det framtagna U- värdet och de olika fallen av internvärme för uppvärmning respektive kylning. Vid användningen av energibalansen fås uppvärmningsbehovet och kylbehovet. Uppvärmningsbehovet som beräknades i föregående avsnitt var dock bara rumsuppvärmningsbehovet och rumsuppvärmningen kommer därför kompletteras med ventilationsuppvärmningen för att få det totala uppvärmningsbehovet. Det finns dock en faktor till som påverkar energianvändningen och det är elbehovet. Elanvändningen påverkas vid t.ex. förändring av belysning och förändring av ventilation och kommer därför beräknas separat. För varje separat åtgärd och kombination av åtgärd kommer därmed en beräkning av värmebehov, en för kylbehov och en för el att göras. Modellen för beräkningarna är framtagen vid skapandet av testprogrammet och i texten nedan kommer beskrivning att göras för hur testprogrammet beräknar. Hur beräkningsstegen utförs redovisas i figur 4.4-1.



Figur 4.4-1: Beräkningsstegen för beräkning av energidata

Beroende på vilka åtgärder som är intressanta att beräkna så kommer en lista skapas med alla kombinationer som ska beräknas. Det görs genom att ta fram alla binärtal som representeras av lika många bitar som antalet åtgärder. En bit motsvarar en åtgärd och två möjliga kombinationer, två bitar motsvarar 2 åtgärder och 4 möjliga kombinationer, o.s.v. Lista för 2 åtgärder ser ut enligt nedan.

[0,0]
[0,1]
[1,0]
[1,1]

Den första raden kommer avläsas som att ingen åtgärd görs på byggnaden och beräkningen kommer användas som en referens för hur mycket byggnaden använder innan åtgärder görs. Vid andra raden kommer nödvändig indata att hämtas från en av åtgärderna och husets indata anpassas till de nya förutsättningarna, t.ex. om innetemperaturen ändras från 21 grader till 20 grader så kommer beräkningarna av energibalansen ske med antagandet att innetemperaturen är 20 grader. Innan tredje raden beräknas så kommer husets indata först att återställas till referensfallet och sedan hämtas och beräknas den andra åtgärden. Vid sista raden kommer indata att hämtas från båda åtgärderna innan beräkningen av energianvändningen görs. Resultaten sparas i en lista med kolumner uppdelade på uppvärmning, kylning och elanvändning.

4.4.2.1 Åtgärdernas påverkan på energianvändningen

Vid olika åtgärder kommer förändringar att göras direkt på indata i energibalansen. Nedan beskrivs hur de olika åtgärderna påverkar byggnadens indata i energibalansen.

Vid byte av fönster bryts de gamla fönstrens U- värde ut ur klimatskalets sammanlagda U- värde enligt parallellmodellen för värmetransport. Detta gör att man får fönstrens U- värde som en separat del och övriga klimatskalet som en del. Därefter förs det nya U-värdet in och skalets U- värde beräknas igen.

Värmeåtervinningen beräknas genom att värmeväxlarens värmeåtervinningskoefficient multipliceras med frånluftens energiinnehåll, d.v.s. frånluftens energiinnehåll vid värmeväxlaren, se ekvation 3.3:5. Här måste hänsyn tas till om ventilationskanalerna är dragna utanpå byggnaden så att hänsyn tas till förluster av energiinnehåll innan värmeväxlaren. Den återvunna värmen tillförs värmeväxlaren så länge energiinnehållet är mindre än behovet av uppvärmning av tilluften annars tillförs värmeenergin endast upp till värmebehovet. Ingen kyla återvinns. Genom att införa en värmeväxlare så ökas tryckfallet i ventilationssystemet vilket påverkar elanvändningen. Den nya elanvändningen beräknas via det nya SPF-talet för när värmeväxlare införs. Elanvändningen beräknas enligt ekvation 3.3:3.

Eftersom elanvändningen förändras måste även den nya internvärmens som tillförs ventilationsluften beräknas enligt ekvation 3.3:4.

Med energisnålare belysning minskas internvärmens i byggnaden. Först beräknas hur mycket internvärmens minskas med i hela byggnaden vid annan belysning och sen subtraheras denna minskning från byggnadens internvärme. Internvärmens beräknas minska i samma mängd som effekten på lamporna minskas. Det är här viktigt att beakta minskningen i förhållande till om det är arbetstid eller utanför arbetstid.

Vid förändring av innetemperaturkrav så ändras de tidigare kraven på innetemperaturer till de nya kraven.

Vid minskning av ventilation så kommer ventilationsflödet att förändras. Det är här viktigt om detta görs under eller utanför arbetstid. Förändringen av flödet kommer även påverka elförbrukningen i fläktarna vilken kan beräknas enligt ekvation 3.3:3. Detta innebär, precis som vid värmeåtervinning, att internvärmens som tillförs ventilationsluften måste räknas om.

Vid tätning av klimatskalet så ändras klimatskalets läckagevärde, $k_{\text{läck}}$, vid 50 Pa.

Genom att ändringarna vid åtgärder görs direkt i energibalansen kommer de samverkande effekterna vid flera åtgärder att kunna beaktas när energibalansen beräknas.

4.4.3 Sammanfattning

Indata som behövs för modellen är i stort desamma som vid beräkning av U-värde och internvärme med tillägg för att specifik data behövs för de åtgärder som ska beräknas. För att kunna beräkna alla åtgärderna skapas en binärlista med alla möjliga kombinationer. Vid en specifik åtgärd så läses åtgärdsdata in för den åtgärden och med energibalansen beräknas värme- och kylbehov. Elanvändningen beräknas separat och där beaktas endast förändringen i elanvändning. Varje åtgärd påverkar specifika nyckeltal i energibalansen vilket innebär att hänsyn tas till hur åtgärderna i en kombination påverkar varandra. Alla tre värdena, värmeanvändning, kylning och el sparas i en lista.

4.5 Ekonomisk bedömning

Vid den ekonomiska bedömningen av åtgärderna beräknas LCC och internränta för alla kombinationer av åtgärder. Detta över en period som motsvarar åtgärden med kortast livslängd. Om en livslängd för en åtgärd är längre än den kortaste livslängden så kommer ett restvärde att beräknas för denna åtgärd. Även om det inte blir ett helt korrekt antagande vid beräkningarna kommer restvärdet att antas avta linjärt över hela livslängden. En åtgärd kan ha skrotkostnader när livslängden är slut, dessa har dock valts att inte tas med eftersom ett linjärt samband redan är ett antagande som inte är exakt. En uppskattning av en framtida skrotkostnad skulle bara tillföra mer osäkerhet i beräkningen eftersom den inte kan göras korrekt och vid lång livslängd kommer den ha liten påverkan på resultatet.

Vid beräkandet används nuvärdesmetoden eftersom denna bedöms vara den som är bäst anpassad för att göra en jämförelse mellan olika åtgärdsalternativ. Payback metoden är inte att rekommendera eftersom den inte tar hänsyn till varierande livslängder eller storleken på besparingarna. Annuitetsmetoden är ett alternativ, men har problem vid jämförelse av åtgärderna eftersom de har varierande livslängd. Det innebär att med annuitetsmetoden tas inte hänsyn till osäkerheten som uppstår vid åtgärder med lång livslängd i förhållande till

kort livslängd. Med osäkerhet menas t.ex. att om en värmepanna har en livslängd på 25 år så kan det tänkas att denna behöver förbättras eller bytas ut i förtid eftersom teknikutvecklingen har förbättrats. Även kraftiga prisförändringar mellan olika bränslen till uppvärmning kan innebära att man önskar byta värmepannan. Detta innebär en ökad osäkerhet vad gäller intäkterna vid livslängden 25 år förhållande mot en livslängd på t.ex. 5 år på en specifik lampa där lampan troligtvis har hög effektivitet under hela sin livslängd. Med beräkning med nuvärdesmetoden och restvärde så minskas denna osäkerhet vilket är anledningen att nuvärdesmetoden valts för att jämföra åtgärderna. Internräntan har även valts att beräknas trots att denna inte kan användas för att jämföra kombinationer, eftersom den alltid kommer att ge högst resultat för en enskild åtgärd och inte en kombination. Den är dock ett bra komplement för att bedöma risker i en investering genom att man ser hur hög kalkylräntan är för en specifik kombination vilket kan vara intressant för fastighetsägare.

Vid utförande av den ekonomiska bedömningen har även valts att inte ta hänsyn till så kallade mjuka parametrar, som en åtgärds inverkan på inomhusmiljön. Vid vidare studier hade det varit intressant att införliva detta och lägga in bedömningar om besparingar som görs med exempelvis bättre arbetsmiljö. Om man skulle vilja göra en mer avancerad analys av de olika åtgärderna där man även väger in de olika miljöförbättringarna skulle det vara en möjlighet att anpassa olika kalkylräntor till de åtgärderna, så de får en fördel och då ett högre nuvärde.

För beräkningarna kommer det att användas reala kalkylräntor. Kalkylräntan kan i testprogrammet matas in av användaren som då själv får avgöra vilken kalkylränta som önskas. För testerna som kommer att utföras på referenshuset kommer tre olika reala kalkylräntor att användas vilka är satta till 0 %, 5 % och 10 %, detta för att visa på hur internräntan påverkar valet av åtgärder och jämförelserna mellan dessa.

4.5.1 Grundförutsättningar

Den indata som behövs för de ekonomiska beräkningarna kommer delas in i allmän indata för ekonomiska beräkningar och specifik åtgärdsdata. För specifika åtgärdsdata anges skillnader i kostnader gentemot om ingen åtgärd görs. Exempelvis ifall underhållet är samma för nytt fönster som gammalt fönster så anges inget underhåll.

Allmän indata för ekonomiska beräkningar:

- Kalkylränta
- Inflation
- Prisökning för de olika energislagen:
 - Värme
 - Kyla
 - El

Specifik åtgärdsdata:

- Initialt pris
- Underhåll
- Livslängd på åtgärd
- Livslängd vid ingen åtgärd

4.5.2 Beräkningsmetoden för ekonomisk jämförelse

Metoden för beräkningar kan beskrivas enligt figur 4.5-1. I själva testprogrammet som det är utformat i dagsläget måste skillnaderna i priser beräknas och matas in för hand.



4.5-1: Beräkningsstegen för ekonomiberäkningar

Första steget blir att läsa in vilka åtgärder som ska undersökas. Sedan läses alla livslängder in och lägsta livslängd sparas. Nästa steg blir att hämta den indata som behövs för att beräkna en åtgärds kombination, varav sedan restvärden beräknas så att slutligen LCC kan beräknas. Sedan upprepas detta för nästa kombination. Eftersom summan av de använda energislagen för olika åtgärds kombinationer har räknats fram tidigare så kan dessa läsas in direkt. Initiell kostnad och underhållskostnaderna för olika åtgärder uppskattas genom användning av sektionsfakta och Repab underhållskostnader. Ur Repab underhållskostnader kan även livslängden för olika åtgärder uppskattas. För beräkning av restvärdet kommer ett linjärt samband över åtgärdens livslängd att användas. Restvärdet kommer då att beräknas enligt:

$$\text{Restvärde} = R = \left(\frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Livslängd}} \right) \cdot (\text{Livslängd} - n) \quad (4.5:1)$$

Där n representerar kalkylperioden. Kalkylperioden antas vara den kortaste livslängden för de olika åtgärderna. Genom att beräkna restvärdet så kan i förlängningen åtgärder med olika livslängd kombineras och jämföras. Vid beräkningar kan då en sammanslagning göras av de olika kostnaderna så att livscykelkostnaden fås, se ekvation 4.5:2. Grundinvesteringen betecknas som G och restvärdet av åtgärder som R .

$$\text{Nuvärde} = \sum(G) + \sum \text{underhåll} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{(1+i)^k} \right) + \sum \text{energikostnader} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{(1+i)^k} \right) + \frac{R}{1+i)^n} \quad (4.5:2)$$

På ovanstående sätt beräknas den totala livscykelkostnaden för de olika kombinationerna av åtgärder. Underhållskostnader får i testprogrammet matas in av användaren men kan alltså uppskattas från Repab. I en framtida version kan tänkas att uppskattningar görs direkt från fördefinierade värden i programmet hämtade från Repab underhållskostnader (Repab, 2010) och sektionsfakta (Sektionsfakta, 2010) och detsamma gäller för investeringskostnaderna och livslängderna.

För att ta fram energiprisökningen så antas energipriserna följa en liknande kurva som den haft de senaste åren. Energiutvecklingen kan fås från SCB och exempel på hur energiprisökningen tas fram kan ses i avsnitt 4.6. I modellen har valts att använda tre olika kalkylräntor för att motsvara ett alternativ som är direkt ekonomiskt lönsamt, ett som tar hänsyn till ekonomisk lönsamhet men fokuserar lite extra på miljövänliga alternativ och ett alternativ som sänker energianvändningen extra mycket men ger låg ekonomisk vinst. De reala kalkylräntorna som valts är 0 %, 5 % samt 10 % vilket ger med 3 % inflation ungefär de nominella kalkylräntorna 3 %, 8 % och 13 %. De tre kalkylräntorna kommer att refereras till

grön, gul och röd. Eftersom det är fördelaktigast för samhället i helhet att investera i så många energibesparande åtgärder som möjligt kan det ur samhällsperspektiv vara acceptabelt att investera i en lägre kalkylränta än vad som är ekonomiskt försvarbart i ett normalt projekt. Det är för att beakta detta som de olika kalkylräntorna valts.

För varje kombination av åtgärder läses indata in för de åtgärderna som valts att titta på. Om en specifik åtgärd finns med i en kombination så läses livslängden in för åtgärden samt dess kostnader, annars sätts kostnaderna till noll och livslängden till återstående livslängd på befintlig byggnadsdel. Detta upprepas på alla möjliga kombinationer.

För att beräkna internräntan på kombinationerna av åtgärder beräknas nuvärdet av kostnaderna och besparingarna. Olika räntor testas automatiskt i modellen tills räntan gör att besparingarna blir lika stora som kostnaderna. Räntan är då internräntan. En risk är dock att det finns flera internräntor som resulterar i att ekvationen blir noll. Detta kan ske om betalningsflöden byter tecken vilket bör beaktas.

För att slutligen ta fram den bästa kombinationen av åtgärder vid en specifik kalkylränta så testas vilken kombination som ger lägst nuvärde. Den kombinationen är den som är mest lönsam vid en specifik kalkylränta.

4.5.3 Sammanfattning

För att göra en ekonomisk bedömning av olika åtgärder och deras kombinationer beräknas i första hand nuvärdet. Nuvärdet har valts eftersom det ger den bästa bedömningen när åtgärderna har olika livslängder. En restvärdesmetod där restvärdet är linjärt mot investeringskostnaden och livslängden används. För att utföra beräkningarna krävs indata om åtgärdens livslängd, den nuvarande livslängden, skillnad i underhållskostnader, investeringskostnader och restvärde. Även inmatning görs för priser för el, och fjärrvärme samt deras prisökning och inflation. För beräkningarna används tre olika reala kalkylräntor, en röd (10 %) en gul (5 %) samt en grön (0 %), för att beakta att det kan vara lönsamt för samhället minska energianvändningen. Vid jämförandet av nuvärde räknas den kombination med högst nuvärde som den lönsammaste. Internräntan beräknas också för att man ska kunna få ytterligare underlag för en riskbedömning av åtgärdspaketet.

4.6 Analys av byggnad

För att testa hur väl modellen som framtagits fungerar så görs en analys på en kontorslokal med testprogrammet. Testresultaten analyseras sedan för att se hur väl metoden för beräkningar klarar av att beräkna energianvändning och ekonomiska resultat i lokalen. De energitekniska resultaten beskrivs och analyseras i avsnitt 4.7 och de ekonomiska resultaten beskrivs och analyseras i avsnitt 4.8. I detta stycke kommer testobjektet att beskrivas samt vilken indata som använts vid testet.

Kontorslokalen är byggd med träregelstomme och är utformad som en rektangulär box utan invändiga väggar. En komplett beskrivning av byggnaden kan ses i bilaga 2. Byggnaden har simulerats i Vip+ och månadsvärden och veckovärden för värme och kyl användning har använts vid analysen. Referensdata för att jämföra energidata har även beräknats för åtgärderna i Vip+.

Programmet och modellen är tänkt att användas med månadsvärden och är utvecklat för just detta. Under utvecklingen testades programmet på olika byggnader med varierande

storlek, konstruktion, internvärme och U-värde. U-värdet var dock ganska lågt på alla testbyggnader och den byggnad som nu används som testobjekt har högre U-värde än tidigare byggnader. Detta skapade problem, som kommer beskrivas närmare i avsnitt 4.7, som gjorde att veckovärden behövde användas vid beräkningarna, trots att detta ej var tanken med modellen. Ett annat problem som uppstått är att inte en korrekt solavskärmning vad gäller traditionella fönsterkarmar lyckats skapas. Eftersom inte tanken med projektet har varit att fokusera på solinstrålning i byggnader så har istället solinstrålningen i byggnaden lästs in från Vip+.

Utöver indata från den befintliga byggnaden så behövs indata för de specifika åtgärderna som önskas göras. Dels behövs indata för åtgärdernas påverkan på energibalansen och även indata för de ekonomiska beräkningarna på åtgärderna.

4.6.1 Åtgärdsspecifik indata för energiberäkningar

I analysen kommer alla åtgärderna innetemperatur, värmeåtervinning, belysning, fönsterbyte, minskning av ventilation och tätning av byggnadsskalet att undersökas. Eftersom testet på referensbyggnaden är avsett endast som ett test för att analysera resultaten av beräkningarna så har värden vid åtgärderna bara uppskattats till rimliga värden på de olika typerna av åtgärdsspecifika byggnadsdelar.

Fönsterbyte:

Tidigare U-värde: $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nytt U-värde: $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

G-värde: samma som tidigare

Värmeåtervinning:

Värmeåtervinningskoefficient: 0,75

SFP-tal: $2,0 \text{ W/m}^3\text{s}$ (Boverket, 2008)

Frånluftens temperatur: Innetemperaturen

Belysning:

Minskning av effekt: 2350 W/h

Minskning av ventilation:

Omsättning under arbetstid: Samma som innan

Omsättning utanför arbetstid: 0,075 oms/h (motsvara $0,1 \text{ l/sm}^2$ vilket är minsta tillåtna ventilation i en lokal utan personer)

Innetemperatur:

Högsta tillåtna innetemperatur: 25 grader C

Lägsta tillåtna innetemperatur: 20 grader C

Tätning av byggnadsskalet:

Nytt läckagevärde: $1 \text{ l/(s m}^2)$ vid 50 Pa

4.6.2 Åtgärdsspecifik indata för ekonomiska beräkningar

För att få rimliga värden vid beräkningar av de ekonomiska alternativen så har valts att använda ekonomisk indata ifrån Repab underhållskostnader (Repab, 2010) för underhållskostnader och sektionsfakta (Wiksell, 2010) för nya byggnadsdelar. När inte värden har hittats för en åtgärd så har värden uppskattats. Detta gäller för åtgärderna belysning, ändrad ventilation och förändrad innetemperatur.

Tabell 4.6-1: Kostnader för åtgärder

Underhållskostnader	Initialkostnad (kr)	Underhållskostnad(kr)	Livstid
Fönsterbyte	193 575	0	25 år
Gamla fönster	0	0	15 år
Roterande värmepåväxlare	107 985	297	15 år
FT-ventilation	0	0	15 år
Belysning lågenergi	5000	1250	15 år
Belysning glödlampa	0	2750	15 år
Ändrad ventilation	1000	0	-
Oförändrad ventilation	0	0	-
Förändrar innetemperatur	1000	0	-
Oförändrad innetemperatur	0	0	-
Tätning	38250	0	15 år
Ingen tätning	0	0	15 år

För fönsterbyte har initialkostnaden, som täcker material och arbete, hämtats ifrån Sektionsfakta med en kostnad på 2581 kr per fönster, totalt byte av 75 fönster ger en totalkostnad på 193 575 kr. Underhållskostnaderna för nya fönster bedöms vara samma som för redan installerade fönster, vilket resulterar i oförändrade underhållskostnader. De nya fönstren har enligt Repab en livslängd på totalt 25 år. Fönstren som sitter i uppskattas till att behöva bytas om 15 år. För den roterande värmepåväxlaren blir initialkostnaden 107 985 kr. Denna har dock ett ökat underhåll utifrån den nuvarande FT- ventilationen på grund av rengöring av värmepåväxlaren på 890 kr vart tredje år. Därför blir det ökade underhållet för värmepåväxlaren 297 kr inklusive de tidigare underhållskostnaderna. För belysningen har bra värden inte funnits att tillgå. Därför har en kostnad baserad på arbetstid och kostnad för lampa uppskattats för byte från glödljuslampor till lågenergilampor på 5000 kr. För lamporna har underhållskostnaderna uppskattats både för de nya lamporna och för de gamla lamporna. Anledningen till att de nya lamporna har lägre underhåll beror på att lågenergilamporna har mycket längre livslängd och trots att den är dyrare i inköp så väger arbetskostnaden för byte upp det ökade priset. Det är ovanligt i kontor med den här typen av belysning, men som exempel för beräkningar ansågs det ändå fungera. Efter 15 år beräknas livslängden för belysningens armaturer vara slut och måste därför bytas. För den ändrade ventilationen och ändrade innetemperaturer är det drifttekniska inställningar som ska göras på ventilationen. Eftersom en driftstekniker kostar ca: 372 kr/h och inställningarna borde kunna ordnas på ett par timmar bedöms kostnaden ligga kring 1000 kr. Vid tätningen

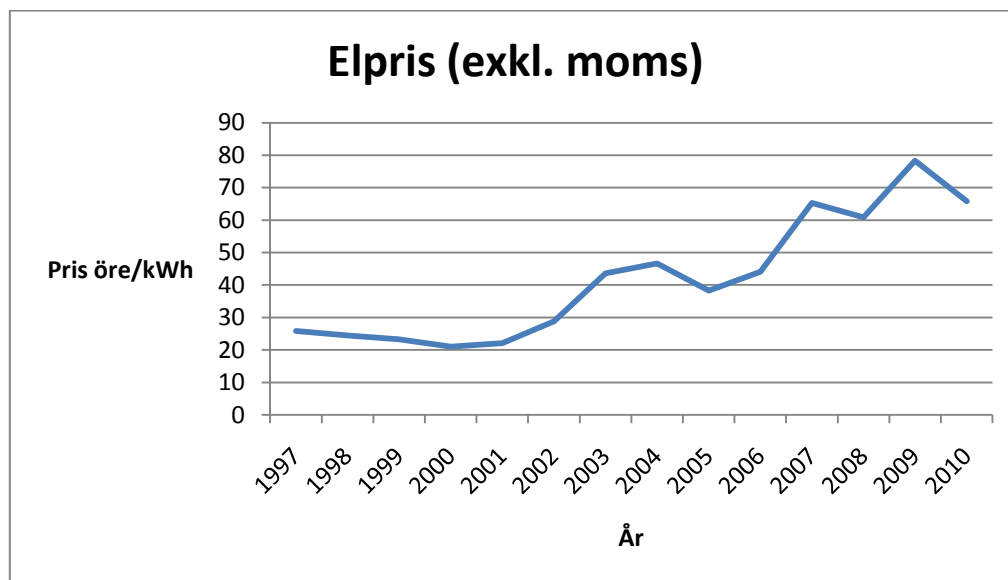
räknas det med att man tätar kring alla fogar i byggnaden, dvs. anslutningarna vägg- golv, vägg- tak, vägg- vägg (hörnena) samt kring alla fönster och dörrar, denna kostnad uppskattas till 75 kr/m. Den totala kostnaden blir då 38 250 kr för hela byggnaden.

4.6.3 Prisförändringar

Utöver åtgärdsdata behövs allmän ekonomisk indata. För att utföra bra beräkningar måste hänsyn tas till olika förändringar i priser inom de olika områdena. För att uppskatta prisförändringarna kommer information om prisutvecklingen att hämtas ifrån statistiska centralbyråns hemsida. Prisutvecklingen kommer att beräknas under olika tidsperioder beroende på tillgången på data och ifall radikala ändringar i pris skett. Även inflationen kommer att studeras via statistiska centralbyrån.

4.6.3.1 Elprisutveckling

Elprisutvecklingen har haft en ökning på ca 6.13 % per år under åren 1997-2006 uttaget från diagrammet.



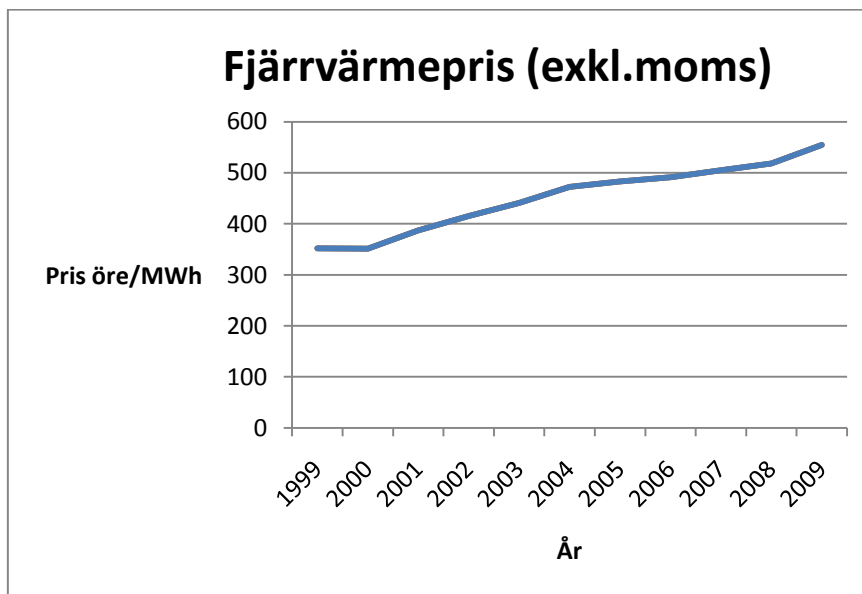
Figur 4.6-1 Elprisutveckling 1997-2010 (SCB¹)

För beräkningar av elprisökningen antas att priset kommer att följa utvecklingen och även stiga i framtiden. Dock har man från och med 2007 börjat ta med elcertifikatpriset i det utslagna elpriset vilket leder till att elpriset gör en kraftig ökning vid tidpunkten (SCB², 2010). Därför har kalkylperioden för ökningen minskats ner från 2010 till 2006 för att undvika att ta med faktorn i beräkningen. Diagrammet visar elpriset exklusive skatter. För beräkningarna har det nuvarande elpriset för kunder hämtats från rapporten *Priser på el och naturgas samt leverantörsbyten* (SCB², 2010). Elpriset för 2009 är 121 öre/kWh exkl. moms, vilket kommer att användas i beräkningarna.

Kylning av byggnaden görs med en värmepump och att kyla en kWh värmeöverskott antas använda 0,4 kWh el (Abel, 2006).

4.6.3.2 Fjärrvärmeutveckling

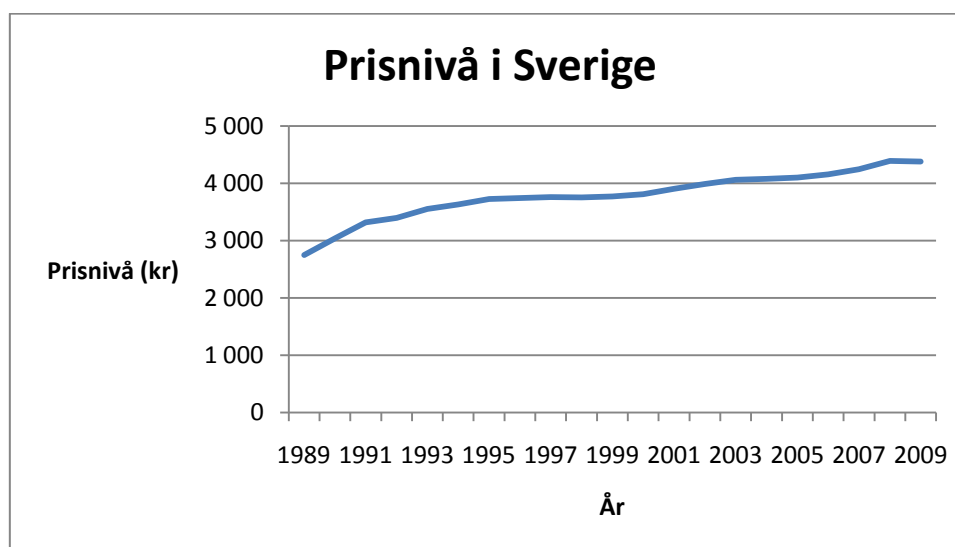
Fjärrvärmepriset är hämtat från rapporten *Priser på el och naturgas samt leverantörsbyten* (SCB², 2010) samt prisutvecklingen för fjärrvärmen och presenteras i nedanstående diagram. Den årliga prisökningen har fastslagits till 4.66 %. Priserna i diagrammet är omräknade till värden exkl. moms. Priset under 2009 som kommer att användas i beräkningarna är angivet till 0.55 kr/kWh exkl. moms.



Figur 4.6-2 Fjärrvärmepris exkl. moms (SCB)

4.6.3.3 Inflation

Inflationen har beräknats på en något längre period för att få ett värde som ligger som bra grund för utvecklingen i Sverige. Inflationen beräknas mellan åren 1989-2009. Inflationen har beräknats med statistik från statistiska centralbyrån till 3 %. Riksbankens mål är att hålla inflationen på 2 %, men detta har inte hänsyn tagits till vid beräkningarna i rapporten. Nedan ser man prisutvecklingen i Sverige de senaste 20 åren.



Figur 4.6-3 Prisnivå i Sverige 1989-2009 (SCB)

4.7 Analys av resultatet

Analysen av resultatet är indelad i energitekniska resultat och ekonomiska resultat.

4.7.1 Energitekniska resultat och analys

Energiresultaten har delats upp i två delar. Första delen behandlar framtagning av nyckeldata för huset, d.v.s. U-värde, internvärme och tappvarmvatten. Den andra delen innefattar beräkning av åtgärder.

4.7.1.1 Nyckeldata för byggnaden

Den första delen i modellen tar fram U-värde, internvärme och tappvarmvatten genom att analysera byggnadens energisignatur och kombinera denna med energibalanskvationen för byggnaden. Energiindata som matas in för värme och kyla är månads och veckovärde. Nedan redovisas resultaten från testerna samt från Vip+. Tre olika resultat har tagits fram, ett när energidata är mätt med månadsintervall, ett där energidata är mätt med veckovärden och slutligen resultaten som fås från Vip+.

Tabell 4.7-1: Nyckeltal för byggnaden

Nyckeltal	12 månader	52 veckor	Vip+
U-värde (W/m ² *C)	0,68	0,56	0,53
Uppvärmning			
Internvärme under arbetstid (kW)	10,31	8,20	5,43
Internvärme utanför arbetstid (kW)	5,20	2,68	1,23
Kyla			
Internvärme under arbetstid (kW)	6,15	5,31	5,43
Internvärme utanför arbetstid (kW)	2,95	1,52	1,23
Tappvarmvatten alfa (kW)	0,75	0,61	0,28
Tappvarmvatten red. alfa (kW)	0,19	0,14	
Balanstemp under arbetstid rum. (grader C)	5,71	7,3	10,64
Balanstemp utanför arbetstid rum. (grader C)	13,06	16,35	15,87

Resultaten från Vip+ skiljer sig från testprogrammet när det gäller mätning av internvärmen. Internvärmen i Vip+ innefattar inte internvärme från värmekapacitet i byggnadsdelar vilket den gör i testprogrammet. När det gäller internvärme produktionen i Vip+ så finns det en antydning på månadsvärdena att cirkulationspumparna för kylning tillför värme till byggnaden. Det går dock inte att utläsa värdet för denna värme, eller om den ens tillförs rumsluften i Vip+ så detta värde har inte kunnat läggas till. Internvärmen kan alltså vara högre i Vip+ än vad som angivits vid kylning. Balanstemperaturen från Vip+ är framtagna med linjär regression på timvärden för rumsuppvärmning. I tabellen är två tappvarmvatten, benämnt som alfa, angivna. Den översta är tappvarmvattenförbrukningen som fås direkt vid

regression på energianvändningen. Den nedre tappvarmvattenförbrukningen är när borträkning har gjorts för uppvärmning av specifika timmar som legat under balanstemperaturen i de månader som tappvarmvattenförbrukningen uppskattas från.

Innan analysen görs så ska noteras att den klimatfil som använts i testprogrammet är inte densamma som används i Vip+. Det innebär att utetemperaturerna skiljer sig något mellan testprogrammet och Vip+. Båda är dock från samma ort och medelvärden för mätningar under flera år vilket gör att skillnaden är liten. Genomsnittet över året är 6,72 °C i Vip+ mot 6,66 °C i datafilen som används i testprogrammet, detta utesluter dock inte att det finns lokala skillnader i filen som är större och påverkar resultatet.

Som direkt kan noteras så skiljer 12 månaders beräkningsvärden från Vip+ stort. När testprogrammet togs fram så testades det på flera byggnader med varierande U-värde, internvärme och storlek. Det som var gemensamt för alla provhusen som användes var att de hade bättre U-värde, mindre läckage och lägre innetemperatur än det testhus som används i detta test. Dessa nya faktorer medförde att balanstemperaturen för rumsuppvärmning under och utanför arbetstid steg. Det i sin tur ledde till att det blev få månader som låg över balanstemperaturen för rumsuppvärmning under arbetstid och därmed blev det svårt för programmet att göra en regression för att ta fram balanstemperaturen för rumsuppvärmning utanför arbetstid. Balanstemperaturen blev alldeles för låg vilket medförde att internvärmens beräknas för högt och det kompenseras med ett högt U-värde. Eftersom dessa värden skiljer sig så kraftigt från korrekt resultat så har valet gjorts att inte räkna vidare på fallet 12 månader. Istället valdes att gå över till veckovärden. Veckovärden valdes för att säkerställa att inte samma problem skulle ske igen, men troligtvis skulle inte problemet uppstå om mätningar gjorts två gånger i månaden heller. När analys görs på U-värde, internvärme, tappvarmvatten och balanstemperaturer så bör man ha i åtanke att alla dessa hänger samman i beräkningarna eftersom alla är faktorer i energibalanskvationen och energibalansen ska bli noll i slutändan.

När en analys görs på veckofallet så kan det konstateras att tappvarmvattenfallet är för högt innan reducering gjorts för timmar som har uppvärmning. Efter att reduceringen gjorts så blir istället tappvarmvattenförbrukningen för låg. Detta är helt väntat eftersom de timmar som reducering gjorts på är timmar som ligger nära balanstemperaturen vilket i sin tur innebär att temperaturen troligtvis varit ovan balanstemperaturen kort innan den sjönk under balanstemperaturen. Det innebär att byggnadsdelarna värmts upp och vid timmarna under balanstemperaturen avges därmed värme från byggnadsdelarna och minskar uppvärmningsbehovet. Eftersom inte hänsyn tas till detta så innebär det att reduceringen blir för kraftig.

Nästa värde som bör studeras är balanstemperaturerna. Balanstemperaturen under arbetstid är lägre än den i Vip+ och utanför arbetstid är den högre. Felet med den lägre temperaturen är förknippat med den högre temperaturen utanför arbetstid. När balanstemperaturen uppskattas med regression utanför arbetstid så görs det på få punkter och dessutom innehåller punkterna icke linjära faktorer i medelvärdena, vilket innebär att fel kommer förekomma. För att ta ut balanstemperaturen under arbetstid så tas lutningen för rumsuppvärmningen ut från regressionen på de kalla månaderna och rumsuppvärmningen utanför arbetstid sätts till att skära balanstemperaturen utanför arbetstid. Sen testas i vilken punkt som rumsuppvärmningen utanför arbetstid skär regressionen för de kalla månaderna och skärningen antas vara balanstemperaturen under arbetstid för rumsuppvärmning. Om

temperaturen är för hög på balanstemperaturen utanför arbetstid så innebär det att kurvan kommer att skära regressionen för de kalla månaderna högre upp vilket i sin tur leder till lägre balanstemperatur under arbetstid. Att felen är motsatta för balanstemperaturen är positivt när analys av internvärmerna görs.

För testprogrammet finns olika internvärme vid kylning och uppvärmning eftersom inte värmekapaciteten beräknas i byggnaden. För Vip+ fås samma internvärme vid både uppvärmning och kylning. Internvärmerna i Vip+ bör ligga någonstans mellan värdena för uppvärmning och kylning eftersom värmekapaciteten ger ett positivt tillskott vid uppvärmning och negativt tillskott vid kylning vilket så är fallet. Men det är svårt att avgöra hur nära Vip+ värde som testprogrammet kommer, eftersom det är svårt att uppskatta uppvärmning från värmekapaciteten som ska adderas till Vip+ värden. Det kan konstateras att eftersom inte balanstemperaturerna är desamma i Vip+ och testprogrammet och dessa har stor betydelse för storleken på internvärmerna så är troligtvis inte internvärmerna helt korrekt. Det som är positivt är att internvärmerna utanför arbetstid underskattats, p.g.a. hög balanstemperatur, samtidigt som internvärmerna överskattas under arbetstid. Det leder till att summan av all internvärme troligtvis kommer förhållandevis nära den korrekta internvärmerna vilket är viktigt vid uppskattande av U-värdet.

U-värdet är det sista värdet som kompenserar för de övriga parametrarna så att energibalansen blir noll. Om balanstemperaturerna gör så att den totala internvärmerna överskattas så kommer U-värdet bli för högt och motsatsen gäller om internvärmerna underskattas. Om beräknad tappvarmvattenförbrukning är för låg i förhållande till verklig användning så kommer tillförd värmeenergi i huset bli för högt vilket innebär att U-värdet blir högre än verkligt. Detsamma gäller fel i andra faktorer som läckage, vilket beräknas väldigt förenklat, solinstrålning och ventilation. Dessa sammanslagna fel innebär vid detta test att U-värdet blir drygt 5 % högre än verkligt U-värde. En annan felkälla vid beräkning av U-värdet är att hela klimatskalet i testprogrammet beräknas mot utetemperaturen, men i Vip+ så beräknas markens U-värde mot markens temperatur. Detta innebär att skalets U-värde borde skilja sig mot verkligt U-värde när inte hänsyn tas till detta i testprogrammet.

Det som kan konstateras är att felen är förhållandevis låga när beräkningarna görs med veckovärden. Hur felen påverkar resultaten vid olika åtgärder blir nästa del att analysera.

4.7.1.2 Beräkning av energianvändning vid åtgärder

Beräkningen av energiåtgärder görs i testprogrammet med värdena som beräknades när veckovis energidata användes på testhuset. Värden redovisas för varje enskild åtgärd samt för tre kombinationer av åtgärder. Totalt finns det 64 möjliga kombinationer av åtgärder och de tre som valts ut är de tre kombinationer som har minst LCC- kostnad vid tre separata kalkylräntor, se den ekonomiska analysen. De tre kombinationerna som redovisas kan ses nedan.

Tabell 4.7-2: Översikt av åtgärder i olika kombinationer

Grön kombination	Gul kombination	Röd kombination
Belysning	Belysning	Belysning
Ventilation	Ventilation	Ventilation
Innetemperatur	Innetemperatur	Innetemperatur
Värmeåtervinning	Värmeåtervinning	
Läckage		

Vid beräkning av resultatet redovisas skillnaderna gentemot när ingen åtgärd har gjorts i tabell 4.7-3. Energianvändningen innan någon åtgärd gjorts redovisas som grundvärde och övriga värde är skillnaden mot grundvärdet. När det gäller elberäkningen i Vip+ vid ändring av belysning så anges denna som samma som i testprogrammet eftersom Vip+ inte beräknar detta värde. I tabellen finns även skillnaden i procent redovisad som skillnaden i energianvändning mellan testprogrammet och Vip+, i förhållande till Vip+ skillnad i energianvändning. Grundvärdet i Vip+ skiljer sig från grundvärdet i testprogrammet och det beror på två anledningar. Den stora skillnaden är att tappvarmvattnet är borträknat från energianvändningen till uppvärmning så att endast energianvändning för uppvärmning redovisas. Eftersom tappvarmvattenförbrukningen som räknats fram var lägre än den riktiga innebär det att energianvändningen till uppvärmning i testprogrammet blir högre. Den andra anledningen är att en viss skillnad i energianvändning tilläts när U-värdet beräknades.

Tabell 4.7-3: Energiresultaten för byggnaden

Åtgärder	VIP+ (kWh)			Testprogrammet (kWh)			Skillnad (%)		
	Värme	Kyla	El *	Värme	Kyla	El	Värme	Kyla	El
Grundvärde **	96979	10203	5475	98226	10196	0	1,3%	0,1%	0,0%
Ingen åtgärd	0	0	0	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%
Fönster	-7854	978	0	-7379	1063	0	-6,0%	8,7%	0,0%
Värmeåtervinning	-45273	97	1825	-45155	94	1825	-0,3%	-3,1%	0,0%
Belysning	4990	-3351	-9435	3895	-3438	-9435	-21,9%	2,6%	0,0%
Ventilation	-32089	880	-2752	-34875	541	-2964	8,7%	-38,5%	7,7%
Innetemperatur	-7040	-2436	0	-6436	-1983	0	-8,6%	-18,6%	0,0%
Läckage	-3867	304	0	-3769	571	0	-2,5%	87,8%	0,0%
Kombination röd	-32958	-4447	-12202	-35662	-4485	-12400	8,2%	0,9%	1,6%
Kombination gul	-51405	-4370	-11279	-53305	-4412	-11563	3,7%	1,0%	2,5%
Kombination grön	-54998	-4118	-11280	-56891	-4025	-11563	3,4%	-2,3%	2,5%

I princip alla beräkningar av åtgärder påverkas mer eller mindre av vissa specifika skillnader mellan Vip+ och testprogrammet. Dessa är speciellt olika väderdatafiler, fel i tappvarmvattenförbrukning, olika U-värden och värmekapaciteten i byggnaden. Sen beräknas troligtvis inte heller alla värden på samma sätt i Vip+ som i testprogrammet. Vissa specifika faktorer påverkar dock enskilda åtgärder mer och dessa kommer att analyseras nedan. Men de saker som tas upp är troligtvis inte de enda anledningarna till skillnaderna

utan det är oftast kombinationer av anledningar. Ifall cirkulationspumparna tillför internvärme så påverkar detta även resultaten för kylning genom att vid en minskning i kylenergi så borde minskningen bli större än beräknat och om en ökning fås så borde denna ökning bli större än beräknat. Denna trend har inte gått att utläsa och antagande har gjorts att denna internvärme inte tillförs rumsluften i Vip+. Läsaren kan ändå vara uppmärksam på att den kan ingå som en del.

Åtgärden att fönster byts från ett 2-glasfönster med ett U-värde på 2,7 till ett 3-glasfönster med ett U-värde på 1,8 leder till en minskning i värmeanvändning men samtidigt en ökning i kylanvändning. Tesprogrammet har beräknat fram ett U-värde för hela byggnaden på 0,56 och Vip+ har räknat fram ett U-värde på 0,53 samtidigt som byggnaderna använder samma mängd energi.

Det innebär att ett mindre flöde transporteras ut ur byggnaden via transmission i Vip+ fallet och därmed borde en mindre del av behovet av värmeförlust bero på transmission när huset beräknas ha U-värdet 0,53. Detta kan dock inte utläsas i resultatet, en förklaring till detta kan vara att transmissionsförlusterna genom plattan på marken beräknas på olika sätt och därmed går det inte att jämföra U-värdena direkt. Resonemanget stämmer dock på fallet med kylning.

Vid värmeåtervinningen blir det relativt små skillnader mellan programmen. Värmeanvändningen minskar kraftigt med värmeåtervinning, samtidigt som elanvändningen ökar och kylningen ökar marginellt. Kylan förändras eftersom fläktarna använder mer elenergi när tryckfallet ökar som omvandlas till värme i tilluften och behöver kylas bort. Skillnaden är visserligen 3,1 % mellan programmen i kylning men samtidigt motsvarar det 3 kWh vilket är extremt lite.

Belysningen minskar kylningen och elanvändningen samtidigt som värmeförbrukningen ökar, energin till kylning och el minskar mer än uppvärmningen ökar. Belysningen minskar internvärmens direkt och påverkar även värmekapaciteten. Eftersom testprogrammet inte tar direkt hänsyn till värmekapacitet utan istället har ökad internvärme vid uppvärmning och minskad internvärme vid kylning så innebär det att den relativa minskningen vid uppvärmning blir för låg samtidigt som den blir för hög vid kylning. Det leder till att ökningen av uppvärmning ökar mer i Vip+ vad gäller uppvärmning och minskningen blir mindre vad gäller kylning. Direkt påverkan på internvärmens kommer ge skillnader på uträkningarna just på grund av värmekapaciteten.

Vid den förändrade ventilationen har ventilationsflödet minskats kraftigt under timmarna utanför arbetstid vilket leder till ökad kylning men minskning av uppvärmning och elförbrukning. Vip+ beräknar inte minskningen i el lika stor som i testprogrammet, antagligen för att det inte tar hänsyn till flödet som ventilationssystemet är utformat för när energiförbrukningen beräknas, se avsnitt 3.3. Med minskning av ventilationsflödet så kommer detta påverka värmekapaciteten vilken handlar om temperaturförändringar i byggnaden eftersom medeltemperaturen, speciellt utanför arbetstid, kommer höjas. Den ökade medeltemperaturen leder till mindre kylning från värmekapaciteten vilket måste kompenseras med tillförd kylenergi. Värmekapaciteten, elen och resonemanget angående elen som nämndes angående belysningen leder till att Vip+ kommer behöva mer kylning än testprogrammet. Med samma resonemang, förutom internvärmens som nämndes tidigare angående belysningen, så borde Vip+ behöva mindre energi till uppvärmning. Så är dock inte

fallet och att hitta en förklaring till detta är inte lika enkelt. Resonemanget med den relativa internvärmeförändringen räcker inte för att täcka hela skillnaderna. En möjlig förklaring skulle kunna vara att för att värmekapaciteten ska kunna utnyttjas så krävs övergångar mellan att rumsuppvärmning behövs och att den inte behövs, så att en temperaturstegring sker över minsta innetemperatur. Om åtgärden ger mindre växlingar mellan dessa stadier så innebär det att mindre del av värmekapaciteten kan utnyttjas och då är internvärmens överskattad i testprogrammet vid just uppvärmning, vilket leder till att testprogrammet ger större minskning av energi för uppvärmning. Det finns troligtvis fler anledningar till skillnaden än dessa.

Vid ändringen av temperaturspannet inne i byggnaden från 21-24°C till 20-25°C ändras även möjligheten att utöka värmekapaciteten för byggnaden på båda hållen. Eftersom byggnaden kan anpassa sig till ett större spann av innetemperaturer så kan byggnadsdelarna avge mer värme vid tillfällena när uppvärmning sker vilket gör att Vip+ gör en större energibesparing gentemot testprogrammet som inte tar hänsyn till detta. Samma princip gäller för besparingen av kylningsenergi där värmekapaciteten kyler.

För läckageförluster har en väldigt förenklad modell använts som beskrivs i kapitel 3.2.1, trots detta har den bara en skillnad på 1.5 % för värmen. Dock är det en stor procentuell skillnad för kylan, men sett till de faktiska värdena är skillnaden endast 251 kWh. I förhållande till byggnadens totala kylanvändning på 10 000 kWh känns felet litet. Metoden som används för beräkning av läckageförluster är väldigt förenklad och ger därmed fel som får accepteras vid denna testundersökning.

Samtliga åtgärder har även en inbördes påverkan på varandra vid kombinerings vilket kan minska eller öka energianvändningen. Exempelvis när minskad ventilation kombineras med värmeåtervinning kommer den totala summan inte bli den samma som om de separata åtgärderna adderas, utan en kombination där de påverkar varandra. Vid kombinerings blir de procentuella skillnaderna lite missvisande. Eftersom olika åtgärder har fel på olika håll, beroende på olika faktorer som förklarats tidigare, innebär detta att vid jämförelsen med Vip+ skillnad så utjämnas felen. En utjämnings sker också genom att kombinationerna behandlar större energiförändringar vilket sammantaget minskar felprocenten. Tydligast blir fenomenet på kombinationen gul – röd där felprocenten halveras beroende på om värmeåtervinningen räknas med eller inte. Detta eftersom värmeåtervinningen är en stor energibesparing men samtidigt har låg felprocent.

Sett övergripande på åtgärderna så märks tydligt att felet blir större på kylningen än på uppvärmningen. Troligt beror detta på att internvärmens beräknas som ett förhållande på internvärmens från uppvärmningen. Detta förhållande stämmer inte eftersom värmekapaciteten är med i internvärmens och den har inte samma förhållande vid kylning. Värmekapaciteten borde ha beräknas separat. Det skulle även innebära att de åtgärder som påverkas av värmekapaciteten specifikt skulle förbättras. Det går också se en trend att de stora procentuella skillnaderna uppstår vid små värden. Om skillnaderna hade blivit större så kan tänkas att felprocenten minskar ifall felet är absoluta snarare än relativa. Men trots skillnader i framräknad förbrukning så fås resultat som pekar i samma riktning i Vip+ som i testprogrammet vilket innebär att modellen ger en bra uppskattning.

4.7.2 Ekonomiska resultat och analys

Vid tester av de olika åtgärderna i testprogrammet fås följande resultat från den ekonomiska delen. Tabellen innehåller besparingen som ett framräknat nuvärde gentemot grundvärdet när ingen åtgärd gjorts. Längst till höger har även internräntan beräknats för de olika alternativen.

Tabell 4.7-4: LCC och internränta vid beräkning av åtgärder

Åtgärder	LCC (Skillnader mot grund)			Internränta (%)
	Röd (10 %)	Gul (5 %)	Grön (0 %)	
Grundvärde	617641	876791	1322066	
Ingen åtgärd	0	0	0	0,0%
Fönster	138 737	104 956	38 933	-1,8%
Värmeåtervinning	-122 106	-217 961	-382 396	24,8%
Belysning	-112 429	-164 601	-255 328	214,6%
Ventilation	-236 235	-336 056	-507 677	2381,0%
Innetemperatur	-46 724	-66 862	-101 507	480,2%
Läckage	19 673	11 958	-1 269	0,4%
Kombination röd	-383 190	-550 184	-838 344	543,7%
Kombination gul	-361 826	-564 943	-915 079	45,5%
Kombination grön	-341 933	-552 686	-915 919	36,2%

Ingen åtgärd har satts som nollvärde för beräkningen och utifrån detta fås antingen ett positivt eller ett negativt nuvärde. Det vill säga grundvärdet är det egentliga värdet vid ingen åtgärd, skillnaden har beräknats. Vid positiva nuvärdet betyder det att kostnaden ligger över det intjänade värdet för att utföra åtgärden. Vid de negativa värdena har man då gjort en större vinst i minskade värme, kyl och elkostnader för att åtgärden ska vara lönsam. Som tidigare beskrivits har åtgärderna beräknats med tre olika kalkylräntor, röd (10 %), gul (5 %) och grön (0 %), inflationen beräknas till 3 %. Den kombination som gav bäst nuvärde vid respektive kalkylränta benämns som kombination röd, gul respektive grön.

För den aktuella testbyggnaden är det möjligt att göra en ekonomisk vinst för samtliga åtgärder utom fönster vid grön kalkylränta men vid gul och röd så är inte fönster och läckage lönsamt. Anledningen till att läckage blir olönsamt vid högre kalkylränta beror på att hög kalkylränta gynnar vinster som görs tidigt, t.ex. låga investeringskostnader medan låg kalkylränta gynnar långsiktiga besparingar, som minskade energikostnader.

Vid analys av kombinationerna och dess kostnader så märks tydligt att den gröna kombinationen har störst investeringskostnader och röd har lägst investeringskostnader. Vid kombination röd ingår endast åtgärderna ventilation belysning och innetemperatur vilka alla har förhållandevis låga investeringskostnader. Intressant att notera är att trots att värmeåtervinningen är lönsam vid röd kalkylränta som en enskild åtgärd så ger den inte ökat nuvärde i kombination med övriga åtgärder som ingår i den röda kombinationen. Det beror på att intäkterna för värmeåtervinning minskar i takt med att ventilationsvolymen minskar,

vilket görs i åtgärden ventilation. Värmeväxlaren får då ett lägre nuvärde eftersom intäkterna minskar med den minskade ventilationsmängden.

Vid analys av internräntan kan denna bli något missvisande då den gynnar kortsiktiga investeringar med låg initialkostnad i förhållande till höga inkomster, utan att ta hänsyn till faktiska inkomster. Detta kan ses när jämförelse görs mellan innetemperatur och värmeåtervinning. Eftersom initialkostnaden ligger på 1000 kr för värmeåtervinning och vinsterna är stora i förhållande till den låga initialkostnaden så skapas en hög internränta. På värmeåtervinningen fås en mycket större initialkostnad vilket leder till att internräntan blir en tjugondel jämfört med innetemperaturen trots att nuvärdet blir högre vid internräntorna 0, 5 och 10 %. Den ökade initialkostnaden på grund av värmeåtervinningen är anledningen till att internräntan är mer än tio gånger högre mellan kombination röd och gul trots att nuvärdet bara är marginellt lägre vid röd kalkylränta. Att bara titta på internräntan är alltså inte att rekommendera, men kan vara ett bra komplement för att bedöma risken med en investering.

5 Diskussion och slutsats

Detta avsnitt innehåller först en diskussion kring resultatet och modellen. Efter detta kommer ett stycke som behandlar möjligheter till vidare studier och utveckling av modellen. Slutligen finns en slutsats som beskriver hur projektet har gått i helhet.

5.1 Diskussion

Projektet som behandlats i rapporten har handlat om att ta fram en modell för beräkning av energianvändningen och lönsamheten vid energiåtgärder på en lokalbyggnad med inriktning mot kontorslokal, med en enkel och snabb modell. Modellen är tänkt att kunna användas för att göra en övergripande åtgärdsbedömning av ett stort bestånd av lokalbyggnader eller i ett tidigt skede bedöma åtgärder vid ombyggnad av lokalbyggnader. Den modell som tagits fram använder den information om byggnaden som kan hittas i en energideklaration, OVK-protokoll och enkla översiktsritningar. Modellen kan delas in i tre delar, framtagning av nyckeldata, beräkning av åtgärders energiförbrukning och ekonomiska beräkningar. Diskussionen delas också in i dessa tre delar, men först kommer en övergripande diskussion för modellen som helhet.

Det finns flera program på marknaden som beräknar energianvändningen i lokalbyggnader. Ett program är Vip+ som nämnts tidigare i rapporten. Vip+ kräver omfattande inmatning av information om byggnaden, varav mycket av informationen är svår att uppskatta. Att göra dessa inmatningar tar lång tid och kräver bra uppskattningar och en del mätningar för att resultaten ska stämma överrens med verkligheten. Ett annat alternativ är att använda överslagsberäkningar för att beräkna lönsamheten. Sådana beräkningar går relativt fort men ger samtidigt osäkra resultat.

Genom att modellen i denna rapport använder sig av energisignaturen för att med befintlig data över energianvändning ta fram U-värde och internvärme för lokalbyggnaden minskar behovet av inmatning. Sedan beräknar modellen alla energiåtgärder samtidigt och bedömer dem både ekonomiskt och energitekniskt. Detta ger en snabb och effektiv översikt på vad som kan göras på byggnaden. Modellen är bara i ett utvecklingsstadium i dagsläget och den kommer att bedömas efter det stadium som den är i just nu. Nedan listas några fördelar och nackdelar med metoden som helhet.

Fördelar:

- Kräver endast indata som är förhållandevis enkel att hitta
- Om byggnaden byggts annorlunda än ritningarna så beräknas U-värde enligt förhållandena som faktiskt gäller
- Internvärmens uppskattas från förhållandena som gäller under det år som energiförbrukningen är hämtad från
- Tar hänsyn till följd effekter mellan olika åtgärder
- Behandlar både uppvärmning, kyla och el
- Efter framtagning av nyckeldata kommer byggnaden i programmet att använda lika mycket energi som den verkliga byggnaden gör
- Ger en ekonomisk och riskmässig jämförelse mellan de olika alternativen

Nackdelar:

- Klarar inte alla typer av byggnader
- Inmatningsfel ger följdfel, eftersom felet kompenseras med andra fel
- Problem kan uppstå om mätningarna för energin skett med bara månadsintervall
- Ej injusterade system ger fel i beräkningarna
- Svårt att kunna undersöka alla möjliga åtgärder som finns utan att inmatningsbördan för åtgärder växer
- Kräver kunskap för att tillförlitligheten i resultaten ska kunna bedömas
- Kontrollerar inte i dagsläget om det är rimliga värden
- Tar inte hänsyn till inomhusmiljön
- Tar inte hänsyn till kostnadsbesparingar vid utförande av flera åtgärder samtidigt

5.1.1 Framtagning av nyckeldata

Den första delen av metoden behandlar framtagning av nyckeldata i form av U-värde, internvärme och tappvarmvattenanvändning med hjälp av energisignaturen. Fördelarna att använda modellen är att den beräknar nyckeldata från hur byggnaden verkligen är byggd och används. Om byggnaden inte byggts korrekt efter ritningarna eller om fler vistas i byggnaden än beräknat så beaktas detta i nyckelvärdena. Samtidigt kräver den att indatan i programmet är väldigt exakt, små inmatningsfel ger fel i nyckelvärdena. Om dessutom systemen inte är korrekt injusterade så kommer detta också att leda till fel.

Tanken var dessutom att metoden skulle klara att göra beräkningarna med så få värden som månadsmätningar på energianvändningen. I sluttestet klarade programmet inte av byggnaden som skulle beräknas eftersom balanstemperaturen för rumsuppvärmning var för hög. Därför användes veckovärden vid beräkningarna. Flera hus har tidigare testats där balanstemperaturerna varit lägre än testhuset och då har testprogrammet gett bra resultat med månadsvärden, men när balanstemperaturen steg fungerade metoden inte när man använde månadsvärden. Att tillägga här är att huset som testats är ett hus som simulerats i ett energiberäkningsprogram (Vip+) där indatan har varit väldigt exakt, exempelvis solinstrålningen har varit identisk.

Det är väldigt svårt att avgöra hur metoden kommer att bete sig när beräkningarna görs på en verklig byggnad där indatan inte är lika exakt och variationer som beror på den mänskliga faktorn eller tekniska fel existerar. Sen finns problemet att programmet endast kan uppskatta byggnader som har rumsuppvärmning under hela dygnet under någon period, eller åtminstone utanför arbetstid om man tillåter sig att uppskatta internvärmerna under arbetstid. Det är mindre bra när ett beräkningsprogram inte klarar alla typer av byggnader, samtidigt kommer programmet klara de flesta byggnader som finns i Sverige eftersom det i Sverige är ett förhållandevis kallt klimat.

Många problem har kommit fram med metoden, men samtidigt bör man ha i åtanke att metoden fortfarande är i ett utvecklingsstadium där detta var första testet för att bedöma om det finns ett värde att vidareutveckla den. Om vidareutveckling ska ske så måste flera saker förbättras som exempelvis grovuppskattningen av första balanstemperaturen,

tappvarmvattenfunktionen och uppskattningen av internvärmens vid kyla. Dessutom bör funktioner läggas till för att bedöma om systemen är injusterade och hur tillförlitlig datan som räknas fram är. Ett beslut som också måste tas är ifall det ska krävas tätare energimätningar än månadsvärden. Om detta görs så kommer flera funktioner kunna förbättras eftersom vissa instabila specialfunktioner är utvecklade för att just kompensera för att det finns så få mätvärden. Som modellen ser ut nu så fungerar den inte att använda på månadsvärden eftersom reliabiliteten blir för låg vilket även leder till låg validitet.

I avsnitt 4.2 nämndes två sätt att beräkna U-värdet. Det andra sättet som inte använts i modellen är att korrigera rumsuppvärmningen med solinstrålningen och sen ta ut U-värdet direkt ur derivatan av energisignaturen under de kalla månaderna. Efter resultaten i testet så kan konstateras att metoden med att ta ut U-värdet ur derivatan troligen är den som kommer ge bäst resultat vid månadsvärden. Detta eftersom regression på de varma månaderna inte behöver göras och det är där som problemen uppstått med denna modell. Den metoden kommer vid månadsfall antagligen att ge en högre reliabilitet, men validiteten måste även testas eftersom den är beroende av hur väl korrigering görs för solinstrålning.

Sett till helheten av resultaten från testet med veckovärden så har värden tagits fram som stämmer förhållandevis väl överens med de riktiga värdena. Resultaten följer även teorierna som använts vilket antyder att reliabiliteten för modellen kan vara förhållandevis bra och troligtvis även validiteten för vad den mäter, d.v.s. ett fiktivt hus skapat i Vip+. Ett värde som dock har problem med reabiliteten är tappvarmvattenförbrukningen vilket alltid ger ett för lågt värde. I rapporten är det bara en byggnad som testat fullt ut vilket gör det svårt att göra en korrekt bedömning. Bedömningen av modellen bygger mer på att resultaten har visat sig följa teorierna som använts än att siffrorna stämmer i testet. Hur reliabiliteten och validiteten är på en verklig byggnad går i detta skede inte att avgöra. En positiv effekt med modellen är att nyckeldata anpassas så att byggnaden i beräkningarna använder samma mängd energi som den verkliga byggnaden, vilket ger ett väldigt bra utgångsläge för beräkningar. Frågan handlar därmed snarast om vad som ska beräknas, vilket avgör hur stor noggrannhet som krävs och ifall noggrannheten för ändamålet är tillräcklig. Även med ett utgångsläge där data från månadsfallet använts, så hade troligtvis även den indatan gett bättre resultat vid åtgärdsberäkningar än vad överslagsberäkningar skulle gjort.

5.1.2 Beräkning av åtgärder

Metoden innefattar att användaren väljer vilka åtgärder som ska beräknas sen beräknar programmet alla åtgärder och kombinationer av åtgärderna istället för att behöva göra separata beräkningar för varje kombination av åtgärder. Sex åtgärder ger 64 kombinationer, vilket gör att metoden minskar tidsanvändningen rejält för att bedöma åtgärderna. Däremot minskas även möjligheterna att finjustera åtgärderna. I den nuvarande metoden används förhållandevis förenklade uträkningar, t.ex. för läckage, men detta är sådant som kan förbättras vid vidareutveckling. Vid beräkning av åtgärder så görs ändringar av värden direkt i balansekvationen vilket leder till att samverkande effekter mellan åtgärderna beaktas. Dessutom beaktas effekterna på både kyla, värme och el. Detta är något som fås även i andra beräkningsprogram som Vip+, men förenklade handberäkningar klarar inte detta. Resultaten av åtgärdsberäkningar skiljer sig inte mycket från referensvärdena i Vip+ för de flesta åtgärderna. Dock noteras en trend av problem och avvikelser på energivärdena vid kylberäkningar vilket misstänks bero på den förenklade uträkningen av internvärmens vid

kylberäkningar. Dessutom märks avvikelser när man tittar på åtgärder som påverkar värmekapaciteten i byggnaden. Om värmekapaciteten skulle införas i beräkningarna så kommer troligtvis dessa problem minska kraftigt. Sett till det ändamål som programmet är avsett för, att göra en snabb översiktlig bedömning av lokalbyggnader så ger dessa uträkningar fullt godkända resultat.

5.1.3 Beräkning av ekonomi

Vid beräkning av de ekonomiska resultaten valdes att beräkna LCC med restvärde för livslängder som överskrider den lägsta livslängden. Denna metod kan få problem ifall den lägsta livslängden blir väldigt kort eftersom resultaten inte blir helt tillförlitliga då. Vid långa livslängder minskar även tillförlitligheten p.g.a. teknisk utveckling men för att jämföra åtgärder med varandra fungerar metoden bra. Dessutom är metoden kompletterad med internräntan vilket hjälper till att bedöma riskerna vid osäkerheter. En faktor som inte tas upp är mjuka parametrar vilket gör resultaten orealistiska. Om en satsning minskar energikostnaden genom att försämra inneklimatet så kan detta mycket väl bli en förlust i längden om produktiviteten försämras. Detta är en bedömning som användaren får avgöra själv. Större delen av indata för ekonomiska beräkningar är hämtad från sektionsfakta och Repab underhållskostnader, vilket ger ett snabbt sätt att få fram ekonomiska uppskattningar. Ett problem är dock att dessa bygger på listpriser vilket innebär att de överskattar kostnaderna eftersom entreprenörerna oftast har rabatter när de beställer varor. För att bedöma vilken åtgärd som är bäst så väljs den med lägst LCC vid given kalkylränta. Eftersom höga kalkylräntor gynnar låga investeringskostnader och kortsiktiga vinster, vilket ur t.ex. ett samhällsperspektiv inte alltid är mest lönsamt, så har valts att titta på 3 olika alternativ av kalkylränta där den lägsta ger störst energibesparingar och den högsta ger snabbast vinst. På detta sätt kan även åtgärder bedömas som ger stora miljövinster, men fortfarande så bedöms inte innemiljön vilket innebär att modellen inte är komplett. I den nuvarande modellen tas det heller inte hänsyn till inbördes ekonomiska beroenden bland åtgärderna, exempelvis att det kan bli billigare att göra vissa åtgärder samtidigt.

Om metoden efter viss vidareutveckling visar sig fungera även på verkliga lokalbyggnader så placerar metoden sig mellan de avancerade beräkningsprogrammen, vilka kan vara för tidsödande att använda vid beräkningar, och de överslagsmässiga beräkningarna, vilket ger väldigt osäkra resultat. Med modellen som tagits fram så skulle snabba och verklighetstroga bedömningar kunna göras på befintliga byggnader som ett komplement till energibesiktningen och på så sätt ge fastighetsägarna ett bättre material att ta beslut på ifall de vill göra förändringar på en byggnad för att minska energianvändningen. Vid en ombyggnad kan samma bedömning göras och om det även handlar om byte av verksamhet så görs enkelt en korrigering till den nya internvärmes för verksamheten efter framtagning av nyckeldata, för att sedan göra samma bedömning av åtgärder. Möjligheterna är stora.

5.2 Vidare studier och utveckling

Metoden är fortfarande i ett utvecklingsskede vilket innebär att det finns mycket att göra. Funktioner i metoden måste förbättras och justeras. Som exempel kan nämnas grovuppskattningen av balanstemperatur vid skattning av nyckeldata, tappvarmvattenfunktionen, läckage och solinstrålning. Solavskärmning och liknande måste

även läggas till. Metoden måste även utvecklas till att fungera med mer varierad indata som ventilation, varierad innetemperatur beroende på utetemperaturen och värmeåtervinning.

Något som måste avgöras är om det ska krävas tätare mätningar än månadsvärden vilket ger möjligheter till att använda säkrare metoder för framtagning av nyckeldata. Alternativt får andra statistiska instrument provas och fler samband i energisignaturen tas fram, så att även 12 månaders värden ska gå att använda på byggnader som har hög balanstemperatur. En möjlig väg för detta är att istället ta fram U-värdet från rumsuppvärmningskurvan och sen testa med olika balanstemperaturer istället för tvärtom som gjorts i denna metod för att se om felet blir lägre. Detta är den metod som även omnämndes i diskussionen. Modellen är inte på något vis färdig, men potentialerna att utveckla den till en användbar modell är stora.

Sen bör metoden kompletteras med värmekapacitet. Det bästa sättet att göra detta på är troligtvis att utnyttja att det finns två balansekvationer, en för kylning och en för uppvärmning, samtidigt som det finns två okända faktorer d.v.s. internvärmerna och den invändiga massan i byggnaden. Både internvärmerna och massa bör alltså gå att lösa ut så att den beräknade byggnaden använder samma mängd energi som den verkliga byggnaden samtidigt som hänsyn tas till värmekapacitet. Problem kan dock ske p.g.a. vädring som förändrar ventilationen. Om inte byggnaden använder kylenergi så får självklart massan uppskattas, detta gäller även vid stor vädring som inte går att uppskatta. Vid kylning bör även kondensering beaktas vilket inte görs nu och modellen behöver även kompletteras med pannverkningsgrader.

Sen finns stora möjligheter att ta fram fler åtgärder och även sikta in sig på funktioner för optimering av värme och ventilationssystem eller kanske t.o.m. bara testa varierande fönstertyper för att ta fram det mest optimala fönstret vid byte av fönster. På ekonomisidan kan fler ekonomiska tal tas fram och även kompletteras med känslighetsanalys. Ett instrument som också är intressant att komplettera med är ramvillkor som t.ex. max investeringskapital. Flera krav skulle lätt kunna sättas upp för att anpassa resultatet till användaren.

Något som även skulle vara intressant är att titta på om en liknande modell kan användas på kylenergin för att ta fram nyckeldata, så att kylan kan komplettera värmeenergin för att förbättra framtagna värden. Dessutom skapas möjligheter att även beräkna hus som inte har uppvärmning under arbetstid.

Men en av de viktigaste sakerna är att testa hur metoden fungerar på verkliga byggnader och sen justera efter problem som uppstår just på verkliga byggnader. Problem som kan uppstå är användarnas beteende med varierande internvärme, varierande tappvarmvattenförbrukning och vädring genom öppning av fönster.

5.3 Slutsats

En modell har tagits fram som med lättillgänglig data kan analysera energianvändningen i en lokalbyggnad och jämföra åtgärderna i ett LCC perspektiv. Indata som behövs är information som finns i en energideklaration, OVK- protokoll, översiktlig data för byggnaden samt data för åtgärderna som ska utföras. Genom att utnyttja energisignaturen och energibalansen för byggnaden så fås U-värdet, tappvarmvattenförbrukningen och internvärmerna. Utifrån detta så kan sedan åtgärderna och kombinationer av åtgärderna beräknas med energibalansen

och resultat ges för uppvärmningsbehov, kylbehov och skillnad i elförbrukning utifrån grundfallet. Utifrån energiresultaten beräknas sedan LCC- kostnaden och internräntan vid åtgärderna och dess kombinationer så att en ekonomisk bedömning och riskanalys kan göras. Denna modell ger möjligheter att på ett kostnadseffektivt och snabbt sätt göra en översiktlig bedömning av möjligheten till energiåtgärder på lokalbyggnader.

Analys av resultat från ett test av energiåtgärder har gjorts på en fiktiv byggnad, med ett testprogram som bygger på den framtagna modellen. Analysen visar att den framtagna modellen inte klara av att utföra beräkningar med månadsvis avläsning av energin. Det är för få mätpunkter för att göra de typer av regressionsanalyser som modellen kräver för att ge ett resultat med hög reliabilitet och validitet. Om istället veckovis mätning av energin används så fås bra resultat i förhållande till referensresultaten i energiberäkningsprogrammet Vip+. Detta ger en antydning om att reliabiliteten och validiteten för ändamålet att använda modellen för en översiktlig bedömning av åtgärder är tillräcklig vid veckomätningar. Här måste dock tilläggas att bara ett test gjorts på en fiktiv byggnad och inget test på verklig byggnad, vilket gör att ingen slutsats går att dra angående hur validiteten eller reliabiliteten kommer vara på en verklig byggnad. Vid testet har även framkommit att vissa delar i modellen ger mindre bra resultat. Exempelvis funktionen för beräkning av tappvarmvattenförbrukningen undervärderar energianvändningen, utelämnande av värmekapaciteten försämrar resultaten på flera åtgärder och dessutom finns vissa funktioner som är instabila. Även begränsningar finns på modellen vad gäller lokalbyggnaden som kan undersökas. Flera av dessa begränsningar går dock att åtgärda med vidareutvecklingar av modellen.

Utifrån energiresultaten beräknas de ekonomiska resultaten som ligger till grund för bedömning av åtgärderna. De ekonomiska parametrar som beräknas är LCC och internränta. LCC har valts för att kunna göra acceptabla bedömningar mellan åtgärder och kombinationer av åtgärder där varierande livslängd beaktas. Internräntan används för att kunna uppskatta ekonomiska risker med åtgärderna. Dessutom görs analys med tre olika kalkylräntor för att bedöma miljöeffekter, där den lägsta kalkylräntan ska anses vara den mest miljövänliga eftersom den bidrar till störst minskning av energianvändningen. Modellen ger en bra ekonomisk överblick för bedömning av lönsamheten med åtgärderna. Dock beaktas inte förändring av innemiljön vilket med felaktig indata på åtgärder kan innebära att innemiljön försämras vilket leder till minskad produktivitet och hälsa för de arbetande.

Den framtagna modellen är inte perfekt och det finns flera förbättringar som behöver göras. Men modellen visar på stor potential vilket gör det intressant att vidareutveckla modellen till ett mer omfattande beräkningsprogram.

6 Referenser

Abel Enno Elmroth Arne	Byggnaden som system, Andra reviderade upplagan, Alfaprint	2006
Adalberth Karin Whalström Åsa	Energibesiktning av byggnader – Flerbostadshus och lokaler Andra utgåvan, SIS förlag AB, Stockholm	2008
Andrén Lars	Solenergi praktiska tillämpningar i bebyggelse, Svensk byggtjänst Stockholm	1999
Boverket ¹	Regelsamling Boverkets byggregler, Karlskrona	2008
Boverket ²	http://www.boverket.se , hämtad 2010-04-14	2010
Brown, Gösta Isfält, Engelbrekt	Solinstrålning och solavskärmning : Solar irradiation and sun shading devices Statens inst. för byggnadsforskning, Stockholm	1971
Byggmaterialvetenskap	Kompendium I Byggnadsmaterialvetenskap, LTH, Lund	2007
Da Rosa, Aldo Vieira	Fundamentals of renewable energy processes, 2. Utgåva Elsevier Academic, Burlington	2005
Davis Langdon	Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction, Davis Langdon Management Consulting	2007
Energimyndigheten ¹	http://www.energimyndigheten.se , hämtad 2010-04-17	2010
Energimyndigheten ²	Energiläget 2009, Statens energimyndighet, CM-gruppen, Bromma	2009
Faber, Oscar Kell, John Rupert	Heating and Air Conditioning of Buildings, 9 utgåvan, Elsevier Ltd, London	2002
Gunnarsson Ronny	Korrelation och regression, hämtad 2010-04-21 http://www.infovoice.se/fou/bok/statmet/10000053.htm	2002
Hansen Kjerulf-Jensen Stampe	DANVAK Grundbog. Varme- och klimatteknik, 2. Utgåva, Danvak, Ballerup	1997
Jensen, Lars	Utetemperaturberoende årsenergibehov, Avdelningen för installationsteknik, Universitet, Lund	2008

Johansson Dennis	Modelling Life Cycle Cost for Indoor Climate System, Byggnadsfysik, Unviersitet, Lund	2005
Körner Svante Wahlgren Lars	Statistisk dataanalys, tredje upplagan, Studentlitteratur, Lund	2000
Ljung Birger Högberg Olle	Investeringsbedömning en introduktion, 2:4 upplagan Daleke Grafiska AB, Malmö	2004
Metoenorm	http://www.meteonorm.com , hämtad 2010-04-10	2010
Nilsson Sven-åke Persson Ingvar	Investeringsbedömning, 5 [kraftigt omararbetad] upplaga, LiberHermond, Malmö	1993
Rabl A. Rialhe A.	Energy Signature Models for Commercial Buildings: Test with Measured Data and Interpretation, Energy and Buildings, 19 (1992), sid. 143-154	1992
Repab	http://www.repab.se , hämtad 2010-04-25	2010
SCB ¹	http://www.scb.se , hämtad 2010-04-29	2010
SCB ²	Priser på el och naturgas samt leverantörsbyten	2010
Schulz Linda	Normalårskorrigerigering av energianvändningen i byggnader - en jämförelse av två metoder, Rapport Effektiv 2003:1, Borås	2003
Sikander, Eva	Luftäthetens handbook: problem och möjligheter. Göteborg: Sveriges byggindustrier	2007
Stone, Peter Albert	Building design evaluation: costs-in-use. Spon: London	1967
Strusoft ¹	http://www.strusoft.com , hämtad 2010-04-25	2010
Strusoft ²	VIP+ Manual, version 3.0.0, hämtad 2010-02-15 http://download.strusoft.com/VIP+/manual3.0/Manual.pdf	2010
Warfvinge Catarina	Installationsteknik AK för V, Universitetet, Lund	2003
Wikells	http://www.wikells.se , hämtad 2010-04-25	2010
Yu F.U. Chan K.T.	Energy signatures for assessing the energy performance of chillers, Energy and Buildings 37 (2005) 739–746	2005

Bilagor

Bilaga 1: Testhus

Som testobjekt har ett hus skapats i VIP+. Huset beräknas som en kvadrat med sidorna 10x10m och en högsta punkt på 5m höjd. Nedan följer en lista över indataparametrar som använts för väggar, golv, tak, fönster.

Tabell 0-1 Inmatning inparametrar Vip+

Byggdelen	Orientering	Storlek (kvm)	U-värde	Läckflöde
Yttervägg	Norr	40	0,369	0,8
Yttervägg	Söder	40	0,369	0,8
Yttervägg	Öster	40	0,369	0,8
Yttervägg	Väster	40	0,369	0,8
Fönster	Norr	10	2,7	0,8
Fönster	Söder	10	2,7	0,8
Fönster	Öster	10	2,7	0,8
Fönster	Väster	10	2,7	0,8
Tak	Tak	100	0,187	0,8
Golv1	ppm (0-1m)	26	0,238	0,8
Golv2	ppm(1-6m)	74	0,157	0,8

Golv1 respektive golv2 representerar platta på mark, 0-1 m in från kanten av plattan respektive 1-6m in under plattan. Ingen plats på plattan ligger längre än 6m ifrån kanten. För ventilationen har det satts att den ventilerar en oms/h under hela dygnet, byggnadens ventilation är 500 m³. Internvärmens är satt till två olika tider, under arbetstid vilken är 07-18 och utanför arbetstid som är 18-07. Vid tiden 07-18 är internvärmens satt till 16 W/m² och övriga tiden till 1 W/m², vilket inte innefattar internvärmens som produceras av fläktarna i ventilationen eller solinstrålningen. Högsta tillåtna temperatur i byggnaden är satt till 27°C och lägsta till 20°C, vilket betyder att utanför detta intervall används extra värme och extra kyla för att nå gränserna. Beräkningarna är satta att göras på orten Stockholm. För att undvika drag har en lägsta tilluftstemperatur på ventilationen satts till 18°C.

Med dessa inparametrar ges resultatet för ett år:

<u>Avgiven energi (kWh)</u>		<u>Tillförd energi (kWh)</u>	
Transmission	23683	Sol genom fönster	11668
Luftläckage	2716	Process	6497
Ventilation	23078	Personenergi	2482
Fjärrkyla	2889	Elförsörjning	2696
Spillvatten	402	Värmeförsörjning	29423
Total:	52768	Total:	52766

Att den avgivna energin och den tillförda energin skiljer sig på en kWh antas bero på avrundningsfel hos programmet. Det totala U-värdet för konstruktionen beräknar VIP+ till $0.48 \text{ W/m}^2\text{C}$. Husets specifika energianvändning ligger på 350 kWh/m^2 och år.

Bilaga 2: Referensobjekt

Som referensobjekt har ett hus skapats i VIP+. Huset beräknas som en rektangel med sidan 10x30m och en högsta punkt på 5m höjd. Nedan följer en lista över indataparametrar som använts för väggar, golv, tak, fönster.

Tabell 0-1 Inmatning inparametrar vip+

Byggdel	Orientering	Storlek (kvm)	U-värde	Läckflöde
Yttervägg	Norr	120	0,462	1,6
Yttervägg	Söder	120	0,462	1,6
Yttervägg	Öster	40	0,462	1,6
Yttervägg	Väster	40	0,462	1,6
Fönster	Norr	30	2,7	1,6
Fönster	Söder	30	2,7	1,6
Fönster	Öster	10	2,7	1,6
Fönster	Väster	10	2,7	1,6
Tak	Tak	300	0,378	1,6
Golv1	ppm (0-1m)	46	0,238	1,6
Golv2	ppm(1-6m)	254	0,157	1,6

Golv1 respektive golv2 representerar platta på mark, 0-1 m in från kanten av plattan respektive 1-6m in under plattan. Ingen plats på plattan ligger längre ifrån än 6m ifrån kanten. För ventilationen har det satts att den ventilerar en oms/h under hela dygnet i referensfallet, byggnadens ventilation är 1 500m³. Internvärmens är satt till två olika tider, under arbetstid vilken är 07-18 och utanför arbetstid som är 18-07. Vid tiden 07-18 är internvärmens satt till 16 W/m² och övriga tiden till 2 W/m², vilket inte innefattar internvärmens som produceras av fläktarna i ventilationen eller solinstrålningen. Högsta tillåtna temperatur i byggnaden är satt till 24°C och lägsta till 21°C, vilket betyder att utanför detta intervall används extra värme och extra kyla för att nå gränserna. Beräkningarna är satta att göras på orten Stockholm. För att undvika drag har en lägsta tilluftstemperatur på ventilationen satts till 18°C.

Med dessa inparametrar ges resultatet för ett år:

<u>Avgiven energi (kWh)</u>		<u>Tillförd energi (kWh)</u>	
Transmission	58148	Sol genom fönster	23693
Luftläckage	11840	Process	19491
Ventilation	68077	Personenergi	2628
Fjärrkyla	11224	Elförsörjning	6495
Spillvatten	2409	Värmeförsörjning	99388
Total:	151698	Total:	151695

Att den avgivna energi och den tillförda energin skiljer sig på tre kWh antas bero på avrundningsfel hos programmet. Det totala U-värdet för konstruktionen beräknar VIP+ till 0.53 W/m²C. Husets specifika energianvändning ligger på 390 kWh/m².