



CHALMERS



Skillnader mellan projekterad och verklig energianvändning för byggnader

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Felix Blohm Hagman
Viktor Hanselius

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Skillnader mellan projekterad och verklig energianvändning för byggnader

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Viktor Hanselius

Felix Blohm Hagman

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Skillnader mellan projekterad och verklig energianvändning för byggnader

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Felix Blohm Hagman

Viktor Hanselius

© FELIX BLOHM HAGMAN/VIKTOR HANSELIUS, 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Översiktsbild Sweco-huset, Skånegatan 1-3

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2024

Skillnader mellan projekterad och verklig energianvändning för byggnader

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Felix Blohm Hagman

Viktor Hanselius

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I mån om att möta förväntningarna i Parisavtalet har mål och etappmål ställts upp gällande Sveriges utsläpp av växthusgaser. Som följd av dessa mål har kraven gällande byggnaders energianvändning successivt skärpts med tiden. För att kunna bygga byggnader som uppnår dessa krav är det viktigt att redan vid projekteringsstadiet kunna förutse vad byggnadens energianvändning kommer att vara. Detta görs ofta genom att en byggnad modelleras upp och analyseras utifrån bland annat antaganden och schablonvärden. Vid uppföljningar har det dessvärre observerats att den uppmätta energianvändningen för byggnaderna sällan stämmer överens med vad som förväntas enligt projekteringen.

Undersökningen omfattar en litteraturstudie, intervjuer, fallstudier och egna mätningar med syfte att finna möjliga anledningar till skillnaderna i energianvändning, och att identifiera storleken av dessa skillnader. Vid genomförandet av fallstudierna undersöks tre byggnader, där energiberäkningar och energideklarationer jämförs, och på grund av bristande detaljering i energideklarationerna har egna mätningar och beräkningar genomförts för ett av fallstudieobjekten.

I litteraturstudien jämfördes den uppmätta och projekterade energianvändningen för 25 olika byggnader, varav 20 byggnader hade en skillnad större än $\pm 10\%$. Vidare visar även forskning på att energianvändningen tenderar att underskattas vid projekteringsstadiet. Fallstudierna visar att, oavsett hur väl projektering och uppmätning stämmer överens, så förekommer noterbara skillnader för vissa av de delposter som utgör den specifika energianvändningen. Exempelvis observerades att värmebehovet tenderar att överskattas medan kylbehovet underskattades.

Dessa skillnader beror med stor sannolikhet på att de schabloner och antaganden som används vid beräkningen är för generaliserande och därav inte representativa för olika typer av byggnader. För att förbättra simuleringar anses det även vara viktigt att energideklarationerna blir mer omfattande, och att de konsulter som arbetar med energiberäkningarna får tillgång till deklarationerna i efterhand.

Nyckelord: energianvändning, energideklaration, energiberäkning, energy performance gap, energisimulering, IDA ICE, VVC

Differences between predicted and measured energy use for buildings

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

Felix Blohm Hagman

Viktor Hanselius

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Installation technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In order to reach the expectations from the Paris agreement, Sweden set up goals and milestones regarding its greenhouse gas emissions. Following these goals, the requirements for buildings energy use have gradually become stricter over time. In order to construct buildings that meet these requirements, it is important to be able to predict the building's energy use during the design stage. This prediction is often done using a simulation software where the building is modelled and analyzed based on standard values and assumptions about the building. However, follow-ups have shown that the measured energy use for buildings tend to differ from what is predicted in the energy simulation.

This study is composed of a literature review, interviews, case studies and self-conducted measurements with the aim of identifying reasons for the discrepancies in energy use, and to identify the magnitude of these discrepancies. Three different buildings have been analyzed in the case studies, where energy calculations have been compared to energy declarations. Due to the lack of detail in the energy declarations, independent calculations have been carried out on one of the case study buildings.

The literature review compared the predicted and measured energy use for 25 different buildings. Out of these, 20 had a difference greater than $\pm 10\%$, where a majority had underestimated the building's energy use. Furthermore, external research also shows that the energy use tends to be underestimated during the design stage. The case studies show that large discrepancies tend to occur in some of the subsections that make up the specific energy use, regardless of how well the total energy use align. For instance, the heating demand is often overestimated, whereas the cooling demand tends to be underestimated.

These discrepancies are likely due to the fact that the standard values and assumptions used in the calculations are too generalized and therefore not representative of different types of buildings. To improve these calculations, it is suggested that future energy declarations are more detailed, and that consultants working with energy calculations get access to these declarations.

Key words: energy use, energy declaration, energy calculation, energy performance gap, energy simulation, IDA ICE, domestic hot water

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problemformulering	1
1.3 Syfte	2
1.4 Avgränsningar	2
2 TEORI	3
2.1 Energiberäkningar i IDA ICE	3
2.2 Energideklarationer	3
3 METOD	4
3.1 Litteraturstudie	4
3.2 Intervjuer	4
3.3 Fallstudier	4
3.4 Mätinstrument och mätningmetod	5
3.5 Beräkning av VVC-förluster	5
4 TIDIGARE STUDIER	6
4.1 Studier inom Sweco	6
4.1.1 Flerbostadshus	6
4.1.2 Kontor	7
4.1.3 Varuhus	8
4.1.4 Kommunala byggnader	9
4.1.5 Procentuell avvikelse	10
4.2 Övriga studier	11
4.2.1 Energianvändning och EPG	11
4.2.2 Människors påverka på EPG	11
4.2.3 VVC-förluster	12
5 FALLSTUDIE OBJEKTBESKRIVNINGAR	14
5.1 Sweco-huset	14
5.2 Biltema Katrineholm	15
	III

5.3	Biltema Landskrona	16
6	RESULTAT	18
6.1	Intervjuresultat	18
6.2	Fallstudie Sweco-huset	19
6.2.1	Energiberäkningar	19
6.2.2	Energideklaration	21
6.2.3	Skillnader mellan beräkning och uppmätning	21
6.2.4	Egna undersökningar	23
6.3	Fallstudie Biltema Landskrona	26
6.3.1	Energiberäkning	26
6.3.2	Energideklaration	27
6.3.3	Skillnader mellan beräkning och uppmätning	27
6.4	Fallstudie Biltema Katrineholm	29
6.4.1	Energiberäkning	29
6.4.2	Energideklaration	30
6.4.3	Skillnader mellan beräkning och uppmätning	30
6.5	Jämförelse av fallstudier	32
7	DISKUSSION	33
7.1	Anledningar till skillnader och potentiella lösningar	33
7.2	Svårigheter och hinder	34
7.3	Förbättringsmöjligheter och vidare undersökningar	34
8	REFERENSER	36

Förord

Detta examensarbete har utförts på Chalmers tekniska högskola med hjälp och handledning från konsultföretaget Sweco AB. Vi vill tacka alla på avdelningen Hållbara byggnader på Sweco för ett trevligt bemötande och intressanta diskussioner. Speciellt vill vi tacka Karolina Robertsson för handledning genom hela arbetet, och Linda Fredriksson för hjälp vid utförandet av mätningarna. Vi vill även tacka Anders Trüschel och Torbjörn Lindholm på Chalmers tekniska högskola för deras handledning.

Göteborg, juni 2024

Felix Blohm Hagman
Viktor Hanselius

Beteckningar

A_{temp}	m^2	Uppvärmd golvarea över 10°C
C_p	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	Specifik värmekapacitet
Q	kW	Värmeeffekt
U	$\frac{W}{K \cdot m^2}$	Värmegenomgångskoefficient
V	$\frac{m^3}{s}$	Flöde
Δt	°C	Temperaturskillnad
ρ	$\frac{kg}{m^3}$	Densitet
Breem, GreenBuildings		Typ av frivillig miljöcertifiering för en byggnad
Energy performance gap		Skillnaden mellan projekterad och verklig energianvändning
Specifik energianvändning		Total energianvändning för en byggnad över ett år, exklusive verksamhetsel
Verksamhetsel		Energianvändning beroende av verksamheten i byggnaden
BEN		“Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår”
EPG		Energy performance gap

1 Inledning

1.1 Bakgrund

År 2017 antog den Svenska riksdagen ett klimatpolitiskt ramverk, uppbyggt av lagar, mål och politiska råd, som ska fungera som en kärnkomponent i Sveriges mål om att möta förväntningarna i Parisavtalet (Naturvårdsverket, 2024a). Det långsiktiga målet är att senast år 2045 vara ett klimatneutralt land, vilket innebär att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser. Det ställdes även upp etappmål för år 2020, 2030 och 2040 där utsläppen bör ha minskat med 40, 63 respektive 75 procent jämfört med år 1990. Av dessa etappmål har det första målet gällande år 2020 uppnåtts (Naturvårdsverket, 2024b).

Bygg- och fastighetssektorn beräknas stå för ett årligt utsläpp på cirka 11,1 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarar 21,7 procent av den totala årliga mängden utsläppta växthusgaser i Sverige (Boverket, 2024c). För att reducera utsläppen inom branschen, har det därav blivit väsentligt att bygga hållbart och energieffektivt.

Enligt miljöindikatorer från SCB 2021, står bygg- och fastighetssektorn för cirka 34 % av Sveriges totala energianvändning, vilket motsvarar ungefär 109 TWh (Boverket, 2024b). Ytterligare delades energianvändningen för bygg- och fastighetssektorn in i posterna: Uppvärmning, Fastighetsförvaltning, Renovering, om-, till- och nybyggnad. Av dessa poster användes majoriteten av energin till uppvärmning, vilket var cirka 72% av den totala energianvändningen för bygg- och fastighetssektorn.

En byggnads energianvändning kan ha en stor påverkan på miljön då exempelvis el- och värmeproduktion ofta bidrar med en negativ miljöpåverkan (Boverket, 2023b). Det har därav ägnats mycket uppmärksamhet åt att energieffektivisera byggnader genom att successivt skärpa energikraven för nybyggnation (Boverket, 2018). De skärpta energikraven, tillsammans med att andelen förnybar energi i branschen har ökat till cirka 65%, har bidragit till en kraftig minskning av växthusgasutsläpp de senaste 30 åren (Boverket, 2024b; Boverket, 2018).

För att byggnader ska bli mer energieffektiva är det viktigt att kunna förutse hur byggnaderna kommer att prestera efter att de har konstruerats. För att ta reda på byggnadens energianvändning används ofta simuleringsprogram där en modell av byggnaden analyseras. Utifrån inmatad data om byggnaden och omgivningen, ger programmet svar på bland annat byggnadens förväntade energianvändning.

Efter att byggnaden har färdigställts görs en uppföljning där den faktiska energianvändningen för byggnaden mäts upp. Vid uppföljningar observeras ofta att energianvändningen för byggnaden inte överensstämmer med vad som förväntas enligt beräkningarna. Dessa skillnader benämns ofta som "Energy performance gap". För att kunna bygga mer energieffektiva byggnader är det viktigt att, på ett mer precist sätt, kunna förutsäga en byggnads energianvändning.

1.2 Problemformulering

Vilka anledningar finns det till att det tenderar att skilja sig mellan uppmätt och beräknad specifik energianvändning för byggnader? Hur stora tenderar skillnaderna att vara och hur ofta uppstår markanta skillnader?

1.3 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka orsaker till skillnader mellan en byggnads uppmätta och projekterade energianvändning, samt till vilken utsträckning dessa skillnader förekommer.

1.4 Avgränsningar

I och med att arbetet är tidsbegränsat finns det inte möjlighet att genomföra en djupgående analys av ett stort antal byggnader. Därav kommer rapporten avgränsas till tre fallstudier, varav en är på en kontorsbyggnad och två är på varuhus. Fallstudierna genomförs på byggnader i Sverige där energisimuleringar har genomförts med simuleringsprogrammet IDA ICE. För att få tillgång till energiberäkningar och energideklarationer har projekt valts där Sweco har arkiverat dokument från projekteringsfasen.

2 Teori

2.1 Energiberäkningar i IDA ICE

För att en byggnad ska få upprättas ställer Boverket krav på att byggnadens energianvändning verifieras (Boverket, 2020b). Denna verifiering kan antingen göras genom mätningar eller genom en energiberäkning. Vid beräkning av byggnadens energianvändning bör Boverkets föreskrifter och allmänna råd, BEN, följas. BEN innehåller regler, allmänna råd och brukarindata för hur normalt brukande bör hanteras vid utförande av energiberäkningar och mätningar. Byggnadens utformning och placering bör beaktas vid energiberäkningar (Boverket, 2017). Detta inkluderar passiv solinstrålning och data för utomhusklimatet. I BEN finns även krav på vilka tekniska egenskaper, och vilka tekniska byggnadssystem, som åtminstone behöver inkluderas i beräkningarna.

Samtliga energiberäkningar som behandlas i rapporten har genomförts med simuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy (ICE). IDA är ett program skapat för att kunna studera och beräkna inomhusklimatet och energianvändningen för byggnader (EQUA, 2013). Principiellt bygger IDA ICE på att byggnaden modelleras upp och delas in i zoner, samt att data för byggnaden och omgivningen registreras i programvaran. Baserat på data för byggnaden, modellens uppbyggnad och klimatdata för omgivningen, utför programmet en serie beräkningar för alla processer i byggnaden.

2.2 Energideklarationer

En energideklaration innehåller information om bland annat en byggnads årliga energianvändning, den uppvärmda arean och byggnadens värmesystem (Boverket, 2024a). En byggnad ska deklarerars inom två år från när den började användas och deklarationen är giltig i tio år (Boverket, 2023a). Efter dessa tio år har passerat har byggnadsägaren en skyldighet att upprätta en ny energideklaration. I deklarationen inkluderas vanligtvis energianvändning för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetselen, komfortkyla och byggnadens specifika energianvändning (Boverket, 2024a). Utöver detta ska byggnaden klassificeras mellan energiklass A och G där energiklass A innebär en låg specifik energianvändning och klass G tyder på en hög specifik energianvändning. För nybyggnation ligger kravet på att byggnaden ska uppnå energiklass C eller bättre.

I rapporten har energideklarationer använts för att kunna jämföra uppmätt och beräknad energianvändning. Däremot redovisar inte energideklarationen byggnadens energianvändningen med en detaljerad uppdelning. Ett exempel på detta är att fastighetsenergi vanligtvis är angivet som ett värde istället för att vara uppdelat i bland annat pumpar och motorer. Till följd av den bristande detaljnivån har egna mätningar och beräkningar genomförts på ett fallstudieobjekt. Detta i avsikt att ge kompletterande data till jämförelser med antaganden och schablonvärden i energiberäkningen.

3 Metod

Arbetet har genomförts i tre steg: en litteraturstudie, intervjuer och fallstudier som även inkluderar egna mätningar och beräkningar.

3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie utförs i rapporten med syfte att sammanställa information från tidigare studier för att ge ökad kunskap om ämnet och ytterligare underlag för jämförelser. Litteraturstudien inkluderar interna studier utförda av Sweco samt yttre studier och forskning som inhämtas från databaser.

För att få med endast relevanta och pålitliga studier har lämpliga inklusions- och exklusionskriterier använts, som exempelvis publiceringsdatum, en grundläggande kvalitetsbedömning och en bedömning om ifall studien är partisk.

3.2 Intervjuer

Syftet med intervjun är att få åsikter om energiberäkningar, energideklarationer och Energy Performance Gap, EPG, från experter inom området. Syftet var även att få åsikter om potentiella felkällor vid energiberäkning som kan leda till skillnader jämfört med energideklarationen. Dessa åsikter användes senare som referens eller citat och förblir anonyma.

Majoriteten av intervjudelen utfördes via ett formulär för att få synpunkter och erfarenheter i skriftlig form. Formuläret skickades ut till konsulter som jobbar med både energiberäkningar och energideklarationer.

3.3 Fallstudier

De tre fallstudierna görs med syfte att finna möjliga anledningar till att den projekterade energianvändningen skiljer sig från den verkliga energianvändningen, genom att mer utförligt undersöka objekten. Med en mer detaljerad undersökning kan ytterligare felkällor framkomma som annars hade varit svåra att se vid en grundlig utredning.

Den specifika totala energianvändningen för en byggnad kan generellt delas in i posterna: Värmebehov, Kylbehov och Fastighetsel. Dessa poster kan, i sin tur, indelas i ytterligare poster där exempelvis värmebehovet kan innehålla poster som Tappvarmvatten och VVC-förluster. Målet med fallstudierna är att undersöka byggnaderna på en liknande detaljnivå och att möjligtvis hitta felkällor.

I många projekt har energideklarationen en mindre detaljerad uppdelning av energianvändningen än energiberäkningen, vilket är en avgörande faktor i hur detaljerad jämförelsen kan utföras. För att komplimentera denna jämförelse har egna mätningar utförts för en av fallstudierna. Med hjälp av mätningar på fallstudieobjektet, kan exempelvis VVC-förluster och energianvändningen av hissar beräknas. Dessa beräkningar används sedan för en slutlig jämförelse med antaganden som har gjorts vid energiberäkningen och de etablerade schablonvärden som används i branschen.

3.4 Mätinstrument och mätningmetod

För att kunna beräkna VVC-förlusterna behövde temperaturdifferensen mätas mellan början och slutet av varmvattencirkulationen. Temperaturmätningen har genomförts under en tidsperiod på en vecka för att få en uppfattning om hur temperaturen varierar och för att kunna hitta en rimlig medeltemperatur. Temperaturen mättes genom att 3 temperaturmätare placerades mot kopian av rören där mätarna sedan isolerades för att erhålla en mer exakt mätning. Mätarna som användes var Gemini Tinytag Data Logger för temperatur och dessa mätare placerades efter fjärrvärmväxlaren, i slutet av varmvattencirkulationen och på det inkommande kallvatten innan det blandas med det cirkulerande vattnet.

Flera flödesmätningar utfördes under samma period som temperaturmätningen för att uppskatta det genomsnittliga flödet genom varmvattencirkulationen och flödet för det inkommande kallvattnet. För kallvattnet studerades en installerad mätare för den totala vattenvolymen, vilket gav möjligheten att beräkna flödet under en tidsperiod. För varmvattencirkulationen användes det externa injusteringsinstrumentet TA Scope för att få flödet vid en tidpunkt. Flödesmätningen utfördes vid flera tillfällen och vid olika klockslag för att få en approximation av flödet. Sedan användes denna data, tillsammans med temperaturmätningen och VVC-ledningens sträcka, för att beräkna VVC-förluster.

Utöver detta gjordes mätningar för energianvändningen av hissar med syfte att jämföra mätningarna med schablonvärden och andra värden givna av producenterna för hissmodellen. Mätningar gjordes genom avläsning av installerade mätare för den totala energianvändningen för hissarna i byggnaden. Denna avläsning utförs vid två tillfällen, vilket ger möjligheten att beräkna kWh/år.

Begränsningar görs för dessa mätningar då mätningperioden antas representera det genomsnittliga förhållandet under hela året. För mer exakta årliga värden bör kontinuerlig mätning ske under hela året.

3.5 Beräkning av VVC-förluster

VVC-förlusterna beräknas med hjälp av den data som framtagits från mätningarna. Med temperaturskillnaden och flödet i varmvattencirkulationen kan den förlorade värmeeffekten beräknas med följande formel.

$$Q = V \cdot C_p \cdot \rho \cdot \Delta t \quad (1)$$

Q = Värmeeffekt [kW]

V = Flöde [m³/s]

C_p = Specifik värmekapacitet [kJ/(kg·K)]

ρ = Densitet [kg/m³]

Δt = Temperaturskillnad

Den förlorade värmeeffekten kan senare divideras med sträckan på VVC-ledningen för att få ut VVC-förluster i enheten W/m. Värmeeffekten kan även skrivas om till kWh/år baserat på antal timmar systemet är aktivt per år och sedan divideras med A_{temp} för att få kWh/m², år. Den beräknade förlusten per meter kan senare jämföras med värdet som har använts i energiberäkningsrapporten.

4 Tidigare studier

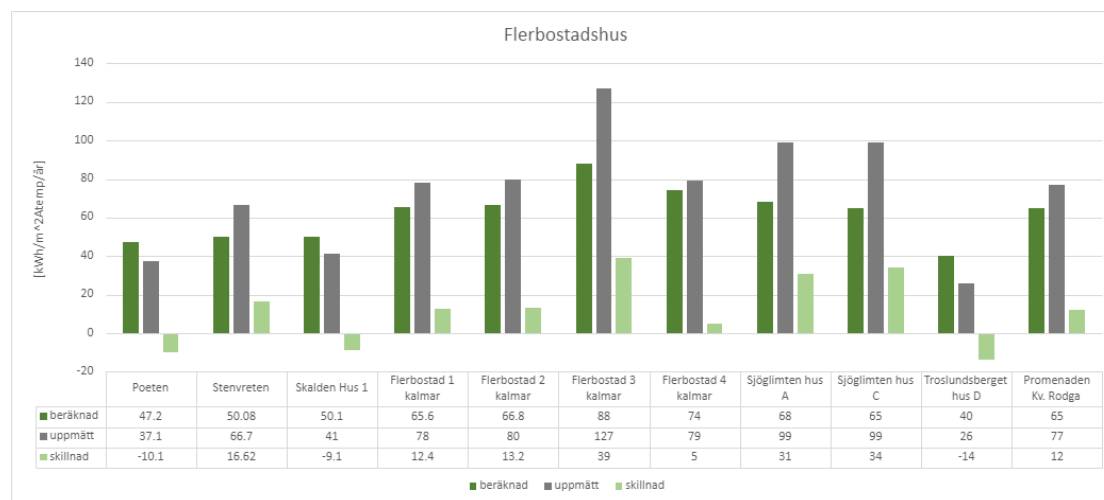
Att det förekommer skillnader mellan simulerad och uppmätt energianvändning för byggnader har varit känt inom branschen i många år och är något som har undersökts tidigare. Därav kommer den interna undersökningen med Sweco kompletteras med en litteraturstudie för att kunna identifiera orsaker till de ofta förekommande skillnaderna mellan uppmätt och projekterad energianvändning.

4.1 Studier inom Sweco

Genom studier och material som tillhandahållits av Sweco, har uppmätt och beräknad specifik energianvändning undersökts för 25 olika byggnader. Undersökningen består av flerbostadshus, kontor, varuhus och kommunala byggnader där uppmätt och projekterad energianvändning har jämförts för att se hur stora skillnaderna tenderar att vara. För samtliga byggnader är energisimuleringar gjorda med simuleringsprogrammet IDA ICE. Jämförelser mellan uppmätt och beräknad energianvändning visar att stora skillnader ofta förekommer. Den genomsnittliga skillnaden vid jämförelse av alla 25 byggnader beräknades till cirka 24,6%, vilket är en markant avvikelse från energiberäkningen. Vid beräkning av den genomsnittliga skillnaden har absolutbelopp använts. Detta då avsikten är att ta reda på hur mycket den uppmätta energianvändningen tenderar att skilja sig från projekteringen.

4.1.1 Flerbostadshus

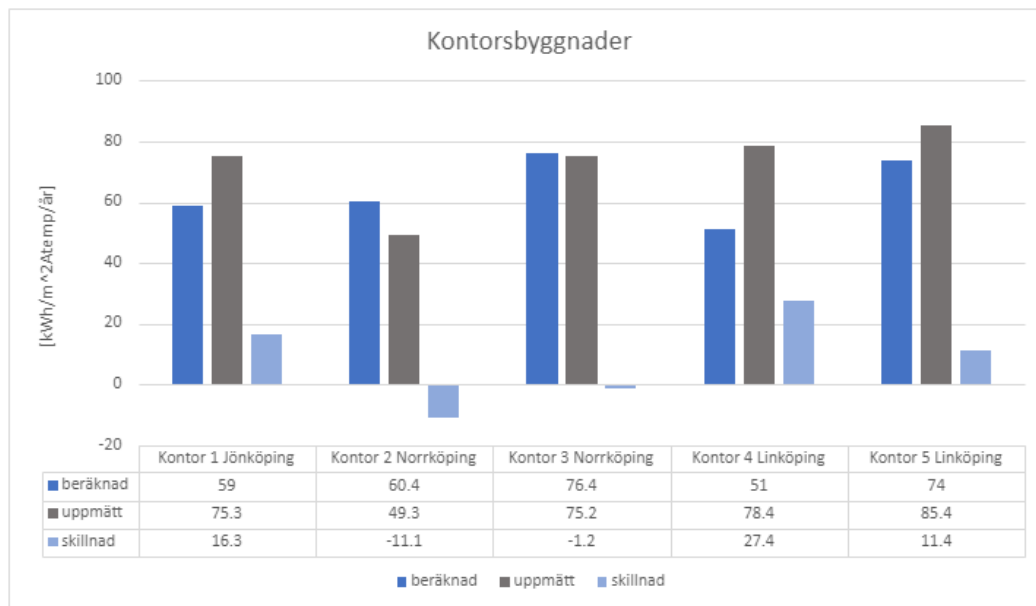
Figur 1 visar hur energianvändningen för olika flerbostadshus varierar gentemot den förväntade projekterade energianvändningen. Flerbostadshusen är alla lokaliserade i Sverige och det är projekt som Sweco tidigare har arbetat med.



Figur 1: Sammanställning av beräknad och uppmätt energianvändning för flerbostadshus, samt vad skillnaden är mellan beräknad och uppmätt energianvändning.

Figuren ovan visar på att den uppmätta energianvändningen tenderar att vara högre än den tidigare projekterade energianvändningen. För över två tredjedelar av de analyserade flerbostadshusen överskrider den uppmätta energianvändningen den projekterade. Det framkommer dessutom att uppmätningarna skiljer sig från beräkningarna med ett snitt på 28,5%, där den största skillnaden var för Sjöglimten hus C där uppmätt energianvändning var 52% större än den beräknade.

4.1.2 Kontor



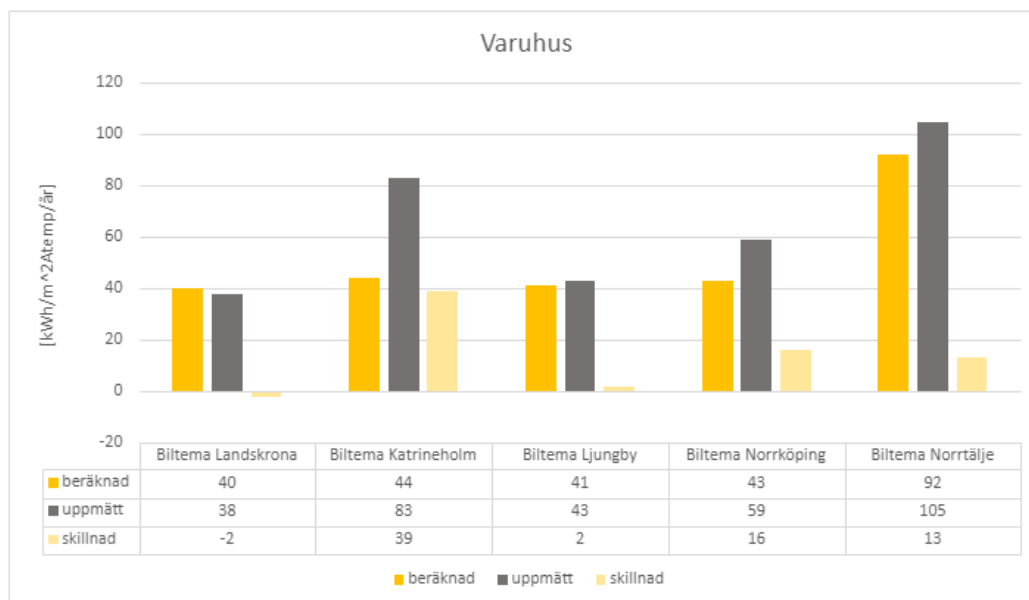
Figur 2: Sammanställning av beräknad och uppmätt energianvändning för kontorsbyggnader, samt vad skillnaden är mellan beräknad och uppmätt energianvändning.

Figur 2 visar uppmätt och projekterad energianvändning för ett antal olika kontorsbyggnader, samt skillnaden mellan dessa värden. Dessa kontorsbyggnader är lokaliserade i Norrköping, Linköping och Jönköping.

För de fem kontorsbyggnaderna som inkluderades i jämförelsen var det enbart en byggnad där den uppmätta energianvändningen liknade den beräknade. För de resterande fyra kontoren var det markanta skillnader mellan uppmätt och projekterad energianvändning. Den uppmätta energianvändningen avviker på snitt med ungefär 23% från beräkningen för de fem kontor som analyserades. Då enbart fem kontor har inkluderats i jämförelsen går det inte att med säkerhet säga att resultatet speglar hur det ser ut för alla kontorsbyggnader, men det visar att det är ett problem som förekommer.

4.1.3 Varuhus

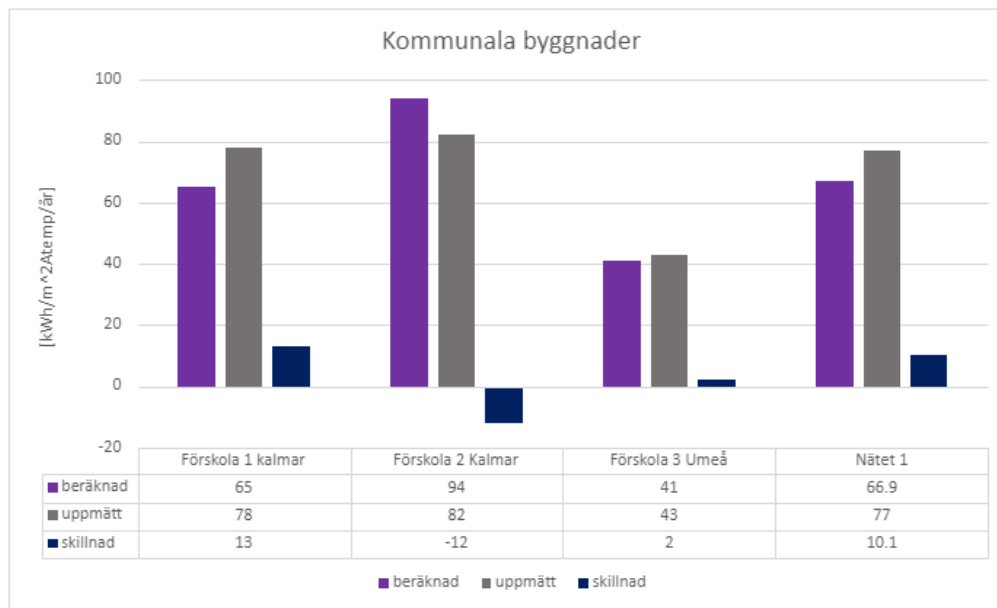
Projekterad energianvändning och uppmätt energianvändning har jämförts för fem olika Biltema varuhus i Sverige. Figur 3 visar hur den uppmätta specifika energianvändningen förhåller sig till vad den enligt projektering förväntas vara.



Figur 3: Sammanställning av beräknad och uppmätt energianvändning för varuhus, samt vad skillnaden är mellan beräknad och uppmätt energianvändning.

För två av varuhusen stämmer den uppmätta specifika energianvändningen väl överens med den beräknade, medan det för resterande tre varuhus förekommer större skillnader. Utifrån de fem varuhus som har jämförts kan slutsatsen dras att det förekommer skillnader mellan den uppmätta och förväntade specifika energianvändningen, då den genomsnittliga skillnaden var ungefär 30%. För att få en bättre uppfattning om hur ofta dessa skillnader förekommer hade fler varuhus behövt vara inkluderade i jämförelsen.

4.1.4 Kommunala byggnader

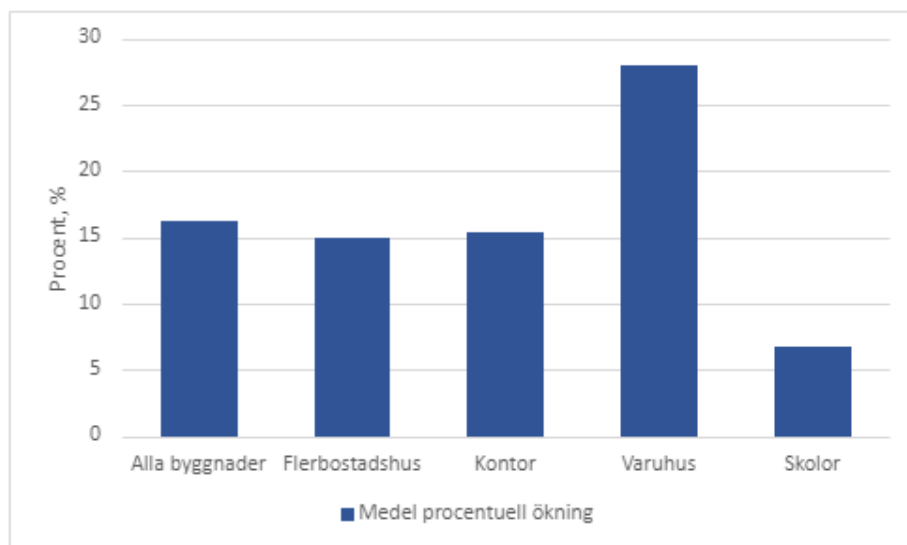


Figur 4: Sammanställning av beräknad och uppmätt energianvändning för kommunala byggnader, samt vad skillnaden är mellan beräknad och uppmätt energianvändning.

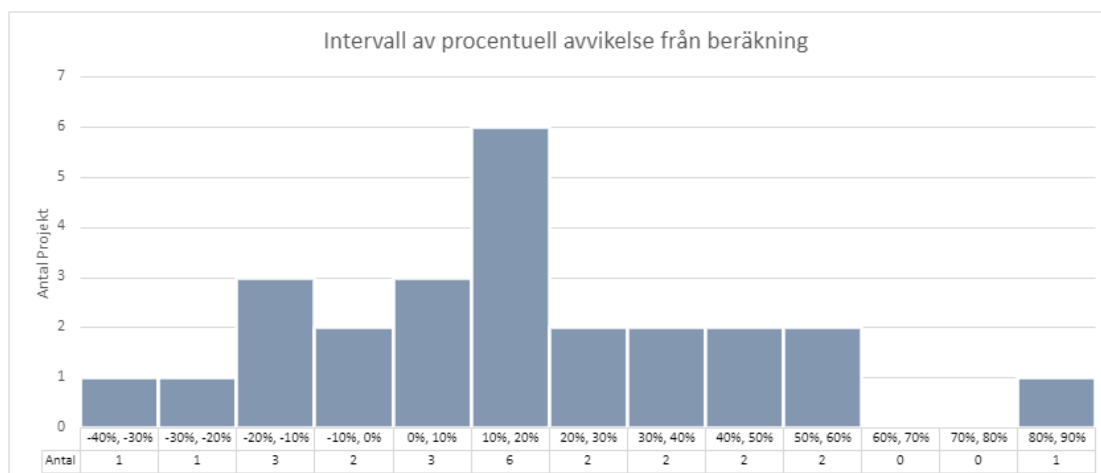
För kommunala byggnader i form av förskolor och äldreboende har den uppmätta specifika energianvändningen jämförts med den projekterade energianvändningen. Figur 4 visar hur den uppmätta energianvändningen förhåller sig till den beräknade.

Enbart fyra byggnader fanns tillgängliga för jämförelse, vilket gör att resultatet inte kan anses som representativt för hur det ser ut för alla förskolor och äldreboenden. Jämförelsen av uppmätt och beräknad specifik energianvändning visar att det ibland förekommer markanta skillnader, och för de fyra studerade byggnaderna skilde det sig med ett snitt på 13%. Även om det, på grund av bristande objekt, inte går att säga hur ofta dessa stora skillnader förekommer så är det tydligt att det förekommer.

4.1.5 Procentuell avvikelse



Figur 5: sammanställning av hur stor skillnaden är i procent mellan beräknad och uppmätt energianvändning.



Figur 6: Antal byggnader med uppmätt energianvändning inom intervall av procentuell avvikelse från beräknad energianvändning.

I figur 5 ovan kategoriseras byggnaderna in i respektive post där den procentuella ökningen av energianvändningen, från energiberäkningen till energideklarationen, undersöks. Figuren visar att den specifika energianvändningen skiljer sig med ungefär 15% för flerbostadshus och kontorslokaler, medan skolor skiljer sig under 10%. För varuhus var skillnaden cirka 28%, men då varuhus Biltema Katrineholm kan anses som en utstickare, poängteras även att medianen för varuhus är cirka 14%. Medelvärdet på EPG för samtliga byggnader blev ungefär 16,3%, vilket visar att energianvändningen tenderar att underskattas vid projekteringen.

Figur 6 ovan visar de 25 byggnader som undersöktes och hur mycket den uppmätta energianvändningen skiljer sig från den projekterade energianvändningen. Av de 25 undersökta byggnaderna, hamnade endast fem byggnader inom toleransen $\pm 10\%$. Fem projekt hade en lägre uppmätt energianvändning än toleransen och 15 projekt var över toleransen. Skillnaden i procent mättes som lägst upp till -35% och som högst till 89%.

4.2 Övriga studier

I syfte att fördjupa förståelsen, har även internationella och nationella studier utanför Sweco granskats. Detta kommer bidra med en ökad uppfattning om hur branschen ser på skillnaderna mellan förväntad och verklig energianvändning. De externa studierna kommer även tillföra ytterligare underlag för att kunna avgöra hur stora dessa skillnader tenderar att vara, och hur ofta de förekommer.

4.2.1 Energianvändning och EPG

År 2020 genomfördes en studie på en gymnasieskola i Gävle där bland annat projekterad energianvändning jämfördes med den verkliga (Englund, m.fl., 2020). I studien jämfördes simulerad och uppmätt energianvändning för byggnaden mellan 29/12 2014 och 04/01 2015 för att se hur byggnaden och modellen presterar under en vecka då inga studenter befann sig i byggnaden. Under veckan utan elever på skolan, visade sig skillnaderna mellan uppmätt och simulerad energianvändning vara 3,4%. Vidare noterades EPG för februari till april, vilket är månader då eleverna var på skolan. Under dessa månader var skillnaden mellan projekterad och uppmätt energianvändning ungefär 10%, vilket tyder på att de osäkerheter som kommer med en använd byggnad är svåra att simulera.

Vidare genomfördes en studie år 2021 som strävade efter att se hur användare av byggnader påverkar EPG (Mahdavi, m.fl., 2021). I studien analyserades över 100 olika studier från 26 olika länder, varav majoriteten inkluderade data från Europa. Av samtliga granskade studier, rapporterade 68 stycken ett kvantifierat värde på EPG för en eller flera byggnader. EPG för de byggnader som inkluderades i studierna sträcker sig mellan -38% och +96%. För bostadsbyggnader var medelvärdet på EPG +37% och för övriga byggnader var medelvärdet +16%. Detta indikerar, likt de interna studierna, att energianvändningen för byggnader tenderar att vara underskattad snarare än överskattad.

Utifrån de analyserade studierna redovisades även potentiella bidragande faktorer till EPG (Mahdavi, m.fl., 2021). Dessa faktorer kan grupperas i tre olika delar: design-, konstruktion- och driftskedet. Vid designskedet anses slarviga, översimplifierade eller orealistiska antaganden vid modellering vara en anledning till att den uppmätta energianvändningen avviker från vad som förväntas. EPG anses också kunna uppstå från konstruktionsstadiet, där skillnader mellan "as-designed" och "as-built" versioner av byggnaden bedöms vara en bidragande faktor. I driftskedet av byggnaden anses sensorfel och de konsekvenser detta medför i systemkontroll vara en av de främsta faktorerna till att EPG uppstår.

4.2.2 Människors påverka på EPG

I en av de ovan nämnda studierna undersöktes hur användarnas beteende påverkar EPG (Mahdavi, m.fl., 2021). Av de över 100 olika rapporterna som granskades i studien, konstaterade omkring 70% att användarnas beteende har en påverkan på EPG. Däremot inkluderade, enligt studiens iakttagelser, endast 14% av de undersökta rapporterna kvantitativ data för både användarbeteende och energianvändning.

Utifrån de rapporter som analyserades i studien noterades tre användarrelaterade anledningar till EPG som framträdde betydligt oftare än andra (Mahdavi, m.fl., 2021). Den anledning som observerades i flest antal studier var användarnas beteende

relaterat till öppnande av fönster. Användarna tenderade att ha öppna fönster oftare, eller under längre tider än vad som var antaget vid projektering, vilket ansågs bidra till ett ökat uppvärmningsbehov. Ungefär en tredjedel av rapporterna i studien nämnde även att önskad inomhustemperatur tenderar att underskattas vid projekteringen. Skillnader mellan de förväntade och faktiska antalet människor som befinner sig i en byggnad var något som ett flertal rapporter ansåg var en bidragande faktor till EPG. Ett exempel på detta är en studie där en kontorsbyggnad i sydvästra England undersöktes (Jain, m.fl., 2021). Det befann sig runt 25-30% mer användare än planerat i byggnaden, och temperaturen var inställd på cirka 21-22°C, istället för den planerade 19°C. Detta ansågs vara en signifikant anledning till den stora skillnaden mellan faktisk och projekterad energianvändning, som i detta fallet var cirka 35%.

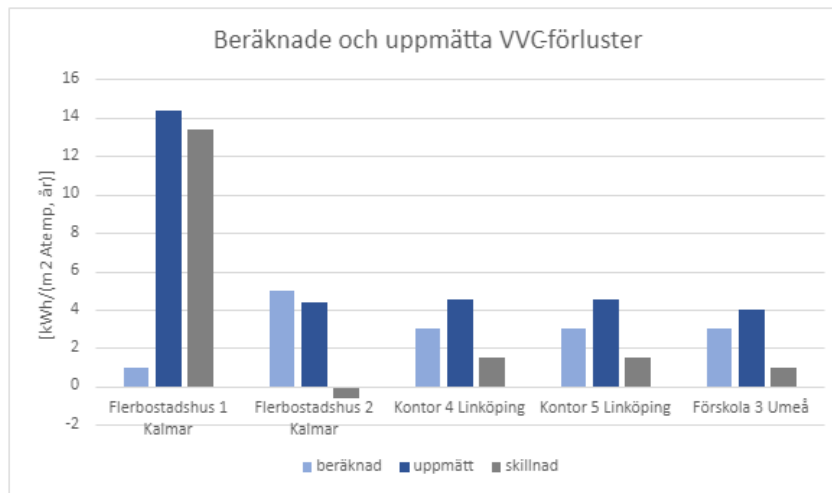
Ett generellt sätt att minska användarrelaterad EPG är att förbättra simuleringarna för energiberäkning (Mahdavi, m.fl., 2021). Flera rapporter i studien betonade vikten av att genomföra uppföljningar på byggnader efter de har börjat användas. Detta i mån om att kunna få en bättre uppfattning om användarnas beteende. Under projekteringsskedet används ofta ideella antaganden om användarnas beteende, vilket anses vara en bidragande faktor till EPG (Ali, m.fl., 2020). Den ökade kunskapen antas kunna bidra till förbättringar på de antaganden och schablonvärden som experterna använder sig av vid energiberäkningarna (Mahdavi, m.fl., 2021).

4.2.3 VVC-förluster

Vid energisimuleringar är det ofta en utmaning att få VVC-förlusterna att stämma överens med verkligheten. Schablonvärden och antaganden används i beräkningarna vilket leder till avvikelser från de senare uppmätta förlusterna. Vanliga schablonvärden för VVC-förluster brukar, för nyare flerbostadshus, vara mellan 4-5 kWh/m², år, men tidigare uppmätningar och studier visar att detta ofta är en underskattning (Burke m.fl., 2022; Svensk Byggtjänst, u.å).

Informationsföretaget Svensk Byggtjänst genomförde en studie som omfattade mätningar av varmvattencirkulationsförluster (u.å). I studien inkluderades 12 flerbostadshus. De uppmätta VVC-förlusterna varierade mellan 2,4 kWh/m², år och 22,7 kWh/m², år med en medelförlust på 9,1 kWh/m², år. Av de 12 flerbostadshus som studerades hade tio en VVC-förlust över 5 kWh/m²,år. Studien visar att schablonvärdet, 4-5 kWh/m², år kan ses som en underskattning för de flerbostadshus som studerades. Då endast 12 flerbostadshus var inkluderade i studien går det inte att med säkerhet säga att schablonvärdet alltid är en underskattning, men det tyder på att det finns osäkerheter kring vilka antaganden som bör göras.

Interna studier genomförda av Sweco visar, likt studien genomförd av Svensk Byggtjänst, att uppmätta VVC-förluster tenderar att vara större än vad som förväntas enligt energiberäkningarna. Figur 7 visar hur beräknade och uppmätta förluster varierar för olika typer av byggnader som har inkluderats i studier genomförda av Sweco.

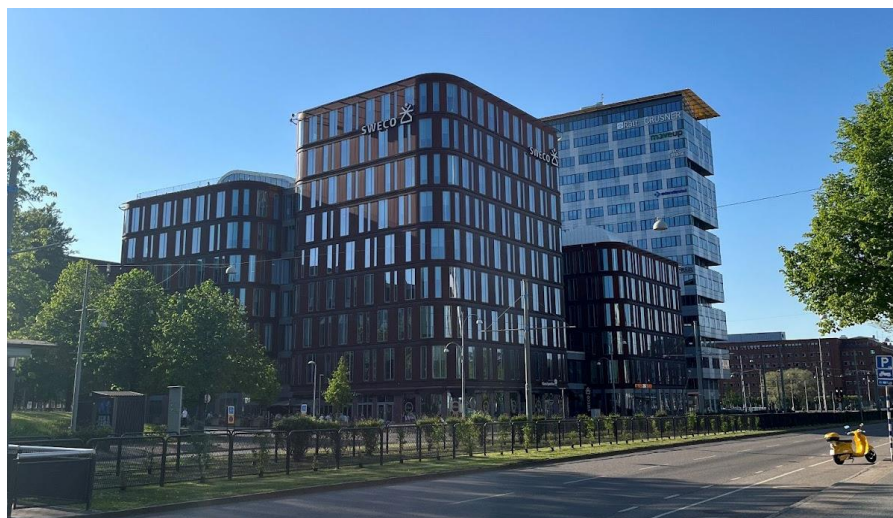


Figur 7: Beräknad och uppmätt VVC-förlust för byggnader från studier genomförda av Sweco

5 Fallstudie objektbeskrivningar

5.1 Sweco-huset

Sweco-huset är en byggnad lokaliserad i Göteborg som består till största del av kontorslokaler. Byggnaden färdigställdes år 2015 och består av tio våningar över marken med en total verksamhetsarea på 22570 m² (NCC, 2015). Verksamhetsytan är fördelad mellan kontor, cafe och en gymanläggning där kontorslokaler står för cirka 93% av byggnadens totala användning och beräknas rymma ungefär 1200 personer. Byggnaden har uppnått certifieringen Breeam Excellent och uppfyller GreenBuildings krav på att byggnaden inte får ha en specifik energianvändning som överskrider 75% av BBRs energikrav.



Figur 8, Fotografi av Sweco-huset, Skånegatan 1-3.

Uppvärmning och nedkylning av byggnaden görs med fjärrvärme och fjärrkyla samt radiatorer och kylbafflar (NCC, 2015). Byggnadens ventilationssystem är uppbyggt av till- och frånluftsventilation med värmeåtervinning, FTX. Ventilationssystemet är ett behovsstyrt variabelflödessystem, VAV, vilket innebär att luftflödet regleras utifrån det faktiska behovet vid specifika tillfällen. Byggnaden är även utrustad med varmvattencirkulation vars ledning är ungefär 360 meter lång. Energisimuleringar för byggnaden genomfördes av NCC med simuleringsprogrammet IDA ICE. I Tabell 1 presenteras areor och U-värden för de delar av byggnadens skal som NCC har inkluderat i IDA simuleringen. U-värdena är framtagna genom Staticus U-värdesberäkningar av fasadpartierna.

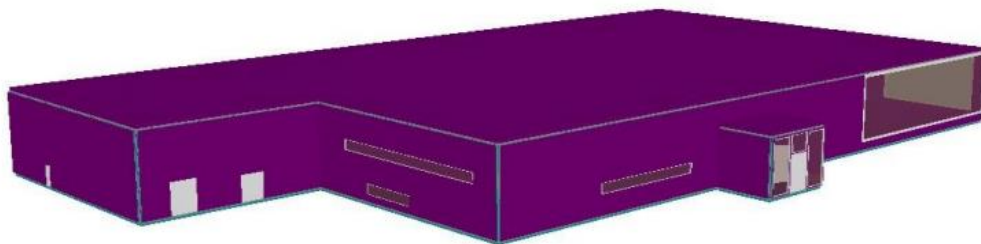
Tabell 1, byggnadsskalets areor och värmeomgångskoefficienter, Sweco-huset

Byggnadens skal	Area [m ²]	U [W/(K · m ²)]	U · A [W/K]	% av total
Väggar över mark	4942	0.16	805	9
Väggar under mark	729	0.15	106	1
Tak	3961	0.17	667	8
Golv mot mark	3883	0.15	567	7
Golv mot omgivande luft	135	0.16	21	0
Fönster	4293	0.91	3889	45
Köldbryggor			2502	29
Total	17943		8557	100
Genomsnittligt U-värde, U _m		0.48		

Golv mot omgivande luft i tabellen ovan tyder på golv i kontakt med omgivande uteluft runt byggnaden, som exempelvis golv för en oisolerad vind eller balkongplattor. Köldbryggorna antas av NCC motsvara 41% av UA-värdet, vilket motsvarar 29% av det totala UA-värdet (NCC, 2015).

5.2 Biltema Katrineholm

Biltema som ligger i Katrineholm är ett varuhus som är uppbyggd av de fyra zonerna: Kontor, Lager, Butik och Entré som tillsammans utgör en A_{temp} på 4883 m² enligt energiberäkningen (Sweco, 2012). Vidare mättes A_{temp} till 5542 m² i energideklarationen, vilket är en skillnad på 659 m² (Bravida, 2015). Antalet kunder i butiken vid ett givet tillfälle antas variera över dagen och sträcker sig mellan 30 och 80 personer.



Figur 9, Modell skapad i IDA ICE 4.0 av Sweco.

Uppvärmningssystemet för varuhuset är ett bergvärmesystem som har en årsvärmefaktor på 3 (Sweco, 2012). Byggnaden kyls genom att tillvarata frikyla från borrhål för bergvärmepumpen samt en kylmaskin. Ventilationssystemen för varuhuset är uppdelade i tre zoner. För lagret används frånluftsventilation för att uppnå ett luftflöde på 150 l/s. Kontoren ventileras med ett FTX-system med ett flöde på cirka 1100 l/s. För butiksområdet används ett återluftsaggregat utrustat med en roterande

värmeväxlare där systemet tillför ungefär 3500 l/s. Energisimuleringar för byggnaden genomfördes av Sweco med simuleringsprogrammet IDA ICE. I Tabell 2 presenteras areor och värmegenomgångskoefficienter för de delar av byggnadens skal som Sweco har inkluderat i IDA simuleringen.

Tabell 2, byggnadsskalets areor och värmegenomgångskoefficienter, Biltema Katrineholm

Byggnadens skal	Area [m ²]	U [W/(K*m ²)]	U*A [W/K]	% av total
Väggar	2072	0.25	518	21%
Tak	4600	0.12	552	23%
Golv	4600	0.2	920	38%
Fönster	308	1.4	431.2	18%
Total	11580		2421.2	100%
Genomsnittligt U-värde, U _m		0.23		

Köldbryggor bedöms enligt Sweco motsvara ett 10 procent påslag på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (Sweco, 2012). Detta motsvarar en ökning av U-värdet med 0,02 W/(K*m²), som beräknas till 242 W/K, och ger en ny total transmissionsförlust på 2663 W/K.

5.3 Biltema Landskrona

Biltema i Landskrona är ett varuhus uppbyggt av följande zoner: Entré, Butik, Lager, Café+kök, Matsal, Brandfarliga varor, Kem.förråd, WC, Personalutrymmen, Trapphus och Fläktrum (Sweco, 2016). Dessa zoner utgör enligt projekteringen en total A_{temp} på 6968 m². Vid uppföljningen mättes A_{temp} upp till 7178 m². Likt Biltema Katrineholm, antas antalet kunder i butiken vid ett givet tillfälle variera över dagen och sträcker sig i det här fallet mellan 10 och 350 personer.



Figur 10, Modell skapad i IDA ICE 4.7 av Sweco.

Uppvärmningssystemet för varuhuset är ett bergvärmesystem som har en årsvärmefaktor på 3 och ett påslag för värme till luftridåer har gjorts motsvarande 2 kWh/m² (Sweco, 2016). Byggnaden är även utrustad med golvvärme för cirka 706 m². Kylsystemet för varuhuset tillvaratar frikyla från borrhål och producerar även kyla med en bergvärmepump. Frånluftsventilation används för att ventileras aerosoler, brandfarliga varor och kem.lagret. Ett återluftsaggregat med roterande värmeåtervinnare används för att ventileras butiken, entrén, matsalen och lagret. Ett FTX-system ventilerar resterande zoner som exempelvis lunchrum, kontor, kök och omklädningsrum. Energisimuleringar för byggnaden genomfördes av Sweco med simuleringsprogrammet IDA ICE. I Tabell 3 presenteras areor och värme genomgångskoefficienter för de delar av byggnadens skal som har inkluderats i IDA simuleringen.

Tabell 3, byggnadsskalets areor och värme genomgångskoefficienter, Biltema Landskrona

Byggnadens skal	Area [m ²]	U [W/(K*m ²)]	U*A [W/K]	% av total
Väggar	2384	0.25	596	16.0%
Tak	6810	0.12	817	22.0%
Golv	6776	0.21	1423	38.3%
Fönster	733	1.2	880	23.7%
Total	16703		3716	100.0%
Genomsnittligt U-värde, U _m		0.29		

Köldbryggor bedömdes utgöra cirka 20 procent av transmissionsförlusterna (Sweco, 2016). Detta motsvarar ungefär 743 W/K, vilket ger en ny total transmissionsförlust på 4459 W/K.

6 Resultat

6.1 Intervjuresultat

Som hjälp till studien har ett frågeformulär skickats ut till experter inom området på Sweco. Konsulter inom energiberäkning och energimätning, med erfarenhet mellan 4 och 20 år, har bidragit med tankar och synpunkter om ämnet. Formulärets syfte var att få svar på frågor som hur ofta det förekommer skillnader mellan uppmätt och beräknad energianvändning, vad dessa skillnader beror på och vad de anser skulle kunna vara en acceptabel avvikelse mellan de uppmätta resultaten och beräkningarna.

Gällande frågan om hur ofta skillnader mellan uppmätt och beräknad energianvändning förekommer i projekten, ansåg lika många experter att det endast skedde ibland som att det ofta förekom. Via formuläret, och muntliga konversationer med experter, framkom även att energiberäknare sällan får tillgång till resultaten från uppföljningarna. Ifall det inte handlar om certifieringsprojekt så är det sällan samma företag som genomför både beräkningar och uppföljningar. Detta bidrar till svårigheter för de som genomför beräkningarna att veta hur väl de stämmer överens med projektet vid uppföljningen.

Som följdfråga till hur ofta skillnader förekommer, ställdes en fråga om hur stora dessa skillnader tenderar att vara. Även här svarade flera experter att de är osäkra då de ofta bara jobbar med antingen beräkningar eller uppföljningar. De konsulter inom området som kunde svara på frågan svarade att skillnaderna brukar ligga mellan 0 och 30 procent för byggnadernas totala energianvändning, men att det kan vara större skillnader för enskilda energiposter.

Vidare ställdes en fråga om vad de anser är de främsta anledningarna till att skillnaderna uppstår. Svaren till denna fråga varierade mycket och många olika anledningar till att skillnaderna uppstår gavs. Ett vanligt svar var att det är svårt att förutse VVC-förluster, köldbryggor, internlast och andra komponenter som förlitar sig på schablon- och referensvärden. Utöver detta ansågs dåliga överlämningar mellan projekt och drift som en viktig bidragande faktor, då det kan leda till att byggnaden inte används som den är avsett. Exempelvis kan ventilationssystemen vara igång under tider som inte är medräknade eller så kan installerade styrlösningar användas felaktigt. I energiberäkningarna utgår man ofta från ideala fall och, då det är svårt att få de verkliga konstruktionerna att spegla detta, kan det leda till att uppmätningen avviker från beräkningen.

Därefter ställdes en fråga om vilka konsekvenser den skiljande energianvändningen kan leda till. Flera konsulter svarade att dessa skillnader medför ekonomiska konsekvenser, då exempelvis driftkostnaden för byggnaden blir svår att förutspå. Utöver de ekonomiska konsekvenserna anses dessa skillnader också ha en påverkan på miljön. Att energianvändningen skiljer sig från vad som förväntas enligt beräkningar, leder konsekvent till att den förväntade CO₂-belastningen för byggnaden kan avvika.

Sedan efterfrågades experternas åsikt om hur man skulle kunna minska dessa skillnader. Flera experter ansåg att en förbättring skulle ske om energiuppföljningarna var mer omfattande, samt att energiberäknare får tillgång till dessa uppföljningar för

att kunna jämföra resultaten med beräkningarna. Vidare nämndes att förbättringar var möjliga genom att utgå från mer realistiska fall i energiberäkningarna. Det vill säga, istället för att utgå från ideala fall bör man ta hänsyn till mer realistiska scenarier, såsom smutsiga filter och ett mer realistiskt läckage genom klimatskalet.

Efter detta ställdes en mer specifik fråga om hur stor faktor människors användning av en byggnad är till den potentiella skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning. De flesta experterna ansåg att människor är en stor faktor till skillnaderna. Sedan bads de vidareutveckla, vilket gav flera svar som liknande svaren angående frågan om de största anledningarna till skillnaderna. Flera konsulter inom området ansåg att schabloner för interna laster ofta skilde sig från verkligheten och att de interna lasterna är svåra att förutse.

Avslutningsvis frågades experterna vad de ansåg var en acceptabel procentuell skillnad mellan projekterad och uppmätt energianvändning, där de tre vanligaste svaren var $\pm 10\%$, $\pm 15\%$ och $\pm 20\%$. Baserat på ytterligare muntliga intervjuer så anses $\pm 10\%$ skillnad mellan beräknad och uppmätt specifik energianvändning vara en överenskommen acceptabel skillnad för flera konsulter inom området.

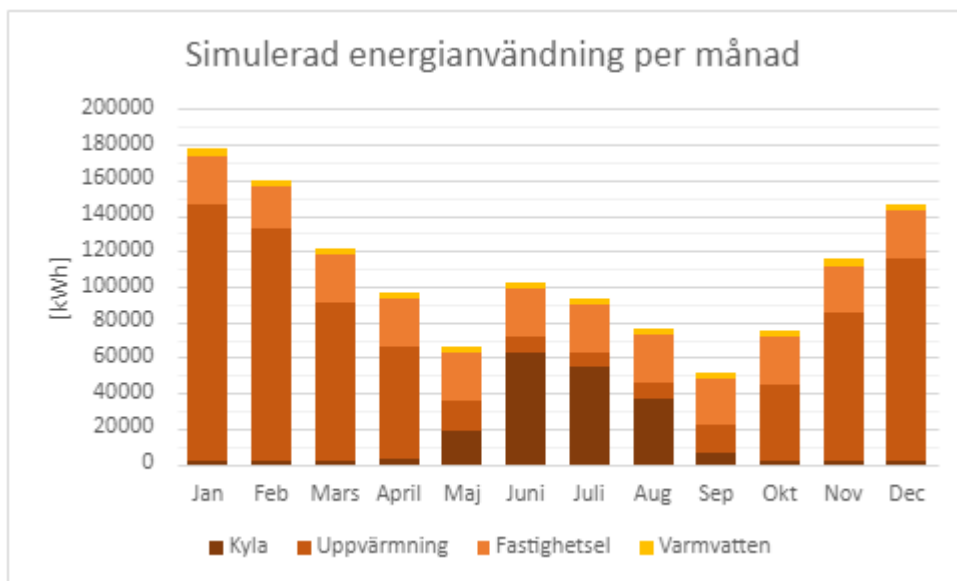
6.2 Fallstudie Sweco-huset

En närmare undersökning har genomförts på Sweco-huset där energianvändningen från energisimuleringen har jämförts med uppmätt energianvändning för byggnaden. Energiberäkningen genomfördes initialt av NCC i januari 2014, men ändringar och revidering av rapporten har gjorts fram till november 2015 (NCC, 2015). För byggnaden har två energideklarationer genomförts. Den första genomfördes av Wikström Installationskonsult AB och godkändes i oktober 2015 och den andra genomfördes av Bengt Dahlgren AB och godkändes i oktober 2023. Då deklARATIONEN från 2023 är gjord efter alla revideringar och ändrade förutsättningar, kommer den att utgöra den främsta delen av jämförandet i fallstudien.

6.2.1 Energiberäkningar

Energiberäkningen för Sweco-huset är utförd med simuleringsprogrammet IDA ICE 4,6 där byggnaden har modellerats upp och blivit indelad i totalt 62 zoner (NCC, 2015). Genom IDA beräknas byggnadens nettoenergiebehov för värme, kyla och viss fastighetsel samt byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient. Övrig fastighetsel som inte har beräknats i IDA har beräknats separat utifrån schablonvärden, antaganden och brukarindata.

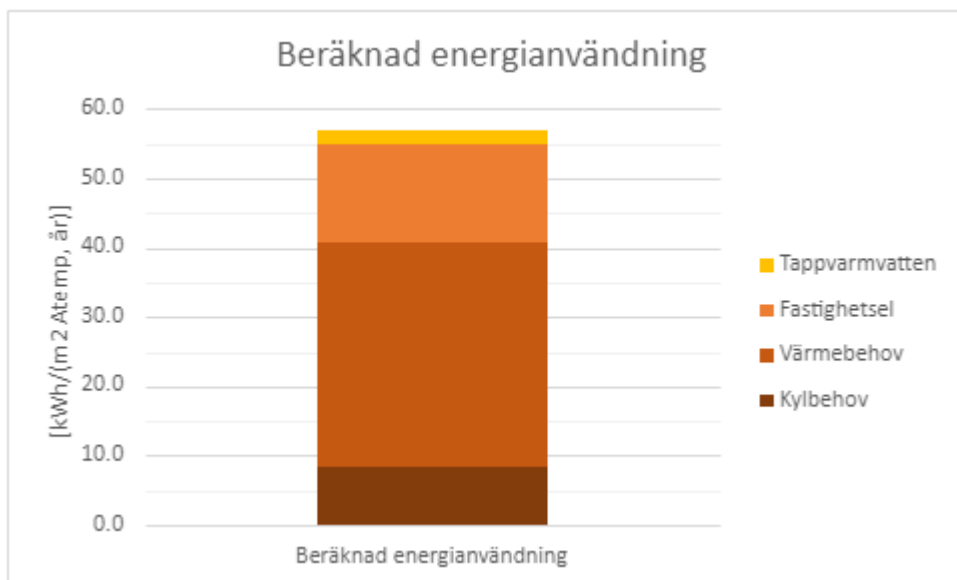
Utifrån energirapporten har beräknat kylbehov, värmebehov, fastighetsel och tappvarmvatten sammanställts i figur 11 för att visa hur energibehovet för byggnaden varierar över ett år.



Figur 11, månadsvis simulerad specifik energianvändning över ett år.

Figuren ovan visar på att energiåtgången för tappvarmvatten och fastighetsel håller sig relativt konstant under året medan byggnadens kyl- och värmebehov varierar mycket utifrån årstid. Byggnadens totala energianvändning beräknades till 1 284 206 kWh/år vilket, utslaget på byggnadens A_{temp} , ger en total specifik energianvändning på cirka 57 kWh/m², år.

I figur 12 kan den specifika energianvändningen avläsas där den är uppdelad i värmebehov, kylbehov, fastighetsel och tappvarmvatten.



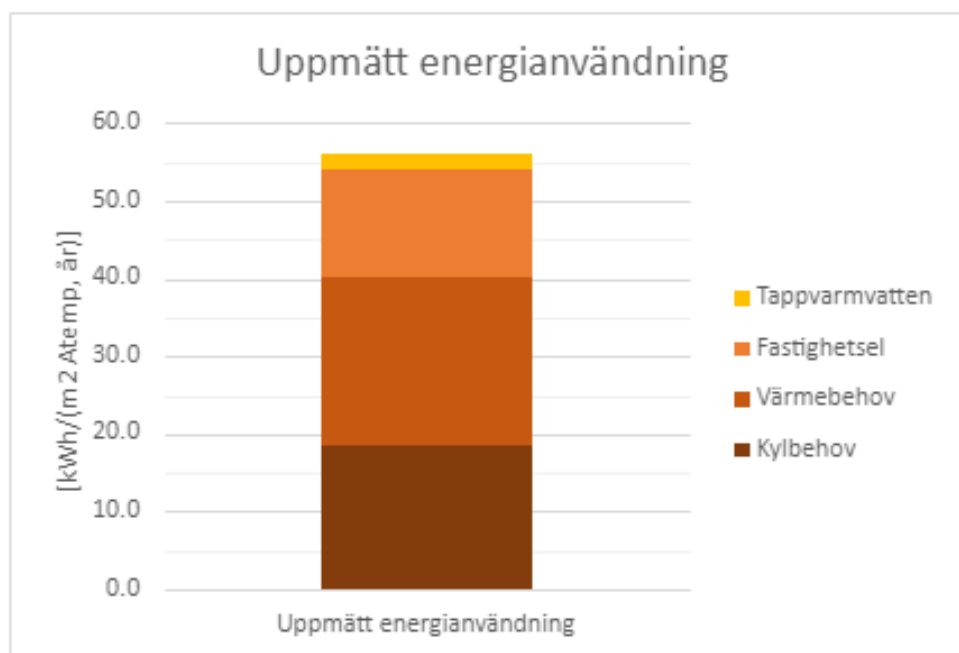
Figur 12, genomsnittlig beräknad energianvändning per m² Atemp över ett år för Sweco-huset.

Av den beräknade specifika energianvändningen är det byggnadens värmebehov som utgör den största andelen. Uppvärmningen av byggnaden står för cirka 57% av den specifika energianvändningen, medan fastighetselen och kylbehovet står för 25% respektive 15%. Tappvarmvatten är den minsta andelen av den specifika energianvändningen och står endast för 4%.

6.2.2 Energideklaration

För både energideklarationen som godkändes år 2015 och 2023 uppnådde Sweco-huset energiklass B, vilket innebär att byggnaden presterar bättre än det krav som finns för uppförandet av nybyggnad (Wikström, 2015; Bengt Dahlgren, 2023; Boverket, 2024a). Enligt energideklarationen som genomfördes 2015, hade byggnaden en specifik energianvändning på 55 kWh/m², år och enligt energideklarationen från 2023 var den specifika energianvändningen 56 kWh/m², år.

Energideklarationen redovisar byggnadens energianvändning i fyra generella poster. Den uppmätta energianvändningen är indelad i värmebehov, kylbehov, fastighetsel och tappvarmvatten. Figur 13 illustrerar hur stor andel av byggnadens totala energianvändning de olika komponenterna utgjorde år 2023.



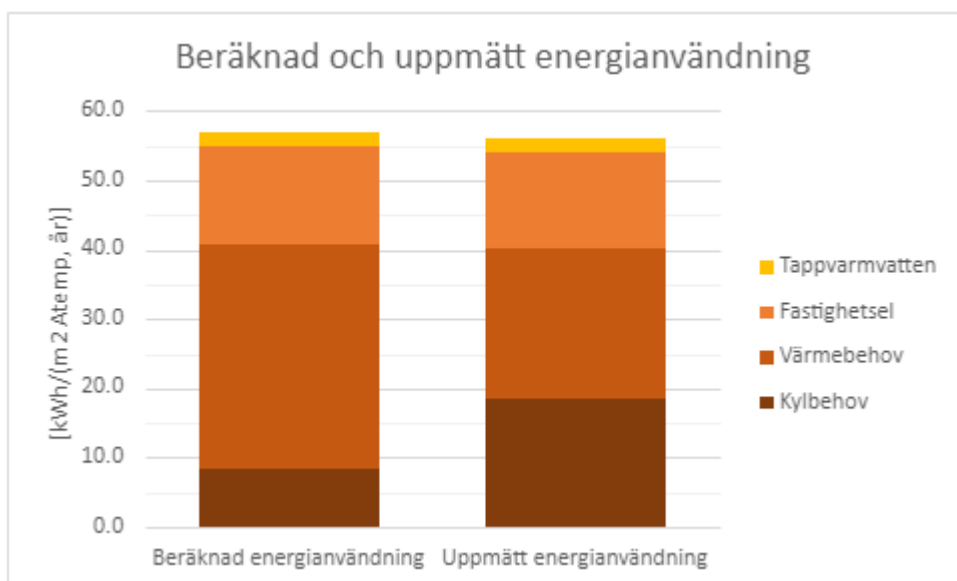
Figur 13, genomsnittlig uppmätt energianvändning per m² A_{temp} över ett år för Sweco-huset.

Av den uppmätta specifika energianvändningen på 56 kWh/m², år, stod värme- och kylbehov för den största andelen med 39% respektive 33%. Fastighetselen stod för 25% av energianvändningen och tappvarmvatten utgjorde endast 4%.

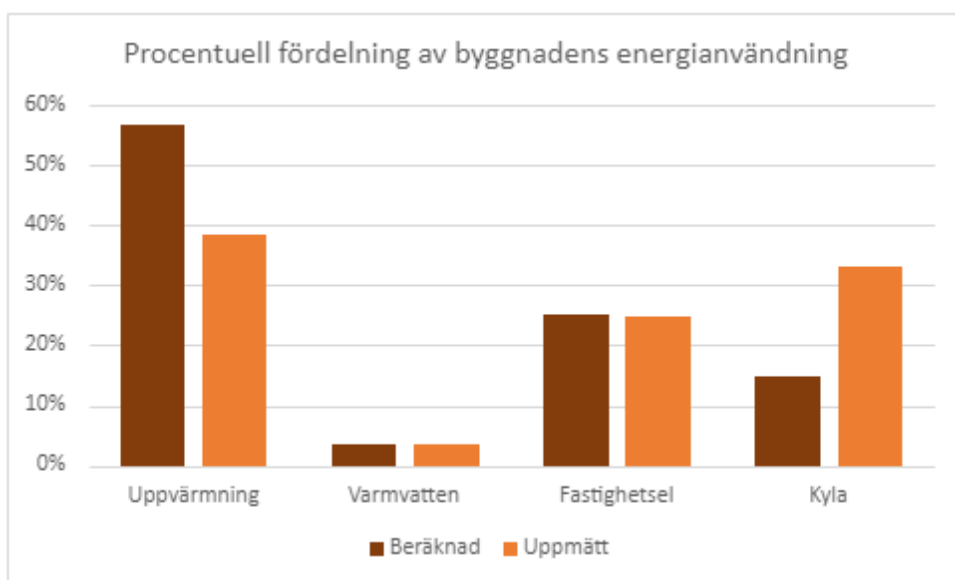
6.2.3 Skillnader mellan beräkning och uppmätning

Initialt ger den beräknade och uppmätta specifika energianvändningen för byggnaden ett intryck av att energiberäkningen väl stämmer överens med byggnadens energianvändning. En uppmätt energianvändning på 55 kWh/m², år 2015 samt 56 kWh/m², år 2023 stämmer väl överens med den beräknade specifika energianvändningen på 57 kWh/m², år. Detta är en differens på 3,6% respektive 1,8%, vilket kan ses som ett bra resultat baserat på majoriteten av svaren från intervjun.

Vid en närmare analys av de komponenter som gör upp byggnadens energianvändning, framkommer noterbara skillnader mellan den beräknade och verkliga energianvändningen. I figur 14 illustreras den beräknade och uppmätta specifika energianvändningen, uppdelad i generella poster.



Figur 14, jämförelse av beräknad och uppmätt energianvändning per $m^2 A_{temp}$ och år för Sweco-huset.



Figur 15, Procentuell jämförelse mellan beräknad och uppmätt energianvändning för posterna.

Vid jämförelse av beräknad och uppmätt energianvändning i figur 14, framkommer att byggnadens kyl- och värmebehov skiljer sig markant. Enligt beräkningen står uppvärmningen för 32,3 kWh/m² av den årliga energianvändningen medan mätningen visar att uppvärmningen endast står för 21,6 kWh/m² år 2023. Liknande beräknades kylbehovet stå för 8,5 kWh/m² av den årliga energianvändningen medan mätningen visar att kylbehovet faktiskt står för 18,6 kWh/m² år 2023. Vid beräkningen har alltså energianvändningen för byggnadens värmebehov överskattats medan energianvändningen för kylbehovet har underskattats.

Ytterligare illustrerar figur 15 den procentuella skillnaden mellan beräknad och uppmätt specifik energianvändning för de olika posterna. Avläsning av den beräknade energianvändningen visar att uppvärmning och kylning förväntades stå för cirka 57% respektive 15%. Detta kan anses som en felbedömning då den uppmätta

uppvärmningen och kylningen mättes stå för cirka 39% respektive 33% av den totala specifika energianvändningen.

Dessa felbedömningar i beräkningen resulterade i en ungefär lika stor minskning som ökning av den totala energianvändningen, vilket var anledningen till att den totala specifika energianvändningen inte skilde sig noterbart mellan beräknat och uppmätt värde. Detta visar signifikansen av att undersöka delkomponenterna som gör upp energianvändningen, oavsett om den övergripande bilden tyder på att den uppmätta energianvändningen stämmer överens med den beräknade eller inte.

Då energideklarationer enbart redovisar uppvärmning, kylbehov och fastighetsel på ett övergripande sätt, har egna mätningar och beräkningar genomförts på Sweco-huset för att ytterligare jämförelser med energiberäkningen ska vara möjliga.

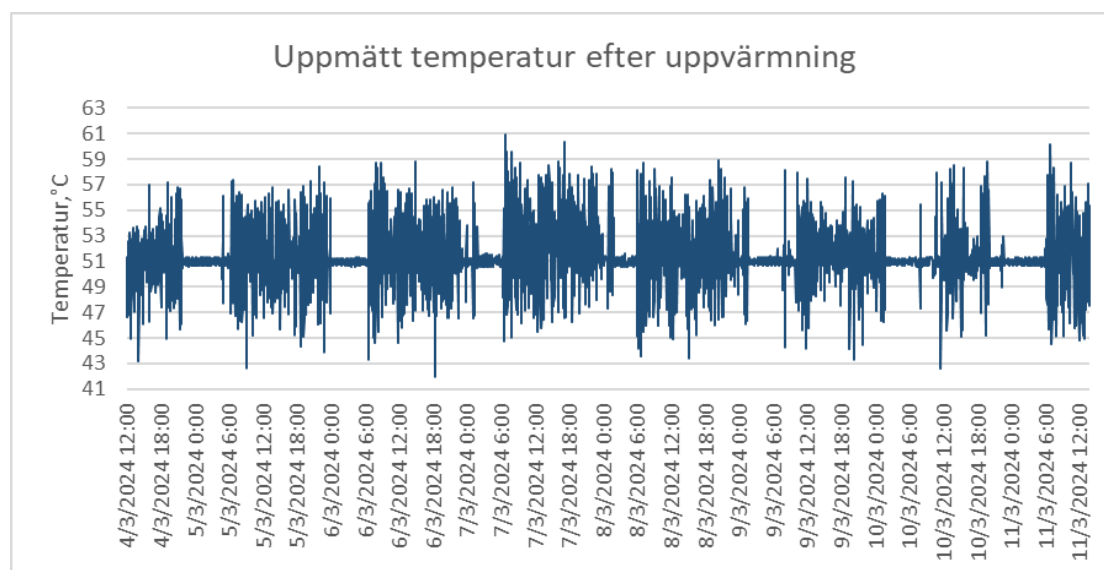
6.2.4 Egna undersökningar

För att göra energiberäkningar i IDA ICE behövs antaganden och schablonvärden. Därav har mätningar och beräkningar på Sweco-huset genomförts för att kunna se hur väl dessa antaganden och schabloner stämmer överens med den verkliga energianvändningen för byggnaden. Beräkningar och undersökningar har genomförts på VVC-förluster, tappvarmvatten och elanvändningen för hissar då det är områden där schablonvärden från exempelvis BEN och Sveby ofta används.

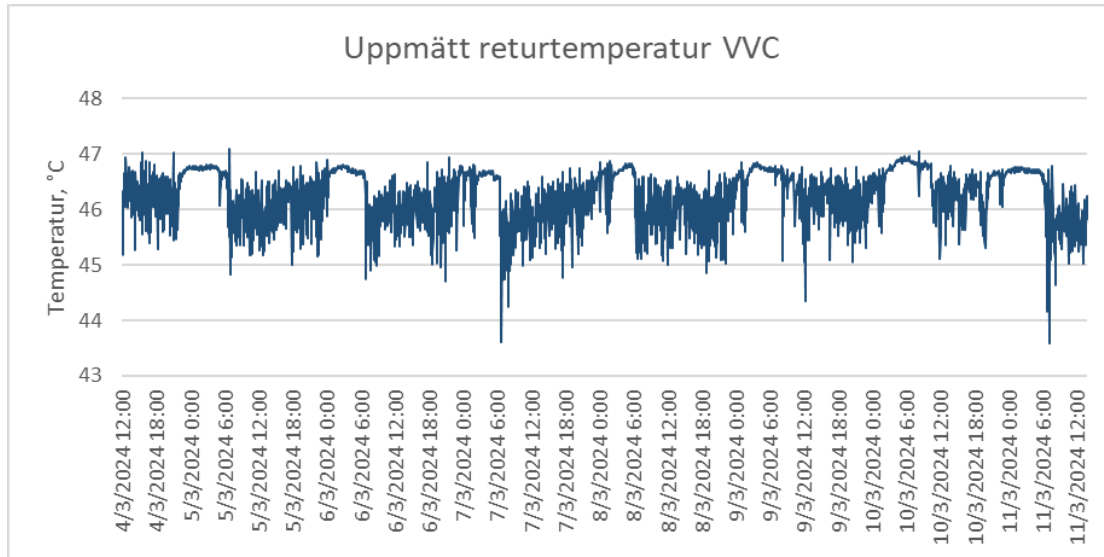
6.2.4.1 VVC-förluster

För att kunna beräkna VVC-förluster gjordes ett flertal mätningar; vattentemperaturen efter uppvärmning och returtemperaturen mättes tillsammans med det cirkulerande vattenflödet. Efter ett flertal mätningar vid olika tidpunkter, bedömdes flödet i systemet vara 0,151 l/s.

Temperaturmätningarna genomfördes under en veckas tid med ett tidsintervall på 3 minuter mellan varje mätning, vilket resulterade i 3398 mätningar. Startdatum för temperaturmätningen var 4/3/24 12:00 och slutdatum var 11/3/24 13:51. Figur 16 och 17 visar hur temperaturen efter uppvärmning respektive returtemperaturen varierade under mätningsperioden.



Figur 16, uppmätt vattentemperatur efter fjärrvärmväxlare mellan 4/3 och 11/3 2024.



Figur 17, Uppmätt vattentemperatur i slutet av cirkulationsledning mellan 4/3 och 11/3 2024.

För mätningen gjord på vattnet efter uppvärmning, varierade temperaturen mellan cirka 42 °C och 61 °C med en medeltemperatur på 51,4 °C. Den uppmätta returtemperaturen varierade mellan 43,6 °C och 47,1 °C med en medeltemperatur på 46,3 °C.

Ytterligare avläsning av figur 16 och 17 visar en grundtemperatur vid inaktivitet för vattnet efter fjärrvärmeväxlaren och returvattnet på cirka 51 °C respektive 46,7 °C, vilket är likt medelvärdet för mätningarna. Utöver detta kan mindre och färre avvikelser från grundtemperaturen tydas under lördag 9/3 samt söndag 10/3, vilket visar på en lägre vattenanvändning under helgen, då nytt kallvatten inte behöver värmas upp lika ofta.

Krav från Boverket säger att temperaturen på tappvarmvatten inte får underskrida 50 °C vid något område i varmvattencirkulationen (2020). Detta görs för att minimera riskerna för tillväxt av mikroorganismer som exempelvis legionella pneumophila. Eftersom tappvarmvattensystemet i Sweco-huset inte består av några stillastående områden gäller ej kravet på 60 °C. Medeltemperaturen efter fjärrvärmeväxlaren hamnade över kravet, men mättes till cirka 42 °C som lägst. Av de 3398 mätningar som gjordes, hamnade 569 av dem under kravet, vilket är cirka 17 % av den totala mättiden. Returtemperaturen uppnådde däremot aldrig kravet under mättiden.

I en japansk studie om legionella-kontamination i byggnaders varmvattensystem, undersöktes 80 kontorsbyggnader där 40 av dem använde cirkulationssystem (Furuhata, m.fl., 1994). Resultatet visade att 12,5 % av cirkulationssystemen i studien innehöll legionella pneumophila. Utav de varmvattensystem med legionella, befann sig alla inom temperaturspannet 41-55 °C. Detta tyder på en risk för cirkulationssystemet i Sweco-huset, då temperaturspannet i systemet är 42-61 °C samt en grundtemperatur vid inaktivitet för innan och efter fjärrvärmeväxlaren på 46,7 °C respektive 51 °C.

För beräkningen av VVC-förlusterna har medeltemperaturer och bedömt genomsnittligt vattenflöde använts. Genom att kolla på hur mycket värme som har

förlorats i varmvattencirkulationen, kan förlorad värmeeffekt beräknas. Formeln nedan används för att beräkna den förlorade värmeeffekten.

$$Q = V \cdot C_p \cdot \rho \cdot \Delta t \quad (1)$$

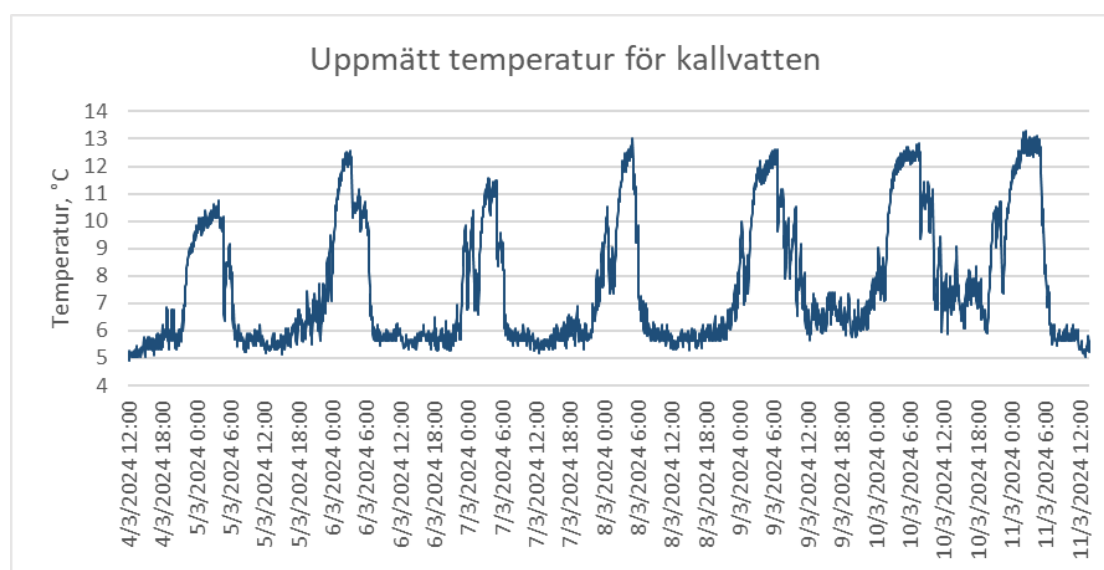
Den förlorade värmeeffekten för detta fall blir 3,23 kW, vilket motsvarar 28333 kWh/år. För att få ut förlusten per meter VVC-ledning, divideras den totala värmeeffekten med den totala ledningslängden för varmvattencirkulationen, vilket är bestämt till 360 meter enligt NCC (2015). Detta resulterar i en VVC-förlust på 8,93 W/m.

I energiberäkningen som gjordes av NCC, antogs VVC-förlusterna vara 10 W/m, vilket motsvarade 31536 kWh/år (2015). Det skiljer alltså ungefär 1,1 W/m, eller 3390 kWh/år, mellan det antagna och beräknade VVC-förlusterna. Ett antaget värde av NCC på 9 W/m hade i detta fall varit mer representativt av hur det ser ut i verkligheten.

6.2.4.2 Värmebehov tappvarmvatten

Planen var att jämföra energi till tappvarmvatten med NNCs antaganden, men då NNC räknade flödet till restaurangen och gymmet som verksamhetsrelaterat, så behövdes det uppmätta flödet delas upp för att en jämförelse skulle vara möjlig. Tyvärr var mätaren för gymmet trasig och ingen mätare fanns för kontoret, vilket gjorde att denna jämförelse inte var möjlig. Även om denna jämförelse inte var möjlig så jämfördes uppmätt temperatur med krav från Boverket.

För att kunna bestämma den totala mängden varmvatten som används, mättes mängden vatten som värmdes upp under en veckas tid. Den totala volymen vatten dividerades med tiden mellan mätningarna för att få ett genomsnittligt vattenflöde på 0,061 l/s. Figur 18 visar hur kallvattnets temperatur varierar mellan 4/3/24 12:00 och 11/3/24 13:51.



Figur 18, uppmätt vattentemperatur på inkommande kallvatten innan uppvärmning mellan 4/3 och 11/3 2024.

Temperaturen på kallvattnet varierar mellan 4,9 °C och 13,3 °C med en medeltemperatur på 7,6 °C samt en mediantemperatur på 6,5 °C. Detta uppfyller rådet från Boverket, vilket rekommenderar att tappkallvatten inte överstiger 24 °C efter 8 timmar stillestånd (2020).

6.2.4.3 Elanvändning hissar

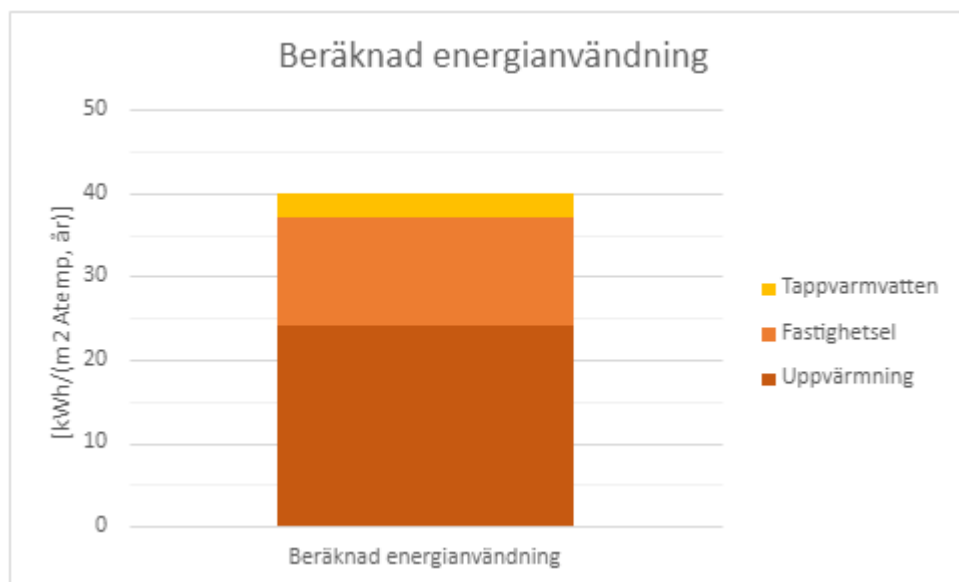
Det totala värdet på elmätaren för de sex hissarna i byggnaden, mättes först upp till 218774 kWh. Efter en vecka var den totala elanvändningen 219175 kWh, vilket visade att elanvändningen för hissarna var 401 kWh under en vecka. Detta ger en årlig elanvändning på 20852 kWh/år, vilket är noterbart högre än det antagande som gjordes vid energiberäkningen. I energiberäkningen antogs hissar stå för en årlig elanvändning på 13427 kWh/år. Den uppmätta elanvändningen är 7459 kWh/år högre än antagandet i beräkningen, vilket motsvarar en procentuell skillnad på 55%. Riktvärdet från Sveby är 5,5 MWh/år, hiss, vilket ger 33000 kWh/år för sex hissar. Jämfört med 20852 kWh/år från mätaren, så är det en differens på 12148 kWh/år.

6.3 Fallstudie Biltema Landskrona

6.3.1 Energiberäkning

Energiberäkningen är genomförd med simuleringsprogrammet IDA ICE 4,7 där byggnaden har modellerats upp och simulerats utifrån projekterade förutsättningar (Sweco, 2016). Energirapporten redovisar byggnadens beräknade energianvändning uppdelad i olika poster som tillsammans utgör den specifika energianvändningen. Dessa poster kan bli indelade i tre huvudposter: Uppvärmning, Fastighetsel och Varmvatten.

I figur 19 illustreras den beräknade energianvändningen för de olika posterna som utgör byggnadens specifika energianvändning.



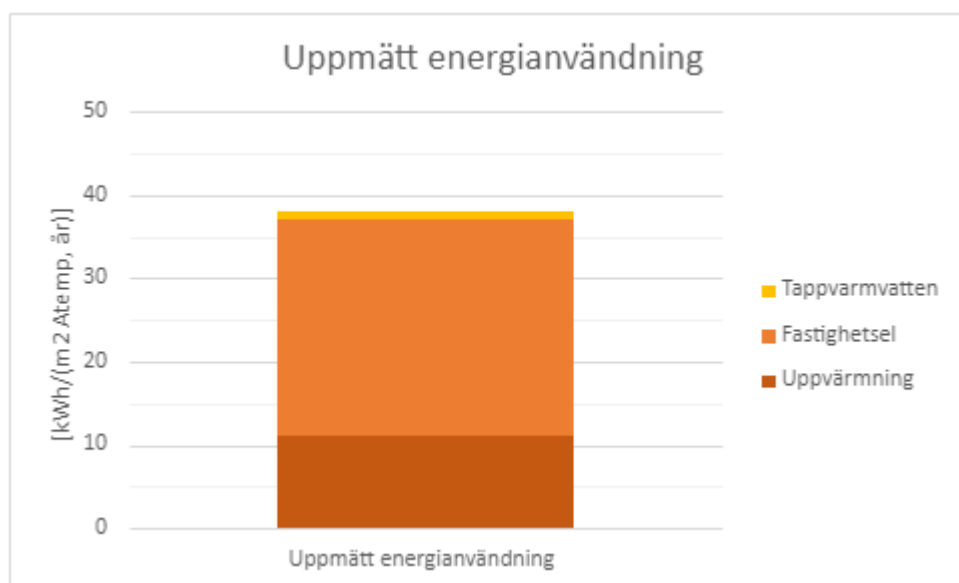
Figur 19, genomsnittlig beräknad energianvändning per $m^2 A_{temp}$ över ett år för Biltema Landskrona.

Den specifika energianvändningen för varuhuset beräknas vara ungefär 40 kWh/m², år där uppvärmning står för 60%. Fastighetselen beräknas utgöra 32,5% och tappvarmvattnet beräknas stå för 7,5%.

6.3.2 Energideklaration

Energideklarationen genomfördes 2017 av Gunnar Karlsen och är, enligt Boverket, giltig fram tills år 2027 (Boverket, 2023a). Varuhuset uppnådde energiklass B, vilket visar att den uppnår de krav som Boverket har ställt för uppförandet av nya byggnader (Gunnar Karlsen, 2017; Boverket, 2024a). Enligt deklarationen är byggnadens specifika energianvändning 38 kWh/m², år och den redovisas i fastighetsel, uppvärmning och tappvarmvatten.

I figur 20 illustreras den uppmätta energianvändningen för de olika posterna som utgör byggnadens specifika energianvändning.



Figur 20, genomsnittlig uppmätt energianvändning per m² A_{temp} över ett år för Biltema Landskrona.

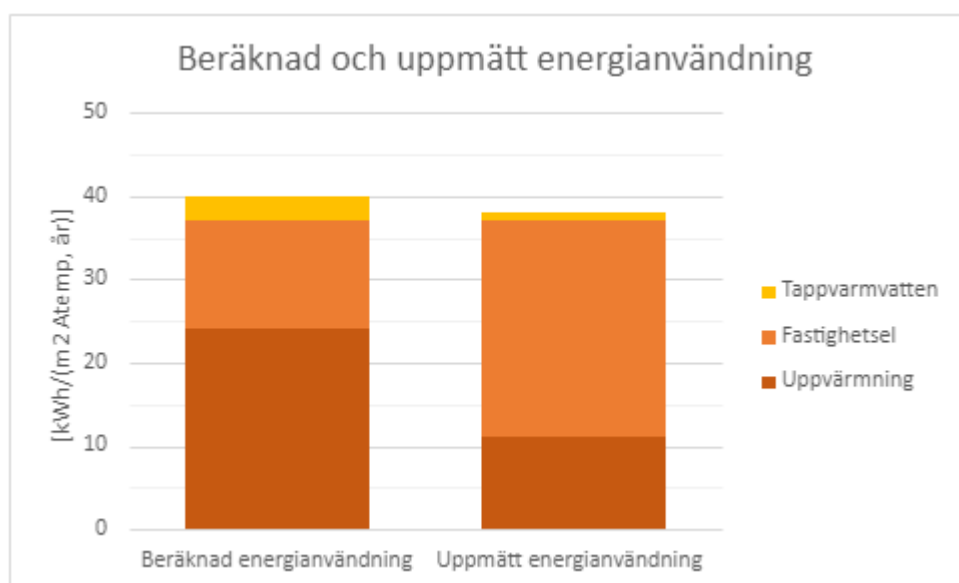
Av den uppmätta specifika energianvändningen står fastighetselen för en tydlig majoritet på 68,4%. Uppföljningen visar även att uppvärmning står för 28,9% och tappvarmvatten står för 2,6%.

6.3.3 Skillnader mellan beräkning och uppmätning

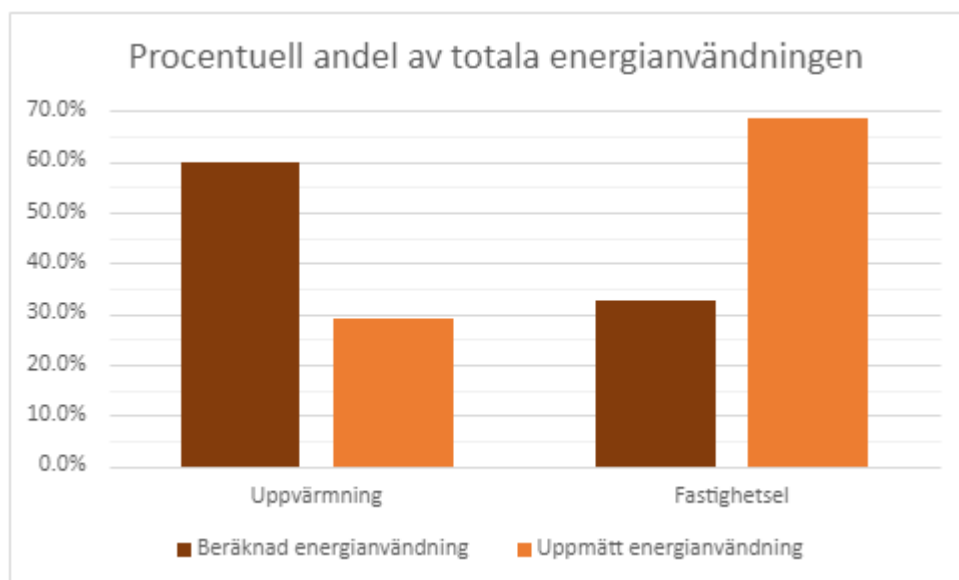
Likt Sweco-huset ger den beräknade och uppmätta specifika energianvändningen ett initialt intryck av att byggnaden presterar som förväntat enligt energiberäkningen (Sweco, 2016; Gunnar Karlsen, 2019). Det skiljer endast 2 kWh/m², år mellan beräknad och uppmätt energianvändning, vilket motsvarar en differens på 5%.

Vid en närmare analys ser man, likt fallet för Sweco-huset, att det förekommer markanta skillnader mellan beräknad och uppmätt energianvändning för de poster som utgör den specifika energianvändningen. En noterbar skillnad mellan beräkningen och mätningen är att A_{temp} skiljer sig åt. För beräkningen antas A_{temp} vara 6968 m² medan den vid deklarationen är nedskrivet som 7178 m². Det nämns inget i deklarationen om en eventuell tillbyggnad eller något som skulle öka A_{temp}, men denna differens i area kan ha haft en påverkan på hur väl beräkningen stämmer överens med mätningen.

I figur 21 illustreras beräknad och uppmätt specifik energianvändning uppdelad i dessa poster och i figur 22 illustreras hur mycket procent vardera post, exklusive tappvarmvatten, står för utifrån den totala energianvändningen.



Figur 21, jämförelse av beräknad och uppmätt energianvändning per $m^2 A_{temp}$ och år för Biltema Landskrona



Figur 22, procentuella andelen av den totala specifika energianvändningen för Biltema Landskrona.

Figurerna 21 och 22 visar att det, trots den liknande totala energianvändningen, förekommer stora skillnader mellan uppmätt och beräknat värmebehov och fastighetsel. Den energi som krävs för uppvärmning har grovt överskattats medan fastighetselen har grovt underskattats. Den uppmätta energianvändningen för uppvärmning är cirka 54% mindre än den beräknade medan den uppmätta fastighetselen är cirka 100% högre än beräknat.

För beräkning och uppmätning har byggnadens kylbehov inte specificerats som en egen post utan räknas som “fläktar och pumpar” som är inräknade i fastighetselen (Sweco, 2016).

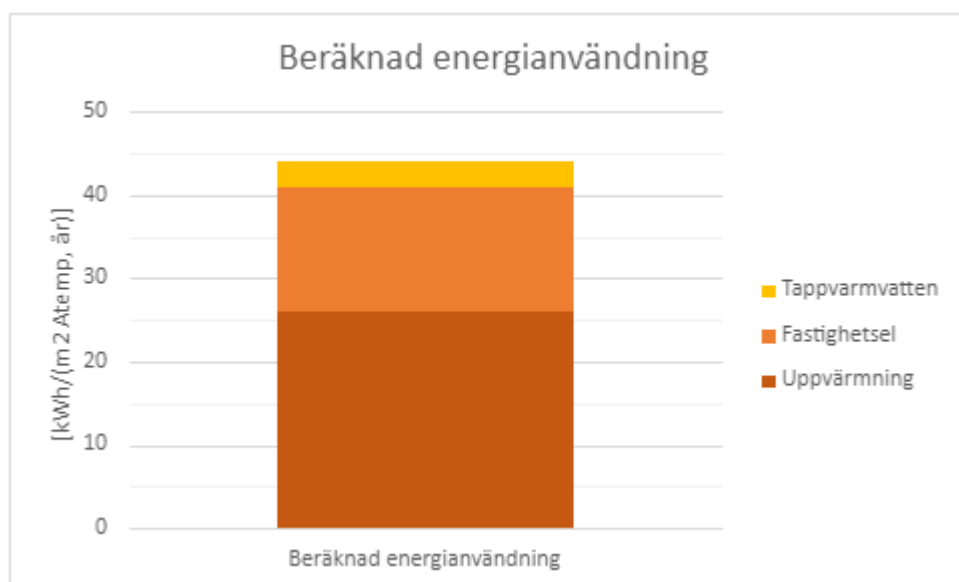
6.4 Fallstudie Biltema Katrineholm

För Biltema Katrineholm genomfördes energiberäkningen av Sweco 2012, följt av en energideklaration av Bravida Sverige AB 2015. Byggnadens utformning är lik den för Biltema Landskrona och är därav användbar vid jämförelse mellan de två fallen.

6.4.1 Energiberäkning

För Biltema Katrineholm har förväntat energibehov beräknats genom att byggnaden modellerades och simulerades i energisimuleringsprogrammet IDA ICE 4 (Sweco, 2012). Energirapporten redovisar den förväntade energianvändningen för byggnaden uppdelad i delposterna Uppvärmning, Fastighetsel och Varmvatten som tillsammans utgör den specifika energianvändningen.

I figur 23 illustreras den beräknade energianvändningen för de olika posterna som utgör byggnadens specifika energianvändning.



Figur 23, genomsnittlig beräknad energianvändning per $m^2 A_{temp}$ över ett år för Biltema Katrineholm.

Byggnadens specifika energianvändning beräknas till 44 kWh/m^2 , år där uppvärmningen av varuhuset står för majoriteten av elanvändningen. Energianvändningen för uppvärmning beräknades utgöra 59,1% av energianvändningen medan fastighetselen och tappvarmvatten beräknas stå för 34,1% respektive 6,8%.

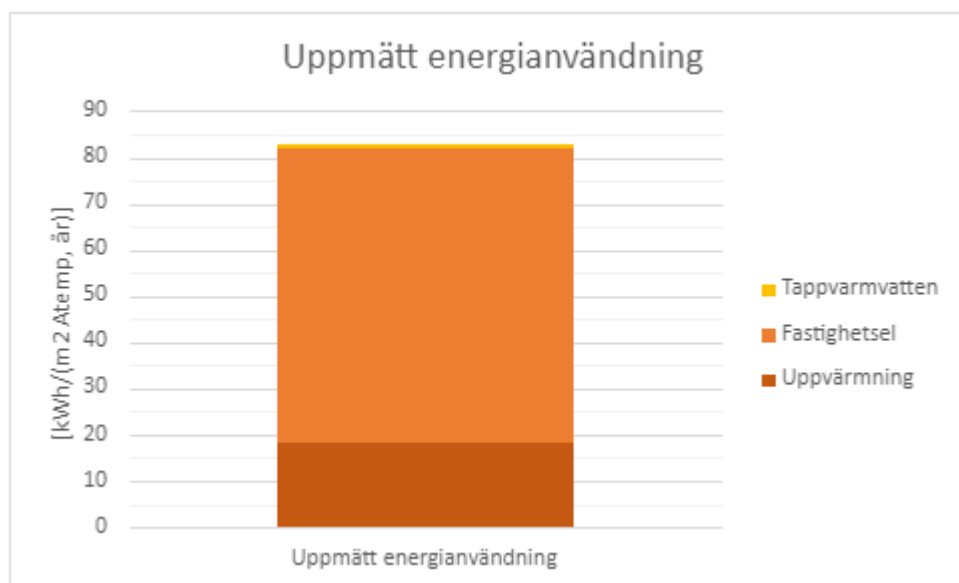
Vidare har en utredning genomförts där alternativa energiförsörjningssystem har analyserats för att utreda om de är ekonomiskt och miljömässigt genomförbara (Sweco, 2012). Byggnadens kyl- och värmebehov behandlas med frikyla från borrhål respektive ett bergvärmsystem. Fjärrkyla existerar inte i det närliggande området och anses därför inte som en ekonomiskt rimlig lösning. Bergvärme ses som den lämpligaste formen av uppvärmning och då frikyla kan produceras samtidigt. Frikylan

minskar kylbehovet i byggnaden och leder till att mindre kyla behöver produceras av en kylmaskin.

6.4.2 Energideklaration

Energideklarationen för Biltema Katrineholm genomfördes 2015 av Bravida Sverige och är, enligt Boverket, giltig fram till år 2025 (Boverket, 2023a). Uppföljningen visade att byggnaden inte uppnådde kravet för nybyggnation och vid energiklassificering hamnade varuhuset på betyg D (Bravida Sverige, 2015; Boverket, 2024a). Vid uppföljningen framkom att byggnadens specifika energianvändning var 83 kWh/m^2 , år.

I figur 24 illustreras den uppmätta energianvändningen för de olika posterna som utgör byggnadens specifika energianvändning.



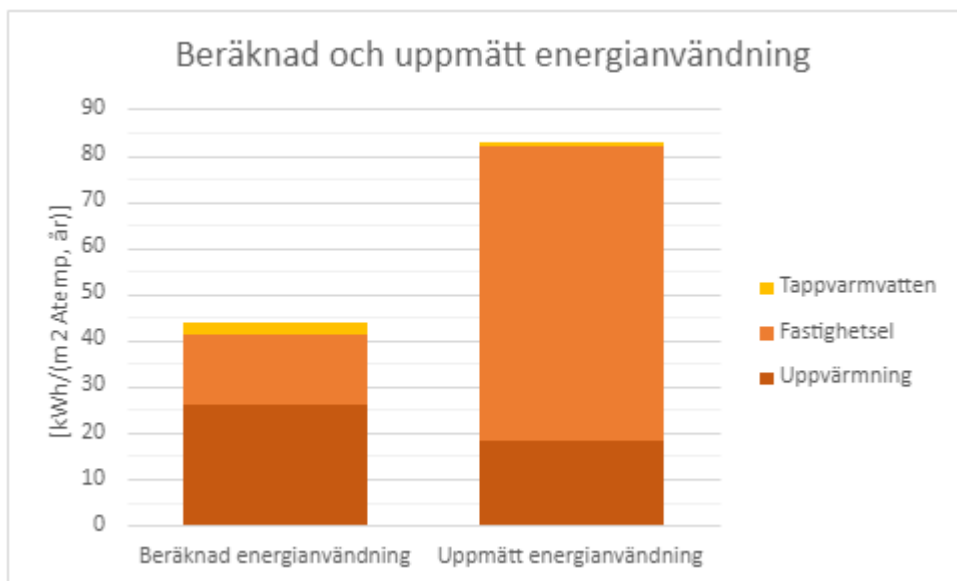
Figur 24, genomsnittlig uppmätt energianvändning per $\text{m}^2 A_{temp}$ över ett år för Biltema Katrineholm.

Fastighetselen står för en tydlig majoritet av den uppmätta energianvändningen för byggnaden. Av den totala specifika energianvändningen, står fastighetselen för 76,6% medan uppvärmning och tappvarmvatten utgör 22,2% respektive 1,2%.

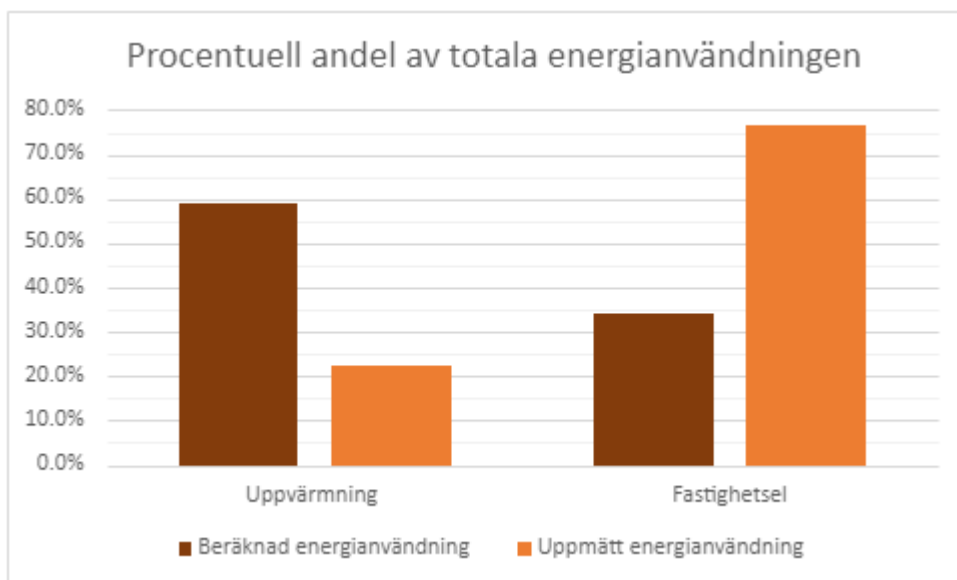
6.4.3 Skillnader mellan beräkning och uppmätning

Till skillnad från de tidigare fallstudieobjekten, kan en tydlig skillnad tydas mellan beräkning och uppmätning redan vid jämförelse av den totala specifika energianvändningen. Uppföljningen visar att byggnadens energianvändning är cirka 89% högre än vad som var förväntat.

Anledningen till den stora skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning är en grov underskattning av hur mycket energi som krävs för fastighetselen. Den uppmätta energin som gick till fastighetsel visade sig vara cirka 324% mer än vad som var förväntat. Figur 25 och 26 ger en tydligare visualisering av skillnaderna mellan den beräknade och uppmätta energianvändningen.



Figur 25, jämförelse av beräknad och uppmätt energianvändning per $m^2 A_{temp}$ och år för Biltema Katrineholm.



Figur 26, procentuella andelen av den totala specifika energianvändningen för Biltema Katrineholm.

Trots den höga energianvändningen, framkom att en överskattning av byggnadens värmebehov har skett, även för detta projekt. Enligt figur 26 förväntades uppvärmningen stå för cirka 59% av den totala specifika energianvändningen, medan den faktiska andelen var närmare 22%.

Likt Biltema Landskrona, har byggnadens kylbehov inkluderats i fastighetselen i form av "fläktar och pumpar" för Biltema Katrineholm (Sweco, 2012). Även här har olika A_{temp} använts vid beräkningen och uppföljningen utan en förklaring till varför. För beräkningen antogs A_{temp} vara $4883 m^2$ medan uppföljningen visade en A_{temp} på $5542 m^2$.

6.5 Jämförelse av fallstudier

För Sweco-huset och Biltema Landskrona stämde den uppmätta och beräknade specifika energianvändningen väl överens med varandra, medan det skilde sig betydelsefullt för Biltema Katrineholm. Något som var genomgående för samtliga objekt i fallstudierna var att det, oavsett hur väl den uppmätta energianvändning stämde överens med den beräknade, förekom noterbara skillnader för de delkomponenter som tillsammans gör upp byggnadens specifika energianvändningen.

För de båda Biltema-varuhusen räknades kylbehovet som en del av fastighetselen, medan det för Sweco-huset räknas som en egen komponent. För de båda Biltema-varuhusen var den uppmätta fastighetselen betydligt högre än den beräknade. Däremot stämde den uppmätta fastighetselen väl överens med den beräknade för Sweco-huset. Utöver detta framgick en tydlig underskattning av byggnadens kylbehov i Sweco-huset. Då Biltema-varuhusens kylbehov är inräknat som fastighetsel blir ett rimligt antagande att en underskattning av kylbehovet var en bidragande faktor till differenserna för fastighetselen. Ytterligare en likhet mellan fallstudieobjekten var att den uppmätta energianvändningen för uppvärmning var lägre än vad som hade beräknats för samtliga objekt.

Energideklarationerna för objekten är uppbyggda med en liknande struktur och redovisar energianvändningen för byggnaden på ett grundligt och övergripande sätt. Att deklarationerna är övergripande leder i sin tur till att jämförelserna med energiberäkningarna konsekvent blir generella. Det blir därav svårt att dra slutsatser om hur väl de schablon- och referensvärden som använts i beräkningarna stämmer överens med verkligheten.

För både Biltema Landskrona och Biltema Katrineholm förekom skillnader i byggnadernas A_{temp} mellan beräkningarna och uppföljningarna. Det är oklart hur, eller om, skillnaderna i den uppvärmda golvarean har beaktats vid uppföljningen.

En liknelse mellan de tre fallstudierna är att energiberäkningarna är utförda innan 2016-11-23, vilket är då BFS 2016:12, eller BEN 1, beslutades. Utöver detta utfördes energideklarationen för Biltema Katrineholm också innan BEN 1. För dessa beräkningar och deklarerationer innan BEN, behövdes egna antaganden och schablonvärden användas, vilket är anledningen till de olika värdena för exempelvis tappvarmvatten. Oavsett detta har rimliga antaganden för tappvarmvatten gjorts runt $1-3 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$, år för de energiberäkningar och deklarerationer innan BEN.

7 Diskussion

Energiberäkningar är ett komplicerat ämne som utgår från många antaganden i form av schablon- och riktvärden som inte alltid stämmer överens med projekten i verkligheten. Uppföljningarna som sker på byggnader tenderar att inte vara så omfattande, vilket gör det svårt att jämföra resultaten med de antaganden som har använts i beräkningarna. Utöver de slutsatser som har redovisats i resultatet, kommer egna tankar kring varför dessa skillnader uppstår att presenteras tillsammans med lösningsförslag på problemet.

7.1 Anledningar till skillnader och potentiella lösningar

En övergripande anledning till skillnader mellan beräknad och verklig energianvändning är användningen av bristande eller övergeneraliserade schablonvärden. Dessa värden är ofta baserade på genomsnittliga uppmätningar i Sverige och representerar därför inte alla typer eller storlekar av byggnader. Ett exempel på detta, som identifierades vid egna mätningar, är schablonvärdet för hissar som inte tar hänsyn till parametrar som antal våningsplan, användningstimmar, golvarea eller antalet användare. Utöver detta ansåg flera av de intervjuade experterna att komponenter som köldbryggor, VVC-förluster och interna laster är svåra att förutse eftersom de förlitar sig på dessa schablonvärden.

För att åtgärda dessa problem bör fler undersökningar utföras med syfte att skapa mer detaljerade schablonvärden inom branschen. För att kunna väl representera olika typer och storlekar av byggnader kan exempelvis flera schablonvärden skapas för varje komponent som kan tilldelas beroende på golvarea eller andra parametrar.

Ett genomgående problem under arbetets gång var att energideklarationerna inte var tillräckligt detaljerade. Konsekvent medfördes svårigheter vid jämförelserna med de antaganden som gjorts under projekteringskedan. Detta är även kopplat till kommentarer från flera experter som nämner att de sällan får tillgång till det andra motsvarande dokumentet, energiberäkningen eller energideklarationen, för respektive projekt. Genom att få tillbaka ett detaljerat resultat från ett projekt, kan framtida simuleringar justeras för att få mer verklighetsbaserade värden. För att detta ska kunna möjliggöras behövs denna information delas mellan företag inom samma projekt, samt en mer detaljerad energideklaration.

För att uppnå mer omfattande deklarerationer föreslås att, redan vid projekteringsstadiet, planera för att underlätta uppföljningarna. Ett exempel på detta är hur Sweco-huset hade en inbyggd elmätare som enbart noterade elanvändningen för hissar. Detta underlättade den egna mätningen som gjordes på hissarnas elanvändning. Om liknande mätninginstrument kan bli standard för enskilda parametrar hade det underlättat uppföljningarna, vilket förhoppningsvis kan bidra till att deklarerationerna blir mer omfattande vid behov.

Något som noterades vid undersökningen av fallstudierna var att värmebehovet, för samtliga objekt, överskattades medan kylbehovet underskattades. En potentiell anledning till detta kan vara att de interna värmestillskotten har underskattats. Flera konsulter ansåg under intervjun att schablonvärden för interna laster ofta skiljer sig från verkligheten, samt att de interna lasterna är svåra att förutse. En underskattning av de interna lasterna leder till att värmeenergin i byggnaden är högre än förväntat,

vilket kräver att kylbehovet ökar för att kunna bibehålla den önskade temperaturen. Studier visar att en skillnad mellan uppmätt och antagen inomhustemperatur kan vara en bidragande faktor till EPG (Mahdavi, m.fl., 2021).

För att förhindra skillnader mellan projekterad och verklig energianvändning är det viktigt att byggnadens projekterade utformning väl återspeglar byggnadens verkliga utformning. Skillnader mellan projekterad och verklig utformning är en förekommande anledning till att EPG uppstår (Mahdavi, m.fl., 2021). Dessa skillnader var märkbara under genomförandet av fallstudierna. För de båda biltema-varuhusen var projekterad A_{temp} mindre än den verkliga. Utifrån energideklarationerna är det inte möjligt att se hur dessa skillnader påverkar EPG. Däremot är ett rimligt antagande att, då den verkliga golvarean är större än den projekterade, bör energianvändningen vara högre än om den verkliga golvarean överensstämde med projekteringen.

Samtidigt som dessa åtgärder kan ha långsiktigt positiva effekter för både företagen och branschen, så behöver kostnaderna tas hänsyn till. För att åstadkomma dessa åtgärder behövs dels en ekonomisk investering, men även en stor tidsinvestering. Det måste därför redogöras för om dessa investeringar skulle vara lönsamma för de involverade aktörerna, vilket även var något som nämndes av en konsult under intervjun.

7.2 Svårigheter och hinder

I tidigare skeden av rapporten har den bristande omfattningen i energideklarationerna diskuterats. Detta är något som till en början satte hinder för hur arbetet skulle genomföras. Utan en detaljrik deklARATION fanns det inte möjlighet till att, på ett utförligt sätt, jämföra de individuella parametrarna. Som följd av detta beslutades det att egna mätningar på Sweco-huset skulle genomföras för att ge underlag till jämförelser med de antaganden som gjorts vid projekteringsskedet. Trots de egna mätningarna var det inte möjligt att, på ett så utförligt sätt som det initialt var planerat, jämföra de individuella parametrarna. Detta har gjort att arbetet har skiftat till mer generella jämförelser.

Likt detta fanns det noterbart lite information om ämnet i offentligt tillgängliga resurser som forskningsartiklar eller liknande dokument, där EPG endast diskuteras kort i flertal fall. Detta var en ledande anledning till inkluderingen av en intervju med syfte att komplettera forskningsartiklar med åsikter från experter inom området. För att förbättra kunskapen inom EPG anses därav ytterligare forskning krävas.

7.3 Förbättringsmöjligheter och vidare undersökningar

För att förbättra arbetet kunde mer kontakt med andra företag i branschen använts för att möjligtvis få ytterligare eller mer detaljerad information angående möjliga projekt eller de undersökta fallstudierna. Med mer tid hade även ytterligare eller mer detaljerade fallstudier genomförts. Utöver detta nyttjades inte IDA ICE till samma grad som planerades, men detta val gjordes då energideklarationen för respektive fallstudie hade mer bristande information än vad som fanns tillgängligt för energiberäkningen. Däremot är de använda parametrarna i simuleringarna av intresse och ytterligare forskning föreslås.

Vidare undersökning och forskning inom området föreslås på grund av den bristande, offentligt tillgängliga informationen. Dessa undersökningar kan förslagsvis behandla individuella schablon- och riktvärden, eller en vidare utveckling av den formulerade frågeställningen som inkluderar ett större antal, eller mer detaljerade, fallstudier.

Under genomförandet av den interna litteraturstudien noterades ett mönster som kan vara intressant att forska vidare på. En anmärkning gjordes på att uppvärmningsbehovet underskattades när byggnaden var försedd med fjärrvärme och överskattas när den var försedd bergvärme. Vid vidare undersökning observerades 15 olika byggnader där uppvärmningssätt och energianvändning var tillgängliga. Av dessa byggnader var fem utrustade med bergvärme, där samtliga hade överskattat värmebehovet. Av de resterande tio byggnaderna, som var försedda med fjärrvärme, hade åtta byggnader underskattat värmebehovet. Detta är inte statistiskt signifikant då urvalet är otillräckligt och inga slutsatser kan därför rimligtvis dras. Däremot kan det vara ett intressant område för ytterligare undersökningar.

8 Referenser

- Ali, Q., Thaheem, M.J., Ullah, F., Sepasgozar, S.M.E. (2020). *The Performance Gap in Energy-Efficient Office Buildings: How the Occupants Can Help?* <https://doi.org/10.3390/en13061480>
- Englund, J. , Cehlin, M. , Akander, J. , Moshfegh B, (2020). *Measured and Simulated Energy Use in a Secondary School Building in Sweden—A Case Study of Validation, Airing, and Occupancy Behaviour* <https://doi.org/10.3390/en13092325>
- Bengt Dahlgren AB, (2023) *Sammanfattning av energideklaration, Skånegatan 1, 41140 Göteborg.* Energideklarations-ID: 1412850
- Bravida Sverige AB, (2015). *Sammanfattning av energideklaration, Uppsalavägen 9, 641 49 Katrineholm.* Energideklarations-ID: 671858
- Boverket, (2024a). *Energideklarationens innehåll* <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/energideklarationens-innehall/>
- Boverket, (2024b). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft* <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/>
- Boverket, (2024c). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn* <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Boverket, (2023a). *Dessa byggnader ska energideklaras* <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/dessa-byggnader-ska-energideklaras/>
- Boverket, (2023b). *Bygg och renovera energieffektivt* <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/>
- Boverket, (2020a). *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR. konsoliderad* https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf
- Boverket, (2020b). *Verifiering av energikraven* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energi-hushallning/verifiering-av-energi-kraven/>
- Boverket, (2018). *Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan* <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/hallbart-byggande-med-minskad-klimatpaverkan.pdf>
- Boverket, (2017). *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår; BFS 2016:12 BEN 2,* <https://rinfor.boverket.se/BFS2016-12/pdf/BFS2017-6.pdf>
- Boverket, (2016). *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår; BFS 2016:12, BEN 1,* <https://rinfor.boverket.se/BFS2016-12/pdf/BFS2016-12.pdf>
- Burke, S., Ekström, T., Maljanovski, C., Seth, J., Wiktorsson, M. (2022). *Kartläggning av VVC förluster i flerbostadshus*

<https://www.e2b2.se/media/zbhdppmw/46884-1-slutrapport-kartl%C3%A4gning-av-vvc-f%C3%B6rluster-i-flerbostadshus.pdf>

EQUA Simulation AB, (2013). *User Manual IDA Indoor Climate and Energy*
<https://www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE45eng.pdf>

Furuhata, K., Takayanagi, T., Danno, N., Okada, S., Kiya, F. (1994). *Contamination of hot water supply in office buildings by Legionella pneumophila and some countermeasures*. Japanese journal of public health, 41(11), 1073-1083.

Gunnar Karlsen Sverige AB, (2019). *Sammanfattning av energideklaration, Österleden 185, 261 51 Landskrona*. Energideklarations-ID: 948589

Jain N., Burman E., Mumovic D., Davies M. (2021). *Managing energy performance in buildings from design to operation using modelling and calibration*. *Building Services Engineering Research and Technology*. <https://doi.org/10.1177/01436244211008317>

Kurkinen, E., Filipsson, P., Elfborg, S., Ruud, S. (2014) *Skillnad mellan beräknad och verklig energianvändning - Energistyrning under byggprocessen*.
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-5231>

Mahdavi, A., Berger, C., Amin, H., Ampatzi, E., Andersen, R.K., Azar, E., Barthelmes, V.M., Favero, M., Hahn, J., Khovalyg, D., m.fl., (2021). *The Role of Occupants in Buildings' Energy Performance Gap: Myth or Reality?* <https://doi.org/10.3390/su13063146>

Naturvårdsverket, (2024a). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>

Naturvårdsverket, (2024b). *Så följer vi upp klimatmålen*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sa-foljer-vi-upp-klimatmalen/>

NCC Construction Sverige AB, (2015). *Skånegatan 1-3, Göteborg Energiberäkning*. Uppdragsnummer: 7185954

Sveby, (2014). *Brukarindata kontor*. Version 1.1
<https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2013/06/Brukarindata-kontor-version-1.1.pdf>

Svensk Byggtjänst (u.å). *VVC-ledningar och energieffektivisering*.
<https://byggkoll.byggtjanst.se/contentassets/ed64f0be09954312a9984d843439338c/vvc-ledningar-och-energieffektivisering---sammanfattning-till-kund-ny.pdf>

Sweco Systems AB, (2012). *Biltema, Katrineholm. Energiberäkning samt utredning om alternativa energiförsörjningssystem*. Uppdragsnummer: 4023479000

Sweco Systems AB, (2016). *Biltema, Landskrona. ENERGI BERÄKNING ENLIGT BBR22*. Uppdragsnummer: 4033764000

Wikström VVS-kontroll AB, (2015). *Sammanfattning av energideklaration, Skånegatan 1, 41140 Göteborg*. Energideklarations-ID: 685983

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se



CHALMERS