

# Energieffektivisering i olika klimat

- Studie av energianvändning hos jämförbara varuhuslokaler i olika geografiska lägen



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi

Haris Sofic

© Copyright Haris Sofic

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2017

## Sammanfattning

Detta examensarbete är en fallstudie av energianvändningen hos likartade och jämförbara varuhus i olika geografiska lägen. Syftet med arbetet är att undersöka hur man kan reducera inverkan av klimatet så att andra parametrar som styr energianvändningen i byggnader av typen varuhus kan utforskas. Vidare undersöks generellt hur olika verksamheter bemöter detta problem.

I rapporten används graddagskorrigeringsmetoden som metod för att reducera klimatpåverkan på tre referensobjekt i Europa, vilka är likartade i utformning men skiljer i energianvändning och läge. En intervjustudie gjordes för att en bredare bild skulle erhållas av hur problemet bemöts i olika verksamheter. En förstudie och litteraturstudie har gjorts för att kunna välja lämpliga referensobjekt samt ge ett underlag för beräkningarna.

Resultaten av beräkningarna visar att skillnad i energianvändning minskar för referensobjekten då man tar hänsyn till klimatets inverkan och reducerar denna med hjälp av graddagsmetoden. Intervjustudien tyder på att majoriteten av verksamheter inte prioriterar byggtekniska frågor ifall de inte tillhör en större koncern där det finns en fastighetsavdelning. I analysen undersöks lokala förutsättningar. Styrande faktorer för energianvändningen är inomhus-temperaturer, antal besökare och försäljning. Slutsatsen är att graddagsmetoden är per se ett grovt sätt att klimatkorrigera energianvändningen i ett varuhus ifall detaljerad data inte föreligger om energifördelningen och temperaturförutsättningar. Ifall verksamheter vill kunna undersöka byggtekniska frågor måste även en fastighetsavdelning finnas som kan prioritera dessa samt föra detaljerad energistatistik.

Nyckelord: Energianvändning, klimatkorrigering, graddagsmetoden, varuhus

## **Abstract**

This thesis is a case study of the energy consumption of similar warehouses in different geographic locations. The purpose is to examine how to reduce the effect of the climate so that other parameters that control energy consumption in warehouse type buildings can be explored. Further the problem is explored with different organization that can come across such a problem.

The rapport uses degree day correction as a method to reduce the climates impact on three reference objects in Europe that are similar in technical design but have different energy consumptions. Interviews are held in order to get a broader picture of how the problem is met by different organizations. A pilot study and literary study were made in order to choose suitable reference objects and have a basis for the calculations used.

The results of the calculations show that the differences in energy consumption decrease when climate is taken into account and reduced by degree day method. Interviews indicate that the majority of organizations do not prioritize construction issues if they are not part of a greater group which has a property department. The analysis explores local conditions and controlling factors for energy consumption are indoor temperatures, visitors and sales. To conclude, degree day method is still a rough way to climate correct energy consumption in a warehouse if detailed data is not available for the distribution of energy use or local temperature conditions. If organizations wish to study construction issues a property department must exist that can prioritize these issues and keep detailed energy statistics.

**Keywords:** Energy consumption, climate correction, degree day method, warehouse

## Förord

Denna studie är ett examensarbete som utförts på Institutionen för bygg- och miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola och IKEA Fastigheter AB. Det är skrivet under vårterminen 2017 och är det avslutande momentet för högskoleingenjörsutbildningen, byggteknik med arkitektur, på LTH.

Ett stort tack riktas till mina handledare Petter Wallentén och Mats Dahlblom från Lund Universitet som med sitt stöd och sin kunskap hjälpt mig genom att besvara frågor och ta mig förbi motgångar.

Även ett stort tack till Christian Westerberg från IKEA Fastigheter AB som kunnat bidra med information, insikt, och erfarenheter som gjort detta examensarbete möjligt.

Avslutningsvis vill jag också tacka alla personer som ställt upp på intervjuer och besvarat mina frågor tydligt.

Lund, den 22 Maj 2017,

Haris Sofic



# Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Inledning</b> .....                   | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Bakgrund</b> .....                   | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Syfte</b> .....                      | <b>2</b>  |
| <b>1.3 Mål &amp; Frågeställning</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>1.4 Avgränsningar</b> .....              | <b>2</b>  |
| <b>1.5 Motiv för arbete</b> .....           | <b>2</b>  |
| <b>1.6 Metod</b> .....                      | <b>2</b>  |
| <b>2. Teoretisk bakgrund</b> .....          | <b>5</b>  |
| <b>2.1 Allmänna krav på byggnader</b> ..... | <b>5</b>  |
| <b>2.2 Energianvändning</b> .....           | <b>5</b>  |
| <b>2.3 Energieffektivisering</b> .....      | <b>7</b>  |
| <b>2.4 Energistatistik</b> .....            | <b>9</b>  |
| <b>3. Litteraturstudie</b> .....            | <b>11</b> |
| <b>3.1 BLAST</b> .....                      | <b>11</b> |
| <b>3.2 Normalårskorrigerigering</b> .....   | <b>12</b> |
| 3.2.1 Kylgraddagar.....                     | 16        |
| <b>3.3 Energibalans i en byggnad</b> .....  | <b>17</b> |
| 3.3.1 Ventilation .....                     | 17        |
| 3.3.2 Transmission.....                     | 19        |
| 3.3.3 Läckage .....                         | 20        |
| 3.3.4 Internt genererad värme.....          | 20        |
| 3.3.5 Solinstrålning .....                  | 20        |
| 3.3.6 Värmesystem .....                     | 20        |
| <b>3.4 Geoenergi och Solenergi</b> .....    | <b>21</b> |
| 3.4.1 Geoenergi .....                       | 21        |
| 3.4.2 Solenergi.....                        | 22        |
| <b>4. Genomförande</b> .....                | <b>23</b> |
| <b>4.1 Referensobjekt</b> .....             | <b>23</b> |
| 4.1.1 Varuhus .....                         | 23        |
| <b>4.2 Insamling av data</b> .....          | <b>24</b> |
| 4.2.1 WebEss & iBinder .....                | 24        |
| 4.2.2 Studiebesök .....                     | 24        |
| <b>4.3 Graddagsmetoden</b> .....            | <b>24</b> |
| 4.3.1 Algoritm för beräkning .....          | 25        |
| <b>4.4 Intervjustudie</b> .....             | <b>26</b> |
| <b>5. Referensobjekt</b> .....              | <b>27</b> |
| <b>5.1 Val av referensobjekt</b> .....      | <b>27</b> |
| <b>5.2 Lokala förutsättningar</b> .....     | <b>30</b> |
| 5.2.1 Malmö .....                           | 30        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2.2 Uddevalla .....   | 31        |
| 5.2.3 Zwolle.....   | 32        |
| <b>6 Resultat.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>6.1 Separation av klimatberoende energianvändning.....</b> | <b>35</b> |
| 6.1.1 Malmö .....   | 35        |
| 6.1.2 Uddevalla .....   | 38        |
| 6.2.3 Zwolle.....   | 41        |
| <b>6.2 Känslighetsanalys .....</b>                            | <b>43</b> |
| 6.2.1 IKEA Malmö .....  | 45        |
| 6.2.2 IKEA Uddevalla .....                                    | 47        |
| 6.2.3 IKEA Zwolle.....  | 48        |
| <b>6.3 Graddagskorrigering .....</b>                          | <b>49</b> |
| 6.3.1 Tabeller .....  | 50        |
| <b>6.4 Svar från intervjustudier.....</b>                     | <b>55</b> |
| <b>7. Analys och diskussion.....</b>                          | <b>57</b> |
| 7.1 Graddagskorrigering .....                                 | 57        |
| 7.2 Intervjustudie .....                                      | 61        |
| <b>8. Slutsats .....</b>                                      | <b>63</b> |
| 8.1 Intervjustudiens resultat .....                           | 64        |
| 8.2 Vidare forskning.....                                     | 64        |
| <b>Appendix.....</b>  | <b>69</b> |



# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Energieffektivisering är en viktig punkt i miljö- och hållbarhetsfrågan för dagens samhälle då förbrukning av energi ger tar bort en viktig information om hur hållbar en byggnad, process eller ett helt samhälle är ur klimatet. Detta innebär att det ständigt söks nya sätt att studera och förbättra gamla, nya och framtida produkter. Därför finns det en strävan hos Europeiska Unionen (EU) i form av hållbarhetsmål som skall uppnås för att bidra till ett globalt hållbart samhälle. Energieffektiviserings-direktivet från EU satte 2012 ett mål på 20 % primärenergibesparning till år 2020. Då byggsektorn står för 40 % av energianvändningen i EU är energieffektivisering i byggbranschen av stort intresse, både ur hållbarhets- och ekonomisk vinkel (European Commission, 2017). Energieffektivitet i byggnader betyder att de använder så lite energi som möjligt. Detta kan uppnås med olika faktorer från bygg- och isolermaterial till utförandet av hantverkare under produktion och under drifttiden i efterhand.

Att föra statistik på en byggnads energianvändning är en viktig del i processen till att effektivisera dess energianvändning. Statistik på hur mycket energi som används till för olika ändamål kan korreleras till egenskaper i byggnader, lokala förutsättningar och förvaltningen. Dessa kan studeras, utvärderas, och resultaten kan leda till att slutsatser inom de berörda områdena kan dras. Dessa slutsatser kan då leda till en förbättring av en aktuell byggnad, eller användas som referens för en optimerad framtida lokal.

Detta examensarbete utfördes på Lunds Tekniska Högskola och IKEA Fastigheter som tillhör IKEA koncernen och är baserat i Sverige. Arbetet skulle, på IKEA Fastigheters önskan, svara på frågor som uppstår kring energieffektivisering av deras varuhus som finns i många olika klimat. Detta är en ny infallsvinkel på problemet då varuhus från olika orter ställs mot varandra, inte bara mot sig själva, ett generellt problem som liknande kedjor eller organisationer kan stöta på då likartade byggnader konstrueras i olika klimat.

IKEA Fastigheter AB äger all mark som IKEA varuhusen i Sverige befinner sig på, samt är bland annat ansvariga för beslut kring till-, om- och nybyggnad av IKEA varuhus. IKEA koncernens vision är "att skapa en bättre vardag för de många människorna" och hållbar tillväxt är en viktig fråga som stödjer detta mål (IKEA, 2017). Majoriteten av vinsterna återinvesteras i bland annat hållbarhetslösningar, som även redovisas i en årlig hållbarhetsrapport, där ibland effektivisering av byggnaderna.

## 1.2 Syfte

Arbetet har varit att studera likartade varuhus, vilka har olika lokala förutsättningar. Syftet är att hitta ett sätt att jämföra byggnader med likartad verksamhet men belägna i olika klimat.

## 1.3 Mål & Frågeställning

Slutgiltiga målet med arbetet är att svara på frågeställningarna och utifrån svaren dra slutsatser över hur de kan tillämpas i en generell situation.

### *Frågor*

- Kan energistatistik ge underlag för att energieffektivisera de tre varuhusen?
- Kan inverkan av klimatfaktorn reduceras så att jämförelseobjekten får mer lika förutsättningar?
- Kan parametrar som har en dominant påverkan för energianvändning pekats ut?
- Vilka åtgärder kan genomföras så att energieffektivisering blir enklare för kommersiella byggnader?
- Finns det andra exempel på problemet med energieffektivisering i olika klimat?

## 1.4 Avgränsningar

Då arbetet utförs på IKEA kommer endast varuhus från detta företag att studeras. Studien avgränsar sig till tre varuhus, som har låg energianvändning jämfört med resten av IKEAs varuhus. Ingen hänsyn kommer att tas till sol eller vind. I det fall då tillfredställande mätdata inte kan hittas kommer uppskattningar eller schablon att användas.

## 1.5 Motiv för arbete

Jämförelse av varuhus i olika klimat som grund för en energieffektivisering är en unik aspekt i ett brett område inom hållbarhet. Valet att göra arbetet hos IKEA Fastigheter var särskilt intressant då författaren har tidigare erfarenheten hos företaget och har liknande värderingar.

## 1.6 Metod

Då examensarbetet har jämförelse som infallsvinkel kommer en fallstudie att göras på tre varuhus som referensobjekt. Fallstudien bygger på att normalårskorrigerade referensobjekten där resultat av detta ska sammanställas, analyseras, diskuteras och ge underlag för en slutsats.

Intressanta områden att studera hos referensobjekt behandlas i litteraturstudien där tidigare forskning och metoder kommer att beskrivas. Lämpliga referensobjekt väljs via intervjuer med personal inom IKEA och datainsamling om varuhus. Datainsamlingen sker via studiebesök och mätdata från IKEA. Resultaten beskriver utvärderingen av data för referensobjekten var för sig. Skillnaderna utforskas och klargörs i analysen vilket sedan ger underlag för diskussion och slutsats av fallstudien.



## 2. Teoretisk bakgrund

I detta kapitel presenteras tidigare känd information kring energianvändning, energieffektivisering, energistatistik samt allmänna energikrav på svenska byggnader.

### 2.1 Allmänna krav på byggnader

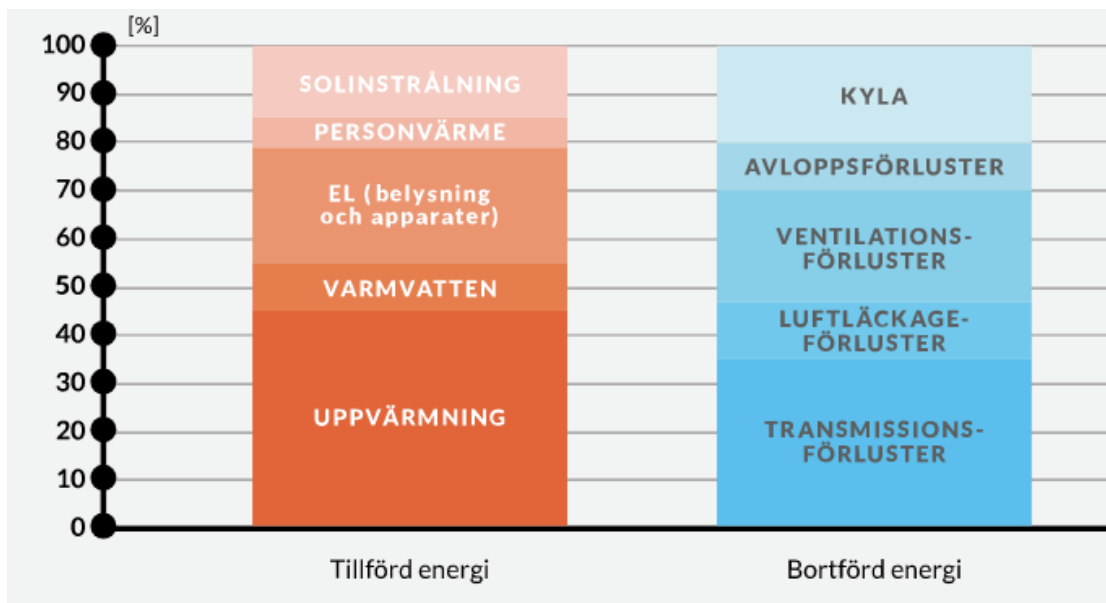
Det finns tre olika sorters krav för en nybyggnad: myndighetskrav, verksamhetsspecifika krav och byggnadsspecifika krav. Dessa är till för att tillsammans se till att en byggnads prestanda och olika funktioner uppfylls som det är tänkt och leda byggbranschen i en mer hållbar riktning. (Boverket, 2017)

Myndighetskraven är baserade på regelverk från BBR (Boverkets byggregler) och AFS (Arbetsmiljöverkets föreskrifter). Dessa är de basala kraven som alla nya byggnader måste uppfylla. Dock är det inte ovanligt att kraven som beställaren själv ställer på byggnaden är högre än myndigheternas. Byggherren ansvarar för att Boverkets byggregler uppfylls och ser till att föreskrifterna från arbetsmiljöverket följs, exempelvis via av BAS-P och BAS-U. (Boverket, 2017).

De verksamhetsspecifika kraven är till för att den planerade verksamheten fungerar som det var tänkt. Dessa tar inte hänsyn till själva byggtekniken och avslöjar inte helheten hos en byggnad. Exempelvis kan en byggnad vara ett fungerande hotell men misslyckas med att nå myndighetskraven på energianvändning. Detta säkras dock med det tredje kravet, byggnadsspecifika krav från Boverket. Dessa tar hänsyn till en byggnads prestanda och kvalitet, där exempelvis energianvändningen inte får förlora sin kvalitet på grund av verksamhetskraven. I sin helhet bidrar alla tre typerna till en funktionellt fullgod byggnad (Boverket, 2017).

### 2.2 Energianvändning

En byggnads energianvändning är ett mått på hur mycket energi byggnaden behöver för att fungera som det är tänkt när det gäller inomhusklimatet. Detta beror i sin tur på hur energibalansen i byggnaden ser ut. Om en byggnad beskrivs som ett system och fungerar korrekt uppnås en önskad inomhustemperatur när energibalans inträffar. Detta innebär att den tillförda energin måste vara lika stor som den bortförda energin, ifall något av dessa är högre än den andra kan det leda till obalans i systemet som antingen leder till ett ständigt ökande värme eller kyla tills balansen är nådd igen vid en oönskad temperatur. Tillförd energi kommer från uppvärmning, internt genererad värme, solinstrålning, och varmvatten. Energi förs bort av förluster via ventilation, transmission, läckage och kyla. (Boverket, 2017).



Figur 2.1 Energibalans i en byggnad, (Energilyftet, 2017)

Mätning av energianvändning kan ske på olika sätt men enklast genom att redovisa hur mycket energi som köpts under en viss period, vilket är det värde BBR kräver att byggnaden ska ligga under.

Energianvändning definieras enligt Boverket som:

*"den energimängd som vid normalt brukande behöver levereras till byggnaden (oftast benämnd köpt energi) under ett normalår"*

Med byggnadens specifika energianvändning menas energianvändning per kvadratmeter area avsedd att vara uppvärmd över 10°C.

Behovet av uppvärmning och varmvatten utgör en del av en byggnads energibehov då en önskad temperatur på varmvatten och inomhustemperatur är krav som alla byggnader måste uppnå. Ifall eluppvärmning är aktuellt räknas detta också in i byggnadens energibehov.

Energi för komfortkyla ingår också om byggnaden är i behov av kyla för att komma ner till en önskad inomhustemperatur. Verksamhets- och hushållsenergin bidrar med ett värmetillskott, liksom solen och människor i byggnaden. Nedkylning av en byggnad via exempelvis uteluft eller sjövattnen kallas frikyla och räknas inte in i kravet.

Fastighetsenergin avser el som används till exempel fläktar, pumpar och andra apparater som använder el och som behövs för att byggnaden skall fungera och erhålla ett bra inomhusklimat. Här kan även en viss del av belysningen

ingå men endast den del av belysningen som är fast och går till allmänna- och driftutrymmen, dvs inte verksamhetsberoende belysning (Boverket, 2017).

Kravet på maximal specifik energianvändning tar inte hänsyn till hushålls- eller verksamhetsenergi, vilken är verksamhetsberoende. Detta betyder att belysning, datorer, TV-apparater och dylikt inte räknas med i kravet på den specifika energianvändningen. Beroende på verksamhet kan specifik energianvändning och aktuellt behov av energi skiljas mer eller mindre. En stor verksamhet med många datorer och maskiner kommer att ha ett större behov av hushålls- och verksamhetsenergi men kan fortfarande ha en låg specifik energianvändning. Detta för att specifik energianvändning behandlar byggnaden ensam, oberoende av vem som bedriver verksamhet i den.

I fallet där solfångare eller solceller finns installerade på en byggnad kan detta tillskott av energi användas för att reducera byggnadens specifika energianvändning (Svensk Solenergi, 2017).

### **2.3 Energieffektivisering**

Minimering av energibehovet via energieffektiviseringsåtgärder är ett sätt att uppnå en hållbar energiförsörjning, minska utsläppen av växthusgaser, minska importkostnader och medföra en mer konkurrenskraftig europeisk ekonomi (Europaparlamentet, 2017).

Gällande byggnaders energiprestanda i Sverige så finns det minimikrav utfärdade av Boverket, som alla byggnader måste uppfylla. Det finns även olika klasser som en byggnad kan hamna i, från A till G, med A som den bästa klassen. Dessa är till för att köpare skall kunna jämföra byggnader. Klasserna ingår i de obligatoriska energideklarationer som infördes 2006. Energideklarationer utförs av oberoende certifierade experter, prövas av oberoende certifieringsorgan och Swedac godkänner dessa certifieringsorgan. Regler om deklarerationer och tillsyn av experterna sker av Boverket. Deklarationen är giltig i tio år och ger information om en byggnads energianvändning vilket kan jämföras mot andra byggnader och även utvärderas för att kunna hitta energieffektiviserande lösningar. (Boverket, 2017).

Vad en energideklaration exakt innehåller beskrivs på Boverkets hemsida som:

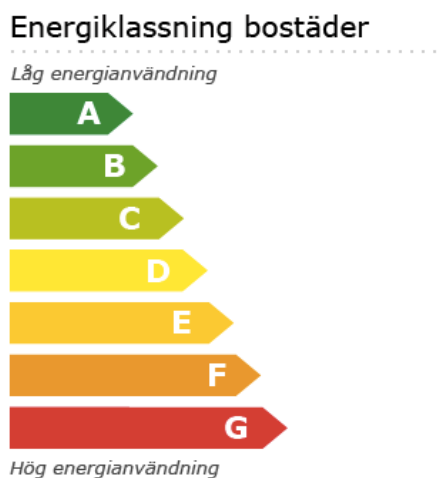
"

- *den uppvärmda arean i huset, kallad  $A_{temp}$*
- *energianvändning för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsel*
- *åtgärdsförslag, om energiexperten har föreslagit sådana, för att minska energianvändningen*
- *om radonmätning är utförd eller inte, och i så fall uppmätt värde*

*Deklarationen innehåller även andra uppgifter, till exempel om värmesystemet och ventilationssystemet i byggnaden."*

Den som ansvarar för att en energideklaration ska göras och anlitar en energiexpert är fastighetsägaren. Deklarationer skall göras vid tre tillfällen: innan försäljning, vid uthyrning och för större byggnader som ofta besöks av allmänheten. En energideklaration ska göras senast två år efter färdigställandet av byggnaden.

Klasserna från A till G, införda den 1 januari 2014, är till hjälp vid jämförelse av olika byggnader. Då energiklassningar infördes efter energideklarationer kan man se en deklARATION på en byggnad som saknar klassning. Energiklassen är baserad på energiprestanda jämfört med de krav som Boverket ställt på nya byggnader idag, deras verksamhet, och förutsättningar. Exempelvis har ett flerbostadshus som är eluppvärmt och beläget i södra Sverige inte samma krav som ett småhus som inte är eluppvärmt och beläget i norra Sverige. Då det finns fler äldre byggnader än nya hamnar ofta äldre byggnader i en energiklass över C.



Figur 2.2 Skalan på energiklassning (Boverket, 2017)



## 2.4 Energistatistik

Användningen av energi i en byggnad måste mätas regelbundet och på lämpligt sätt för att ge tillförlitliga värden. Dessa uppmätta värden används för att jämföra en byggnads prestanda gentemot sig själv under en viss tidsperiod och mot andra liknande byggnader. Skillnader i energianvändning för samma byggnad med hänsyn till uppvärmning eller nedkylning, kan bero på klimatet, vilket betyder att det tidigare året kan ha varit kallare eller varmare än det aktuella året. En avvikelse av denna sort vill man undvika så att fokus istället kan läggas på att undersöka energieffektiviserande åtgärder på faktorer som beror på annat än klimatet. För att kunna införa energieffektiviserande lösningar på befintliga byggnader är det viktigt att eliminera eller åtminstone reducera inverkan av klimatet. Vilket kan göras med en normalårskorrigerings. (Warfvinge & Dahlblom, 2004).

Normalårskorrigeringen bygger på detaljerad mätdata över en fastighets energianvändning och vad den går till, vilka krav som ställts för inomhustemperaturer samt tillgång till lokalt klimatdata. Detta möjliggör korrigerings från ett år till ett annat, vilket i praktiken korrigerar från ett klimat till ett annat då det är klimatet som troligtvis skiljer åren åt. Genom att regelbundet föra och följa upp statistik över vatten, el- och övrig energianvändning kan förvaltaren få information om hur byggnaden fungerar. Ett tydligt tecken på att något inte fungerar som det borde är skillnader i energianvändning mellan olika perioder, allt från veckor, månader och år, som rimligtvis inte borde bero på klimat- och/eller förvaltningsförändringar.

Energianvändning beräknas till ett nyckeltal, dvs ett jämförelsetal mellan olika fastigheter, eller inom en och samma fastighet för olika tidsperioder. Nyckeltalet beskriver oftast energin i enheten kilowattimmar per kvadratmeter  $A_{temp}$  [kWh/m<sup>2</sup>]. Över en viss tidsperiod, exempelvis [kWh/m<sup>2</sup>, månad], kan mätdata användas för att kartlägga energianvändningen under ett år, och i sin tur jämföras mot tidigare år, eller mot andra fastigheter inom samma tidsperiod. Själva insamlingen av mätdata för att beräkningarna skall kunna utföras kräver att mätarna, vad dessa mäter och vilka enheter som används är känt. Kvaliteten på mätningarna avgörs av hur regelbundet och noggrant dessa görs.



### 3. Litteraturstudie

Detta kapitel behandlar vetenskapliga artiklar samt forskning inom energisimulering, normalårskorrigerigering och en byggnads energibalans.

#### 3.1 BLAST

*Building Loads Analysis and System Thermodynamics* är vad akronymen, BLAST, står för. BLAST är ett simuleringsprogram för energianvändning i byggnader utvecklat under sent 70-tal av den amerikanska armén. Mer specifikt av ingenjörskåren inom den amerikanska armén som ansvarar bland annat för ingenjörstrupper, anläggning, samt väg- och vatten byggnad för främst armén (U.S. Army Corp of Engineers, 2017).

Huvudfunktionerna av BLAST 1.0 och 2.0 var att simulera en byggnads energianvändning, exempelvis en barack, under en viss tidsperiod. Detta, likt dagens energisimuleringar, möjliggjorde tidig utvärdering av exempelvis klimatskalets prestanda och energieffektiviseringsåtgärder kunde implementeras innan produktionen av byggnaden. De första två versionerna av programmet var väldigt grova, jämfört mot dagens standard, och tog exempelvis inte hänsyn till solinstrålning, väderparametrar, eller andra klimatfaktorer. Initiativet till att implementera detta i en utvecklad och bredare version 3.0 fanns då den amerikanska armén bedriver sin verksamhet i liknande byggnader i många olika geografiska lägen där klimatet är en viktig och styrande faktor för den simulerade energianvändningen (U.S. Army Corp of Engineers, 1981).

Samtidigt som den amerikanska armén använde sig av och utvecklade BLAST så utvecklade USA:s energidepartement sitt egna energisimuleringsprogram, DOE-2, som hade liknande huvudfunktion som BLAST (Energy, 2017). Under sent 90-tal utvecklades EnergyPlus, med BLAST och DOE-2 som underlag, till vad som används i stor utsträckning än idag i många energisimuleringar för byggnader. Klimatfaktorer, solinstrålning, VVS system, transmissioner, och liknande funktioner har utvecklats ännu mera i EnergyPlus jämfört mot BLAST och DOE-2 och användes i en fallstudie om energisimuleringar 2008 där åtta olika planerade byggnadstyper åt den amerikanska armén inom 15 olika klimatzoner simulerades. Målet var att minska energianvändningen för dessa typbyggnader med 30 % oberoende av klimatzon och resultatet var i stor utsträckning en framgång. Endast två klimatzoner nådde inte målet om 30 % energibesparing, utan hamnade på 29 %, medan resten av klimatzonerna påvisade en ännu större energibesparing än 30 %. Det understryks i rapporten genom att visa fördelen med att ha ett energisimuleringsprogram som EnergyPlus som pålitligt kan jämföra samma byggnader i olika klimat och leda till energieffektivisering (U.S. Army Corp of Engineers, 2008).

## 3.2 Normalårskorrigerigering

För att kunna jämföra olika års energianvändning måste den sammanställda energianvändningen för ett år korrigeras med hänsyn till om det varit varmare eller kallare än ett normalår, vilket är känt som normalårskorrigerigering. Normalåret kan beräknas på olika sätt, ett av dem är att beräkna graddagar vilka motsvarar ett normalt år, i en specifik ort. Graddagar i svenska orter kan hämtas från SMHI. För tillfället kan två perioder användas som referens, antingen den äldre perioden mellan 1960-1991 eller den senare mellan 1981-2010. Statistiken över en längre period ger en tydligare bild över hur klimatet förväntas variera mellan månaderna för ett typiskt år och medför möjligheten att korrigerera ett specifikt år där temperaturerna avviker från normalåret till det önskade normalåret. Det finns olika sätt att normalårskorrigerera men den mest använda metoden kallas för Graddagskorrigerigering vilken grundar sig i att de önskade innetemperaturerna är förutbestämda samt att en eldningsgräns kan bestämmas (Schulz, 2017).

I en graddagskorrigerigering är graddagarna för en given ort oberoende av byggnad eller verksamhet och gör det möjligt att beräkna en korrigeringsfaktor som motsvarar förhållandet mellan normalt antal graddagar och aktuellt antal graddagar för en ort.

$$GD = \sum_N (T_b - T_{ute}), N = 1, 2, 3, \dots x \text{ dagar} \quad (3.1)$$

Eldningsgränsen,  $T_b$ , är den temperaturen som tar hänsyn till att det finns värmestillskott i en byggnad. Detta tillskott genereras från personer, maskiner, belysning, samt solinstrålning, vilket gör att värmesystemen ställs in så att de börjar värma byggnaden då utetemperaturen har sjunkit under balanstemperaturen till skillnad från när den sjunker under den önskade inomhustemperaturen. Ifall det senare skulle tillämpas, skulle värmestillskottet bidra till en högre inomhustemperatur än den önskade. Värdet på eldningsgränsen beror på vilken typ av byggnad och verksamhet det rör sig om, samt vilken månad av året som är aktuell. Den baseras på uppskattningar av internt genererad värme och solinstrålning. Skillnaden mellan eldningsgränsen,  $T_b$ , och medelvärdet för ett dygn, ger graddagarna för det dygnet. Summan av graddagarna för månadens dygn används som ett månadsvärde i beräkningarna. (Warfvinge & Dahlblom, 2004).

Graddagskorrigerings beskrivs nedan i 5 steg

1. Beräkna antal graddagar för aktuell månad samt antal graddagar för en normalmånad.

$GD_{aktuell}$  = Graddagar för aktuell månad [°C dagar]

$GD_{NÅ}$  = Graddagar för normalårets månad [°C dagar]

2. Dividera aktuella graddagar med normalmånadens graddagar för att erhålla en korrigeringsfaktor,  $K_f$ .

$$\frac{GD_{aktuell}}{GD_{NÅ}} = K_f$$

3. Subtrahera den energianvändning som är oberoende av klimatet från den totala energianvändningen för månaden. Då beräknas den klimatberoende energianvändningen.

$$E_{tot} - E_x = E_{klimat}$$

$E_{tot}$  = Total energianvändning [W]

$E_x$  = Klimatberoende energianvändning [W]

$E_{klimat}$  = Klimatberoende energianvändning [W]

4. Dividera den klimatberoende energianvändningen med korrigeringsfaktorn för att erhålla en korrigerad klimatberoende energianvändning.

$$\frac{E_{klimat}}{K_f} = E_{korr}$$

5. För att beräkna den totala korrigerade energianvändningen, summera den korrigerade energianvändningen med den klimatberoende energin.

Energianvändningen som är klimatberoende är den energin som krävs då temperaturen utomhus sjunker under balanstemperaturen eller överstiger den maximalt tillåtna innetemperaturen. Den energin som krävs för att värma upp lokalen är  $E_{uppv}$ . Energi för att kyla lokalen är  $E_{kyl}$ . Energianvändningen som är oberoende av klimat är överlag tappvarmvatten och varmvattencirkulation, en andel som inte alltid dokumenteras. Det finns metoder att beräkna, ekvation (3.2) nedan och även uppskatta detta ifall mätvärden inte finns tillgängliga dock är detta ett svårare arbete och medför värden som blir grova. Exempelvis

kan 1/3 av kallvattenförbrukningen uppskattas till att vara varmvattenförbrukning (Schulz, 2017).

$$E_{vv} = q \cdot 1,16 \cdot (T_{vv} - T_{kv}) \quad [\text{kWh/månad}] \quad (3.2)$$

Där

$T_{vv}$  = Varmvattnets temperatur [°C],  
 $T_{kv}$  = Kallvattnets temperatur [°C],  
1,16 = specifik värmekapacitet för vatten [kWh/m<sup>3</sup>°C ],  
 $q$  = vattenförbrukningen per månad [m<sup>3</sup>].

För att underlätta beräkning och även sammanställning av värdena är det praktiskt att använda en blankett. I en sådan kan värdena antecknas och även enkelt beräknas med hjälp av exempelvis ett program som Microsoft Excel, se Figur 3.1.

**GRADDAGSKORRIGERAD ENERGIFÖRBRUKNING FÖR:**

Varuhus: \_\_\_\_\_ Enhet: kWh År: \_\_\_\_\_

|  | Total energi-<br>förbrukning |   | Icke klimat-<br>beroende<br>förbrukning | Klimatberoende<br>energi-<br>förbrukning | Korrigeringsfaktor       |                       | Graddagskorrigerad<br>klimatberoende<br>energiförbrukning | Total graddagskorrigerad<br>energiförbrukning |
|--|------------------------------|---|---|--|--------------------------|-----------------------|---|---|
|  | A                            | B |   |  | Graddagar<br>Normalmånad | Verkliga<br>graddagar |   |   |
|  | D                            | E | F = E/D                                 | G = C/F                                  | H = B + G                |                       |   |   |
| januari                                      |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| februari                                     |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| mars   |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| april  |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| maj  |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| juni   |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| juli   |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| augusti                                      |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| september                                    |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| oktober                                      |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| november                                     |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| december                                     |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |
| <b>Årets graddagskorrigerade förbrukning</b> |                              |   |   |  |                          |                       |   |   |

Figur 3.1 Exempel på blankett som kan användas vid sammanställning av graddagskorrigerade värden.

### 3.2.1 Kylgraddagar

En viktig sak att ha i åtanke är ifall man korrigerar med avseende på uppvärmning eller nedkylning. Det skiljer sig åt då behovet för uppvärmning är större för vinterperioden än för sommarperioden. En felkälla kan därför uppstå om graddagsmetoden, beskriven ovan, som är avsedd för uppvärmning, används under perioder där kylbehov är aktuellt. Balanstemperaturen för uppvärmning skiljer sig från balanstemperaturen för kylbehov. På grund av detta kommer graddagarna att skilja sig åt för kylbehov jämfört med uppvärmning. För att undvika detta måste en justerad metod användas. Ett möjligt alternativ hämtat från en studie där flera olika metoder på olika fastigheter testats, som är mer teoretisk för tillfället än metoden som är avsedd för uppvärmning. Metoden kallas "Alternativa graddagsmetoden" och fungerar i analogi med graddagsmetoden för uppvärmning. Likt metoden för uppvärmning så har man en balanstemperatur. Balanstemperatur för komfortkyla är inte samma som eldningsgränsen utan gränsen för när komfortkylan ska initieras istället för uppvärmning. Denna behöver inte heller vara likadan för hela kylperioden utan kan variera med några grader Celsius mellan månaderna april, maj, och september, jämfört mot juni, juli, och augusti. Detta kan förklaras med att värmesystemet fortfarande är i drift under månaderna april, maj, och september, vilket resulterar i att byggnaden kyls och värms samtidigt, samt att personer har mer kläder på sig, och även att solen står lägre och strålar in lättare i byggnaden (Lundell, 2004).

Att bestämma kylstarttemperaturen är svårt då den beror på faktorer som klimat, solinstrålning, personvärme och vilka krav som ställs på inomhustemperaturen. Förutsatt att värmesystemet kan stängas av under kylperioder kan även den lägsta dimensionerade inblåsningstemperaturen agera som en bra indikation för när kylning bör initieras.

Beräkningsprincipen för korrigeringsfaktor med hänsyn till kylbehov är densamma som för uppvärmning där så kallade kylgraddagar beräknas för en normalmånad respektive aktuell månad via summering av differensen mellan kylstarttemperaturen och utomhustemperaturen, likt ekvation (3.1). Korrigeringsfaktorn räknas ut genom att dividera den aktuella månadens kylgraddagar med normalmånadens kylgraddagar. Faktorn kommer att vara korrekt med att beskriva förhållandet mellan de olika tidsperiodernas klimatvariationer och huruvida kylenergin för den aktuella månaden har ökat eller minskat mot en normalperiod. Korrigeringsfaktorn för kylbehovet används på samma sätt som korrigeringsfaktorn för uppvärmningsbehovet, där den aktuella månadens klimatberoende energibehov divideras med korrigeringsfaktorn. Samma blankett, och således samma algoritm som i figur 3.1 kan användas.



### 3.3 Energibalans i en byggnad

Som illustrerat i figur 2.1 så finns det alltid en energibalans i en byggnad då temperaturen är konstant inomhus. Denna energibalans kan också beskrivas som en värmeeffektbalans med sambandet nedan

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_i \quad [\text{W}]$$

*Bortförd värme:* [W]

Transmission,  $P_t$

Ventilation,  $P_v$

Läckage,  $P_{ov}$

*Tillförd värme:* [W]

Solinstrålning,  $P_s$

Internt genererad värme,  $P_i$

Värmesystemet,  $P_w$

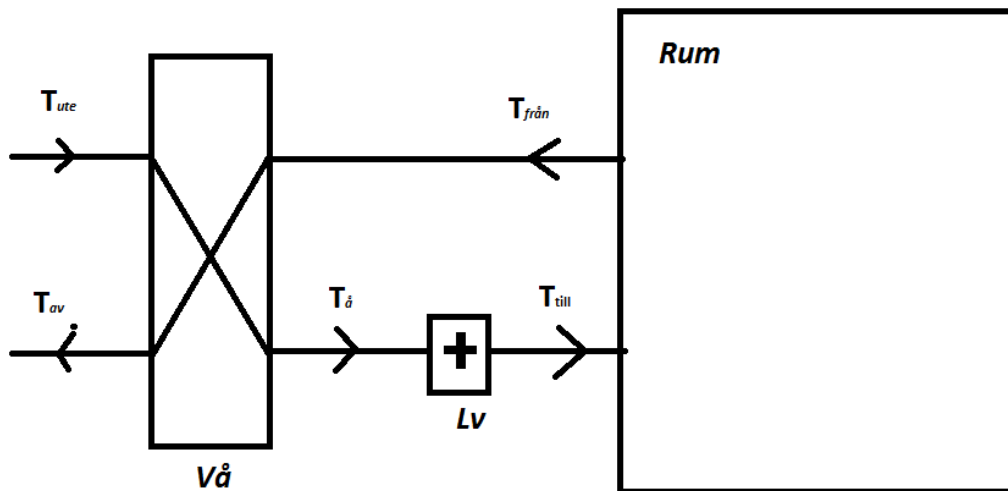
(Warfvinge & Dahlblom, 2010).

#### 3.3.1 Ventilation

Huvudfunktionerna för ventilationssystem är att tillföra frisk luft samtidigt som föroreningar bortförs och skapa ett undertryck inomhus. Det kan även användas för att tillgodose ett gott termiskt inneklimat, via uppvärmning och nedkylning av utrymmen. Det förekommer huvudsakligen tre typer av ventilationssystem i Sverige: Självdrag (S), Mekanisk frånluft (F) och Till- och frånluft med värmeåtervinning (FTX), med olika variationer av dessa (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Det finns inte några myndighetskrav på något specifikt ventilationssystem utan kraven gäller alltid luftkvalitet, inneklimat, och byggteknik. Med låga energikrav så är dock FTX-systemen mest lämpliga då dessa har värmeåtervinning. Lokalbyggnader av typen varuhus har FTX-system installerade på grund av högt komfortkrav, de stora luftflödena och de ekonomiska fördelarna. Detta system återvinner värme ur frånluft och värmer tilluften, denna process kan minska energibehovet upp till 80 % för uppvärmning av ventilationsluft och sker via värmeväxlare. FTX-system kräver ett stort underhåll eftersom värmeåtervinnarens verkningsgrad minskar då damm och smuts samlas. Uteluften blir ventilationsluft som så småningom måste värmas till rumstemperatur via exempelvis radiatorer i rummet eller i ett luftbehandlingsaggregat av värmeåtervinnare och luftvärmebatteri. I ett luftbehandlingsaggregat värms luften i två steg.

I figur (2.5) illustreras hur luften först värms i värmeåtervinnaren till temperaturen  $T_{\dot{a}}$ , och sedan efter behov eftervärms luften i luftvärmebatteriet till  $T_{till}$ , tilluften.

$T_{från}$  = Frånluftstemperatur            [°C]  
 $T_{av}$  = Avluftstemperatur            [°C]  
 $T_{ute}$  = Uteluftens temperatur        [°C]  
 $T_{\dot{a}}$  = Återvunnen temperaturer        [°C]  
 $T_{till}$  = Tilluftstemperatur            [°C]



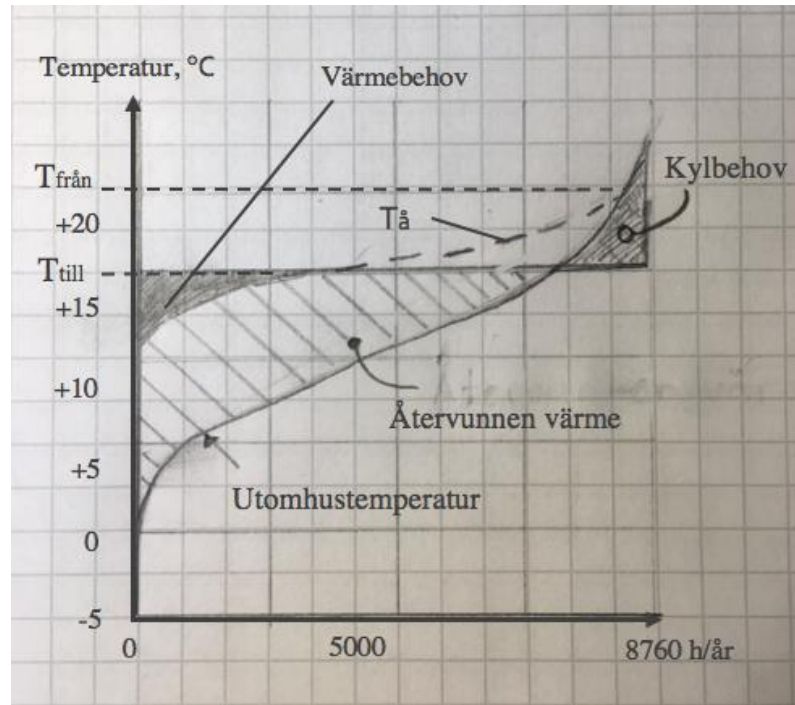
Figur 3.2  $V\dot{a}$  = värmeåtervinnare,  $Lv$  = luftvärmare

Temperaturverkningsgraden,  $\eta$ , beskriver hur mycket av värmen som kan återvinnas. Med verkningsgraden känd kan temperaturen efter värmeåtervinnaren,  $T_{\dot{a}}$ , beräknas via sambandet (3.3).

$$\eta = \frac{T_{\dot{a}} - T_{ute}}{T_{från} - T_{ute}} \quad (3.3)$$

Detta samband kan också illustreras i ett varaktighetsdiagram. Ett varaktighetsdiagram beskriver, i stigande temperaturordning, utomhustemperaturens variation över alla 8760 timmar i ett år. Eftersom utomhustemperaturen varierar relativt mycket för korta tidsperioder anses det lättare att tolka dessa i ett varaktighetsdiagram. Ur ett sådant diagram kan man tolka hur många timmar av det aktuella året temperaturen befunnit sig under exempelvis  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Abel & Elmroth, 2012).

Ifall  $T_{\text{å}}$  löses ut ur (3.3) och förs in ett varaktighetsdiagram med  $T_{\text{till}}$  kommer dessa avgränsa en yta tillsammans med temperaturvariationen över året. Ytorna beskriver uppvärmnings samt kylbehovet som sett i figur 3.2.



Figur 3.2 Varaktighetsdiagram med återvinning för en typisk bostad.

### 3.3.2 Transmission

Transmission innebär flödet av värme genom husets omslutande ytor, så som golv och väggar. Men även värmeflödet i anslutningarna mellan dessa ytor, så kallade köldbryggor, exempelvis i ett hörn eller i anslutningen mellan ett fönster och en vägg. Förluster genom transmission sker naturligt då det finns en temperaturskillnad mellan två skikt som skiljs åt av exempelvis en vägg, då värmeflöde sker genom väggen ut mot det kallare. Ju mindre transmissionsförlusten för ett rum är, desto mindre energi krävs det för att värma det givna rummet. Ett exempel är ett vanligt rum, beläget i mitten av ett flerbostadshus, som omsluts av varma ytor i alla riktningar. Ett sådant rum kommer ha lägre transmissionsförlust jämfört med ett rum beläget där två väggar omsluts av en kallare utomhusluft (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Hur bra eller dåligt ett material leder värme beskrivs av dess  $\lambda$ -värde, uttryckt i  $[\text{W}/\text{mK}]$ . Mer vanligt är att omvandla värmeledningsförmågan för ett material till en unik värmegenomgångskoefficient för en specifik konstruktionsdel av detta material, så kallat värmemotstånd  $[\text{m}^2 \text{K}/\text{W}]$  eller ett värmegenomgångstal  $[\text{W}/\text{m}^2 \text{K}]$ .

Transmissionsförlusterna kan beräknas då arean för varje konstruktionsdel är känd och multipliceras med motsvarande U-värde. Detta uttryckt som en effektförlust i [W/K]. Energin, [Wh], som förloras i transmission kan också beräknas via (3.4).

$$E = U \cdot A \cdot G_t \quad [\text{Wh}] \quad (3.4)$$

$U$  = Värmeövergångskoefficient för konstruktionsdelen [W/m<sup>2</sup> K]

$A$  = Arean av ytan [m<sup>2</sup>]

$G_t$  = Graddtimmar för orten [°Ch]

### 3.3.3 Läckage

Läckage inträffar då det finns springor, hål, eller andra icke-täta delar i klimatskalet. Uteluft som tränger in eller inomhusluft som läcker ut placeras i denna kategori (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

### 3.3.4 Internt genererad värme

Detta värmestillskott kommer från främst människor men även belysning, maskiner, elektronik osv. Denna så kallade ”gratisvärme” har stor påverkan för en byggnads värmebehov och en vuxen persons tillförda värmeeffekt beror på aktivitet och närvaro men kan uppskattas till 80W. Den internt genererade värmens bidrag till värmeeffektbalansen kan nå höga värden, speciellt i byggnader med stora verksamheter där mycket personvärme avges och måste tas hänsyn till för att kunna göra noggranna värme- och/eller energiberäkningar (Sveby, 2009).

### 3.3.5 Solinstrålning

Solinstrålning genom fönster bidrar till den tillförda värmen i en byggnad. Beroende på geografiskt läge, klimat, och årstid är detta en avgörande faktor för vilka sorts fönster och solskydd som ska användas (Sveby, 2009).

### 3.3.6 Värmesystem

Värmesystemets uppgift är att under kalla perioder upprätthålla ett behagligt termiskt inneklimat. Via bra placering skall värmen distribueras i rätt mängd till varje utrymme och kunna regleras på grund av variationer inomhus och utomhus. Det är möjligt att värma en byggnad med luft- eller vattenburet system, eller strålningsvärme via eldning och/eller elradiator. Alla system kan delas in i fyra viktiga delar som har skild funktion: En värmekälla, ett system som fördelar värmen från källan, värmare i rummen, och ett system för styrning/reglering av värmestillskottet (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

### 3.4 Geoenergi och Solenergi

Då varuhuset som studerats använt sig av antingen geoenergi, solenergi, eller både och, så behandlas endast geo- och solenergi.

#### 3.4.1 Geoenergi

När det gäller värmepumpar så är geoenergin, energin under markytan, väsentlig eftersom den används i värmesystemet. Till skillnad från vattenburen elvärme kan den naturliga energin under marken utnyttjas som gratisvärme respektive frikyla vid behov.

Principen för en värmepump beskrivs nedan i fyra steg.

1. Köldmedium cirkulerar i pumpen, värms i förångaren av uteluft, sjövattnet, mm. och övergår till nedkyld ånga.
2. Trycket höjs av en eldriven kompressor och på grund av egenskaperna hos köldmediet så höjs även temperaturen hos ångan.
3. Kondensorn nås av varm ånga som kondenserar, avger värme, och blir varm vätska.
4. Vätskan når till slut när en strypventil där trycket sjunker och vätskan kyls ner.

Den avgivna värmen ingår i ekvation (3.5) som beskriver värmefaktorn, COP, eller  $\varepsilon$ , som är ett mått på förhållandet mellan tillförd eleffekt och den som avges i kondensorn.

$$\varepsilon = \frac{P_f - P_k}{P_k} \quad (3.5)$$

Denna avges vid kondensorn i steg 3 och är summan av den upptagna värmen i steg 1 och kompressorns effekt. Faktorn ligger i storleksordningen 3-4 och värmepumpen brukar dimensioneras så den kan täcka upp mot 90 % av energibehovet där resten täcks av spetsvärme via exempelvis el, gas, biobränsle (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Energin kan upptas från marken på olika sätt, där det vanligaste är bergvärme. Det finns även sätt att lagra värme respektive kyla i säsonger. Relevanta tekniker är borrhållager och akviferlager.

Borrhållager innebär att man borrar hål ner i berget för att värma och kyla delar av bergmassan vilken kommer att lagra energin. Vid behov kan värme tas ur berget, vilket kommer resultera i en nedkylning av bergmassan och sedan vid perioder av kylbehov kan värme uppifrån pumpas ner och termiskt ladda

om bergmassan. Mängd, storlek och avstånd mellan borrhålen beror på energi-behovet för byggnaden i fråga men även de geologiska förhållandena för berg-massan som används (SGU, 2017).

Ett akviferlager använder istället ett slutet system av cirkulerande grundvattnet i berget. Detta kan lagras i kalla respektive varma brunnar likt ett vanligt borrhåls-lager men med vatten som bärare. Exempelvis kan det på sommaren före-komma behov av komfortkyla, då pumpas vatten från en kall brunn upp till ytan för att kyla, en värmeväxling sker mellan varm luft och kallt vatten där vattnet värms och skickas sedan ner till en varm brunn (SGU, 2017).

### 3.4.2 Solenergi

Solens energi kan både vara gynnsam och ogynnsam. Det fall där man helst vill undvika solens energi är när instrålningen bidrar med för stort värmetil-lskott. Solenergin kan även utnyttjas via solceller eller solfångare, speciellt un-der sommaren då solinstrålningen är som högst, för byggnader där kylbehovet också stiger. Den stora skillnaden mellan teknikerna är att solceller omvandlar ljus till elektrisk energi, känt som fotovoltaik, medan en solfångare använder värmen för att värma upp vatten eller luft. Den producerade energin per kvadratmeter, sträcker sig beroende på system för solfångare från 200-700 kWh/m<sup>2</sup> för ett år. Solceller sträcker sig från 50-150 kWh/m<sup>2</sup> för ett år. (Svensk Solenergi, 2017).

Byggnadens specifika energianvändning kan sänkas i den utsträckning bygg-naden kan tillgodogöra sig solenergin. Det finns inget krav på att mäta den producerade solenergin separat från den aktuella energianvändningen. Dock anses det lämpligt att i projekteringsstadiet göra sådana beräkningar så att stor-leksordningen på energin som krävs kan uppskattas (Boverket, 2017).

## 4. Genomförande

### 4.1 Referensobjekt

För att sätta omfattningen för fallstudien så samordnades ett möte mellan handledare på IKEA Fastigheter AB samt en handledare från LTH där frågeställningar samt avgränsningar i grova drag diskuterades. Via företagets handledare kunde översiktlig statistik på energianvändning för olika IKEA-varuhus i världen, för året 2016, diskuteras. På så vis var det möjligt att tydligt peka ut skillnader även mellan de fjorton mest energisnåla varuhusen i världen. Med motiveringen att varuhusen i huvudsak är lika uppbyggda men belägna i olika klimat så fanns det ett intresse i att försöka studera byggnaderna mer i detalj. Ifall klimatets inverkan kan reduceras, via graddagsmetoden, för en mer rättvis jämförelse. Ett intresse hos IKEA Fastigheter fanns då en fallstudie kunde användas som bas för att göra mer djupgående interna utredningar för energieffektiviseringsåtgärder för dess varuhus.

För att kunna ha en god kommunikation mellan författaren samt företagets handledare så planerades månatliga möten. Utöver detta skulle handledaren kunna bistå med data gällande tekniska projektbeskrivningar i Sverige som skulle användas för beräkningar. Tillgång till data gällande tekniska beskrivningar för Malmö och Uddevalla erhöles via en projektserver kallad iBinder och för mätdata över energianvändning via det webbaserade programmet WebEss.

Studiebesök gjordes i Malmö och Uddevalla under arbetes gång så att eventuella frågor som uppstod under arbetet kunde besvaras. Studiebesöken bokades av handledaren. Ifall information söktes som inte omfattades handledarens tekniska kompetens skulle handledaren hjälpa studenten att komma i kontakt med rätt personer inom företaget som kunde svara på frågor och/eller ge tillgång till den sökta informationen.

Då ett av examensarbetets mål var att kartlägga möjliga steg att ta för att kunna göra en noggrann energiuppföljning kan delar av metoden komma att ha estimeringar och schabloner som underlag för att kunna utföra beräkningar.

#### 4.1.1 Varuhus

En översiktlig sammanställning för energianvändningen hos flera olika varuhus var nödvändig att genomföra så att en mer detaljerad förstudie av de olika förutsättningarna kunde inledas. Dialog med kunnig personal internt inom IKEA gjordes för att kunna få en god uppfattning om vilka varuhus som kunde vara lämpliga referensobjekt. Kännedom av kraven för beräkningsmetoden, normalårskorrigerings, samt intervjuer med personer inom IKEA-koncernen med teknisk kunskap om varuhusen och om vilka parametrar som brukar

kunna kopplas ihop med energianvändningen. Utöver energianvändning per kvadratmeter skulle flera nyckeltal beräknas som kan kopplas direkt till verksamheten.

## 4.2 Insamling av data

### 4.2.1 WebEss & iBinder

WebEss är ett browserbaserat statistikförande program som används av IKEA Fastigheter där lokala mätvärden för bland annat energi, vatten, besökare, och godsflöde redovisas. Via handledare hade författaren tillgång till alla tre jämförelseobjekt och kunde referera till värden som användes i beräkningarna.

Programmet iBinder är också ett browserbaserat system som agerar som projektserver för IKEA varuhusens byggprojekt. Här kunde alla tekniska handlingar och beskrivningar som gjorts under projektets gång utforskas och refereras till. Endast för varuhusen i Malmö och Uddevalla fanns tillgång till teknisk data på projektservern. Gällande Zwolle var det nödvändigt att ta kontakt med Hollands byggchef, landets motsvarighet till handledaren på IKEA Fastigheter, och vidare därifrån införskaffa sig relevant data kring varhuset i Zwolle.

### 4.2.2 Studiebesök

Dessa kunde endast göras i de svenska varuhusen då tidplanen skulle överskridas ifall en resa till Holland skulle göras eftersom detta endast kunde arrangeras mot slutet av arbetet. Syftet med besöken var att ge en bättre dialog mellan författaren och driftpersonalen på plats om hur varuhusen lokalt sköts. En rundtur samordnades där möjliga driftproblem förklarades och hur de löstes. Detta bidrog till den slutgiltiga analysen av resultaten med en jämförelse om hur driften av varuhusen skiljer sig åt då detta var en stor faktor för påverkan av energianvändningen.

## 4.3 Graddagsmetoden

Graddagarna beräknades genom att använda skillnaden mellan en byggnads balanstemperatur,  $T_b$ , och medeltemperaturen utomhus för ett dygn,  $T_{ute}$ . Då ett varuhus har väldigt olika uppvärmnings behov gentemot vanliga småhus eller mindre flerbostadslokaler så användes även en graddagsmetod anpassad för kylning. Denna var mer teoretisk och inte testad i samma utsträckning som graddagskorrigeringen för uppvärmning.

Värden för balanstemperaturen beräknades genom granskning av projektbeskrivningarnas systemhandlingar för värme och ventilationssystemen, på projektservern iBinder, samt offentlig information för utetemperaturer från den statliga myndigheten Sverige meteorologiska och hydrologiska institut



(SMHI). I det fall där SMHI inte kan användas, för det utländska varuhuset i Zwolle, användes icke-statliga meteorologiska källor som har mindre trovärdighet då hänvisningar till exakt vilka mätstationer för vilka områden som används inte är tillgängliga. För att öka pålitligheten av temperaturvärdena användes ett flertal olika källor och jämfördes mot varandra för att minska felet.

Inomhustemperaturen, och därmed  $T_{från}$ , varierar med hänsyn till vilken avdelning man befinner sig på. Därför gjordes en bedömning av vilka avdelningar i varuhuset som är störst och därmed representerar inomhustemperaturen mest noggrant.

Balanstemperaturerna som fås utav ekvation (3.3) tar vanligtvis hänsyn till transmissionens inverkan på balanstemperaturen. Dock ansattes i detta fall den önskade tilluftstemperaturen som en rimlig balanstemperatur. Då uppvärmningssystemet, exempelvis radiatorer (inte tilluften), inte var påslaget i dessa lokaler och den internt genererade värmen var konstant är sambandet korrekt och balanstemperaturen är lika med den önskade tilluftstemperaturen.

Då arbetet avgränsade sig till att korrigera månadsvärden för energianvändning beräknades graddagarna för hela månader. Dessa erhöles via summering av differensen av den önskade månadens antal dagar och sambandet ges av ekvation (3.1) på sida 12.

Beräkningsmetodens syfte är att reducera klimatinverkan och beräkna ett jämförbart nyckeltal för en viss byggnad. Därmed var det nödvändigt, så gott det går, att separera den klimatberoende delen av den totala energianvändningen. Detta kommer att i huvudsak vara energin som går åt till att värma respektive kyla byggnaden och kan erhållas då energi för uppvärmning av varmvatten, fastighetsel och verksamhetsel subtraheras. För varmvattnets energi,  $E_{vv}$ , användes schablon enligt ekvation (3.2) på sida 14 (Warfvinge & Dahlblom, 2004). Då lämplig data saknades för varmvatten gjordes olika estimeringar av varmvattenförbrukning för att kunna utföra studien som tänkt.

#### 4.3.1 Algoritm för beräkning

För att utföra beräkningarna effektivt har programmet Microsoft Excel använts där två mallar införts, en algoritm för klimatkorrigering och en algoritm för graddagsberäkning. Algoritmen för graddagar benämns *gradmånadsalgoritm* då i studien hela månader korrigerades istället för enskilda dagar. Den första mallen är konstruerad utifrån blanketten i figur 3.1 och syftet är att beräkna ett klimatkorrigerat värde för ett år utifrån insamlad data. Den andra mallen är konstruerad utifrån principen för graddagsmetoden och syftet är att beräkna graddagarna för årets månader.

Känd mätdata som krävs för algoritmen i gradmånadsmallen är

- Medeltemperatur för det aktuella årets månader
- Medeltemperatur för normalårets månader
- Balanstemperatur för referensobjektet

Känd mätdata som krävs för algoritmen i klimatkorrigeringsmallen är

- Total energianvändning för aktuellt år
- Icke-klimatberoende energianvändning för aktuellt år

#### **4.4 Intervjustudie**

För att kunna svara på frågeställningarna i ett mer generellt sammanhang så gjordes en intervjustudie med olika hyresvärdar som äger liknande byggnader som IKEA Fastigheter AB. Dessa hölls anonyma om inget annat önskas och skulle tillföra andra infallsvinklar om synen på energianvändning och dess kartläggning. Studien är i grunden formulärbaserad, där specifika frågor var nödvändiga att utformas, vilka skulle kunna besvaras generellt av alla företag. De specifika frågor som utformades för denna studie presenteras i kapitel 6 avsnitt 6.4. Representanterna kontaktades främst via email och bjöds in till en muntlig dialog som kunde tillföra mer till diskussionen då frågorna är väldigt generella. Företagen som var tänkta att kontaktas skulle avgränsas till detaljhandels-verksamhet och vara verksamma på olika orter, i några fall globalt. Syftet med avgränsningen var att hålla sig till liknande verksamheter som kunde stöta på frågeställningarna som examensarbetet var baserat på.

## 5. Referensobjekt

### 5.1 Val av referensobjekt

För att kunna börja resonera kring vilka varuhus som är lämpliga införskaffades en översiktlig sammanställning av energianvändningen hos några olika IKEA varuhus, tabell 5.1. Listan som visas nedan erhöles från Grels Friberger, Affärsutveckling IKEA.

*Tabell 5.1 Fjorton IKEA-varuhus i världen rangordnade efter lägst köpt energi för året 2016. Fetstil innebär att varuhusen är belägna i Sverige.*

| Varuhus                               | <u>kWh/m<sup>2</sup></u> |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. Clermont-Ferrand (2014), Frankrike | 68,0                     |
| 2. Zwolle (2015), Holland             | 73,8                     |
| 3. Reims (2010), Frankrike            | 76,8                     |
| 4. Geneva (2010), Schweiz             | 79,4                     |
| 5. Rothenburg (2011), Schweiz         | 80,1                     |
| <b>6. Uddevalla (2013)</b>            | <b>80,5</b>              |
| 7. Rennes (2008), Frankrike           | 80,7                     |
| 8. Bayonne (2015), Frankrike          | 83,5                     |
| 9. Pratteln (2000), Schweiz           | 86,1                     |
| <b>10. Karlstad (2007)</b>            | <b>87,2</b>              |
| <b>11. Borlänge (2013)</b>            | <b>87,2</b>              |
| 12. Berlin (2010), Tyskland           | 88,2                     |
| 13. Tampere (2010), Finland           | 88,3                     |
| <b>14. Malmö (2009)</b>               | <b>89,3</b>              |

Detta gav en tillräckligt bra bild för att kunna hitta lämpliga varuhus att jämföra då värdena skiljer sig på 21.3 kWh/m<sup>2</sup> mellan Clermont-Ferrand varuhuset i Frankrike, på första plats och Malmö varuhuset på fjortonde plats. Skillnader i köpt energi försökte klargöras genom att intervjua Grels Friberger, från IKEA, som sammanställt tabell 5.1.

Intervjuer inleddes med Grels Friberger som kan svara på frågor om exakt vilken energi som visas, vilket som är köpt energi, samt vilka attribut brukar kunna korreleras till en byggnads energiprestanda vilka som sammanfattningsvis är:

### **1. Ålder.**

När ett varuhus är byggt och ifall det på sistone haft stora renoveringar spelar stor roll på hur mycket energi byggnaden kräver. Tekniken som används idag är i de flesta fall mindre energikrävande jämfört med ett decennium tidigare. Ett varuhus byggt eller renoverat de senaste fem åren kommer till exempel troligtvis ha LED lampor, vilket påverkar elanvändningen drastiskt jämfört med en äldre byggnad.

### **2. Drift.**

Hur noga direktiv för exempelvis ventilationsreglering, inomhustemperatur eller utvärdering och uppföljning av fel görs spelar stor roll för den köpta elen.

### **3. Teknik.**

Exempelvis värmesystem, ifall det finns solceller/solfångare eller vilken typ av belysning som används påverkar energiprestandan väldigt mycket.

(Friberger, 2017)

Som grund för valet av referensobjekt utgicks ifrån att minst två varuhus måste jämföras mot varandra. Dessa varuhus borde helst vara ungefär lika gamla, ha liknande teknisk utformning och driftpersonal som kan bistå med data om lokal drift. Hur många objekt som valts styrdes i huvudsak av tidplanen för projektet och med en uppskattad tidplan på tre månader så avgränsades arbetet till endast tre varuhus för jämförelse.

En betydande faktor som påverkat resultatet av studien är också möjligheten att kunna samla in data om ett specifikt varuhus. Då varje land har en egen fastighetsavdelning blir kommunikation en viktig aspekt att tänka på. Kommunikationen med varuhusen i Sverige och möjligheten att analysera data & statistik är avsevärt enklare att komma åt gentemot utlandet och dess språkbarriär, vilket blir ett handikapp värt att notera. För att tidplanen inte skulle löpa risk att förlängas valdes endast ett varuhus i utlandet, medan resterande två varuhus är svenska.

Störst skillnad i köpt energi på listan, av de svenska varuhusen, är emellan Uddevalla (2013) och Malmö (2009). Med hjälp av handledare, Christian Westberg, kunde tillgång till projektbeskrivningar på projektservern iBinder bli möjlig. Valet bakom just dessa två är delvis gjort på grund av den stora skillnaden i energianvändning. Ytterligare undersökning gjordes för att säkerställa att varuhusen är tillräckligt lika varandra med hänsyn till värmesystem och driftinstruktioner för väldigt olika varuhus skulle enkelt kunna motiveras varför deras energianvändning skiljer sig åt. Från den översiktliga jämförelsen

mellan projektbeskrivningar, genom projektservern iBinder, är dessa varuhus två lämpliga svenska jämförelseobjekt. Utdragen från projektbeskrivningarna i kapitel 8 visar att de har liknande teknik med hänsyn till värmesystem då båda har värmepump (geoenergi) och driftinstruktioner för reglering av inomhustemperaturer är lika. Då Uddevalla har cirka 9 kWh/m<sup>2</sup> lägre energianvändning än Malmö, väljs det sista och utländska varuhuset med kriteriet att dess energianvändning skall vara cirka 9 kWh/m<sup>2</sup> lägre än varuhuset i Uddevalla. Clermont-Ferrand (2014) och Zwolle (2015) har 12 respektive 7, [kWh/m<sup>2</sup>], lägre energianvändning än Uddevalla. Zwolle valdes över Clermont-Ferrand då Zwolle är mer likt de svenska varuhusen i teknisk utformning jämfört med Clermont-Ferrand enligt, IKEA FM Technical Manager, Richard Lundgren (Lundgren, 2017). Gällande tekniken för Zwolle så kontaktades landets byggschef för att svara på dessa frågor då projektet inte finns på iBinder. Via email frågades om vilket värmesystem som användes och även vilka riktvärden som inomhustemperaturerna har. Värmesystemet i Zwolle är en värmepump, likt Malmö, och riktvärdena för inomhustemperaturer följer en standardmall som finns för alla varuhus i landet, likt det som finns i Sverige (Neuteboom, 2017). Ett exempel på en svensk mall ses i tabell 5.2. Den stora skillnaden i dessa värden är dock att för de svenska varuhusen togs de direkt ur projektbeskrivningarna och avser fler avdelningar medan inomhustemperaturerna givna för Zwolle erhöles endast för tre typer av avdelningar, Saluhall, Tag-själv-lager, och godsmottagning.

*Tabell 5.2 Utdrag för generella riktvärden för inomhustemperaturer i Svenska IKEA varuhus i grader Celsius, TS = Tag-själv-lager (IKEA Fastigheter, 2016). Varuhusspecifika riktvärden hämtas från iBinder.*

|                       | Min (°C) | Max (°C) |
|-----------------------|----------|----------|
| <b>Möbler</b>         | 20       | 24       |
| <b>Saluhall</b>       | 18       | 24       |
| <b>Kontor</b>         | 21       | 24       |
| <b>TS</b>             | 18       | Ingen    |
| <b>Varulager</b>      | 18       | Ingen    |
| <b>Resturang</b>      | 20       | 24       |
| <b>Serverrum</b>      | 14       | 20       |
| <b>Godsmottagning</b> | 15       | Ingen    |
| <b>Miljösortering</b> | 15       | Ingen    |
| <b>Kassalinje</b>     | 20       | 24       |

## 5.2 Lokala förutsättningar

Nedan kommer analys av lokala förutsättningar för de tre orterna att redogöras som teknisk utformning, ålder, drift, verksamhet och klimatdata. Geografisk placering för referensobjekten visas i figur 5.1.



Figur 5.1 Karta över mellersta-norra Europa med de tre referensobjekten/varuhusen markerade.

### 5.2.1 Malmö

Varuhuset är beläget i södra Sverige, Malmö, och uppfördes 2009 i två plan med ett parkeringsdäck undertill, med IKEA Helsingborg som referensbyggnad. Verksamhet bedrivs i varuhuset överlag mellan 05-22 på vardagar, 05-21 på lördagar, och 05-20 på röda dagar. Arean för IKEA Malmö uppgår till cirka 44 000 m<sup>2</sup>, årsbesöken för 2016 var 2 625 365 personer med cirka 112 000 m<sup>3</sup> gods sålt för det året, och en ungefärlig energianvändning på 89,3 kWh/m<sup>2</sup>. Byggnadens värmesystem utgörs av en bergvärmepump till akviferlager på 11 brunnar. Varmvattnets temperatur är + 60°C medan kallvattentemperaturen inte redovisas, men förutsätts i de tekniska beskrivningarna på grund av dimensionering att vara + 10°C. Saluhall, Möbler, och Tag-självlager värms via luftbehandlingsaggregaten, resterande mindre ytor via radiatorer/konvektorer. Driftpersonal och fastighetsansvariga på plats är internt anställda av IKEA. Klimatet för år 2016 har varierat, med månadsmedelvärde enligt tabell nedan. Dessa är hämtade ur SMHIs databas. I samma tabell hittas korresponderade månaders normalvärde, för perioden 1961-1990.

Tabell 5.3 Temperaturvariationer i grader Celsius för orten Malmö (SMHI, 2017).

| MALMÖ     |          |              |
|-----------|----------|--------------|
| Månad     | 2016(°C) | Normalår(°C) |
| Januari   | -0,4     | -0,2         |
| Februari  | 2,4      | -0,2         |
| Mars      | 4,0      | 2,1          |
| April     | 7,2      | 6,1          |
| Maj       | 14,4     | 11,5         |
| Juni      | 17,2     | 15,4         |
| Juli      | 18,0     | 16,9         |
| Augusti   | 17,2     | 16,7         |
| September | 16,3     | 13,5         |
| Oktober   | 8,7      | 9,6          |
| November  | 4,2      | 5,2          |
| December  | 4,3      | 1,7          |

### 5.2.2 Uddevalla

Varuhuset i Uddevalla är beläget cirka 300 km norr om Malmö. Verksamheten bedrivs mellan 05-22 på vardagar och på helger samt lördagar mellan 05-20. Det konstruerades 2013 i två plan, likt Malmö, men har inget parkeringsdäck under första planet och har alltså en platta på mark. Arean uppgår till cirka 37 500 m<sup>2</sup>. För 2016 var årsbesöken 1 360 562 personer med cirka 51 100 m<sup>3</sup> gods sålt och en ungefärlig energianvändning på 80,5 kWh/m<sup>2</sup>. Värmesystemet utgörs av ett borrhålslager med 50 borrhål. Varmvattnets temperatur är + 60°C medan kallvatten inte redovisas men förutsätts i de tekniska beskrivningarna på grund av dimensionering att vara + 10°C. Lokalen värms i huvudsak av tilluften, godsmottagning, entré, och utgång har fläktluftvärmare. Restande mindre ytor värms med radiatorer och strålvärmepaneler. Driftpersonal är inhyrd från ett externt företag och tillhör således inte varuhusets ordinarie verksamhet.

Klimatet för år 2016 har varierat uttryckt i medelvärde per månad enligt tabell 5.5 där även ortens normalmånadsvärden är redovisade.

*Tabell 5.4 Temperaturvariationer i grader Celsius för orten Uddevalla (SMHI, 2017).*

| UDDEVALLA |      |          |
|-----------|------|----------|
| Månad     | 2016 | Normalår |
| Januari   | -3,5 | -2,6     |
| Februari  | 0,3  | -2,7     |
| Mars      | 2,9  | 0,3      |
| April     | 6,1  | 4,8      |
| Maj       | 11,9 | 10,6     |
| Juni      | 15,6 | 15,0     |
| Juli      | 16,6 | 16,3     |
| Augusti   | 15,0 | 15,3     |
| September | 15,0 | 11,4     |
| Oktober   | 7,3  | 7,5      |
| November  | 2,0  | 2,6      |
| December  | 2,7  | -0,9     |

### 5.2.3 Zwolle

Zwolle varuhuset är beläget i Nederländerna, i mellersta Europa, och uppfördes 2015. Verksamhet bedrivs mellan 05-22 måndag till lördag och 05-20 på röda dagar. Byggnaden består av två plan uppförd som en platta på mark. Grundens area uppgick till cirka 29 700 m<sup>2</sup>. För år 2016 var den ungefärliga energianvändningen 70,8 kWh/m<sup>2</sup>, cirka 1 368 806 besökare och 46 608 m<sup>3</sup> gods sålt. Byggnaden värms av en värmepump och har solceller installerade på taket med en produktion på ungefär 850 MWh/år. Information om varmvattensystem saknas, men antas vara identiskt med Malmö och Uddevalla med varmvatten- respektive kallvattentemperatur på + 60° respektive + 10°C. Eftersom det inte finns någon mätstation på orten, så är exakt klimatdata för Zwolle inte möjlig att erhålla. Data som visas är mätdata från närmsta mätstation, Tönsberg, 51 kilometer därifrån. Även detta skiljer sig åt på olika organisationers hemsidor då det inte alltid står vilken mätstation som det refereras till. Därför har ett medelvärde för två olika källor gjorts för att erhålla mätdata för månadens temperaturmedelvärde för året 2016 samt under en period på åtta år för ett normalår. Beräkningarna redogörs i tabell 5.5, 5.6 och 5.7.



Tabell 5.5 Temperaturmedelvärde från mätstationer i närheten av Zwolle, grader Celsius (Worldweatheronline, 2017) (Timeanddate, 2017)

| ZWOLLE 2016 |             |             |                |
|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Månad       | Källa 1(°C) | Källa 2(°C) | Medelvärde(°C) |
| Januari     | 5           | 4           | 4,5            |
| Februari    | 5           | 5           | 5              |
| Mars        | 6           | 6           | 6              |
| April       | 9           | 11          | 10             |
| Maj         | 15          | 17          | 16             |
| Juni        | 17          | 19          | 18             |
| Juli        | 18          | 20          | 19             |
| Augusti     | 18          | 19          | 18,5           |
| September   | 18          | 19          | 18,5           |
| Oktober     | 10          | 10          | 10             |
| November    | 6           | 6           | 6              |
| December    | 5           | 6           | 5,5            |

Tabell 5.6 Temperaturmedelvärde över 8 år från mätstationer i närheten av Zwolle, grader Celsius (Timeanddate, 2017) (Weatherbase, 2017)

| ZWOLLE NORMALÅR |             |             |                |
|-----------------|-------------|-------------|----------------|
| Månad           | Källa 1(°C) | Källa 2(°C) | Medelvärde(°C) |
| Januari         | 1           | 4           | 2,5            |
| Februari        | 1           | 4           | 2,5            |
| Mars            | 4           | 6           | 5              |
| April           | 7           | 9           | 8              |
| Maj             | 12          | 13          | 12,5           |
| Juni            | 14          | 15          | 14,5           |
| Juli            | 16          | 18          | 17             |
| Augusti         | 16          | 18          | 17             |
| September       | 14          | 15          | 14,5           |
| Oktober         | 10          | 11          | 10,5           |
| November        | 5           | 7           | 6              |
| December        | 3           | 4           | 3,5            |

Tabell 5.7 Temperaturvariationer i närheten av Zwolle, för 2016 och normalår, grader Celsius (Weatherbase, 2017) (Timeanddate, 2017) (Worldweatheronline, 2017)

| ZWOLLE    |           |              |
|-----------|-----------|--------------|
| Månad     | 2016 (°C) | Normalår(°C) |
| Januari   | 4,5       | 2,5          |
| Februari  | 5         | 2,5          |
| Mars      | 6         | 5            |
| April     | 10        | 8            |
| Maj       | 16        | 12,5         |
| Juni      | 18        | 14,5         |
| Juli      | 19        | 17           |
| Augusti   | 18,5      | 17           |
| September | 18,5      | 14,5         |
| Oktober   | 10        | 10,5         |
| November  | 6         | 6            |
| December  | 5,5       | 3,5          |

## 6 Resultat

### 6.1 Separation av klimatberoende energianvändning

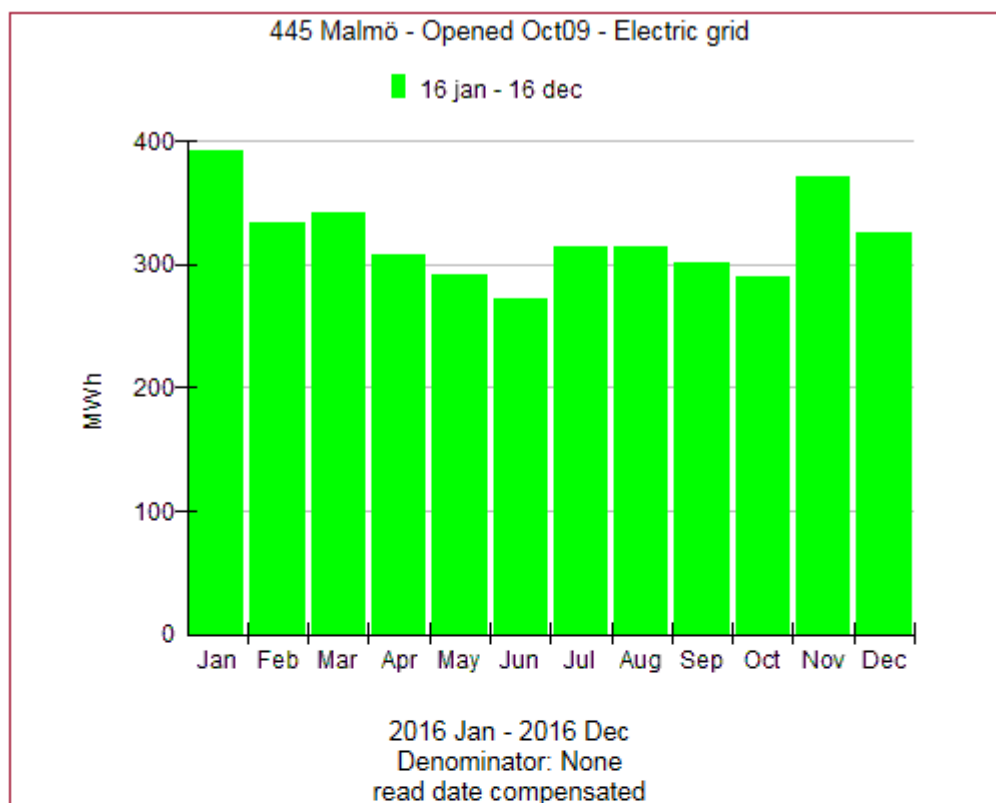
Energidata ur WebEss redovisar total energianvändning först och främst, som syns nedan för de tre varuhusen och används för att beräkna ett nyckeltal i energianvändning per kvadratmeter för angivet år. Energi som går till fastighet, verksamhet, kök, och varmvatten, är ej klimatberoende och i den mån det går ska dessa subtraheras bort från den totala energianvändningen. Då den energi som använts till olika ändamål inte är lika detaljerat för de olika varuhusen blir värdet för den klimatberoende energianvändningen inte lika noggrann för alla tre varuhus.

#### 6.1.1 Malmö

Malmövaruhusets WebEss server visade en total energianvändning på 3 885 MWh året 2016 som hämtats ur figur 6.1. Ur figuren nedan beräknas en total energianvändning för året 2016 på

$$\frac{3\,855\,000}{44\,000} = 87,6 \text{ kWh/m}^2$$

Vilket skiljer 2 kWh/m<sup>2</sup> jämfört mot den översiktliga listan i figur 5.1. Detta beror förmodligen på att exakt area i beräkningarna är olika och eventuell avrundning i siffrorna.



| Month           | Electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016              |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption       | --        |           | %         | %    |
| Jan             | 391,7             | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 333,8             | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 342,3             | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 308,5             | --        |           | ---       |      |
| May             | 291,0             | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 272,4             | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 313,4             | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 314,6             | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 300,9             | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 290,1             | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 371,6             | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 324,7             | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>3 855,0</b>    |           | ---       |           | ---  |
|                 | Consumption       | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 3 855,0           | ---       | ---       |           |      |

Figur 6.1 Total energianvändning för varuhus Malmö, 2016 (IKEA Fastigheter, 2016)

Specifikt för varuhuset i Malmö finns även kallvattenanvändning, mängd el till köket, uppvärmningsel och fastighetsel redovisat. Fastighetselen är uppdaterad i två tabeller som summerat ger total mängd fastighetsel på grund av att

det finns två mätare. För de månader där uppvärmning inte sker måste klimatberoende energianvändning (för kyla) beräknas genom att ta bort den mängd icke-klimatberoende energi från den totala användningen, för kylperiodens månader. Eftersom varmvattenförbrukningen inte redovisas utan endast kallvatten estimeras att en tredjedel av kallvattenförbrukningen blir varmvatten enligt litteraturstudien. När vattenförbrukningen omvandlats till energi och summeras med övriga värden och subtraheras från den totala mängden i figur 6.1, erhålls den klimatberoende delen av energin. Energiberäkningen för varmvattnet erhålls ur ekvation (3.2) och redovisas i tabell 6.2 för varje månad. Med total varmvattenförbrukning känd i tabell 6.1 och temperaturer på kallvatten respektive varmvatten känt från tekniska beskrivningar så beräknas

$$E_{vv} = q \cdot 1,16 \cdot (T_{vv} - T_{kv})$$

*Tabell 6.1 Energiberäkning för varmvattenförbrukning, IKEA Malmö, 2016. Vattenförbrukning i m<sup>3</sup>, kallvatten och varmvatten temperaturer i grader Celsius.*

|           | Vattenförbrukning<br>m <sup>3</sup> | Kallvatten<br>(°C) | Varmvatten<br>(°C) | Ev<br>(MWh) |
|-----------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| januari   | 337.6                               | 10                 | 60                 | 19.581      |
| februari  | 300.0                               | 10                 | 60                 | 17.400      |
| mars      | 317.6                               | 10                 | 60                 | 18.421      |
| april     | 310.0                               | 10                 | 60                 | 17.980      |
| maj       | 311.0                               | 10                 | 60                 | 18.038      |
| juni      | 289.4                               | 10                 | 60                 | 16.785      |
| juli      | 376.0                               | 10                 | 60                 | 21.808      |
| augusti   | 387.0                               | 10                 | 60                 | 22.446      |
| september | 341.0                               | 10                 | 60                 | 19.778      |
| oktober   | 354.0                               | 10                 | 60                 | 20.532      |
| november  | 349.3                               | 10                 | 60                 | 20.259      |
| december  | 312.6                               | 10                 | 60                 | 18.131      |

I Appendix redovisas värden för användning av varmvattenförbrukningen, fastighetselen och el till köksverksamheten. I tabell 6.2 visas beräkningen av den totala mängden icke-klimatberoende energianvändning för 2016 med dessa värden.

Tabell 6.2 Total icke-klimatberoende energianvändning, IKEA Malmö, 2016. Mätare 1 och 2 är de två mätarna för fastighetselen. [MWh]

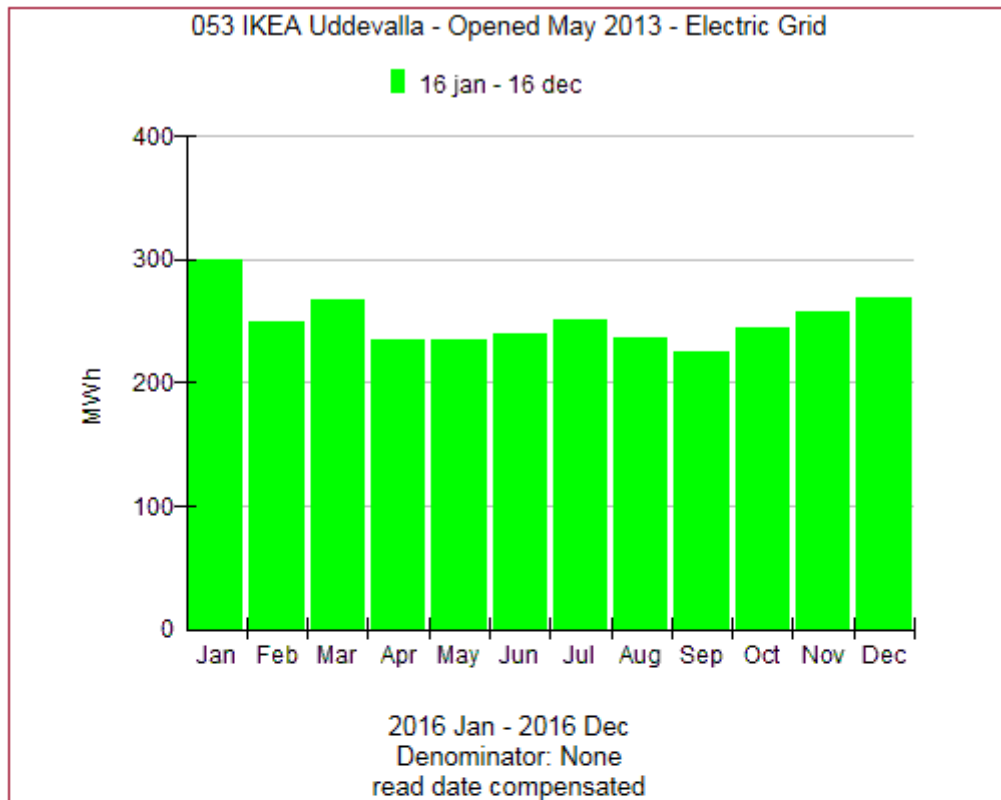
| (MWh)     | Köket  | Mätare 1 | Mätare 2 | Varmvatten El | Icke-klimat |
|-----------|--------|----------|----------|---------------|-------------|
| januari   | 73.800 | 56.800   | 17.000   | 19.581        | 167.181     |
| februari  | 50.300 | 38.400   | 11.900   | 17.400        | 118.000     |
| mars      | 50.300 | 38.600   | 11.700   | 18.421        | 119.021     |
| april     | 57.800 | 44.500   | 13.300   | 17.980        | 133.580     |
| maj       | 46.900 | 35.700   | 11.300   | 18.038        | 111.938     |
| juni      | 46.100 | 34.900   | 11.300   | 16.785        | 109.085     |
| juli      | 57.900 | 44.400   | 13.500   | 21.808        | 137.608     |
| augusti   | 59.800 | 45.700   | 14.100   | 22.446        | 142.046     |
| september | 54.100 | 41.400   | 12.700   | 19.778        | 127.978     |
| oktober   | 51.200 | 37.000   | 14.300   | 20.532        | 123.032     |
| november  | 65.700 | 52.100   | 13.600   | 20.259        | 151.659     |
| december  | 53.500 | 41.100   | 12.500   | 18.131        | 125.231     |

### 6.1.2 Uddevalla

I Uddevallas WebEss server redovisas en total energianvändning på 3 006,8 MWh år 2016. I figur 6.2 framgår månadsvärden och nedan beräknas en total energianvändning för året 2016

$$\frac{3\,006\,800}{37\,500} = 80,2 \text{ kWh/m}^2$$

Vilket skiljer sig åt på 0,3 kWh/m<sup>2</sup> jämfört med den översiktliga listan i figur 6.2. Likt variationen funnen i beräkning för malmövaruhuset beror en sådan minimal skillnad förmodligen på att det är ej känt hur noggrant de ursprungliga beräkningarna för energianvändning är utförda.



| Month           | Electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016              |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption       | --        |           | %         | %    |
| Jan             | 300,0             | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 249,0             | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 266,5             | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 234,2             | --        |           | ---       |      |
| May             | 234,2             | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 239,4             | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 250,8             | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 236,3             | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 225,2             | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 244,9             | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 258,2             | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 268,2             | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>3 006,8</b>    |           | ---       |           | ---  |
|                 | Consumption       | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 3 006,8           | ---       | ---       |           |      |

Figur 6.2 Total energianvändning IKEA Uddevalla 2016, (IKEA Fastigheter, 2016)

I Uddevallas WebEss statistik redovisas varmvatten i sin helhet. Fastighetse-  
len är uppdelad i många olika tabeller och det framgår inte exakt vad som  
mäts och det föreligger en risk att viss statistik överlappar, vilket kan leda till  
en grov överslagsberäkning. El som går till köksverksamhet är inte redovisad  
alls. Dock är denna sorts verksamhet väldigt lik överlag för ett IKEA varuhus  
och därmed estimeras att liknande energimängder går åt till köksverksamheten  
överlag i ett varuhus. Detta medför att statistik där el till köksverksamhet är  
redovisat, som för malmövaruhuset, används i beräkningarna för ett varuhus  
där köksverksamheten inte är redovisad, som för Uddevalla. Energi för varm-  
vattnet beräknas i tabell 6.3

$$E_{vv} = q \cdot 1,16 \cdot (T_{vv} - T_{kv})$$

Tabell 6.3 Energiberäkning för varmvattenförbrukning, IKEA Uddevalla,  
2016. Vattenförbrukning i m<sup>3</sup>, vattentemperaturer i grader Celsius.

|           | Vattenförbrukning<br>m <sup>3</sup> | Kallvatten<br>(°C) | Varmvatten<br>(°C) | Evv<br>(MWh) |
|-----------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| januari   | 448.400                             | 10                 | 60                 | 26.007       |
| februari  | 381.000                             | 10                 | 60                 | 22.098       |
| mars      | 454.000                             | 10                 | 60                 | 26.332       |
| april     | 430.600                             | 10                 | 60                 | 24.975       |
| may       | 436.000                             | 10                 | 60                 | 25.288       |
| june      | 573.000                             | 10                 | 60                 | 33.234       |
| july      | 608.000                             | 10                 | 60                 | 35.264       |
| august    | 611.300                             | 10                 | 60                 | 35.455       |
| september | 589.400                             | 10                 | 60                 | 34.185       |
| october   | 628.600                             | 10                 | 60                 | 36.459       |
| november  | 616.000                             | 10                 | 60                 | 35.728       |
| december  | 628.800                             | 10                 | 60                 | 36.470       |

I Appendix redovisas värden för varmvattenförbrukningen som används. Ne-  
dan visas beräkningen av den totala mängden icke-klimatberoende energian-  
vändning för 2016 med beräknad energi för varmvatten samt el för köksverk-  
samhet från malmövaruhuset.

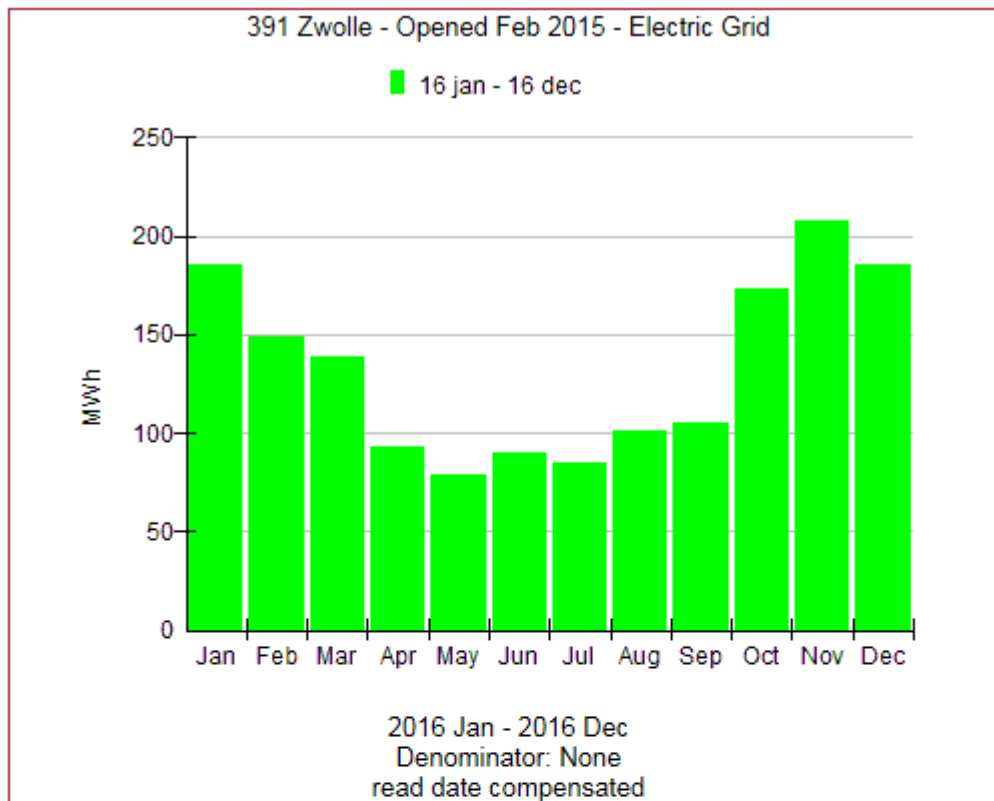


Tabell 6.4 Total icke-klimatberoende energianvändning, IKEA Uddevalla, 2016. [MWh]

| (MWh)     | Fastighetsel | Varmvatten El | Icke-klimat |
|-----------|--------------|---------------|-------------|
| januari   | 73.800       | 26.007        | 99.807      |
| februari  | 50.300       | 22.098        | 72.398      |
| mars      | 50.300       | 26.332        | 76.632      |
| april     | 57.800       | 24.975        | 82.775      |
| maj       | 46.900       | 25.288        | 72.188      |
| juni      | 46.100       | 33.234        | 79.334      |
| juli      | 57.900       | 35.264        | 93.164      |
| augusti   | 59.800       | 35.455        | 95.255      |
| september | 54.100       | 34.185        | 88.285      |
| oktober   | 51.200       | 36.459        | 87.659      |
| november  | 65.700       | 35.728        | 101.428     |
| december  | 53.500       | 36.470        | 89.970      |

### 6.2.3 Zwolle

I WebEss redovisas köpt energin och energi producerad från solceller. Här måste hänsyn tas till detta då "Electric Grid" endast visar köpt energi, och därmed måste den mängden som använts av den producerade energin också tas med i beräkningarna för att erhålla den totala energianvändningen.



| Month           | Electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016              |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption       | --        |           | %         | %    |
| Jan             | 185,0             | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 149,0             | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 139,0             | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 92,8              | --        |           | ---       |      |
| May             | 78,5              | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 90,0              | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 85,0              | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 101,0             | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 105,5             | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 173,2             | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 207,5             | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 185,0             | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>1 591,5</b>    |           |           | ---       | ---  |
|                 | Consumption       | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 1 591,5           | ---       | ---       |           |      |

Figur 6.3 Total energianvändning IKEA Zwolle 2016 (IKEA Property, 2016)

För att beräkna en jämförbar energianvändning så adderas den använda solenergin som producerats. Den totala produktionen av solenergi året 2016 var 894,6 MWh. För att erhålla den totala använda solenergin reduceras det antalet som sålts tillbaka till elnätet samma år vilket var 394,3 MWh.

$$1591,5 + (894,6 - 394,3) = 1991,3 \text{ MWh}$$

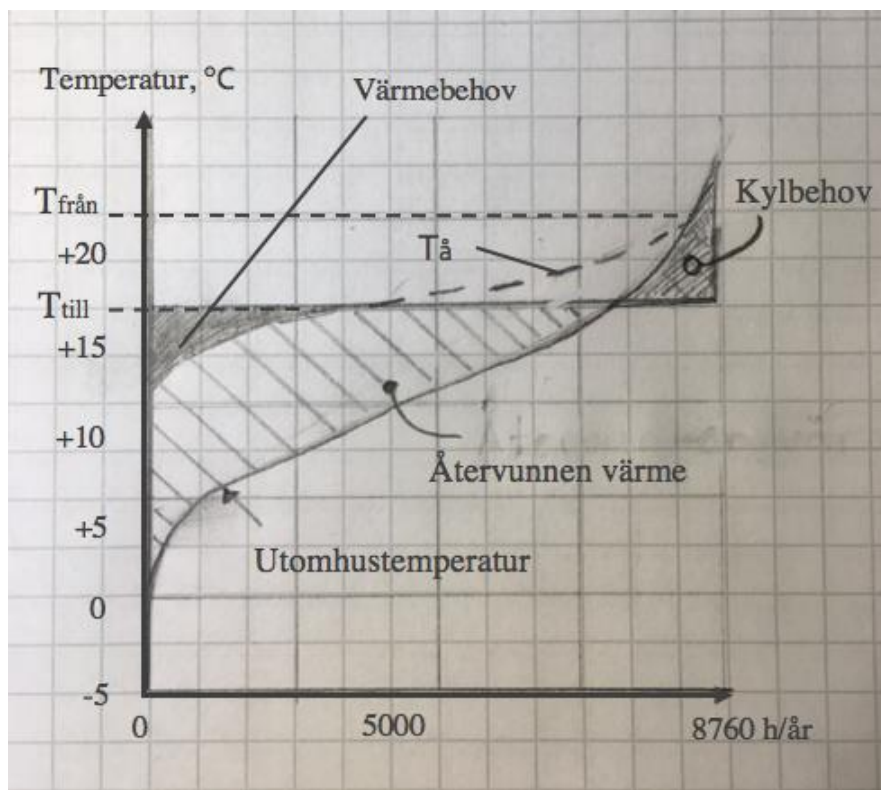
Detta värde är den totala använda energin för Zwolle 2016 och räknas om till nyckeltalet

$$\frac{1\,991\,300}{29\,700} = 67,0 \text{ kWh/m}^2$$

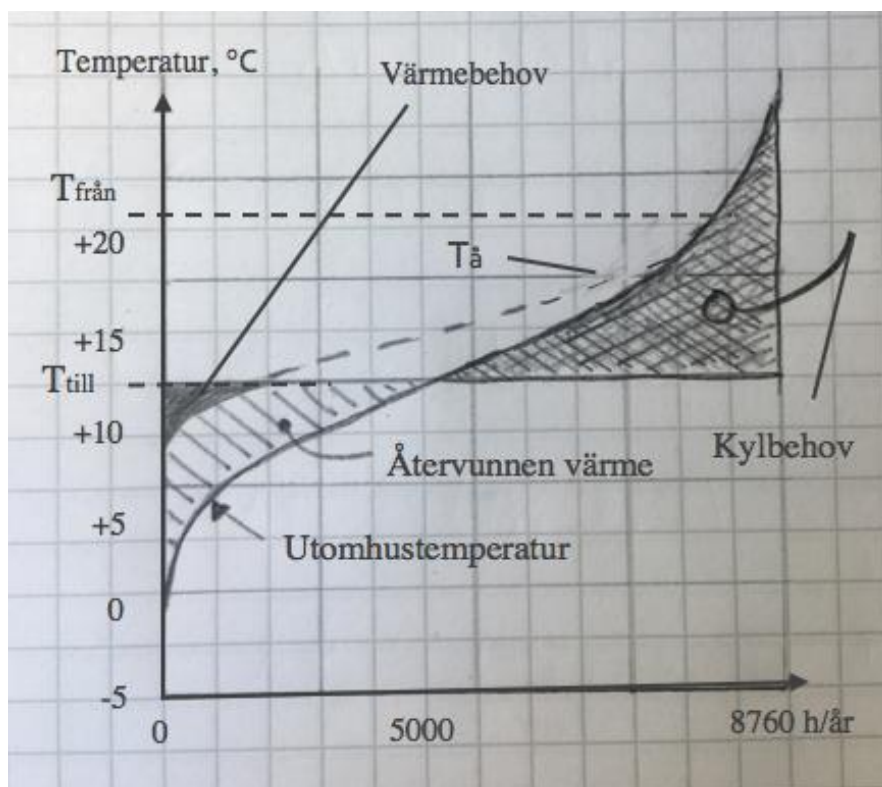
Detta skiljer sig åt på 13,2 kWh/m<sup>2</sup> mot tabell 5.1 och beror förmodligen på att olika statistik på antingen energianvändningen eller arean använts i beräkningarna.

## 6.2 Känslighetsanalys

Två varaktighetsdiagram med olika  $T_{\text{till}}$  och  $T_{\text{från}}$  visas i figur 6.4 och 6.5 för att illustrera hur känsligt kyl- och värmebehovet är beroende på dessa faktorer.



Figur 6.4 Återvinning av värme i ett varaktighetsdiagram för en typisk bostad. Illustration av Haris Sofic



Figur 6.5 Varaktighetsdiagram för en kommersiell byggnad. Illustration av Haris Sofic

En typisk bostad med  $T_{\text{till}}$  satt till cirka  $+20$  °C visas i figur 6.4. Här framgår det att kylbehovet är mer eller mindre lika stort som värmebehovet efter återvinning. Den större byggnaden, i figur 6.5, bedriver större verksamhet och har därmed lägre  $T_{\text{till}}$  vilket i figuren visar ett större kylbehov än värmebehov efter återvinning. I båda figurerna framgår det även att utomhustemperaturen samt  $T_{\text{å}}$  också varierar. Detta innebär att vid vilken temperatur det skall värmas respektive kylas inte är ett konstant värde för hela året samt att verkningsgraden antas kunna justeras beroende på hur mycket värme som är i behov att återvinnas. Under exempelvis kylperioden förutsätts värmeväxlaren kunna stängas av helt då inget behov av värmeåtervinning finns.

Balanstemperaturen för värme respektive kyla beräknas via ekvation (3.2). Där  $T_{\text{å}}$  och  $\eta$  erhålls från projektbeskrivningar i iBinder. Inomhustemperaturen,  $T_{\text{inne}}$ , homogeniserades eftersom alla avdelningar inte har samma temperaturer. Genom att ansätta det riktvärde som bör följas utifrån projektbeskrivningar och/eller driftpersonalens intervjuer på studiebesök kunde en bra representativ inomhustemperatur användas i beräkningarna.

Vidare gjordes en medianvärdesberäkningar för de tre varuhusen vilket stämmer överens med projektbeskrivningar. Medianvärde används istället för medelvärde eftersom variationerna i temperaturer är relativt extrema där mindre

ytor, som exempelvis teknikrum har ett riktvärde på +12 °C. I en medelvärdesberäkning kan sådana låga värden ge en orealistisk representation av lokaler-  
nas egentliga medelvärde då hänsyn till storlek/volym av rummen inte tas i en  
vanlig medelvärdesberäkning.

En känslighetsanalys gjordes på verkningsgraden för värmeväxlare,  $\eta$ . Det an-  
givna värdet på verkningsgraden utifrån tekniska beskrivningar varierar i prak-  
tiken beroende på behov och kan ha ett värde som ligger under det angivna.  
Känslighetsanalysernas beräkningsgång visas nedan, med malmövaruhuset  
som exempel.

### 6.2.1 IKEA Malmö

#### **Avdelningar: (Minimum/maximum)**

|                       |                    |      |
|-----------------------|--------------------|------|
| Publika lokaler:      | + 20/+ 26          | (°C) |
| Tag-själv-lager (TS): | + 20/ ej begränsat | (°C) |
| Godsmottagning:       | + 18/ ej begränsat | (°C) |
| Kontor:               | + 21 / + 26        | (°C) |
| Tekniska utrymmen     | + 12 / + 26        | (°C) |

*Riktvärden för temperaturer (Malmö) (IKEA Fastigheter, 2016)*

12 18 **20** 20 21 (°C)

$M = 20 \text{ °C}$

$T_{B-V}$  = Balanstemperatur för uppvärmning

$T_{B-K}$  = Balanstemperatur för kylning

$T_{från} = + 18,2 \text{ °C}$

$T_{å} = + 15 \text{ °C}$

$T_{ute} = T_{B-V}$

$\eta = 80 \%$

$T_{B-V}$  (Median):

$$0,8 = \frac{15 - T_{ute}}{20 - T_{ute}}$$

⇔

$$T_{ute} = \frac{(15 - 20 \cdot 0,8)}{1 - 0,8} = -5 \text{ °C}$$

För att beräkna  $T_{B-K}$  förutsätts värmeväxlarna kunna stängas av när kylbehov  
inträffar. Därmed kommer verkningsgraden att vara 0 %.

$$0 = \frac{15 - T_{ute}}{18,2 - T_{ute}}$$

↔

$$T_{ute} = \frac{(15 - 18,2 \cdot 0)}{1 - 0} = +15^{\circ}\text{C}$$

I sambandet då verkningsgraden är 0 %, alltså avstängd värmeväxlare, påverkar inte inomhustemperaturen värdet. Därmed kommer balanstemperaturen för kyla att vara  $T_{\dot{a}}$  när värmeväxlare stängs av, under varma perioder. Nedan utförs samma beräkningar för balanstemperaturen för värme fast med annorlunda verkningsgrad, satt till 70 %.

$$T_{från} = + 18,2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\dot{a}} = + 16^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ute} = T_B$$

$$\eta = 70 \%$$

$T_{B-V}$  :

$$T_{ute} = \frac{(16 - 20 \cdot 0,7)}{1 - 0,7} = +3,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B-V} \text{ (Malmö)} = +3,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B-K} \text{ (Malmö)} = +15^{\circ}\text{C}$$

Känslighetsanalysen visar att rimligheten för värdet i balanstemperaturerna ökar då verkningsgraden för värmeväxlaren förutsätts att vara lägre än sin högsta potential. Då balanstemperaturer beräknade från 70 % verkningsgrad hamnar närmare befintliga värden för byggnader (Schulz, 2017). Utifrån detta beräknas Uddevallas och Zwolles balanstemperaturer.

## 6.2.2 IKEA Uddevalla

### **Avdelningar: (Minimum/maximum)**

|                      |                    |      |
|----------------------|--------------------|------|
| Publika lokaler:     | + 19/+ 26          | (°C) |
| Tag-självlager (TS): | + 18/ ej begränsat | (°C) |
| Godsmottagning:      | + 15/ ej begränsat | (°C) |
| Kontor:              | + 20 / + 26        | (°C) |
| Tekniska utrymmen    | + 12 / + 26        | (°C) |

*Riktvärden för temperaturer (Uddevalla) (IKEA Fastigheter, 2016)*

Median:  $M = 18 \text{ °C}$

$T_{B-V}$  = Balanstemperatur för uppvärmning

$T_{B-K}$  = Balanstemperatur för kylning

$T_{från} = + 16,8\text{°C} / +18\text{°C}$

$T_{å} = + 15 \text{ °C}$

$T_{ute} = T_{B-V}$

$\eta = 70 \%$

$T_{B-V}$  :

$$T_{ute} = \frac{(15 - 18 \cdot 0,7)}{1 - 0,3} = +8 \text{ °C}$$

$T_{B-K}$

$$T_{ute} = \frac{(15 - 18,2 \cdot 0)}{1 - 0} = +15\text{°C}$$

$T_{B-V}$  (Uddevalla) = +8°C

$T_{B-K}$  (Uddevalla) = +15°C

### 6.2.3 IKEA Zwolle

**Avdelningar: (Minimum/maximum)**

|                      |                    |      |
|----------------------|--------------------|------|
| Publika lokaler:     | + 20/+ 26          | (°C) |
| Tag-självlager (TS): | + 18/ ej begränsat | (°C) |
| Godsmottagning:      | + 15/ ej begränsat | (°C) |
| Kontor:              | + 20 / + 26        | (°C) |
| Tekniska utrymmen    | + 12 / + 26        | (°C) |

*Riktvärden för temperaturer (Zwolle) (IKEA Property, 2016)*

Median:  $M = 18 \text{ °C}$

$T_{B-V}$  = Balanstemperatur för uppvärmning

$T_{B-K}$  = Balanstemperatur för kylning

$T_{från} = + 17 \text{ °C}$

$T_{å} = + 15 \text{ °C}$

$T_{ute} = T_{B-V}$

$\eta = 70 \%$

$T_{B-V}$ :

$$T_{ute} = \frac{(15 - 18 \cdot 0,7)}{1 - 0,3} = +8 \text{ °C}$$

$T_{B-K}$

$$T_{ute} = \frac{(15 - 18,2 \cdot 0)}{1 - 0} = +15 \text{ °C}$$

$T_{B-V}$  (Zwolle) = +8°C

$T_{B-K}$  (Zwolle) = +15°C



### 6.3 Graddagskorrigerering

Resultat av graddagskorrigerad energianvändning redovisas i tabellform nedan. Tabellerna är utdrag från Microsoft Excel där förbestämd algoritmer programmerats för graddagsberäkningarna. Referensvärden och beräknade graddagar redovisas i Appendix. Utifrån tabellerna kan nya, graddagskorrigerade, nyckeltal för energianvändning beräknas för varuhusen.

Tabellerna kommer att visas i ordning, Malmö, Uddevalla, och Zwolle. Sedan kommer de nya beräknade nyckeltalen utifrån tabellerna redovisas undertill i samma avsnitt.

Kylperiod förutsätts i beräkningarna vara likadan för alla varuhus, maj – juni, och kännetecknas av grått markerade rader där kylgraddagsmetoden programmerats i algoritmen. Ofärgade (vita) rader kännetecknar vanlig graddagsmetod för uppvärmning.

### 6.3.1 Tabeller

Tabell 6.5 Graddagskorrigerad energiförbrukning för IKEA Malmö 2016 med inomhustemperatur som median.

| GRADDAGSKORRIGERAD ENERGIFÖRBRUKNING FÖR: |                              |   |  |                          |                       |                        |   |   |  |
|---|------------------------------|---|--|--------------------------|-----------------------|------------------------|---|---|--|
| Varuhus:                                  | Malmö                        | Enhet:                                  |  | MWh                      | År: 2016              |                        |   |   |  |
|   | Total energi-<br>förbrukning | Icke klimat-<br>beroende<br>förbrukning | Klimatberoende<br>energi-<br>förbrukning | Korrigeringsfaktor       |                       |                        | Graddagskorrigerad<br>klimatberoende<br>energiförbrukning | Total graddagskorrigerad<br>energiförbrukning |  |
|   |                              |   |  | Graddagar<br>Normalmånad | Verkliga<br>graddagar | Korrigerings<br>faktor |   |   |  |
|   | A                            | B                                       | C = A - B                                | D                        | E                     | F = E/D                | G = C/F   | H = B + G                                     |  |
| januari                                   | 391.700                      | 128.200                                 | 263.500                                  | 108.500                  | 114.700               | 1.057                  | 249.257   | 377.457                                       |  |
| februari                                  | 333.800                      | 148.800                                 | 185.000                                  | 98.000                   | 25.200                | 0.257                  | 719.444   | 868.244                                       |  |
| mars                                      | 342.300                      | 183.100                                 | 159.200                                  |                          |                       |                        | Över eldningsgräns  | 183.100                                       |  |
| april                                     | 308.500                      | 219.300                                 | 89.200                                   |                          |                       |                        | Över eldningsgräns  | 219.300                                       |  |
| maj                                       | 291.000                      | 64.938                                  | 226.062                                  |                          |                       |                        | Under kylgräns  | 64.938  |  |
| juni                                      | 272.400                      | 62.885                                  | 209.515                                  | 12.000                   | 66.000                | 5.500                  | 38.094  | 100.979                                       |  |
| juli                                      | 313.400                      | 79.708                                  | 233.692                                  | 58.900                   | 93.000                | 1.579                  | 148.005   | 227.713                                       |  |
| augusti                                   | 314.400                      | 82.246                                  | 232.154                                  | 52.700                   | 68.200                | 1.294                  | 179.392   | 261.638                                       |  |
| september                                 | 300.900                      | 73.878                                  | 227.022                                  |                          |                       |                        | Under kylgräns  | 227.022                                       |  |
| oktober                                   | 290.100                      | 236.600                                 | 53.400                                   |                          |                       |                        | Över eldningsgräns  | 236.600                                       |  |
| november                                  | 371.600                      | 236.700                                 | 134.900                                  |                          |                       |                        | Över eldningsgräns  | 236.700                                       |  |
| december                                  | 324.900                      | 171.200                                 | 153.500                                  |                          |                       |                        | Över eldningsgräns  | 171.200                                       |  |
|   | 3855.000                     |   |  |                          |                       |                        | Årets graddagskorrigerade förbrukning                     | 3174.891                                      |  |

Tabell 6.6 Graddagskorrigerad energiförbrukning för IKEA Malmö med högre balanstemperatur, ansatt till +7,5 °C.

| GRADDAGSKORRIGERAD ENERGIFÖRBRUKNING FÖR: |                                   |  |   |                               |          |  |                                       |                                   |  |  |
|---|-----------------------------------|--|---|-------------------------------|----------|--|---------------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Varuhus:                                  | Malmö                             | Enhet:                                       |   | MWh                           | År: 2016 |  |                                       |                                   |  |  |
|   | Total energi-<br>förbrukning<br>A | Icke klimat-<br>beroende<br>förbrukning<br>B | Klimatberoende<br>energi-<br>förbrukning<br>C = A - B | Graddagar<br>Normalmånad<br>D |          | Korrigeringsfaktor<br>Verkliga<br>graddagar<br>E |                                       | Korrigerings<br>faktor<br>F = E/D | Graddagskorrigerad<br>klimatberoende<br>energiförbrukning<br>G = C/F | Total graddagskorrigerad<br>energiförbrukning<br>H = B + G |
|   |                                   |  |   | januari                       | 391.700  | 128.200  | 263.500                               |                                   |  |  |
| februari                                  | 333.800                           | 148.800                                      | 185.000   | 215.600                       | 142.800  | 0.662  | 279.314                               | 428.114                           |  |  |
| mars                                      | 342.300                           | 183.100                                      | 159.200   | 167.400                       | 114.700  | 0.685  | 232.346                               | 415.446                           |  |  |
| april                                     | 308.500                           | 219.300                                      | 89.200  | 42.000                        | 30.000   | 0.714  | 124.880                               | 344.180                           |  |  |
| maj                                       | 291.000                           | 64.938                                       | 226.062   |                               |          |  | Under kylgräns                        | 64.938                            |  |  |
| juni                                      | 272.400                           | 62.885                                       | 209.515   | 12.000                        | 66.000   | 5.500  | 38.094                                | 100.979                           |  |  |
| juli                                      | 313.400                           | 79.708                                       | 233.692   | 58.900                        | 93.000   | 1.579  | 148.005                               | 227.713                           |  |  |
| augusti                                   | 314.400                           | 82.246                                       | 232.154   | 52.700                        | 68.200   | 1.294  | 179.392                               | 261.638                           |  |  |
| september                                 | 300.900                           | 73.878                                       | 227.022   |                               |          |  | Under Kylgräns                        | 227.022                           |  |  |
| oktober                                   | 290.100                           | 236.600                                      | 53.400  |                               |          |  |                                       | 236.600                           |  |  |
| november                                  | 371.600                           | 236.700                                      | 134.900   | 69.000                        | 99.000   | 1.435  | 94.021                                | 330.721                           |  |  |
| december                                  | 324.900                           | 171.200                                      | 153.500   | 179.800                       | 99.200   | 0.552  | 278.219                               | 449.419                           |  |  |
|   | 3855.000                          |  |   |                               |          |  | Årets graddagskorrigerade förbrukning | 3471.798                          |  |  |

Tabell 6.6 Graddagskorrigerad energiförbrukning för IKEA Uddevalla 2016 med inomhustemperatur som median.

| GRADDAGSKORRIGERAD ENERGIFÖRBRUKNING FÖR: |                          |                                  |                                   |             |                    |                    |          |   |  |
|---|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|----------|---|--|
| Varuhus:                                  | Uddevalla                |                                  | Enhet:                            |             | MWh                |                    | År: 2016 |   |  |
|   | Total energi-förbrukning | Icke klimat-beroende förbrukning | Klimatberoende energi-förbrukning | Graddagar   |                    | Korrigeringsfaktor |          | Graddagskorrigerad klimatberoende energiförbrukning | Total graddagskorrigerad energiförbrukning |
|   |                          |                                  |                                   | Normalmånad | Verkliga graddagar | Faktor             | F = E/D  |   |  |
| januari                                   | 300.000                  | 99.807                           | 200.193                           | 328.600     | 356.500            | 1.085              |          | 184.526   | 284.333                                    |
| februari                                  | 249.000                  | 72.398                           | 176.602                           | 299.600     | 215.600            | 0.720              |          | 245.408   | 317.806                                    |
| mars                                      | 266.500                  | 76.632                           | 189.868                           | 238.700     | 158.100            | 0.662              |          | 286.663   | 363.295                                    |
| april                                     | 234.200                  | 82.775                           | 151.425                           | 96.000      | 57.000             | 0.594              |          | 255.032   | 337.807                                    |
| maj                                       | 234.200                  | 72.188                           | 162.012                           |             |                    |                    |          | Under kylgräns                                      | 72.188                                     |
| juni                                      | 239.400                  | 79.334                           | 160.066                           |             |                    |                    |          | Under kylgräns                                      | 79.334                                     |
| juli                                      | 250.800                  | 93.164                           | 157.636                           | 40.300      | 49.600             | 1.231              |          | 128.079   | 221.243                                    |
| augusti                                   | 236.300                  | 95.255                           | 141.045                           |             |                    |                    |          | Under kylgräns                                      | 95.255                                     |
| september                                 | 225.200                  | 88.285                           | 136.915                           |             |                    |                    |          | Under kylgräns                                      | 88.285                                     |
| oktober                                   | 244.900                  | 87.659                           | 157.241                           | 15.500      | 21.700             | 1.400              |          | 112.315   | 87.659                                     |
| november                                  | 258.200                  | 101.428                          | 156.772                           | 162.000     | 180.000            | 1.111              |          | 141.095   | 242.523                                    |
| december                                  | 268.200                  | 89.970                           | 178.230                           | 275.900     | 164.300            | 0.596              |          | 299.291   | 389.262                                    |
|   | 3006.900                 |                                  |                                   |             |                    |                    |          | Årets graddagskorrigerade förbrukning               | 2578.990                                   |

Tabell 6.7 Graddagskorrigering för IKEA Zwolle 2016 med inomhustemperatur som median.

| GRADDAGSKORRIGERAD ENERGIFÖRBRUKNING FÖR: |                              |   |                               |   |                            |                                    |  |   |           |
|---|------------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|--|---|-----------|
| Varuhus:                                  | Zwolle                       | Enhet:                                  |                               | MWh   | År: 2016                   |                                    |  |   |           |
|   | Total energi-<br>förbrukning | Icke klimat-<br>beroende<br>förbrukning | Klimatberoende                |   | Korrigeringsfaktor         |                                    | Graddagskorrigerad<br>klimatberoende<br>energiförbrukning<br>G = C/F | Total graddagskorrigerad<br>energiförbrukning | H = B + G |
|   |                              |   | Graddagar<br>Normalmånad<br>D | Klimatberoende<br>energi-<br>förbrukning<br>C = A - B | Verkliga<br>graddagar<br>E | Korrigerings-<br>faktor<br>F = E/D |  |   |           |
| januari                                   | 187.100                      | 87.026                                  | 100.074                       | 170.500   | 108.500                    | 0.636                              | 157.259  | 244.285                                       |           |
| februari                                  | 157.000                      | 63.389                                  | 93.611                        | 154.000   | 84.000                     | 0.545                              | 171.621  | 235.009                                       |           |
| mars                                      | 171.000                      | 65.051                                  | 105.949                       | 93.000  | 62.000                     | 0.667                              | 158.923  | 223.974                                       |           |
| april                                     | 152.800                      | 71.086                                  | 81.714                        |   |                            |                                    | Över eldningsgräns   | 71.086  |           |
| maj                                       | 152.900                      | 60.025                                  | 92.875                        |   |                            |                                    | Under kylgräns   | 60.025  |           |
| juni                                      | 147.900                      | 60.001                                  | 87.899                        |   |                            |                                    | Under kylgräns   | 60.001  |           |
| juli                                      | 153.000                      | 72.574                                  | 80.426                        | 62.000  | 124.000                    | 2.000                              | 40.213   | 112.787                                       |           |
| augusti                                   | 143.000                      | 78.399                                  | 64.601                        | 62.000  | 108.500                    | 1.750                              | 36.915   | 115.314                                       |           |
| september                                 | 143.700                      | 67.827                                  | 75.873                        |   |                            |                                    | Under kylgräns   | 67.827  |           |
| oktober                                   | 180.500                      | 68.739                                  | 111.761                       |   |                            |                                    | Över eldningsgräns   | 68.739  |           |
| november                                  | 210.000                      | 79.765                                  | 130.235                       | 60.000  | 60.000                     | 1.000                              | 130.235  | 210.000                                       |           |
| december                                  | 186.900                      | 67.472                                  | 119.428                       | 139.500   | 77.500                     | 0.556                              | 214.970  | 282.442                                       |           |
|   | 1985.800                     |   |                               |   |                            |                                    | Årets graddagskorrigerade förbrukning                                | 1751.490                                      |           |

## **IKEA Malmö**

Graddagskorrigerad energianvändning för IKEA Malmö 2016

Normalår med  $T_{B-V} = +3,3$  °C

$$\frac{3\,174\,891}{44\,000} = 72,2 \text{ kWh/m}^2$$

Normalår med  $T_{B-V} = +7,5$  °C

$$\frac{3\,471\,798}{44\,000} = 78,9 \text{ kWh/m}^2$$

År 2016:

$$\frac{3\,855\,000}{44\,000} = 87,6 \text{ kWh/m}^2$$

Det graddagskorrigerade nyckeltalet med en balanstemperatur för uppvärmning ansatt till + 3,3 °C visar att för ett normalår hade energianvändningen varit lägre, ungefär 25 %, för IKEA Malmö gentemot året 2016. Med en balanstemperatur för uppvärmning ansatt till en högre temperatur, + 7,5 °C, är energianvändningen högre med exakt samma klimatförutsättningar.

## **IKEA Uddevalla**

Graddagskorrigerad energianvändning för IKEA Uddevalla 2016 med  $T_{B-V} = +8$ °C

Normalår:

$$\frac{2\,578\,990}{37\,500} = 68,8 \text{ kWh/m}^2$$

År 2016:

$$\frac{3\,006\,800}{37\,500} = 80,2 \text{ kWh/m}^2$$

Det graddagskorrigerade nyckeltalet visar att för ett normalår hade energianvändningen varit lägre, ungefär 20 %, för IKEA Uddevalla gentemot året 2016.

## IKEA Zwolle

Graddagskorrigerad energianvändning för IKEA Zwolle 2016 med  
 $T_{B-V} = +8^{\circ}\text{C}$

$$\frac{1\,751\,490}{29\,700} = 59,0 \text{ kWh/m}^2$$

År 2016:

$$\frac{1\,991\,300}{29\,700} = 67,0 \text{ kWh/m}^2$$

Det graddagskorrigerade nyckeltalet visar att för ett normalår hade energianvändningen varit lägre, ungefär 12 %, för IKEA Zwolle gentemot året 2016.

### 6.4 Svar från intervjustudier

För att kunna få svar på frågorna i formuläret från metoden så kontaktades fyra olika företag som driver liknande verksamhet som IKEA. Verksamheten är detaljhandel ur varuhusbyggnader och alla företag har minst 4 varuhus i olika klimat. Enligt önskan hålls företagen anonyma. För två utav de fyra företagen fördes en dialog med en kontaktperson via email medan för resterande två företag gjordes detta på telefon. Kontaktpersonerna hade varierade roller där tre stycken var FM, facility managers, medan den fjärde var hållbarhetsansvarig.

1. Tänker ert företag på hållbarhet ur en byggteknisk synpunkt?

Alla fyra företag tänker på hållbarhet generellt men specifikt ur en byggteknisk synpunkt där energieffektivisering är aktuellt kunde ingen av de ge ett bra svar då verksamheten i varuhusen skiljer sig från hyresvärdarna. I två av företagen så var det inte samma hyresvärd för alla varuhus utan skiljdes åt beroende på vilket land och vilken ort det handlade om.

2. Mäts energianvändning av era lokaler och hur noggrann är denna?

Energianvändningen mäts av hyresvärdarna enligt tre företag, ett av de kunde inte svara på vem som mäter förbrukningen.

3. Ifall det finns märkbara skillnader i energianvändning, undersöks faktorer som kan orsaka detta?

4. Följs i sådana fall undersökningarna upp, med strategier kring energieffektivisering?
5. Ifall detta görs, har det bidragit till en lägre energianvändning i era lokaler?

Resterande frågor, 3-5, kunde ingen av företagen svara på och de antog att hyresvärden för varuhuset i fråga hade mer information om detta.



## 7. Analys och diskussion

### 7.1 Graddagskorrigering

Med det graddagskorrigerade nyckeltalet framgår det tydligt att olika årstemperaturer ger olika energianvändning. Spridningen i energianvändningen för varuhusen minskar då hänsyn tas till aktuellt klimat för orten. Man kan tolka detta som att specifika år inte ger en rättvis representation av en byggnads energibehov på grund av temperaturvariationerna mellan enskilda år. När olika orter jämförs för ett specifikt år minskar noggrannheten eftersom deras klimat kan variera i olika grader jämfört mot ortens normalår. Exempelvis var året 2016 mycket varmare i Malmö än vanligt jämfört med året 2016 i Zwolle. Icke-korrigerat för detta kommer byggnader i Malmö ha ett större energibehov än exempelvis byggnader i Zwolle, för samma år.

Tabell 7.1 Spridning av nyckeltal, i energianvändning per kvadratmeter

|          | Malmö | Uddevalla | Zwolle |                       |
|----------|-------|-----------|--------|-----------------------|
| År 2016  | 87,6  | 80,2      | 67,0   | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| Normalår | 72,2  | 68,8      | 59,0   | [kWh/m <sup>2</sup> ] |

I alla tre klimatzoner har 2016 varit överlag ett varmare år jämfört med normalåret. De svenska orternas klimatzoner har visat störst ökning i temperatur jämfört med normalåret och därmed blivit påverkade av korrigeringen mer än Zwolle. I alla graddagskorrigeringar har det kallare normalåret resulterat i ett mindre energianvändning ifall temperaturförutsättningarna varit normala. Detta tyder på att ett varmare år medför ett högre energibehov vilket kan tolkas som att varuhusen har ett större kylbehov än uppvärmning. Detta framgår tydligare i de fem gråmarkerade månaderna i graddagstabellerna, kylperioden. Här minskar energianvändning för kylning tillräckligt mycket, efter klimatkorrigerat till det kallare normalåret, för att täcka de energiförluster som uppkommer under resterande sju månader. Detta framgår dock inte i mätstatistiken för IKEA Malmö där energianvändning för värmepumpen visar att behovet av värme finns för månaderna september – april, vilket är större delen av året. Detta kan bero på att vår- och höst månader till mestadels både kyler och värmer samtidigt samt att ingen mätstatistik på kylsystem redovisats vilket gör värdena på energianvändning under sommarperioden grövre.

Känslighetsanalysens varaktighetsdiagram visar att skillnader i ansatta temperaturer för inomhusluft och tilluft påverkar värme- respektive kylbehoven märkbart. Ett annat och kanske enklare sätt att se på det är att olika balanstem-

peraturer kan ge olika energianvändningar. Alltså vid vilken utomhustemperaturer energi används till uppvärmning respektive kylning. För att understryka detta gjordes ytterligare en graddagskorrigerings för IKEA Malmö med en högre ansatt inomhustemperatur och därmed högre balanstemperatur för uppvärmning vilket resulterade i en ökad energianvändning, jämförelse kan ses i tabell 7.2

*Tabell 7.2 IKEA Malmö energianvändning med olika balanstemperaturer.*

|                 | <b>Malmö</b><br>kWh/m <sup>2</sup> | <b>T (Balans)</b><br>°C |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------|
| <b>År 2016</b>  | 87,6                               |                         |
| <b>Normalår</b> | 72,2                               | 3,3                     |
| <b>Normalår</b> | 78,9                               | 7,5                     |

En lägre balanstemperatur ledde till en lägre energianvändning. Rimligtvis då energin som krävs under uppvärmningsperioden inte är lika stor. Grovheten i graddagskorrigeringarna ligger i att exakt mätdata inte framkommer gällande energifördelningen. Därmed ligger osäkerheten i vad som exakt bör korrigeras. När uppskattningar görs leder detta till att antingen för mycket eller för mycket av den totala energianvändningen klimatkorrigeras.

Det förutsätts även i beräkningarna att lika mycket energi hade använts samma månader med olika balanstemperaturer. Korrigeringsfaktorn tar delvis hänsyn till detta eftersom faktorn blir större och korrigerar mer ju närmare balanstemperaturen och utetemperaturen är varandra. Dock kvarstår en osäkerhet i att en exakt balanstemperatur för de två perioderna inte är känd utan räknades ut förutsatt att den vore konstant hela den tänkta klimatperioden (uppvärmning respektive kylning). Själva principen med graddagskorrigeringar kvarstår i studien där korrigerade energianvändningar agerar som bättre jämförelsetal.

Det kan noteras att majoriteten av ytorna i ett varuhus, ungefär 70 % (IKEA Property, 2016), innefattas av saluhall, tag-självlager, och restaurang. Dessa ytor varierar mellan +18 och +21 (°C). En medianberäkning representerar varuhusets inomhustemperatur bättre gentemot en vanlig medelvärdesberäkning där mindre, kalla, ytor kan tynga ner den genomsnittliga inomhustemperaturen. Vidare analyseras varuhusens energianvändning med andra nyckeltal än yta i kvadratmeter. Nedan sammanställs de tre varuhusens graddagskorrigerade energiberäkningar i en tabell där lokala förutsättningar kan ses för enklare jämförelse.

Tabell 7.3 Sammanställning av statistik för varuhusen 2016. PPM = Platta på mark.

|                                       | <b>Malmö</b> | <b>Uddevalla</b> | <b>Zwolle</b> |
|---------------------------------------|--------------|------------------|---------------|
| <b>Byggnadsår</b>                     | <b>2009</b>  | <b>2013</b>      | <b>2015</b>   |
| <b>Total area [m<sup>2</sup>]</b>     | 44 000       | 37 500           | 29 700        |
| Saluhall                              | -            | -                | 12 780        |
| Lager                                 | -            | -                | 7288          |
| Restaurang                            | -            | -                | 1320          |
| <b>Antal besökare [personer]</b>      | 2 625 365    | 1 360 562        | 1 368 806     |
| <b>Försäljning [m<sup>3</sup>]</b>    | 112 000      | 51 100           | 46 600        |
| <b>Verksamhet</b>                     | 05 till 22   | 05 till 22       | 05 till 21    |
| <b>Grund</b>                          | Garage       | PPM              | PPM           |
| Antal plan                            | 3            | 2                | 2             |
| <b>Värmepump</b>                      | Ja           | Ja               | Ja            |
| <b>Solceller</b>                      | Nej          | Nej              | Ja            |
| <b>Klimatskal [W/m<sup>2</sup> K]</b> |              |                  |               |
| U-värde väggar                        | -            | 0,30             | 0,29          |
| U-värde tak                           | -            | 0,20             | 0,22          |
| U-värde fönster                       | -            | 1,40             | 1,10          |
| U-värde grund                         | -            | 0,30             | 0,35          |
| <b>Energi (icke korrigerat) [MWh]</b> | 3 885 000    | 3 006 800        | 1 991 300     |
| Uppvärmning                           | 1 038 700    | -                | -             |
| Kyla                                  | -            | -                | -             |
| Varmvatten                            | 231 200      | 371 500          | 173 900       |
| Fastighetsel                          | 667 800      | -                | -             |
| <b>Energi (korrigerat) [MWh]</b>      | 3 174 800    | 2 578 900        | 1 751 500     |

Det saknas många värden i sammanställningen ovan. Dock kan fortfarande paralleller överlag dras mellan människor och energianvändning. Mer detaljerade lokala förutsättningar och energifördelningar kan leda till bättre uppfattning om vilka faktorer som styr energianvändningen mest. Nedan presenteras den klimatkorrigerade energianvändningen för de tre varuhusen i fler nyckeltal än bara  $A_{temp}$ .

*Tabell 7.4 Olika nyckeltal för de tre varuhusen året 2016. Försäljning –  $m^3$  såld vara. Vh = antal timmar per år som verksamhet bedrivs*

|                    | <b>Malmö</b> | <b>Uddevalla</b> | <b>Zwolle</b> |                       |
|--------------------|--------------|------------------|---------------|-----------------------|
| <b>Nyckeltal i</b> | <b>2009</b>  | <b>2013</b>      | <b>2015</b>   |                       |
| Yta                | 72,2         | 68,8             | 59,0          | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| Försäljning        | 28,5         | 50,5             | 37,6          | [kWh/m <sup>3</sup> ] |
| Besökare           | 1,2          | 1,9              | 1,3           | [kWh/besökare]        |
| Verksamhetstimmar  | 0,52         | 0,42             | 0,31          | [kWh/Vh]              |

Som kan ses i tabell 7.4 har skillnaden mellan Uddevalla och Zwolle ungefär samma värde som skillnaden mellan Malmö och Uddevalla jämfört med icke-korrigerade nyckeltal. En självklarhet visar sig att icke-korrigerade värden kan skugga en byggnads prestanda och när korrigerat för detta kan en mer rättvis jämförelse göras. Vidare kan en stark korrelation mellan försäljning och energianvändning ses då Malmö varhuset säljer mer än Zwolle och Uddevalla kombinerat. Även ett samband kan ses mellan antal människor som vistas årligen i varuhusen och hur mycket energi som används. Från tabell 7.2 kan det tolkas att en större verksamhet, både försäljning och människor som vistas, kommer leda till en högre energianvändning.

Just vad som sätter Zwolle lägre i energianvändning jämfört med de svenska varuhusen är svårare att peka ut i detalj då varken studiebesök gjordes eller tillräckligt med lokala varuhusdata var tillgänglig. Måttlig försäljning, kortare öppettider och färre besökare på sommaren än resterande månader har förmodligen styrt mer än vad nyare teknik och bättre klimatskal har. Uddevalla, som är närmst Zwolle hade högre försäljning och mer besökare på sommaren än under vintern som gav ett oönskat överskott i värme från människor under uppvärmningsperioden.

## 7.2 Intervjustudie

Intervjuerna visar att byggtekniska frågor inte är en stor prioritet hos verksamheten i varuhuset (hyresgästerna) i sig, utan troligtvis sköts av hyresvärdarna. Dessa var i sin tur svårare att komma i kontakt med då det i vissa fall handlade om flera olika hyresvärdar för ett och samma företag och berodde på ort och land. En viktig förutsättning värd att notera är också att inget av företagen som intervjuades tillhörde en större koncern där det finns en fastighetsavdelning som på företagets uppdrag behandlar bygg- och fastighetstekniska frågor. Därmed drivs utveckling av fastigheter och energieffektivisering troligtvis externt av en hyresvärd som inte är verksam i varuhuset. En stor skillnad jämfört med en verksamhet som IKEA där kommunikationen mellan hyresvärd och hyresgäst är mer regelbunden och båda parter tillhör samma koncern där feedback kan ges direkt från hyresgästerna till värdarna.



## 8. Slutsats

Klimat har uppenbarligen en dominant påverkan på hur mycket en byggnad behöver värma respektive kyla, och därmed energianvändningen. Syftet med studien var dock att reducera inverkan av denna så att en rättvis jämförelse mellan likartade byggnader kan göras även när de befinner sig i olika klimat. En klimatkorrigerig gjordes och spridningen mellan referensobjektens energianvändning, det vill säga hur långt ifrån varandra de ligger i kWh/m<sup>2</sup>, visade sig då vara mindre. Dessa mindre skillnader pekar på att vara resultat av verksamhet och ålder. Ju större verksamhet som bedrivs, alltså långa öppettider, mycket försäljning och besökare, desto mer energi används.

Nyare byggnader, med nyare teknik, och i ett fall även speciellt inhyrd driftpersonal, kommer givetvis använda mindre energi. Denna trend hittas dock både med eller utan klimatkorrigerig. Resultatet efter klimatkorrigeringen är just den minskade spridningen och tyder istället på att parametrarnas inverkan beskrivna ovan finns, men inte lika dominanta. Huruvida reduktionen av klimatets inverkan via graddagskorrigeringen i denna studie är pålitlig kan diskuteras då det ligger många osäkerheter i förutsättningarna. Exempelvis var energi används, verkningsgradens variation, balanstemperaturer för både kyla och uppvärmning, samt i Zwolles fall väderstatistiken. Metoden gav ett någorlunda förväntat resultat i att kommersiella byggnader med stora verksamheter har ett större kylbehov än exempelvis vanliga bostäder och därmed hade presterat bättre under ett kallare normalår. Detta kan användas som argument för en energieffektiviseringsåtgärd där avsiktliga transmissionsförluster skapas via ett luftutrymme under det första planet där värme kommer att stråla, likt ett av referensobjekten som har ett parkeringsdäck undertill. Mer generellt kan tid investerad i att jämföra och undersöka varuhus mot varandra leda till bättre och mer djupgående studier än denna som kan säkerställa energieffektivisering.

Det finns risk för en global verksamhet att stöta på problem när de vill jämföra sina byggnader som är placerade i väldigt olika klimat och inte tar hänsyn till klimatets inverkan. Som underlag för det påståendet härleder jag till forskningen gjord om BLAST som så småningom ledde till det moderna energisimuleringsprogrammet EnergyPlus där klimatets inverkan tagits i stor åtanke. Samt fallstudien ”Energy Design Guides” av den amerikanska armén som stötte på precis detta problem när de satte nya energianvändningsmål och skulle börja jämföra baracker med målet att energieffektivisera. Vad som upptäcktes när lösningar skulle undersökas för typbyggnader i femton olika klimatzoner var att olika behov förekom. Exempelvis har baracker i staten Alaska, belägen norrut, mer behov av att värma sina lokaler jämfört med exakt samma barack i den varmare staten Florida där det är kylbehov året runt. Fönster och väggar med högre U-värde installerades i de varmare staterna,

medan i de kallare staterna installerades dessa konstruktionsdelar med lägre U-värde för att minska transmissionsförlusterna. Detta är ett tydligt tecken på att det är svårt att generalisera och ha liknande typbyggnader om verksamheten bedrivs i drastiskt olika klimat. I kommersiella byggnaders fall, som IKEA, måste även stor hänsyn tas till mängd besökare och försäljning. I amerikanska arméns baracker rör det sig om samma mängd människor med liknande uppgifter och den internt genererade värmen kommer förmodligen att vara liknande. Dock med en kommersiell byggnad kan besökare och försäljning, som redovisats i resultatet, också skiljas drastiskt åt och ytterligare en faktor att ta hänsyn till.

## 8.1 Intervjustudiens resultat

Det som kanske är mest värt att notera ur intervjuerna är kommunikationen mellan verksamheten (hyresgästerna) och hyresvärdarna. Personerna som intervjuades tillhörde varuhusens verksamhet och verkade inte ha lika stark eller regelbunden kommunikation med hyresvärdarna för respektive varuhus som man har inom IKEAs verksamhet. Vilket inte är överraskande då i detta fall tillhör hyresvärden, IKEA Fastigheter AB, och verksamheten IKEA svensk försäljnings AB, samma koncern. Ett argument som kan grundas i detta är att man borde tala med hyresvärdarna direkt istället för gästerna. Men eftersom ett företag, eller en verksamhet, också kunde ha flera olika hyresvärdar beroende på var man befann sig kommer resultaten inte bli konsekventa även ifall man intervjuar hyresvärdar istället för hyresgäster.

Ingen av intervjuerna påvisade att hyresgästerna själva var insatta i byggtkniska frågor eller energikartlade sina varuhus för att följa upp och utvärdera resultat. Ett naturligt resultat då verksamheternas prioriteringar är försäljning och inte byggteknik. Slutsatsen som kan dras är att en större och bredare verksamhet, som har nära kommunikation och tillhör samma koncern, gör det lättare och mer intressant att delegera byggtkniska frågor till en specifik avdelning inom koncernen, som i IKEA koncernens fall.

## 8.2 Vidare forskning

Ifall graddagskorrigering ska göras behövs det mer dokumenterad mät- och driftstatistik, då verkningsgrader, balanstemperaturer, och energifördelning inte bara är kärnan av beräkningarna men också väldigt känsliga för det slutgiltiga resultatet. Fler referensobjekt hade behövts studeras för att enklare kunna hitta mönster och peka ut mer komplexa parametrar som bra respektive dåligt presterande kommersiella byggnader har gemensamt. Relationen mellan kylbehov och värmebehov kan också utforskas mer och leda till en universal metod som fungerar bättre för komplexa byggnader.



## Källförteckning

Abel, E. & Elmroth, A. (2012). *Byggnaden som system*. Lund: Studentlitteratur.

Boverket. (den 12 04 2017). *Byggnade: Energiklasser från A till G*. Hämtat från Boverket.se:

Boverket. (den 12 04 2017). *Byggnade: Energikrav*. Hämtat från Boverkets

Boverket. (den 12 04 2017). *Byggnade: Vad är en energideklaration?* Hämtat från Boverket:

Boverket. (den 20 04 2017). *Frågor & Svar*. Hämtat från Boverket:

Energilyftet. (den 12 04 2017). *Byggnadens energibalans*. Hämtat från energilyftet.learnways.com:

Energy, U. D. (den 15 05 2017). *About Us*. Hämtat från Department of Energy

Europaparlamentet. (den 12 04 2017). *Faktablad om Europeiska unionen: Sektorspolitik: Energieffektivitet*. Hämtat från Europaparlamentet:

European Commission. (den 10 04 2017). *Topics: Buildings*. Hämtat från European Commission Web Site:

Friberger, G. (den 07 02 2017). (H. sofic, Intervjuare)

IKEA Fastigheter. (2016). *WebEss data*. Malmö.

IKEA. (den 10 04 2017). *Om IKEA Koncernen*. Hämtat från ikea.se:

IKEA Fastigheter. (u.d.).

IKEA Fastigheter. (2016). *iBinder data*. Malmö.

IKEA Fastigheter. (2016). *WebEss Data*. Helsingborg.

IKEA Property. (2016). *WebEss*. Zwolle.

Lundell, P. (2004). *Gradtid för kyla*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme.

Lundgren, R. (den 16 02 2017). (H. Sofic, Intervjuare)

- Lysen, E. H. (1996). *The trias energetica: Solar energy strategies for Developing Countries*. Freiburg: Euroson.
- Neuteboom, A. (den 13 04 2017). (H. Sofic, Intervjuare)
- Schulz, L. (2017). *Normalskorrigerig av energianvändningen i byggnader - en jämförelse av två metoder*. Göteborg: EFFEKTIV.
- SGU. (den 27 04 2017). *Samhällsplanering: Energi: Bergvärme*. Hämtat från Sveriges Geologiska Undersökning:
- SGU. (den 27 04 2017). *Samhällsplanering: Energi: Bergvärme: Akviferlager*. Hämtat från Sveriges Geologiska Undersökning:
- SINTEF Byggforsk. (2010). *Guidelines for energy efficiency concepts in office buildings in Norway*. Trondheim: SINTEF.
- SMHI. (den 15 04 2017). *Data: Meteorologi: Temperatur*. Hämtat från Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut:
- Sveby. (2009). *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*.
- Svensk Solenergi. (den 20 04 2017). *Fakta om solenergi*. Hämtat från Svensk Solenergi.
- Timeanddate. (den 12 05 2017). *Weather: Zwolle: Climate*. Hämtat från Time and date:
- Timeanddate. (den 12 05 2017). *Weather: Zwolle: Climate*. Hämtat från Time and date:
- U.S. Army Corp of Engineers. (1981). *BLAST Programs user manual*. Champaign, IL.
- U.S. Army Corp of Engineers. (2008). *Energy Design Guides For Army Barracks*. Pacific Grove, CL: U.S. Army Corp of Engineers.
- U.S. Army Corp of Engineers. (den 15 05 2017). *About Us*. Hämtat från United States Army Corp of Engineers:
- Warfinge, C. & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M. (2004). *Installationsteknik för fastighetsmäklare*. Lund: KFS i Lund AB, Sweden.

Weatherbase. (den 12 05 2017). *Home: Europe: Netherland: Zwolle*. Hämtat från Weatherbase:

Weatherbase. (den 12 05 2017). *Home: Europe: Netherlands*. Hämtat från weatherbase.com:

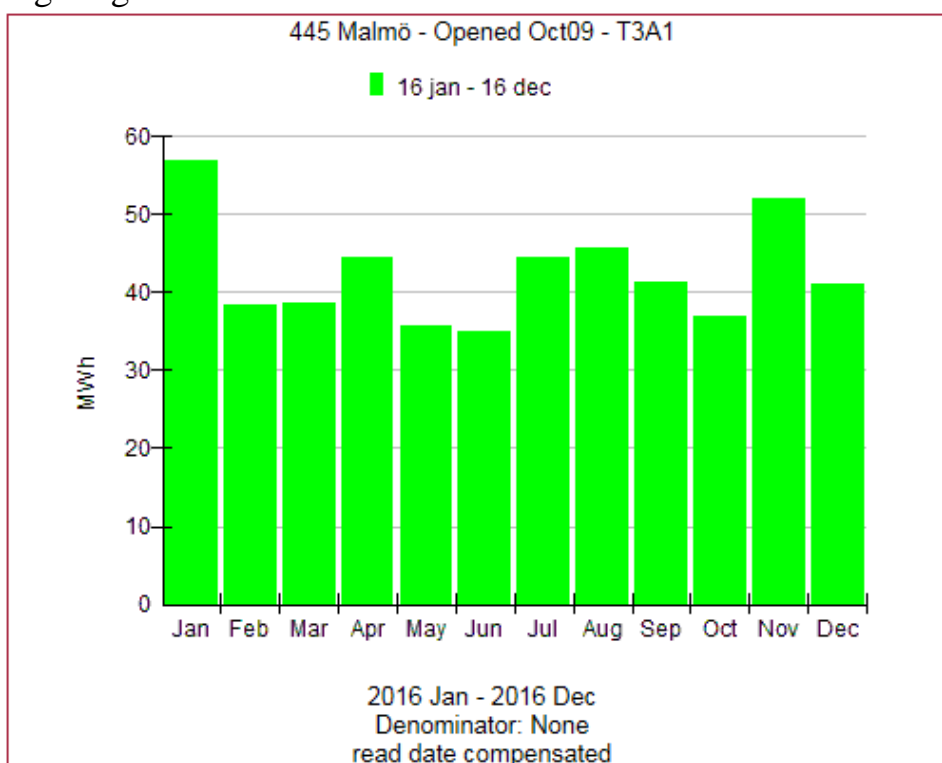
Worldweatheronline. (den 12 05 2017). *Home: World Weather: Netherlands: Overijssel: Zwolle*. Hämtat från World weather online:

Åkesson, I. (2017). *Energioptimering av komersiella byggnader*. Lund: Lunds Universitet.



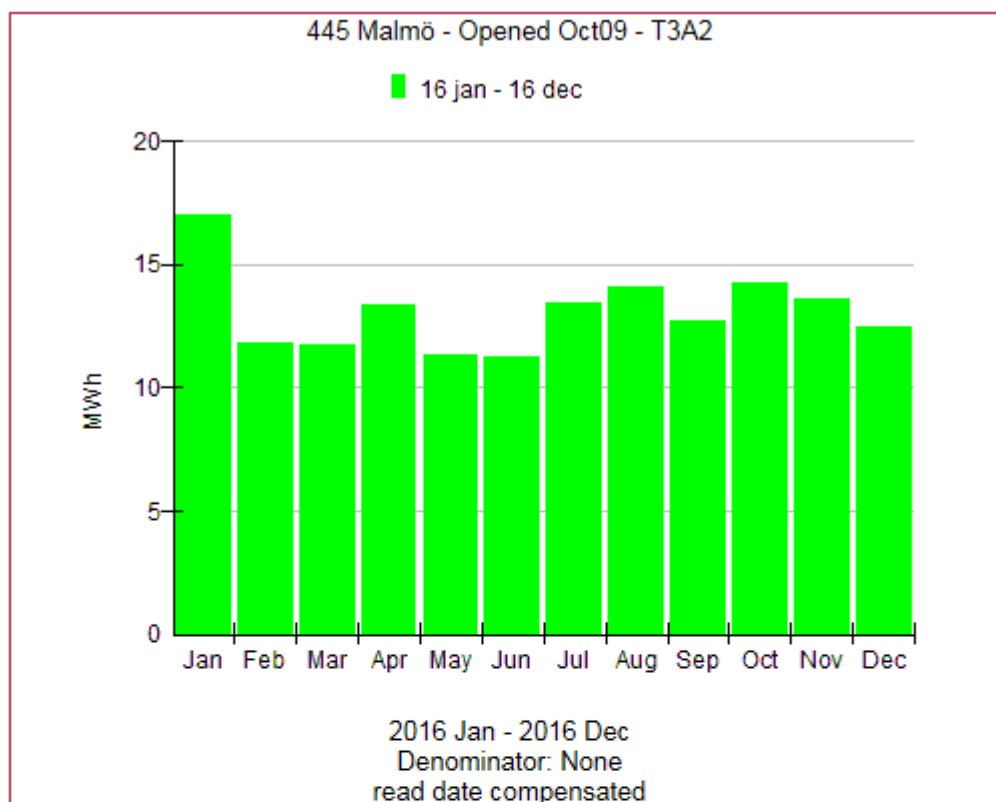
## Appendix

Nedan visas bilagor ur vilka siffror och värden använts i beräkningar för grad-dagskorrigerig.



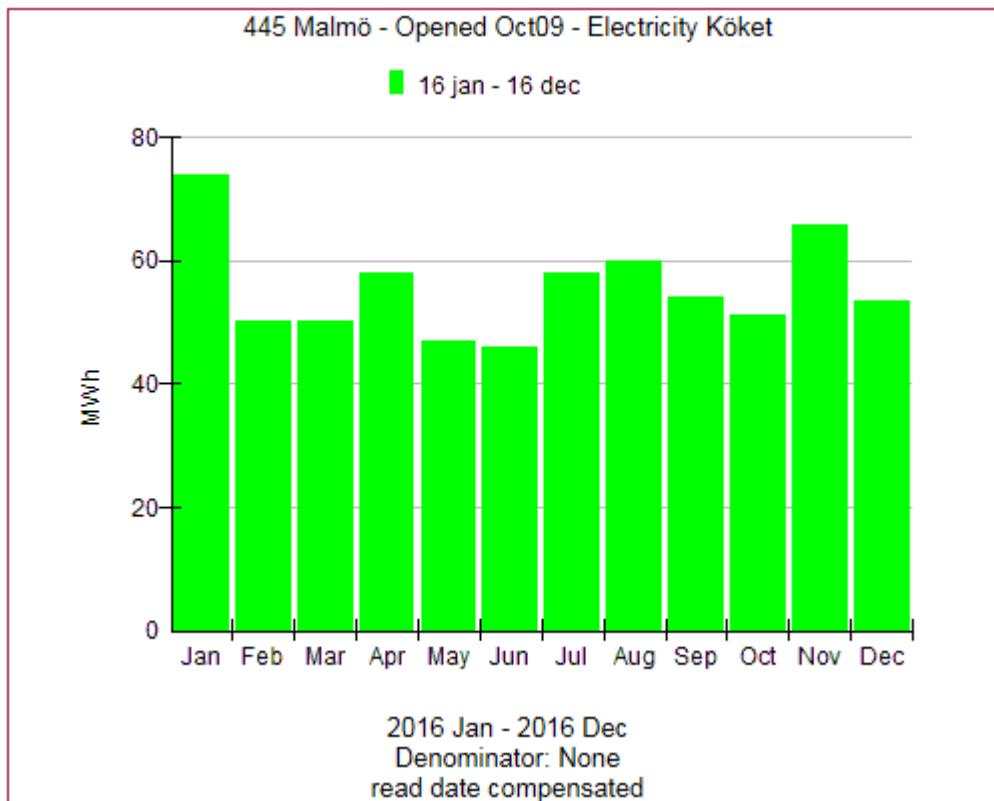
| Month           | Sm electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016                 |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption          |           |           | %         | %    |
| Jan             | 56,8                 | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 38,4                 | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 38,6                 | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 44,5                 | --        |           | ---       |      |
| May             | 35,7                 | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 34,9                 | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 44,4                 | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 45,7                 | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 41,4                 | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 37,0                 | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 52,1                 | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 41,1                 | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>510,4</b>         |           | ---       |           | ---  |
|                 | Consumption          | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 510,4                | ---       | ---       |           |      |

A1: Fastighetsel 1 för IKEA Malmö (IKEA Fastigheter, 2016)



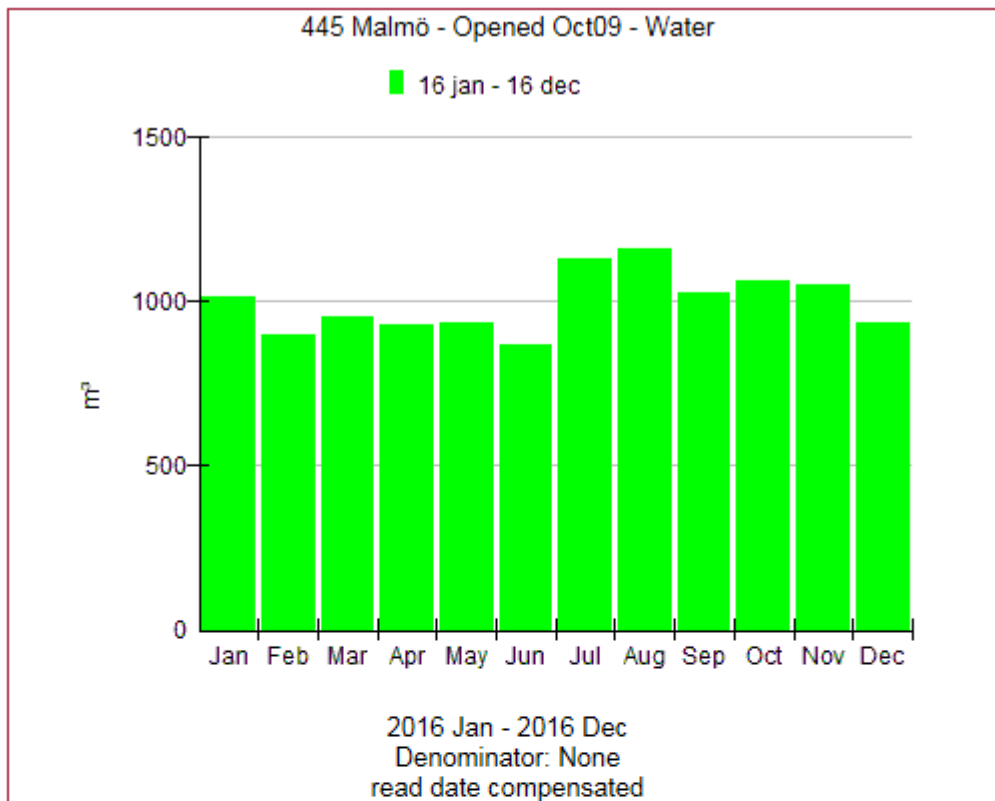
| Month           | Sm electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016                 |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption          | --        |           | %         | %    |
| Jan             | 17,0                 | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 11,9                 | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 11,7                 | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 13,3                 | --        |           | ---       |      |
| May             | 11,3                 | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 11,3                 | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 13,5                 | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 14,1                 | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 12,7                 | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 14,3                 | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 13,6                 | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 12,5                 | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>157,0</b>         |           | ---       |           | ---  |
|                 | Consumption          | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 157,0                | ---       | ---       |           |      |

A2: Fastighetsel 2 IKEA Malmö (IKEA Fastigheter, 2016)



| Month           | Sm electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016                 |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption          | --        |           | %         | %    |
| Jan             | 73,8                 | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 50,3                 | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 50,3                 | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 57,8                 | --        |           | ---       |      |
| May             | 46,9                 | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 46,1                 | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 57,9                 | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 59,8                 | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 54,1                 | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 51,2                 | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 65,7                 | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 53,5                 | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | 667,4                |           | ---       |           | ---  |
|                 | Consumption          | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 667,4                | ---       | ---       |           |      |

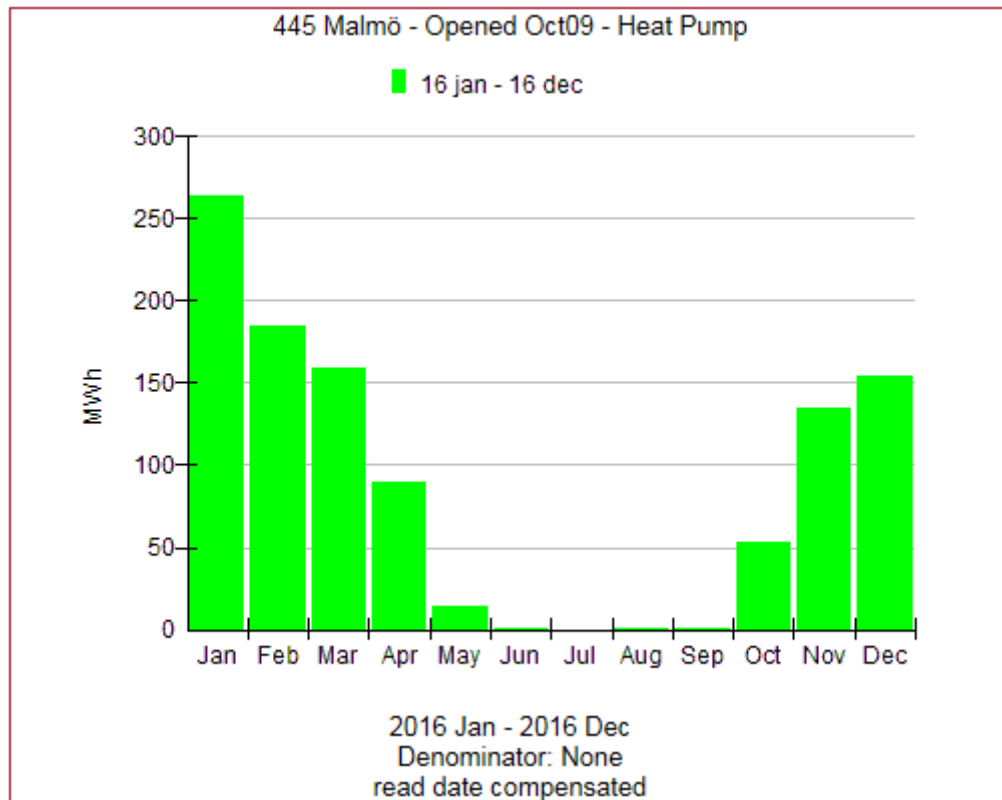
A3: Köks-el IKEA Malmö (IKEA Fastigheter, 2016)



| Month           | Cold water (m³) |          | Goal(m³) | Deviation |      |
|-----------------|-----------------|----------|----------|-----------|------|
|                 | 2016            |          |          | 2016      | Goal |
|                 | Consumption     | --       |          | %         | %    |
| Jan             | 1 013,0         | --       |          | ---       |      |
| Feb             | 900,0           | --       |          | ---       |      |
| Mar             | 954,0           | --       |          | ---       |      |
| Apr             | 928,1           | --       |          | ---       |      |
| May             | 934,1           | --       |          | ---       |      |
| Jun             | 869,0           | --       |          | ---       |      |
| Jul             | 1 129,0         | --       |          | ---       |      |
| Aug             | 1 160,0         | --       |          | ---       |      |
| Sep             | 1 023,0         | --       |          | ---       |      |
| Oct             | 1 062,0         | --       |          | ---       |      |
| Nov             | 1 048,0         | --       |          | ---       |      |
| Dec             | 937,8           | --       |          | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>11 958,0</b> |          | ---      |           | ---  |
|                 | Consumption     | Goal(m³) | Goal(%)  |           |      |
| 2016(Prognosis) | 11 958,0        | ---      | ---      |           |      |

A4. Total varmvattenförbrukning för IKEA Malmö 2016 (IKEA Fastigheter, 2016)





| Month           | Sm electricity (MWh) |           | Goal(MWh) | Deviation |      |
|-----------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------|
|                 | 2016                 |           |           | 2016      | Goal |
|                 | Consumption          | --        |           | %         | %    |
| Jan             | 263,5                | --        |           | ---       |      |
| Feb             | 185,0                | --        |           | ---       |      |
| Mar             | 159,2                | --        |           | ---       |      |
| Apr             | 89,2                 | --        |           | ---       |      |
| May             | 14,8                 | --        |           | ---       |      |
| Jun             | 0,6                  | --        |           | ---       |      |
| Jul             | 0,0                  | --        |           | ---       |      |
| Aug             | 0,3                  | --        |           | ---       |      |
| Sep             | 1,3                  | --        |           | ---       |      |
| Oct             | 53,4                 | --        |           | ---       |      |
| Nov             | 134,9                | --        |           | ---       |      |
| Dec             | 153,5                | --        |           | ---       |      |
| <b>Total:</b>   | <b>1 055,7</b>       |           |           | ---       | ---  |
|                 | Consumption          | Goal(MWh) | Goal(%)   |           |      |
| 2016(Prognosis) | 1 055,7              | ---       | ---       |           |      |

A5 Energianvändning värmepump IKEA Malmö (IKEA Fastigheter, 2016)

|           | <b>NÅ T</b>   | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD NÅ</b>   |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| januari   | -0.2          | 7.5             | 7.7             | 238.7          |
| februari  | -0.2          | 7.5             | 7.7             | 215.6          |
| mars      | 2.1           | 7.5             | 5.4             | 167.4          |
| april     | 6.1           | 7.5             | 1.4             | 42             |
| maj       | 11.5          | 15              | -3.5            |                |
| juni      | 15.4          | 15              | 0.4             | 12             |
| juli      | 16.9          | 15              | 1.9             | 58.9           |
| augusti   | 16.7          | 15              | 1.7             | 52.7           |
| september | 13.5          | 15              | -1.5            | -45            |
| oktober   | 9.6           | 7.5             | -2.1            |                |
| november  | 5.2           | 7.5             | 2.3             | 69             |
| december  | 1.7           | 7.5             | 5.8             | 179.8          |
|           | <b>2016 T</b> | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD 2016</b> |
| januari   | -0.4          | 7.5             | 7.9             | 244.9          |
| februari  | 2.4           | 7.5             | 5.1             | 142.8          |
| mars      | 3.8           | 7.5             | 3.7             | 114.7          |
| april     | 6.5           | 7.5             | 1.0             | 30.0           |
| maj       | 14.4          | 15              | -0.6            | -18.6          |
| juni      | 17.2          | 15              | 2.2             | 66.0           |
| juli      | 18.0          | 15              | 3.0             | 93.0           |
| augusti   | 17.2          | 15              | 2.2             | 68.2           |
| september | 16.3          | 15              | 1.3             | 39.0           |
| oktober   | 8.7           | 7.5             | -1.2            | -37.2          |
| november  | 4.2           | 7.5             | 3.3             | 99.0           |
| december  | 4.3           | 7.5             | 3.2             | 99.2           |

*A6 Graddagar (högre balanstemperatur) för normalår 2016 IKEA Malmö (°C)*

|           | <b>NÅ T</b>   | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD NÅ</b>   |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| januari   | -0.2          | 3.3             | 3.5             | 108.5          |
| februari  | -0.2          | 3.3             | 3.5             | 98             |
| mars      | 2.1           | 3.3             | 1.2             | 37.2           |
| april     | 6.1           | 3.3             | -2.8            | -84            |
| maj       | 11.5          | 15              | -3.5            |                |
| juni      | 15.4          | 15              | 0.4             | 12             |
| juli      | 16.9          | 15              | 1.9             | 58.9           |
| augusti   | 16.7          | 15              | 1.7             | 52.7           |
| september | 13.5          | 15              | -1.5            | -45            |
| oktober   | 9.6           | 3.3             | -6.3            |                |
| november  | 5.2           | 3.3             | -1.9            | -57            |
| december  | 1.7           | 3.3             | 1.6             | 49.6           |
|           | <b>2016 T</b> | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD 2016</b> |
| januari   | -0.4          | 3.3             | 3.7             | 114.7          |
| februari  | 2.4           | 3.3             | 0.9             | 25.2           |
| mars      | 3.8           | 3.3             | -0.5            | -15.5          |
| april     | 6.5           | 3.3             | -3.2            | -96.0          |
| maj       | 14.4          | 15              | -0.6            | -18.6          |
| juni      | 17.2          | 15              | 2.2             | 66.0           |
| juli      | 18.0          | 15              | 3.0             | 93.0           |
| augusti   | 17.2          | 15              | 2.2             | 68.2           |
| september | 16.3          | 15              | 1.3             | 39.0           |
| oktober   | 8.7           | 3.3             | -5.4            | -167.4         |
| november  | 4.2           | 3.3             | -0.9            | -27.0          |
| december  | 4.3           | 3.3             | -1.0            | -31.0          |

*A7 Graddagar (aktuell balanstemperatur) för normalår och 2016 IKEA Malmö (°C)*

|           | <b>NÅ T</b>   | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD NÅ</b>   |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| januari   | -2.6          | 8               | 10.6            | 328.6          |
| februari  | -2.7          | 8               | 10.7            | 299.6          |
| mars      | 0.3           | 8               | 7.7             | 238.7          |
| april     | 4.8           | 8               | 3.2             | 96             |
| maj       | 10.6          | 15              | -4.4            | -136.4         |
| juni      | 15            | 15              | 0               | 0              |
| juli      | 16.3          | 15              | 1.3             | 40.3           |
| augusti   | 15.3          | 15              | 0.3             | 9.3            |
| september | 11.4          | 15              | -3.6            | -108           |
| oktober   | 7.5           | 8               | 0.5             | 15.5           |
| november  | 2.6           | 8               | 5.4             | 162            |
| december  | -0.9          | 8               | 8.9             | 275.9          |
|           | <b>2016 T</b> | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD 2016</b> |
| januari   | -3.5          | 8               | 11.5            | 356.5          |
| februari  | 0.3           | 8               | 7.7             | 215.6          |
| mars      | 2.9           | 8               | 5.1             | 158.1          |
| april     | 6.1           | 8               | 1.9             | 57             |
| maj       | 11.9          | 15              | -3.1            | -96.1          |
| juni      | 15.6          | 15              | 0.6             | 18             |
| juli      | 16.6          | 15              | 1.6             | 49.6           |
| augusti   | 15            | 15              | 0               | 0              |
| september | 15            | 15              | 0               | 0              |
| oktober   | 7.3           | 8               | 0.7             | 21.7           |
| november  | 2             | 8               | 6               | 180            |
| december  | 2.7           | 8               | 5.3             | 164.3          |

*A 8 Graddagar för normalår och 2016 IKEA Uddevalla (°C)*

|           | <b>NÅ T</b>   | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD NÅ</b>   |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| januari   | 2.5           | 8               | 5.5             | 170.5          |
| februari  | 2.5           | 8               | 5.5             | 154            |
| mars      | 5             | 8               | 3               | 93             |
| april     | 8             | 8               | 0               | 0              |
| maj       | 12.5          | 15              | -2.5            | -77.5          |
| juni      | 14.5          | 15              | -0.5            | -15            |
| juli      | 17            | 15              | 2               | 62             |
| augusti   | 17            | 15              | 2               | 62             |
| september | 14.5          | 15              | -0.5            | -15            |
| oktober   | 10.5          | 8               | -2.5            | -77.5          |
| november  | 6             | 8               | 2               | 60             |
| december  | 3.5           | 8               | 4.5             | 139.5          |
|           | <b>2016 T</b> | <b>Balans T</b> | <b>Skillnad</b> | <b>GD 2016</b> |
| januari   | 4.5           | 8               | 3.5             | 108.5          |
| februari  | 5             | 8               | 3               | 84             |
| mars      | 6             | 8               | 2               | 62             |
| april     | 10            | 8               | -2              | -60            |
| maj       | 16            | 15              | 1               | 31             |
| juni      | 18            | 15              | 3               | 90             |
| juli      | 19            | 15              | 4               | 124            |
| augusti   | 18.5          | 15              | 3.5             | 108.5          |
| september | 18.5          | 15              | 3.5             | 105            |
| oktober   | 10            | 8               | -2              | -62            |
| november  | 6             | 8               | 2               | 60             |
| december  | 5.5           | 8               | 2.5             | 77.5           |

*A9 Graddagar för normalår och 2016 IKEA Zwolle ( °C)*