

Energioptimering av kommersiell byggnad

Med fallstudie på ett varuhus

Ida Åkesson

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2014
Rapport TVIT--14/5057



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinavien största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 112 000 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 800 anställda och 47 000 studerande som deltar i ett 280 utbildningsprogram och ca 2 200 fristående kurser.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat. Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspridning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Energioptimering av kommersiell byggnad

Med fallstudie på ett varuhus

Ida Åkesson

© Ida Åkesson
ISRN LUTVDG/TVIT--14/5057--SE(102)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Det här examensarbetet på 30 högskolepoäng är skrivet för avdelningen för Installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet är den avslutande delen på civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad med inriktning mot husbyggnadsteknik.

Jag vill passa på att tacka alla på Uulas arkitekter AB för att ni har gjort tiden under examensarbetet så trevlig. Jag vill även ge Emily Nilsson ett stort tack för att du har tagit dig tid och hjälp mig under arbetets gång.

Jag vill också tacka min handledare Mats Dahlblom för all hjälp och alla värdefulla kommentarer under tidens gång. Samtidigt passar jag på att tacka Victor Fransson på LTH som hjälpt mig med datorprogrammet IDA ICE.

Sist men inte minst vill jag tacka IKEA Services AB för att jag har fått möjligheten att göra det här examensarbetet. Tack för att ni har delat med er av all information och grundmodellen till IDA ICE som stor del av arbetet byggt vidare på.

Lund juni 2014

Ida Åkesson

Sammanfattning

Titel	Energioptimering av kommersiell byggnad
Författare	Ida Åkesson, civilingenjörsutbildningen i Väg- och Vattenbyggnad
Handledare	Mats Dahlblom, avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola
Examinator	Birgitta Nordquist, avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola
Språk	Svenska
Bakgrund	Stor del av all den energi som används i världen skapas ur fossila bränslen, som är en av orsakerna till växthuseffekten. Byggnader använder ca 50 % av all producerad energi. För att minska på byggnaders energianvändning kommer EU och den svenska regeringen att skärpa kraven på byggnaders energiprestanda.
Syfte och mål	Syftet är att med en fallstudie visa att det med relativt enkla medel går att minska energianvändningen i en kommersiell byggnad. Detta sker med hjälp av ett energiberäkningsprogram. Målet är att energiprestandan ska bli så låg att byggnaden kan klassas som ett passivhus.
Metod	Första delen av examensarbetet består av en litteraturstudie. Den andra delen består av en fallstudie där bl.a. beräkningsprogrammet IDA ICE har använts.
Slutsats	Det går att minska den specifika energianvändningen med enkla lösningar. Installeras solceller går det även att få ner den specifika energianvändningen under $0 \text{ kWh/m}^2, A_{\text{temp}}$, år, vilket innebär att byggnaden klassas som Nära Noll Energi Byggnad.
Nyckelord	Passivhus, Nära Noll Energi-byggnad (NNE), energioptimering, energianvändning, IDA ICE, energisimulering

Abstract

Title	Energy optimization of commercial building
Author	Ida Åkesson, Civil engineering, Lund Institute of Technology
Supervisor	Mats Dahlblom, Department of Building Service Technologies, Lund Institute of Technology
Examiner	Birgitta Nordquist, Department of Building Service Technologies, Lund Institute of Technology
Language	Swedish
Background	Much of the used energy in the world is generated from fossil fuels, which is one of the causes of the greenhouse effect. Buildings use about 50 % of all produced energy. To reduce buildings' energy consumption, the EU and the Swedish government are about to tighten requirements on the energy performance of buildings.
Aim and goal	The aim is that with help of a case study to show that it is able to reduce the energy consumption in a commercial building with relatively simple means. This is done by using an energy calculation program. The goal will be to lower the energy performance so the building will be classified as a passive house.
Method	The first part of the thesis consists of a literature review. The second part consists of a case study in which, inter alia, the calculation program IDA ICE has been used.
Conclusions	It is possible to reduce the specific energy consumption with simple solutions. With installation of solar cells, you can also bring down the specific energy below $0 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, year. This means that the building is classified as a Near Zero Energy Building.
Keyword	Passive House, Near Zero Energy Building (NZEB), energy optimization, energy use, IDA ICE, energy simulation

Definitioner

A_{temp}	Den golvarea som är avsedd att värmas till mer än 10°C och begränsas av byggnadens klimatskal (Boverket, 2013). Byggnadens specifika energianvändning ska beräknas på denna area.	
Belysningsstyrka	Belysningsstyrka är ett mått på hur mycket ljus som träffar en yta. Enheten för belysningsstyrka är lux= lumen/m ² , alltså ljusflöde per ytenhet. (Ljuskultur, 1990)	
Byggnadens energianvändning	Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Om golvvärme, handdukstork eller annan apparat för uppvärmning installeras, inräknas även dess energianvändning (Boverket, 2013).	
Byggnadens specifika energianvändning	Byggnadens energianvändning fördelat på A _{temp} uttryckt i kWh/m ² och år. Hushållsenergi inräknas inte. Inte heller verksamhetsenergi som används utöver byggnadens grundläggande verksamhetsanpassade krav på värme, varmvatten och ventilation (Boverket, 2013).	
COP	Värmepumps värmefaktor $COP = \frac{\text{Producerad energi}}{\text{Använd energi (köpt energi)}}$	
Direkt dagsljus	Ljus genom fönster direkt mot det fria.	
Direkt solljus	Solljus som lyser in i rum utan att ha reflekterats.	
DVUT	Dimensionerande vintertemperatur enligt SS-EN ISO 15927-5.	
Eluppvärmd byggnad	Enligt BBR	En eluppvärmd byggnad är en byggnad med ett uppvärmningssätt där den installerade eleffekten för uppvärmning är större än 10 W/m ² (A _{temp}) (Boverket, 2013).
	Enligt FEBY	Byggnader med renodlat elvärmda värmesystem för uppvärmning och varmvatten. Här anses byggnader med alla slags elvärmda system (inklusive värmepumpar) för uppvärmning och varmvatten oavsett installerad eleffekt ingå (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012)
Emissivitet	Den andel som en verklig yta utstrålar jämfört med en idealt svart kropp. Intensiteten hos en idealt svart kropp ges av Stefan-Boltzmanns lag. Strålningen be nämns värmestrålning. (BELOK, 2003)	
g-värde	Solfaktorn. Summan av primär transmittans (t-värde) och sekundär transmittans, där sekundär transmittans utgörs av kvoten mellan den energi som indirekt tillförs rummet genom värmeöverföring från i fönster/solskyddsmaterial absorberad solinstrålning och den infallande solstrålningen. (BELOK, 2003)	
Indirekt dagsljus	Ljus från det fria som kommer in i rum utan fönster mot det fria.	
Ljusflöde	Anger hur mycket ljus en ljuskälla avger. Strålningsflödet från ljuskällan (som kan mätas t.ex. i watt) "värderas" efter det mänskliga ögats känslighet i olika våglängder. (Ljuskultur, 1990)	
Ljusutbyte	Ljusutbytet (hos en ljuskälla) är förhållandet mellan avgivet ljusflöde och förbrukad effekt. Ljusutbytet anges i lm/W. Värdena kan variera med ljusets infallsvinkel och i vilken riktning man mäter. (Ljuskultur, 1990)	
Lumen	Se ljusflöde	
Lux	Se belysningsstyrka	
Vistelsezon	Vistelsezonen begränsas av två horisontella plan, ett på 0,1 meter höjd och ett annat på 2,0 meter höjd, samt vertikala plan 0,6 meter från ytterväggar eller andra yttre begränsningar, dock 1,0 meter vid fönster och dörr	

	(Boverket, 2013).
Värmeförlusttal VFT_{DVUT}	Byggnadens specifika värmeförluster ($W/m_2 A_{temp}$) vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) och en innetemperatur på 21 grader via byggnadens klimatskärm, läckflöde och ventilation (Sveriges centrum för nollenergibyggnader, 2012).
Normflöde	Av BBR fastställt flöde från olika tappställen. Summerat normflöde från alla tappvarmvattenställe används för att ta fram sannolikt flöde i en servisledning.
SFP	Specifik fläkteffekt (Specifik Fan Power), Summan av eleffekten för samtliga fläktar som ingår i ventilationssystemet dividerat med det största av tilluftsflödet eller frånluftsflödet [$kW/(m^3/s)$] (Boverket, 2013).
SPF	Värmepumps värmefaktor, genomsnitt över en säsong
t-värde	Primär solenergitransmittans. Kvoten mellan den genom fönstret och solskyddet transmitterade solstrålningen och den infallande solstrålningen. (BELOK, 2003)

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning	3
Abstract	4
Definitioner	5
1 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Problemformulering	12
1.3 Syfte och mål	12
1.4 Avgränsningar	12
1.5 Metod och genomförande	13
1.6 Rapportens upplägg	13
2 Litteraturstudie	15
2.1 Krav på byggnader	15
2.1.1. Krav på passivhus	15
2.2 Energianvändning i lokaler	16
2.3 Strategi för att minska energianvändningen	18
2.4 Klimatskal	18
2.4.1 U-värden och köldbryggor	18
2.4.2 Fönster	19
2.4.3 Lufttäthet	19
2.5 Solenergi	20
2.5.1 Solceller	21
2.5.2 Solfångare	21
2.6 Tillgodose ett bra inomhusklimat	21
2.6.1 Termiskt inneklimat	21
2.6.2 Hygieniskt inneklimat	22
2.6.3 Uppvärmningssystem	23
2.6.4 Kyla	24
2.6.5 Ventilation	25
3 Beräkningsprogram	29
3.1 IDA ICE	29
3.2 HEAT2	31
4 Fallstudie	33

4.1 Sammanställning av alla krav	33
4.2 Allmänt om IKEA Umeå	36
4.2.1 Ändringar i IDA ICE från den tillhandahållna modellen.....	37
4.2.2 Interna laster	38
4.3 IKEA Umeå i IDA ICE.....	40
4.3.1 Material	40
4.3.2 Internlaster	42
4.3.3 Ventilationssystem	43
4.3.4 Installationsanläggning.....	43
4.4 Resultat för grundmodellen	44
4.4.1 Uppfyllande av ställda krav	46
4.5 Tillvägagångssätt för att minska energianvändningen.....	48
4.6 Minimera värmebehovet.....	49
4.6.1 Modeller med lägre uppvärmningsbehov	49
4.6.2 Jämförelse av resultat	51
4.6.3 Förbättring av köldbryggor.....	52
4.6.4 Jämförelse av resultat	53
4.6.5 Betydelse av val av dörr.....	54
4.6.6 Jämförelse och diskussion	55
4.7 Minimera elbehovet.....	55
4.7.1 Belysning.....	55
4.7.2 Belysning med fiberoptik.....	56
4.8 Utnyttja solenergin.....	57
4.8.1 Påverkan av orientering	57
4.8.2 Resultat.....	57
4.8.3 Fönsterstorlek.....	61
4.8.4 Resultat.....	62
4.8.5 Solceller och solfångare.....	64
4.8.6 Resultat.....	65
4.9 Visa och reglera	66
4.9.1 Behovsstyrning av belysning	66
4.9.2 Resultat.....	67
4.10 Välj energi.....	68
4.10.1 Värme och kyla	68

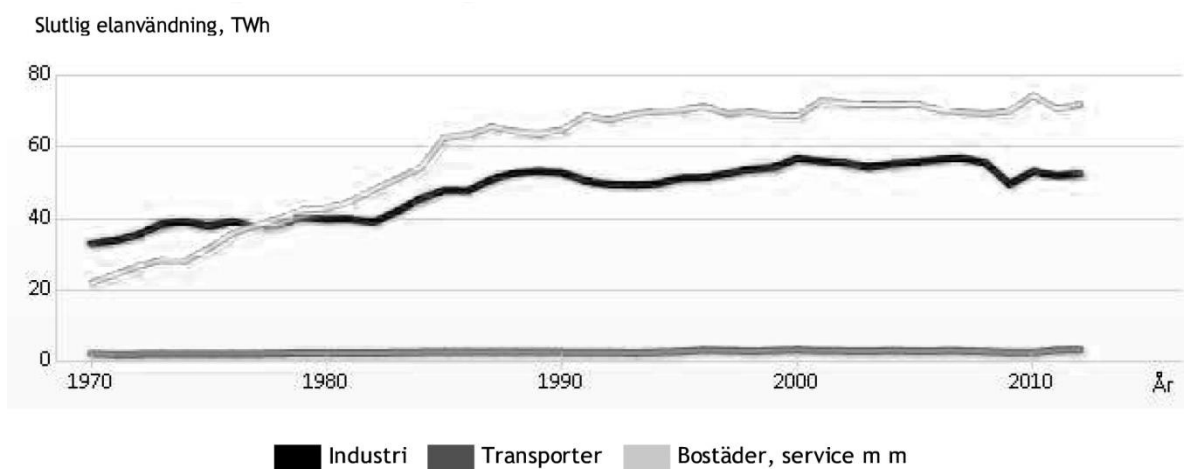
4.10.2 Resultat.....	69
4.11 Slutgiltig modell.....	71
4.11.1 Val av slutgiltiga modellerer.....	71
4.11.2 Resultat av slutgiltiga modellerer.....	71
4.12 Modell med värden från FEBY 12.....	74
4.12.1 Anpassning av internlaster enligt FEBY 12.....	74
4.12.1 Resultat av anpassning av internlaster enligt FEBY 12.....	74
5 Slutsats och diskussion.....	77
6 Litteraturförteckning.....	79
7 Bilagor.....	83
7.1 Bilaga 1 – Krav att uppfylla.....	84
7.2 Bilaga 2 - IKEA:s energiberäkningsmodell – grundfallet.....	88
7.3 Bilaga 3 – VFT för grundmodellen.....	91
7.4 Bilaga 4 – Köldbryggor.....	93
7.5 Bilaga 5 – Resultat från ändring av orientering på betongkonstruktionen.....	95
7.6 Bilaga 6 – Resultat från ändring av orientering på plåtsandwichkonstruktionen.....	99
7.7 Bilaga 7 – Jämförelse med ESBO.....	102

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En stor del av den energi som används i världen kommer från fossila bränslen (Ekonomifakta, 2013). Vid förbränning av fossila bränslen bildas växthusgaser som ger upphov till den så kallade växthuseffekten (SMHI, 2012).

Bostads- och servicesektorn är den mest energikrävande sektorn. 2008 stod den för totalt 36 % av all energianvändning i världen och 2012 för 51 % av all energianvändning i Sverige. Lokaler står för en stor andel av den ökade energianvändningen, bland annat p.g.a. att andelen apparater ökar, samt för att i takt med att lokalbeståndet blir större ökar behovet av klimatanläggningar som håller ett behagligt inomhusklimat (Ekonomifakta, 2013) (Abel & Elmroth, 2006).



Figur 1- Energianvändningens utveckling i olika sektorer i Sverige mellan 1970-2011 (Ekonomifakta, 2013)

För att hejda växthuseffekten och för att minska den globala uppvärmningen har Sverige tillsammans med andra länder satt upp energimål. För byggnaders del innebär detta att från och med 2021 ska alla nya byggnader byggas som Nära Noll Energi byggnader (NNE) (Energimyndigheten, 2013). Detta innebär att byggnaden har mycket hög energiprestanda och "Nära nollmängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive el och värme från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten" (Energimyndigheten, 2010)

För att lyckas med att få ner energianvändningen och samtidigt få ett bra inomhusklimat behövs en helhetssyn (Abel & Elmroth, 2006). Ett bra inomhusklimat och de framtida kraven på byggnader kan klaras genom att använda sig av både gammal och ny teknik.

1.2 Problemformulering

IKEA services AB hjälper till med att komma med förslag till energieffektivare lösningar när nya IKEA varuhus ska byggas runt om i världen. Den senaste tiden känner de att de har kört fast i gamla lösningar och vill gärna få hjälp med att hitta nya effektiva lösningar för att få energieffektivare byggnader.

Uulas arkitekter AB ritat varuhus åt IKEA. De vill gärna se hur olika arkitektoniska, installationstekniska och konstruktiva lösningar samt byggnadens orientering påverkar energianvändning och byggnadens funktion.

Det här examensarbetet är tänkt att studera hur man med hjälp av nya och gamla tekniska lösningar kan få ner energianvändningen. Samtidigt kommer byggnadens utformning och orientering tas i beaktande för att uppnå en högre energieffektivitet.

1.3 Syfte och mål

Syftet är att med hjälp av energisimuleringar visa möjligheterna till att minska energianvändningen genom att använda både ny och gammal teknik.

Målet är att det IKEA varuhus som används i fallstudien ska få en energianvändning och inomhusmiljö som motsvarar de svenska kriterierna för ett passivhus (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012).

1.4 Avgränsningar

Olika tekniska lösningar studeras ur energisynpunkt, utan att ta hänsyn till ekonomisk lönsamhet såsom återbetalningstid.

Energiberäkningar i beräkningsprogrammet IDA ICE kommer antas vara tillförlitliga och inga noggranna studier om ingående ekvationer kommer att göras.

Byggnadens form och storlek kommer inte att ändras.

De olika zonernas installerade belysningsstyrka kommer inte att ändras. Den installerade belysningsstyrkan anses vara vad som behövs för att uppfylla verksamhetens krav.

Då ingen uppgift finns om vilken utrustning IKEA använder i lokalerna, görs antagandet att de redan har energieffektiva apparater. Detta grundas på att vid nybygge kommer nya energieffektiva apparater att köpas in.

Vidare antas att de dagsljusnivåer (lux) som är angivna i IDA ICE för de olika zonerna uppfyller aktuella krav.

Andra krav gällande t.ex. emissioner från material kommer att anses vara uppfyllda.

1.5 Metod och genomförande

Det här examensarbetet inleds med litteraturstudier. Informationen som inhämtas handlar om nuvarande krav på byggnader från olika myndigheter och hur en byggnad fungerar. Studien har i första hand fokus på hur det går att minska energianvändningen.

Genom fallstudie på ett IKEA-varuhus i Umeå kommer olika tekniska lösningar simuleras i datorprogrammet IDA ICE. Vid beräkningar av köldbryggor kommer datorprogrammet HEAT 2 att användas. Målet är att minska energianvändningen så att varuhuset kan uppnå passivhusstandard. Detta görs genom att följa Kyoto-pyramidens olika steg.

Efter hand som energisimuleringarna är klara analyseras de olika resultaten. Resultaten tillsammans med analyserna leder fram till en slutmodell. Denna modell har mycket lägre energianvändning än den första modellen. Resultaten leder fram till slutsatsen att det går att minska energianvändningen relativt lätt till en nivå så att en lokal kan klassas som en nollenergibyggnad.

1.6 Rapportens upplägg

Kapitelindelningen i litteraturstudien är indelad så första huvudkapitlet handlar om allmänt ställda krav. Därefter följer ett kapitel om hur en byggnads klimatskärm fungerar. Litteraturstudiens sista huvudkapitel handlar om hur man kan upprätthålla ett bra inomhusklimat.

Efter litteraturstudien kommer ett kapitel som beskriver de program som användes. Därefter kommer fallstudiens kapitel som börjar med hur IKEA Umeå är uppbyggt. Följande kapitel följer Kyoto-pyramidens arbetsordning.

2 Litteraturstudie

Studien är inriktad på vilka krav som gäller för en byggnad i Sverige och hur man kan gå tillväga för att minska energianvändningen så att olika krav kan uppfyllas. För att uppfylla kraven behövs kunskap hur en byggnad och dess komponenter fungerar. Därför finns det även kortfattade beskrivningar om bl.a. klimatanläggningar.

2.1 Krav på byggnader

För att en byggnad ska kunna användas till det den är tänkt för finns det specifika funktionskrav. Dessa kan vara av tre olika slag: myndighetskrav, specifika krav och byggnadsspecifika krav (Abel & Elmroth, 2006).

Till myndighetskrav hör bl.a. BBR (Boverkets byggregler) och AFS (Arbetsmiljöverkets föreskrifter). De krav som ställs avser miniminivåer som alltid måste uppfyllas. Det är byggherren som är ansvarig för byggreglerna uppfylls. Andra regelverk kan ha andra ansvariga. T.ex. så är arbetsgivaren ansvarig för att AFS uppfylls. I vissa fall ställer beställaren högre krav än vad myndighetskraven anger.

Verksamhetsspecifika krav är krav för att byggnaden ska kunna användas för sitt avsedda syfte. Även om ett hus uppfyller verksamhetskraven kan det ändå vara en dålig byggnad. För att en byggnad ska vara funktionellt bra behöver även krav gällande inomhusmiljö och förvaltningsegenskaper uppfyllas.

Byggnadens kvalitet säkras i de byggnadsspecifika kraven. Kraven kan innehålla krav på planlösning, estetik, energianvändning m.m. Verksamhetskraven får inte bli sämre p.g.a. dessa krav. De byggnadsspecifika kraven bör utformas så att båda kan uppfyllas till belåtenhet.

2.1.1. Krav på passivhus

Sveriges centrum för nollenergihus definierar ett passivhus som följande (Sveriges centrum för nollenergihus, 2014):

”Passivhus är en byggnad som har så låga värmeförluster vid dimensionerande utetemperatur, att den värme som då behövs kan bäras in med den luft som krävs för hygienbehovet.”

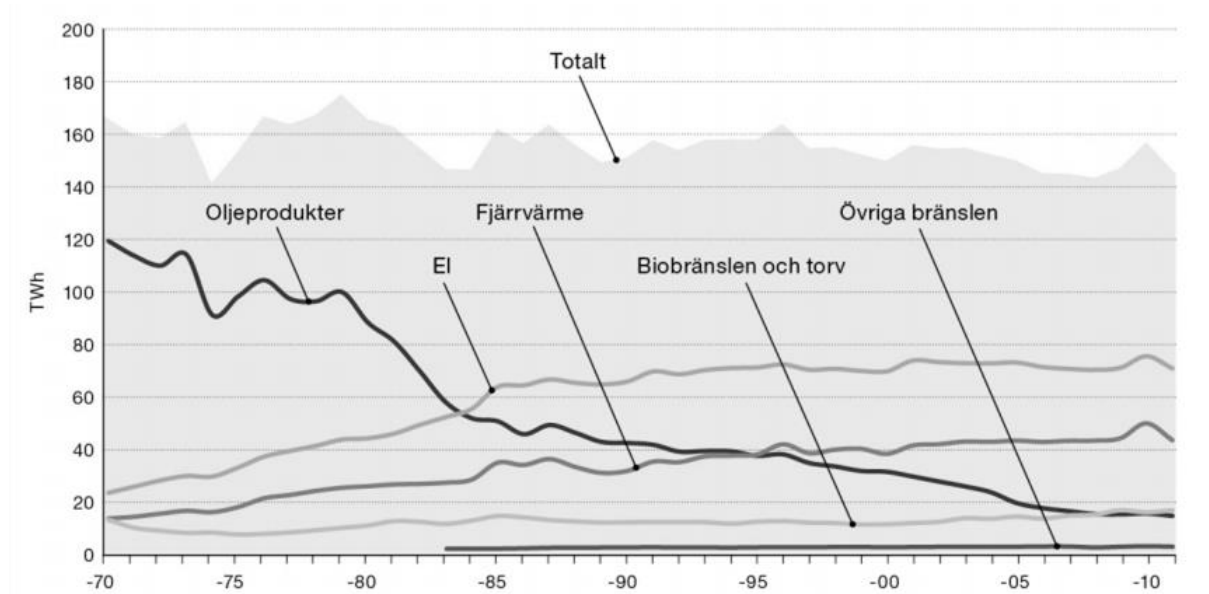
För att en byggnad ska klassas som nollenergihus eller passivhus ska byggnaden uppfylla de krav som Sveriges centrum för nollenergihus tagit fram. Kraven finns att hitta i FEBY 12. De krav som ställs här är krav på bl.a. energianvändningen och värmeförlusten i en byggnad. Dessa krav är högre ställda än de som går att finna i BBR (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012).

De svenska kraven på U-värde för passivhus ställer endast specifika krav för U-värde på fönster. I stället för specifika U-värden på konstruktionsdelar ska värmeförlusttalet vara mindre än ett visst värde. Detta värde beräknas enligt FEBY 12 (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012). I värmeförlusttalet tas hänsyn till U-värden och köldbryggor. Som riktvärde på U-värde för klimatskal går det att använda sig av de tyska kraven, som dock är hårdare än de svenska. Enligt tysk passivhusstandard ska U-värdet för ogenomskinligt klimatskal vara mindre än 0,15 W/(m² K) (Passivhaus Institut, 2014).

2.2 Energianvändning i lokaler

Hur mycket energi byggnaden behöver beror på energiflödena i byggnaden. Energi som tillförs byggnaden kommer från personvärme, solvärme, verksamhetsel, driftel, varmvatten och värmesystemet. Energin försvinner ut ur byggnaden från ventilation, väggar, tak, grund, fönster, dörrar, kallvatten och avlopp. Balanstemperaturen är den temperatur där värmeförlusten från rummet är lika stor som värmealstringen (Abel & Elmroth, 2006). När utetemperaturen går under balanstemperaturen behöver värme tillföras för att innetemperaturen ska hålla önskad temperatur. Vid utomhustemperaturer över balanstemperaturen kommer ett värmeöverskott behöva transporteras bort.

Nybyggda lokalers energianvändning ser annorlunda ut än äldres. Istället för att större delen av energianvändningen ligger i att täcka energiförlusterna genom klimatskalet går energin istället åt till att driva elektriska apparater. Figur 2 visar hur energianvändningen i Sverige har förändrats genom tiden. Värmebehovet har minskat, men elanvändningen har ökat. De elektriska apparaterna hjälper till att värma upp byggnaden, vilket ofta leder till ett värmeöverskott så fort det finns verksamhet i lokalerna. Då det ofta kan bli mycket varmt i lokaler behövs klimatinstallationer som kan föra bort värmeöverskottet, men även tillföra värme vid behov. Att kyla medför större energiåtgång jämfört med att värma. Därmed är det åtgärder som kan minska värmeutveckling och klimatstyrande installationer energiåtgång som ger de stora energivinsterna (Abel & Elmroth, 2006).



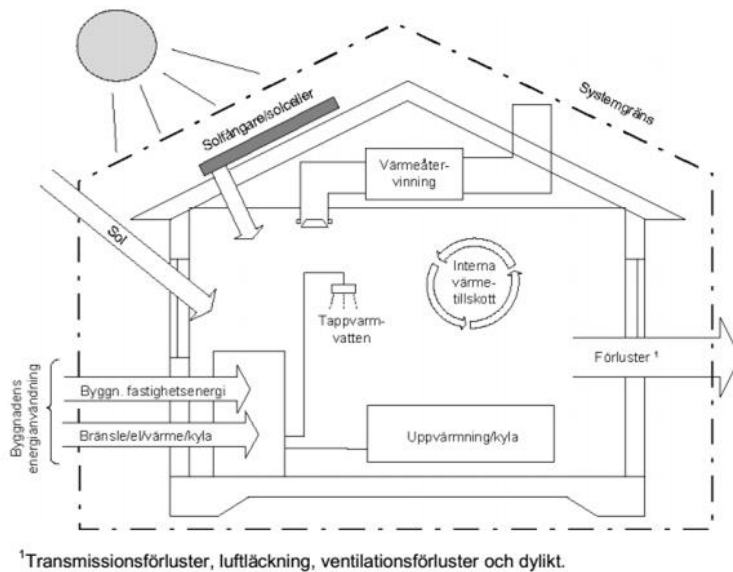
Figur 2 - Energianvändningen i bostads- och servicesektorn 1970-2011, TWh (Energimyndigheten, 2013)

Enligt BBR är definitionen av en byggnads energianvändning:

”Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnads fastighetsenergi. Om golvvärme, handdukstork eller annan apparat för uppvärmning installeras, inräknas även dess energianvändning.”

Byggnadens specifika energianvändning är byggnadens energianvändning per A_{temp}/m^2 . A_{temp} är den yta innanför klimatskalet som avses att värmas till mer än $10^{\circ}C$

Byggnadens energianvändning avgränsas genom en systemgräns. Denna är förutbestämd av BBR, se figur 3.



Figur 3 - Systemgränsen för en byggnad (Boverket, 2012)

Hur mycket energi en nybyggd byggnad får lov att göra av med per år regleras av BBR. FEBY12 ställer ännu hårdare krav. Kraven på elförbrukningen ser olika ut beroende på vilken typ av uppvärmningssystem som används.

FEBY12 och BBR har olika definitioner på vad som är en eluppvärmd byggnad. Enligt FEBY12 är eluppvärmda byggnader "byggnader med renodlat elvärmda värmesystem för uppvärmning och varmvatten" (Sveriges centrum för nollenergi, 2012). De "avser byggnader med alla slags elvärmda system (inklusive värmepumpar) för uppvärmning och varmvatten oavsett installerad effekt" ingår i definitionen eluppvärmd byggnader.

FEBY12 har olika beräkningsätt för att ta fram den levererade årsenergin till byggnader beroende på hur byggnaden är uppvärmd. Används blandade energislag viktas energislagen för att gynna vissa energikällor, och då missgynna naturligtvis andra mindre önskvärda energikällor. I renodlade uppvärmningssystem används samma energislag (Sveriges centrum för nollenergi, 2012).

Enligt BBR är en eluppvärmd byggnad en byggnad med ett uppvärmningssystem där den installerade effekten för uppvärmning är större än $10 \text{ W/m}^2(A_{\text{temp}})$ (Boverket, 2013). Finns det t.ex. en bergvärmepump med en lägre effekt än $10 \text{ W/m}^2(A_{\text{temp}})$ räknas inte detta uppvärmningssystem som eluppvärmt enligt BBR, vilket det gör i FEBY12.

2.3 Strategi för att minska energianvändningen

Kyoto-pyramiden kan användas som en strategi för hur man kan gå till väga för att minska energianvändningen i en byggnad. Genom att börja i botten med att minimera värmebehovet, sedan elbehovet och så vidare blir dimensioneringen av energikällan anpassad efter behovet (Elmroth, o.a., 2010; Lavenergi programmet).



Figur 4 - Kyoto-pyramiden

De olika nivåerna i pyramiden kan innebära:

- Minimera värmebehovet – tjock isolering och lufttätet, liten omslutande area jämfört med volym, undertryckbalanserad ventilation med värmeåtervinning
- Minimera elbehovet – Effektiva värmepumpar, energieffektiva apparater och lågenergilampor
- Utnyttja solenergin – Orientering av byggnaden, fönsterstorlek, solfångare och solceller
- Visa, reglera – Installera ett system som ger återkoppling till energianvändningen, behovsstyrning av värme, ventilation och belysning
- Välj energi – minimera koldioxidutsläpp och val av energislag

2.4 Klimatskal

Klimatskalet är den yta kring en byggnad som är till för att isolera en byggnad så att ett tillfredsställande klimat upprätthålls. Förmågan att isolera beror på många olika faktorer. Följande avsnitt tar upp de mest väsentliga.

2.4.1 U-värden och köldbryggor

U-värde är ett mått på hur bra en konstruktion isolerar. Ju lägre U-värde desto bättre isoleringsförmåga. BFS 2011:6 med ändringar ställer krav på ett högsta U-värde för en nybyggnation under 100 m². Annars gäller kraven för specifik energianvändning.

I en homogen vägg sker värmeflödet jämt över väggen. Om det någonstans finns ett lägre värmemotstånd blir värmeflödet genom konstruktionen större i den punkten, d.v.s. det bildas en köldbrygga (Nevander & Elmarsson, 1994; Abel & Elmroth, 2006). Ju lägre U-värde en konstruktion har desto större är köldbryggans relativa betydelse. Risken ökar för att den kalla köldbryggan kyls ner intilliggande material och luft och därmed orsakar kallras och ofrivilliga luftrörelser, s.k. konvektion. I energieffektiva hus är det viktigt att reducera köldbryggorna för att få en bra komfort inomhus (Abel & Elmroth, 2006).

Det finns två typer av köldbryggor: linjära och punktformiga. Linjära köldbryggors inverkan uttrycks med hjälp av Ψ -värdet som anger värmegenomgångskoefficienten i $W/(m \cdot K)$. På motsvarande sätt anger X -värdet värmegenomgångskoefficienten i W/K för punktformiga köldbryggor (Abel & Elmroth, 2006). Ett så lågt Ψ - och X - värde som möjligt ska eftersträvas.

2.4.2 Fönster

Då en fönsterkonstruktion oftast har högre U-värde än ytterväggen i sig försvinner en större mängd energi ut från fönstret jämfört med ytterväggen. Med dagens relativt låga U-värde på glaskonstruktionen är karmen och infästningen i väggen den svaga punkten som kan ge upphov till den största värmeförlusten av fönsterkonstruktionen. Samtidigt kan värme, önskad likväl som oönskad, komma in genom fönstret genom solinstrålning.

För att minska mängden energi som försvinner ut ska ett fönster med så lågt U-värde, för både karm och glas, väljas. Ett lågt U-värde bidrar även med att risken för kallras minskar. Vid tillräckligt bra U-värde går det att ta bort konvektorer under fönstren som ska motverka kallras.

För att minska överskottsvärmen behöver solenergitransmittansen, eller solfaktorn, g vara så låg som möjligt. Solfaktorn definieras som (Abel & Elmroth, 2006):

$$g = \frac{\text{Solinstrålning genom fönstret in i rummet}}{\text{Solinstrålning utifrån på fönstret}}$$

g -värdet kan sänkas antingen genom att själva fönstret har lågt g -värde eller genom att använda externa solskydd. Externa utanpåliggande solskydd är mest effektiva (Abel & Elmroth, 2006).

2.4.3 Lufttäthet

För att inte få ofrivillig ventilation, behöver byggnaden vara lufttät. Ofrivillig ventilation kan uppstå där olika konstruktionsdelar möts, t.ex. mellan vägg och fönster. Otätheter mellan byggnadsdelar kan även orsakas av en byggnads rörelser (Bokalders & Block, 2009). Förutom att värme läcker ut vid otätheter kan varm fuktig luft strömma ut i en konstruktionsdel där luften kyls och kondens kan uppstå (Abel & Elmroth, 2006). I sådana otätheter finns en förhöjd risk för mögel. Täthet är extra viktigt om det ventilationssystem som används kan orsaka övertryck, vilket ska undvikas.

God lufttäthet önskas för att varm luft ska hindras att transporteras från väggens varma del till den kalla. Om så skulle ske finns det risk för att vatten kondenserar i väggen och mögelrisk uppstår. Dessutom önskas framförallt ett kontrollerat luftflöde så att värme inte försvinner ut genom klimatskalet. Om luften försvinner ut genom ett rum på ett kontrollerat sätt, som genom ett ventilationssystem, går det att återvinna värme. Därmed går det åt mindre energi för att värma tilluft (Bygga L, 2014).

Det lättaste sättet att göra ett hus lufttätt är att använda sig av lufttäta material. Material som är lufttäta i sig själva kan vara t.ex. betong. Skarvar mellan konstruktionsdelar måste projekteras noggrant så lufttätningen blir god även där. För att en konstruktion verkligen ska bli lufttät är inte bara projekteringen viktig. En viktig del som bestämmer hur lufttätt det blir är själva utförandet. Vid utförandet ska skarvar och springor tätas noggrant för att lufttäteten verkligen ska bli låg.

Lätta stommar, som t.ex. träregelstommar, brukar vara mer luftgenomsläppliga p.g.a. porositeten. En sådan konstruktion behöver ett speciellt funktionellt lufttätt materiallager för att bli lufttät. Monteringen av ett sådant material är ett kritiskt moment för lufttäteten. Ett lufttätt material som används kan vara t.ex. en plastfolie eller ett skivmaterial som t.ex. gips.

Fukttransport sker till största delen med hjälp av konvektion (transport med hjälp av luftström). Fukt kan även transporteras genom diffusion (Adalberth, 1998). Diffusion, som sker mycket långsamt, beror på att ånghalten i princip alltid är högre inne än ute. I försök att jämna ut skillnaderna ånghalterna vill fukt tränga ut i väggen inifrån och ut (SP).

Ett diffusionstäta material förhindrar att fukt transporteras genom klimatskärmen. Materialet ska placeras i den innersta tredjedelen av väggen. Detta förhindrar att det blir kondens på det lufttäta materialet. För att inte riskera att materialet blir perforerat under brukarskedet kan det skyddas av ett installationsskikt. Ett installationsskikt är ett tunnare, ca 50-100 mm, lager isolering som ligger innanför det diffusionstäta materialet. I detta skikt dras även installationsledningar som t.ex. elkablar och vattenledningar.

En säkerhetsregel för att inte riskera att vatten blir stående mellan två diffusionstäta skikt är att det innersta diffusionstäta skiktets ånggenomgångsmotstånd ska vara 4-5 högre än det yttersta (Adalberth, 1998). Material som både är luft- och diffusionstäta kallas för ångspärrar. Ett sådant material är plastfolie.

2.5 Solenergi

Energianvändningen och den specifika energianvändningen kan beräknas enligt nedanstående formel (Boverket, 2012):

Byggnadens energianvändning = Uppvärmning + Komfortkyla + Tappvarmvatten + fastighetsenergi – interna värmetillskott – Solenergi

$$\text{Byggnadens specifika energianvändning} = \frac{\text{Byggnadens energianvändning}}{A_{temp}}$$

En byggnads energianvändning får lov att reduceras med den mängd energi som byggnaden kan tillgodogöra sig från solceller och/eller solpaneler. Solcellerna/ solpanelerna ska vara placerade på byggnaden eller i dess närhet (Boverket). Genom att installera solenergi går det enligt BBR:s definition att minska byggnadens specifika energianvändning eftersom den levererade energin till byggnaden minskar.

Skillnaderna mellan solinstrålning mot horisontellt plan och vinkeln på den optimala solinstrålningen blir större ju längre från ekvatorn man kommer. Den optimala vinkeln i Sverige kan variera från 30-

80° beroende på var i Sverige och vilken årstid det är. Ju lägre solen står på himmeln ju större vinkel behövs (Kjellsson, 2004). Som rekommendation brukar 45° vinkel och en riktning mot söder användas (Energimyndigheten och Boverket, 2005).

Solinstrålningens effekt i Sverige varierar från 1100 kWh/år·m² i söder till 900 kWh/år·m² i norr. Ca 50% av denna instrålning är diffus. Plana solfångare och solceller kan, till skillnad mot koncentrerande solfångare, tillgodogöra sig både diffus och direkt solinstrålning (Kjellsson, 2004).

2.5.1 Solceller

En solcell förvandlar ljus till elektricitet. Det uppstår en likström. Därför behöver strömmen en växelriktare innan den kan användas.

Hur mycket el en solcell kan producera beror på solcellernas lutning, orientering och skuggning. En solcell får lägre verkningsgrad ju varmare den blir. Den typ av solceller som har högst verkningsgrad (upp till 22,7% för en modul, som består av flera mindre solceller) är av monokristallt kisel (Bokalders & Block, 2009). De vanligaste systemen som finns på marknaden har dock en verkningsgrad på runt 13 % (Energimyndigheten och Boverket, 2005). Beroende på system kan solcellerna producera 50-150 kWh/m²·år (Svensk solenergi).

2.5.2 Solfångare

Solfångare används för att värma upp vatten och luft. Effektiviteten hos ett solfångarsystem anges i täckningsgrad och mäter hur stor andel av uppvärmningen av varmvatten och värme som systemet kan ersätta av jämfört med ett konventionellt system.

Precis som med solcellerna påverkas effektiviteten av lutning, orientering och skuggning. Med hjälp av säsongslagring som t.ex. akviferer eller berghålslager går det att lagra överskottsvärme från solfångare under sommaren och dra nytta av den på vintern när behovet är som störst och solfångarens effekt är som sämst (Bokalders & Block, 2009). Beroende på system kan solfångare ge 200-700kWh/m²·år (Svensk solenergi).

2.6 Tillgodose ett bra inomhusklimat

För att en byggnad ska kunna användas till det den är avsedd är det inte energibesparing som behövs utan ett bra inneklimat. Detta avsnitt tar upp vad som påverkar inneklimatet och hur det kan mätas.

2.6.1 Termiskt inneklimat

Hur det termiska inneklimatet upplevs beror på många faktorer som t.ex. aktivitetsnivån (metabolism), klädsel, lufttemperatur och operativ temperatur.

Metabolism mäts genom energiomsättningen som ligger bakom kroppens värmealstring. Metabolism anges i met, där 1 met är den effekt en kropp i vila utvecklar. Vid skrivbordsarbete avger en kropp 1,5 met. Kläderna har en isolerande inverkan på kroppen och påverkar därmed hur det termiska klimatet upplevs. Klädernas värmemotstånd mäts i clo, där 0,5 clo innebär lätt inomhusklädsel, 1,0 clo normal inomhusklädsel och 1,5 clo innebär varm inomhusklädsel

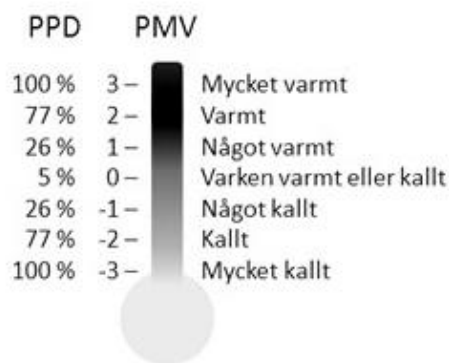
Den operativa temperaturen är ett försök till att beskriva hur människor uppfattar omgivningens termiska klimat. Den är en sammanvägning mellan luftens temperatur och hastighet och strålningen

från omgivande ytor. Med dagens väl isolerade väggar och fönster ligger den operativa temperaturen nära lufttemperaturen, eftersom ytemperaturerna ligger nära lufttemperaturen. Stora glasfasader kan sänka den operativa temperaturen vintertid och höja den under sommartid.

Lufthastigheter över 0,15- 0,20 m/s upplevs som drag. Därmed ska luftrörelser från ventilation i vistelsezoner inte överstiga denna hastighet. För att minska eventuella kallras som kan upplevas som drag kan en värmekälla behövas placeras under stora glaspartier.

Det termiska klimatet kan värderas genom PMV index (Predicted Mean Vote). PMV är ett mått i skala -3 (mycket kallt) till +3 (mycket varmt) om hur människor förväntas bedöma klimatet.

Hur många som är missnöjda med ett inneklimat beror på sambandet mellan människors upplevelse och klimatfaktorer. Den förväntade andelen missnöjda kan förutsägas med PPD-index (Predicted Percentage Dissatisfied). PPD-indexet tar hänsyn till många faktorer såsom klimatfaktorer, metabolism, klädsel och klädernas temperatur. (Abel & Elmroth, 2006).



Figur 5 - Samband mellan PPD och PMV

De krav som ställs enligt BBR 21 är att *"Byggnader och deras installationer ska utformas, så att termisk komfort som är anpassad till utrymmenas avsedda användning kan erhållas vid normala driftsförhållanden"*. Det allmänna rådet är att den operativa temperaturen i bostäder ska vara minst 18°C och 20°C vårdlokaler, förskolor, äldreboende och liknande. Temperaturskillnaden i ett rum bör inte överstiga 5K i vistelsezonen. I vistelsezonen bör inte lufthastigheten överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsong och 0,25 m/s under resten av tiden.

2.6.2 Hygieniskt inneklimat

Gas- och partikelformiga föroreningar finns överallt. Partikelhalten ökar i ett rum då människor vistas där. Föroreningar i inomhusluft kan även komma från byggnadsmaterial, inredning och maskiner (Abel & Elmroth, 2006). Många av föroreningarna är svåra att mäta. Därför används halten av koldioxid, CO₂, som indikator på andra föroreningar och på luftkvaliteten i ett rum. Koldioxid fungerar som indikator på föroreningar producerade av människor eftersom koldioxid bildas samtidigt som andra föroreningar. Rekommendationen från Arbetsmiljöverket är att koldioxidhalten inte bör överstiga 1000 ppm (0,1 %) (Abel & Elmroth, 2006; Arbetsmiljöverket, 2013).

Luftfuktigheten har relativt liten betydelse för hur termiska klimatet upplevs, men desto större för det hygieniska inneklimatet. Ofta accepteras låg luftfuktighet. Problem kan uppstå vid hög luftfuktighet då emissioner från material ökar. Vid relativa fuktigheter över 75 % kan mögel börja

växa. Detta förutsätter dock att andra förutsättningar är uppfyllda, t.ex. att det finns näring för möjligt. (Arbetsmiljöverket, 2013). En luftfuktighet på 40-60 % ger bäst komfort. En luftfuktighet på 30-40 % under det kalla halvåret och 40-60 % under det varma halvåret bör eftersträvas (Bokalders & Block, 2009).

2.6.3 Uppvärmningssystem

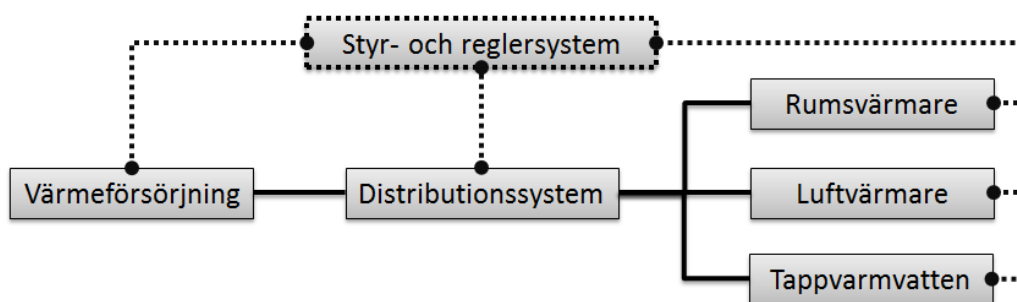
För att upprätthålla ett bra termiskt klimat behövs möjligheten till att kunna värma och i vissa fall att kyla. En byggnad kan värmas upp genom:

- Luft- eller vattenburen värme
- Strålningsvärme från en elradiator eller eldstad.

Den behagligaste uppvärmningen sker genom strålning. Uppvärmningssystem som värmer upp genom strålning och är energisnåla är vattenburna system med låga framledningstemperaturer. Det finns även enstaka slutna luftburna system som ger strålningsvärme (Bokalders & Block, 2009).

Om en byggnad värms upp genom ett luft- eller vattenburet system består värmeförsörjningen till ett rum av 4 delar (Abel & Elmroth, 2006).

1. Värmeförsörjningen är den första delen. Denna del kan bestå av förbränning i egen panna, värmealstring från el till värme, solvärme m.m. Vilket alternativ som väljs beror på läge, byggnadstyp, miljöhänsyn och ekonomi.
2. Värmen kan sedan föras ut i byggnaden genom ett luft- eller vattendistributionssystem. Vattensystem är tyst och kräver mindre underhåll än ett luftburet system. I ett luftburet system kan man enkelt ställa in tillufttemperaturen i en byggnad eller till en del av en byggnad, men för ett specifikt rum krävs ett mycket mer invecklat system.
3. Genom värmare överförs värme från distributionssystemet ut i rummet.
4. Att rätt mängd energi förs ut i rummet styrs av ett styr- och reglersystem. Hur stor mängd energi varje rum behöver beror på utomhustemperaturen, den interna värmealstringen och energiförluster. Ett vattenburet system är mer trögriklare än ett luftburet system som snabbt kan ändra tillufttemperatur. I ett hus med lågt specifikt effektbehov kan en liten mängd tillförd energi göra en stor skillnad.



Figur 6 – Principiell uppbyggnad av ett värmesystem

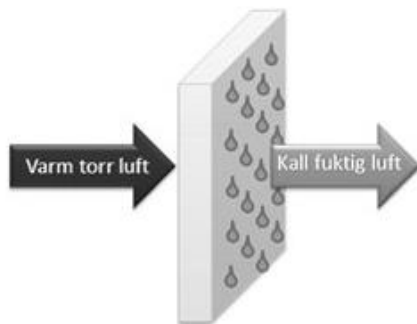
En stomme med hög värmekapacitet kan dämpa temperaturändringar, då materialen kan lagra en viss mängd värme. Vid värmetoppar absorberar material värme från strålning, som sedan avges konvektivt till rumsluften när temperaturen i rummet sjunker (Abel & Elmroth, 2006).

2.6.4 Kyla

Värmeöverskott kan föras bort med hjälp av luft eller med kylda ytor.

Om ett rum kyla med luft tillsätts en lägre tillufttemperatur än rummets befintliga. Så länge den önskade tilluften i ett rum är högre än utomhustemperaturen behöver tilluften inte kyla. Tilluften får rätt temperatur genom reglering av värmeåtervinningen. Fördelen med ett sådant system är att luften enbart behöver kyla varma dagar. Tyvärr kan det även behöva dimensioneras för en större effekt än ett vattenbaserat system (Abel & Elmroth, 2006). Om uteluften till tilluften i ett luftkonditioneringssystem behöver kyla kan det ske med hjälp av värmepumpsteknik där kylningen kommer från kall luft eller kallt vatten (Bokalders & Block, 2009).

Vid kylning av tilluft kan evaporativ kylning användas. Tekniken går ut på att luften passerar en våt yta. Luften tar upp fukt och kyla samtidigt av att vattnet tar energi från luften för att avdunsta från ytan, se figur 7.



Figur 7 - Evaporativ kylning

För att undvika att tilluften inte ska bli för fuktig kyla frånluften evaporativt. Kylan förs över till tilluften med hjälp av värmeväxlare (Abel & Elmroth, 2006). Kylning med denna teknik är billigare än med värmepumpar (Bokalders & Block, 2009).

Det finns nyutvecklade system som endast kräver el till cirkulationspump och där vattnet kyla i ett slutet kyltorn. I kyltornet används teknik som går ut på evaporativ kylning. Utan maskinell kylning kan årsenergibehovet för att kyla sänkas från 10-30 kWh_{el}/(m²år) till 3-10 kWh_{el}/(m²år). Förutom energibesparingen blir även anläggningskostanden lägre (Bergsten, 2008).

Med hjälp av solceller går det att kyla tilluft på olika sätt. Ett enkelt sätt är att låta solcellerna driva en kompressor, som fungerar som en omvänd värmepump. Ett annat sätt är att låta solen värma köldmedium till en absorptionsvärmepumps varma sida. Ett tredje sätt är att använda solkyla till att kyla tilluft med en kombination av sorption och evaporativ kyla. Idén grundar sig på att inte använda någon värmepump utan istället en värmeväxlare mellan till- och frånluft (Bokalders & Block, 2009).

Vid ett vattenbaserat kylningssystem behöver systemet vara igång nästan konstant eftersom många lokaler har ett värmeöverskott nästan hela året runt. Kylbehovet blir lika stort som värmeöverskottet, men den dimensionerande kyleffekten blir lägre jämfört med det luftbaserade. Kylbafflar eller flätkylare behöver kyla även när det är kallt ute. För att minska behovet av elenergi för detta går det att använda frikyla (Abel & Elmroth, 2006). Frikyla kan t.ex. vara kall uteluft, kall luft

från borrhål eller kallt vatten från en sjö. Vissa orter har även fjärrkyla som går att använda (Bokalders & Block, 2009).

2.6.5 Ventilation

Ventilationens främsta uppgift är att föra bort föroreningar från rumsluften. Att föra bort eller tillsätta värme är en eventuell sekundär uppgift. Ventilation är även till för att reglera relativ luftfuktighet. Om luftkvaliteten är dimensionerande för luftflödet är det den största föroreningskällan som bestämmer luftflödet. Om värmeöverskotten är dimensionerande, vilket många gånger är fallet i lokaler, behövs det ofta ett högre luftflöde än om luftkvaliteten är dimensionerande (Abel & Elmroth, 2006).

I de fall de hygieniska kraven är dimensionerade är oftast luftflödet konstant. Vid konstanta luftflöden används CAV-system (Constant Air Volume). När värmeöverskottet är dimensionerande och ett varierande luftflöde behövs används ett VAV-system (Variable Air Volume). Luftflödet i ett VAV-system kan varieras efter närvaro eller kyl- eller värmebehov. Det finns även ett DVC-system (Demand Controlled Ventilation) som ändrar luftflödet efter rummets användning. Reglering kan ske antingen manuellt eller automatiskt. Oftast styrs flödet av koldioxid- och temperaturgivare (Dahlblom & Warfvinge, 2010). Det här systemet kan ses som en variant av VAV.

Beroende på rummets utformning och hur tilluft tillförs rör sig rumsluft på olika sätt. Luftrörelserna påverkas mer av andra parametrar, t.ex. en öppen dörr, än av ventilationssystem. Ett dåligt utformat ventilationssystem kan orsaka skiktningar, kortslutning eller så att tilluften inte fördelas jämt i rummet.

Tilluft kan komma direkt utifrån eller förvärmas innan den når ett rum. Hur tilluften tillsätts beror på vilket system som väljs. I huvudsak finns det fyra principer (Abel & Elmroth, 2006):

- Självdragssystem
- Frånluftssystem
- Hybridsystem
- Från- och tilluftssystem med eller utan värmeåtervinning

Hybridventilation som är ett självdragssystem med en frånluftsflykt som används när de naturliga drivkrafterna inte är tillräckligt stora för att skapa önskvärt luftflöde.

Värmeåtervinning sker vanligtvis med hjälp av värmexlaren. Det finns två grundtyper. I den regenerativa överförs värme till en massa som värms och kyls växelvis. I den rekuperativa strömmar värme genom en värmexlaren. Värmeåtervinning kan även ske genom att en viss del av frånluften återanvänds i tilluften, så kallad återluft. Dock kan detta leda till att luftkvaliteten blir sämre. En andel av de föroreningar som ska ventileras ut kommer att föras tillbaka in med tilluften. (Abel & Elmroth, 2006). Ventilation med återluft finns i stort sett bara i varma och fuktiga klimat, och då p.g.a. ekonomiska skäl.

Ett FTX-system är ett ventilationssystem som återvinner värme ur frånluften och tillför den till tilluften. Det finns risker med ett sådant system. En felaktig inställning kan orsaka övertryck i en byggnad, som i sin tur kan orsaka fuktproblem. För att motverka detta ska ventilationssystemet ställas in så att det orsakar undertryck. Detta görs genom att mängden frånluft är större än mängden

tilluft. Systemet kräver rätt stort underhåll som ofta missköts. Det kan även ge upphov till buller p.g.a. fläktar.

En frånluftsvärmepump tar värme från frånluften för att värma varmvattnet. Systemet går att installera i ett vanligt frånluftssystem. En avloppsvärmeväxlare tar vatten från använt varmvatten för att förvärma kallvatten (Bokalders & Block, 2009)

Beroende på omsättningshastigheten i ett rum kan tilluften behöva förvärmas för att inte orsaka drag. Om omsättningshastigheten ligger på $1,5 \text{ h}^{-1}$ behöver tilluftstemperaturen vara minst 15° . Därmed kan ett mer avancerat system med ett tilluftaggregat med varmare och ett kanalsystem behövas. Vid lägre omsättningshastigheter kan ett enklare system användas (Abel & Elmroth, 2006).

Ett NNE-hus är för tätt för att ett självdragssystem ska vara tillräckligt. Därför används ofta ett till- och frånluftssystem. Med hjälp av ett värmeåtervinningssystem minskas energimängden för att värma upp tilluften.

Verkningsgrader

Hur effektiv en värmeåtervinnare är anges av temperaturverkningsgraden η_T , som kan variera mellan 0-1. Denna kan beräknas ur följande ekvation (Abel & Elmroth, 2006):

$$\eta_T = \frac{t_a - t_{ute}}{t_{från} - t_{ute}}$$

Där

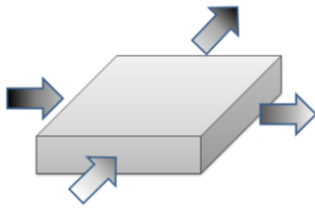
t_a = Lufttemperatur efter återvinning

$t_{från}$ = Frånluftens temperatur

t_{ute} = Uteluftens temperatur

Indirekta rekuperativt värmeåtervinningssystem (vätskekopplad värmeväxlare) brukar ha en temperaturverkningsgrad på $\eta_T \approx 0,5 - 0,6$ (Abel & Elmroth, 2006; Svensk ventilation). Frånluften värmer upp en cirkulerandevätska som används för att värma tilluften. Systemets utformning gör så att till- och frånluft inte behöver placeras bredvid varandra (Svensk ventilation).

Direkt rekuperativt värmeåtervinningssystem (plattvärmeväxlare) brukar ha en temperaturverkningsgrad på $\eta_T \approx 0,6 - 0,8$. Till- och frånluften passerar mellan lameller av aluminium. Genom aluminiumet överförs värme från frånluften till tilluften. Motströmsvärmeväxlare är effektivare än korsströmsvärmeväxlare. Motströmsvärmeväxlare kan komma upp i en verkningsgrad på 0,9 jämfört med korsströmsvärmeväxlarens 0,5-0,6 (Svensk ventilation). P.g.a. lamellerna kan den här typen av värmeväxlare vara svår att rengöra.



Figur 8 - Schematisk bild över plattvärmväxlarens luftflöden

Regenerativt värmeåtervinningssystem (roterande värmväxlare) brukar ha en temperaturverkningsgrad på $\eta_T \approx 0,7 - 0,85$ (Abel & Elmroth, 2006; Svensk ventilation). Detta system har alltid ett visst läckage av frånluft till tilluft, vilket innebär att en viss del av de bortventilerade föroreningarna följer med tilluften in i byggnaden igen. Läckaget kan ligga runt 5-10% (Abel & Elmroth, 2006). Frånluften värmer upp en rotor av aluminium som i sin tur värmer upp tilluften. Fördelen med systemet är lågt tryckfall, vilket betyder lågt fläktbehov och elenergianvändning. Dessutom är systemet lätt att rengöra (Svensk ventilation).



Figur 9 -Schematisk bild över roterande värmväxlarens luftflöden

Värmepumpars värmefaktor kallas för COP (coefficient of performance). Värmefaktorn anger förhållandet mellan tillförd och levererad energi (Elmroth, o.a., 2010). Formeln för värmefaktorn är (Nordman, Andersson, Axell, & Lindahl, 2010):

$$COP = \frac{Q_{VP}}{W_{VP}}$$

Där

Q_{VP} = Producerad värme

W_{VP} =Använd energi (köpt energi)

För att redovisa hur stor värmefaktorn i genomsnitt är under en hel säsong används SPF (Seasonal Performance Factor), som skiljer sig från COP som är framtaget vid tester i ett laboratorium.

För ett ventilationssystem används SFP (Specific Fan Power) för att beräkna eleffektiviteten. SFP beräknas enligt (Föreningen V, 2000):

$$SFP = \frac{P_{tf} + P_{ff}}{q_f} \text{ [kW/(m}^3\text{/s)]}$$

Där

P_{tf} = Total fläkteffekt för tilluftsfläktar vid dimensionerande luftflöde (kW)

P_{ff} = Total fläkteffekt för frånluftsfläktar vid dimensionerande luftflöde (kW)

q_f = Dimensionerande luftflöde genom byggnaden, lämpligen frånluftsflödet (m³/s)

Ju lägre SFP desto mer eleffektiv är ventilationssystemet.

BBR har tagit fram ett allmänt råd för hur högt SFP maximalt bör vara för att ventilationssystemen ska vara så eleffektiva som möjligt. Följande värden på SFP bör enligt BBR ej överskridas (Boverket, 2013):

Tabell 1 - Allmänt råd för maximal SFP för ventilationssystem

Typ av ventilationssystem	SFP [kW/(m ³ /s)]
Från- och tilluft med värmeåtervinning	2,0
Från- och tilluft utan värmeåtervinning	1,5
Frånluft med återvinning	1,0
Frånluft	0,6

3 Beräkningsprogram

För att kunna göra en bra simulering under tid både vad gäller energi och inomhusklimat behövs beräkningsprogram. Beräkningarna har många parametrar och skulle ta alldeles för lång tid att göra för hand. Men för att kunna göra en datorsimulering behövs en förståelse för hur programmet fungerar, tänker och dess brister.

3.1 IDA ICE

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) är ett program som kan beräkna energianvändningen och inomhusklimatet i en byggnad eller i ett rum. Hänsyn tas bl.a. till orientering, omgivning, solinstrålning, värmelagring i material, luftläckage och väderförhållanden. IDA ICE kan beräkna värme och luftläckage mellan olika zoner, något som få energiberäkningsprogram behärskar. Det går att ange uppvärmnings- och kylsystem samt energikällor som t.ex. solceller och geotermisk värme. Om behov finns går det att koppla och detaljstyra olika rördragningar genom att göra egna kopplingscheman, annars gör programmet det automatiskt. Ventilation och solavskärmning kan vid önskemål ställas in så att de justeras automatiskt eller manuellt beroende på parametrar som själv går att bestämma (Equa Solutions AB).

Om en beräkningsmodell som inte finns inbyggd i programmet skulle behövas göras, går det att skapa egna nya komponenter genom Neutral Model Format (NMF) eller importera beräkningsmodeller från andra program genom detta format. Om det finns frågetecken kring ett resultat går det att se hela beräkningsgången, genom att studera programmets ekvationer och beräkningar med aktuella värden. Det går att jämföra resultat mot olika krav t.ex. mot BBR. Vid behov kan programmet miljöcertifiera en byggnad mot LEED, BREEAM eller DGNB (Equa Solutions).

Köldbryggors inverkan går att ställa in genom att ange att köldbryggans värmegenomgångskoefficient är från *none* till *very poor*. Det går även att sätta in egna värden på köldbryggorna.

Tabell 2 - Köldbryggors gradering i IDA ICE

Typ av köldbrygga	None [W/(K·m)]	Good [W/(K·m)]	Typical [W/(K·m)]	Poor [W/(K·m)]	Very poor [W/(K·m)]
Yttervägg/ bjälklag	0	0,01	0,05	0,2	0,4
Yttervägg/ innervägg	0	0,01	0,03	0,2	0,4
Yttervägg/ yttervägg	0	0,06	0,08	0,2	0,8
Yttervägg/ fönster	0	0,06	0,08	0,2	0,8
Yttervägg/ dörr	0	0,02	0,03	0,06	0,4
Tak/ yttervägg	0	0,07	0,09	0,3	0,8
Grund/ yttervägg	0	0,08	0,14	0,3	0,8
Balkonggolv/ yttervägg	0	0,1	0,2	0,8	1,2
Grund/ innervägg	0	0,01	0,03	0,2	0,4
Tak/ innervägg	0	0,01	0,03	0,2	0,4

Genom detta system behövs inte varje köldbrygga räknas ut. Om användaren har erfarenhet av hur stor en köldbryggas värmegenomgångskoefficient är beroende på utformning går det att få ett relativt bra resultat genom att uppskatta denna. Exakta beräkningar av köldbryggor är

arbetskrävande och om inga förenklingar ska göras behövs datorprogram för att kunna hantera beräkningen praktiskt.

En del värden i programmet är länkade till varandra. Om ett värde har en grå bakgrund betyder det att värdet är beräknat genom att det är länkat till andra parametrar. Om bakgrunden är gul är den grå länken bruten och ett eget värde är inskrivet. Värden med blå bakgrund betyder att värdet är standardvärde.

Vid grundläggning används i första hand modell enligt ISO-13370. Då tar IDA ICE hänsyn till byggnadens storlek och grundläggningsdjupet när beräkning av grundens U-värde genomförs. Marktemperaturen kommer att vara en dämpad utomhustemperatur, som även beror på byggnadens storlek och djup. Den andra modellen ICE 3 är en enklare modell med en konstant marktemperatur.

Om en vattenpumpens effekt anges vara obegränsad räknar IDA ICE ut den effekt som kommer behövas. Formeln som används är:

$$P_{Pump} = \frac{P_{SetMax} \cdot HeatingVolumeFlow}{Eta_{Pump}} + k_1 Q_{heating} + k_2 Q_{Dom_wat} [W]$$

Där

P_{SetMax} = Normal tryckhöjd

Eta_{Pump} = Pumpens verkningsgrad. Oberoende av tryck och flöde.

k_1 = Faktor för pumpkraft proportionerlig till distribution av värme till byggnad

k_2 = Faktor för pumpkraft proportionerlig till distribution av värme till hushållsvarmvatten

$HeatingVolumeFlow$ [m³/s] vattenflöde för distribution av rumsvärme

$Q_{heating}$ [W] värmeeffekt till uppvärmning av byggnad

Q_{Dom_wat} värmeeffekt till uppvärmning av hushållsvarmvatten

Energien belastar elmätaren för installationer/fläktar

Belysning

Belysningen anges i installerad watt per enhet. Därmed behövs även antalet enheter av varje sort anges. Hur effektiva armaturerna är anges i lm/W, och hur stor andel av energin som blir till värme.

Belysningen kan ställas in med schema, ljusstyrkan i rummet eller en blandning av dessa. Hur stor ljusstyrkan som mäts i lux ska vara i rummet anges specifikt för zonen. Vid ett minvärde tänds belysningen och släcks vid ett maxvärde.

Solavskärmning

Solavskärmning kan vara fast eller rörlig. Den rörliga kan ställas in efter schema, ljusstyrkan genom fönster eller en blandning av båda. Grundvärdet för att solavskärmning ska aktiveras är 100 W/m² genom fönstret.

3.2 HEAT2

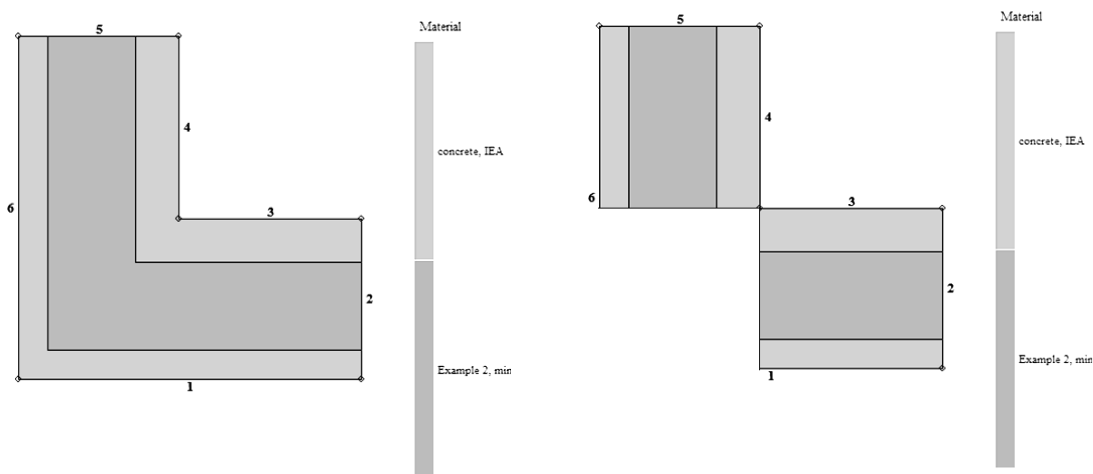
HEAT2 är ett datorprogram som beräknar värmeflödet genom material i två dimensioner. Därmed går det att använda programmet när tvådimensionella köldbryggor ska beräknas. Om temperaturskillnaden mellan den varma och kalla sidan sätts till 1°C fås svaret direkt i W/m·K. Köldbryggan räknas ut enligt:

$$\psi_{\text{linjeköldbrygga}} = q_{\text{beräkningsmodell}} - q_{\text{referensmodell}}$$

Där

$q_{\text{beräkningsmodell}}$ är värmeflödet ser ut i detaljen och omgivande material

$q_{\text{referensmodell}}$ är hur detaljen ser ut i omgivande material när köldbryggan är borta



Figur 10 - beräkningsmodell för ett ytterhörn

För att beräkningarna ska bli korrekta ska innerytan vara lika stor i båda fallen. Detta för att köldbryggor inte är linjärt avtagande och det inte går att säga exakt vart influensen från köldbryggan slutar.

I detta arbete kommer köldbryggorna förenklas så att enbart material som bidrar till isolering kommer tas med. Takmembran och likande påverkar inte isoleringen nämnbart och kommer inte att användas i HEAT2.

Vid beräkning av köldbryggor vägg/fönster och vägg/dörr behövs information hur karmarna är uppbyggda. Då denna information saknas kommer dessa köldbryggor uppskattas genom att ta ett medelsnitt på hur bra övriga köldbryggor är genom att utnyttja IDA ICE:s klassning av köldbryggor väldigt dåliga till väldigt bra.

4 Fallstudie

Teorin i föregående kapitel kommer att i denna fallstudie tillämpas på ett IKEA-varuhus i Umeå. Målet är att i beräkningarna uppnå passivhusstandard och samtidigt uppfylla krav både myndighets- som verksamhetskrav.

4.1 Sammanställning av alla krav

Tabell 3 - Sammanställning av krav ställda av Boverket, BELOK, Sveriges centrum för nollenergihus och IKEA

Sammanställning av krav	Klimatzon 1	
VFT _{DVUT}	18,36 W/m ² A _{temp} (Beräkning av värdet redovisas efter tabellen)	
U-värden	U _m (enligt BBR:s definition)	<0,4 W/(m ² ·K)
	Fönster (inklusive karm)	<0,9 W/(m ² ·K)
	Yttervägg	<0,1 W/(m ² ·K)
	Glasfasadssystem (inklusive karmar)	<1,0 W/(m ² ·K)
	Takfönster (inklusive karm)	<0,8 W/(m ² ·K)
	Yttertak	<0,10 W/(m ² ·K)
	Ytterdörrar och fönster	<0,8 W/(m ² ·K)
Solskydd	Solfaktor g<0,3	
Luftläckage, q ₅₀	Max 0,3 l/s·m ² omslutande area genom klimatskärmen vid en tryckdifferens på 50 Pa.	
Gammastrålningsnivån	<0,3 µSv/h	
Radonstrålning - årsmedelvärde	<200 Bq/m ³	
Koldioxid	<1000 ppm	
Termisk komfort	Byggnadens innetemperatur för perioden april – september ska beräknas och redovisas	
Termiskt klimat	Under arbetstid ska rumstemperaturen alltid kunna hållas över 21°C och kunna hållas under en övre gräns mer än 80 arbetstimmar/ år	
Operativ temperatur vid DVUT	Den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18 °C i bostads- och arbetsrum och 20 °C i hygienrum och vårdlokaler. Den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5K. Yttemperaturen på golvet under vistelsezonen beräknas bli lägst 16 °C (i hygienrum lägst 18 °C och i lokaler avsedda för barn lägst 20 °C) och kan begränsas till högst 26 °C.	
Lufttemperatur i vistelsezonen	20 °C vid stillasittande, fysiskt mindre ansträngande arbete 14–15 °C vid rörligt eller fysiskt mera ansträngande arbete. Under arbetstid ska rumstemperaturen alltid kunna hållas över 21°C och kunna hållas under en övre gräns mer än 80 arbetstimmar/ år.	
Dagsljus	Byggnader ska utformas så att tillfredsställande ljusförhållanden är möjliga att uppnå, utan att skaderisker och olägenheter för människors hälsa uppstår.	
Lufthastighet	Lufthastigheten i ett rums vistelsezon bör inte beräknas överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen och lufthastigheten i vistelsezonen från ventilationssystemet inte överstiga 0,25 m/s under övrig tid på året. <0,15 m/s i vistelsezonen vid lufttemperatur 20 °C	

	<0,22 m/s i vistelsezonen vid lufttemperatur 26 °C		
Ventilationsflöde	0,35 l/(s·m ²) under verksamhetstimmar		
Ventilation i kök	18 000 m ³ /h		
SFP	< 1,3 kW/(m ³ /s) VAV i lokaler där VAV accepteras med hänsyn till exempelvis barriärkrav eller hygienkrav. Vid VAV SFP vid 70 % av dimensionerande flöde och CAV vid 100 % av dimensionerande flöde.		
Luftflödesintervall	Intervall mellan 40-100 %		
Buller från installationer dB(A)/dB(C)	Cellkontor	<35/55	
	Storrum	<40/55	
Värmeåtervinning	Roterande växlare	>80%	
	Plattväxlare	>70%	
	Vätskekopplade växlare	>60%	
Byggnadens specifika energianvändning (definition enligt FEBY)	Elvärmd	29 kWh/m ² A _{temp}	
	Icke elvärmd	53 kWh/m ² A _{temp}	
	Icke renodlat system	73 kWh/m ² A _{temp}	
Byggnadens specifika energianvändning (definition enligt BBR)	Elvärmd	Energivå A	60+90(q _{medel} -0,7) kWh/(m ² ·år)
	Icke elvärmd	Energivå A	50+60(q _{medel} -0,7) kWh/(m ² ·år)
Tappvarmvatten	Installationer för tappvarmvatten ska utformas så att en vattentemperatur på lägst 50°C kan uppnås efter tappstället. För att minska risken för skållning får temperaturen på tappvarmvattnet vara högst 60°C efter tappstället.		
Vattenflöde, normflöde	0,2 l/s för tappställen med både varm och kallvatten och för enbart kallvatten 0,1 l/s för vattenklosett och 0,2 l/s för övriga tappställen. Utformningen av vattenledningar och placeringen av vattenvärmare bör vara sådana att tappvarmvatten kan erhållas inom ca 10 sekunder vid ett flöde av 0,2 l/s. Tappvatteninstallationer ska utformas för ett statiskt vattentryck på lägst 1 MPa och med hänsyn tagen till den påverkan som tryckslag medför.		
Pumpverkningsgrad	Pumpar <0,5 kW	>25 %	
	Pumpar 0,5 – 2 kW	>30 %	
	Pumpar > 2 kW	>50 %	

Alla krav visas i bilaga 1.

Beräkning av nytt VFT_{DVUT}

Tabell 4 - Verksamhetstimmar

Redovisning av antal verksamhetstimmar	Under öppettider/vecka	Verksamhet utöver öppettider/vecka	Totalt/vecka
Verksamhetstimmar (T)	66	28	94

Då verksamhetstiden är längre än 60 h/vecka beräknas ett nytt högsta tillåtet VFT_{DVUT} med hjälp av formeln (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012):

$$Max VFT_{DVUT} = VFT_{DVUT} + 0,04 (T - 60) [W/m_2 A_{temp}]$$

Vilket blir

$$17 + 0,04 (94 - 60) = 18,36 [W/m_2 A_{temp}]$$

FEBY rekommenderar att vid beräkning av den specifika energianvändningen ska referensvärden framtagna av FEBY används. Detta för att kunna jämföra byggnaders energiprestanda. De rekommenderar även att den specifika energianvändningen beräknas med faktiska driftförutsättningar för att kunna erhålla ett prognosvärde för byggnaden och för att kunna jämföra kraven med BBR (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012).

Denna rekommendation kommer att följas. Den IDA ICE modell som tillhandahålls av IKEA innehåller de faktiska driftförutsättningarna. Det är i denna modell som ändringar kommer att ändras och jämföras. Efter att en slutgiltig version är framtagen kommer modellen ändras till FEBY 12:s referensvärden för att kontrollera så att byggnaden uppfyller passivhuskraven.

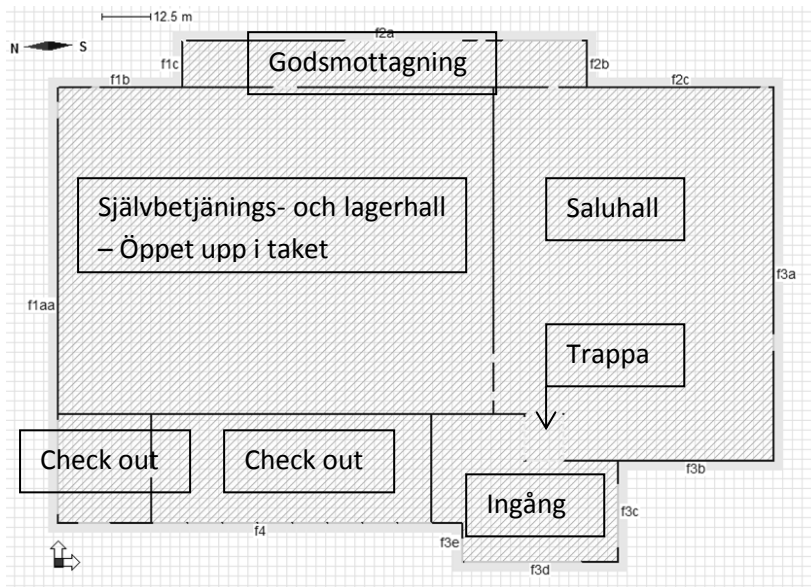
FEBY:s referensvärden ses nedan. För IKEA Umeå kommer värden enligt butiker att följas, förutom i kök och restaurangdelen där värdena följer lunchrestauranger.

Tabell 5 - Referensvärden för verksamheter i lokal

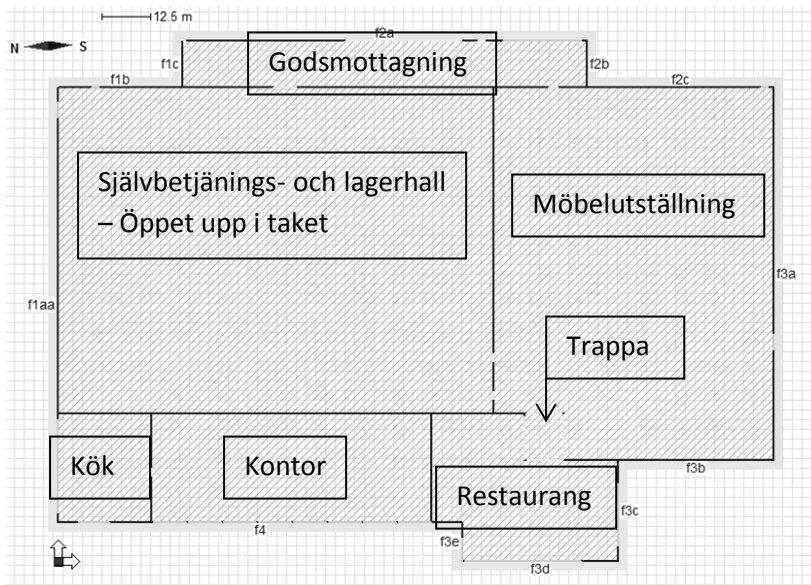
	Innetemperatur (°C)	Verksamhetstid (h/v)	Persontäthet (m ² /person)	Personnärvaro (%)	Personvärme (W/person)	Elenergi verksamhet (kWh/m ²)	Varmvatten (kWh/m ²)
Skolor, exl. motion, kök	21	50	12	50	70	15	2
Förskolor	21	60	10	70	50	15	2
Serviceboende	-	168	30	100	108	20	2
Kontor	21	45	20	70	108	30	2
Butiker	-	63	3	15	108	40	2
Livsmedelsbutiker	-	98	3	15	108	50	2
Lunchrestauranger	21	45	3	10	108	25	2
Idrottshallar	-	112	10	40	108	20	2

4.2 Allmänt om IKEA Umeå

Varuhuset är i två plan. På plan 1 finns in- och utgång, kassa, saluhall, självbetjänings- och lagerhall, och godsmottagning. På plan 2 finns möbelutställning, restaurang med kök och kontor.



Figur 11 - Plan 1



Figur 12 - Plan 2

Enligt IKEA:s krav är tillåtna temperaturer:

- Inomhustemperatur min/max 20-26 °C
- Godsmottagning min/max 15-30 °C

Inomhus har temperaturerna delats upp ytterligare:

- April-september 20-26 °C
- Oktober – mars 20-23 °C

- Den genomsnittliga temperaturen bör vara 20-24 °C

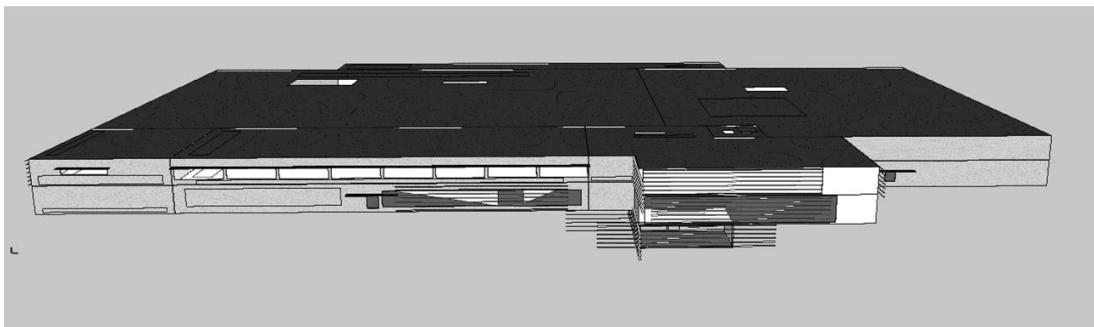
Den modell som används i IDA ICE beräkningarna har följande mått:

Tabell 6 - Mått på IKEA-modell

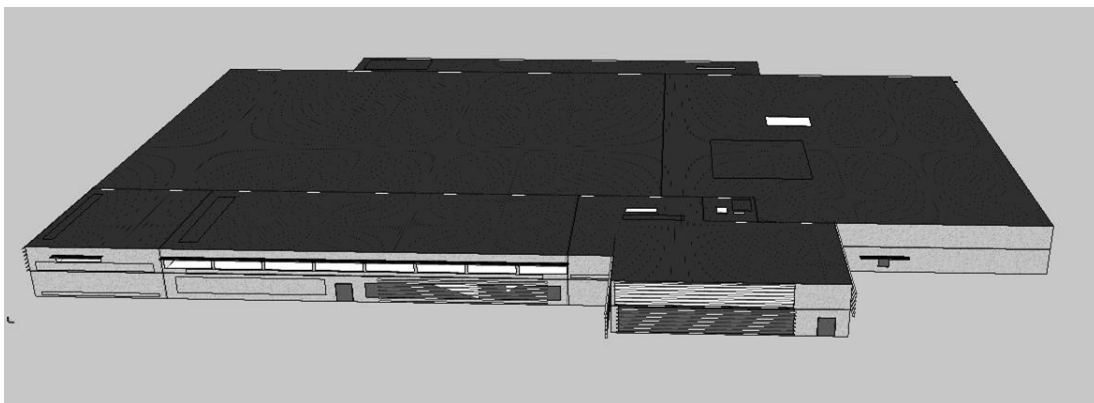
A_{temp}	32 456 m ²
V_{temp}	209 675,8 m ³
Model ground area	21 616 m ²
A_{omsl}	49 401,2 m ²
Fönster/ A_{omsl}	1,7 %
A_{omsl}/ V	0,23 m ² /m ³
A_{omsl}/ A_{temp}	1,52 m ² / m ²

IDA ICE-modellen är en grundmodell för medelstora varuhus som IKEA använder vid energiberäkningar. Därmed skiljer sig modellen en aning i storlek och utformning från den byggnad som kommer att uppföras i Umeå. Grundmodellen har ändrats för att likna IKEA Umeå bättre.

4.2.1 Ändringar i IDA ICE från den tillhandahållna modellen

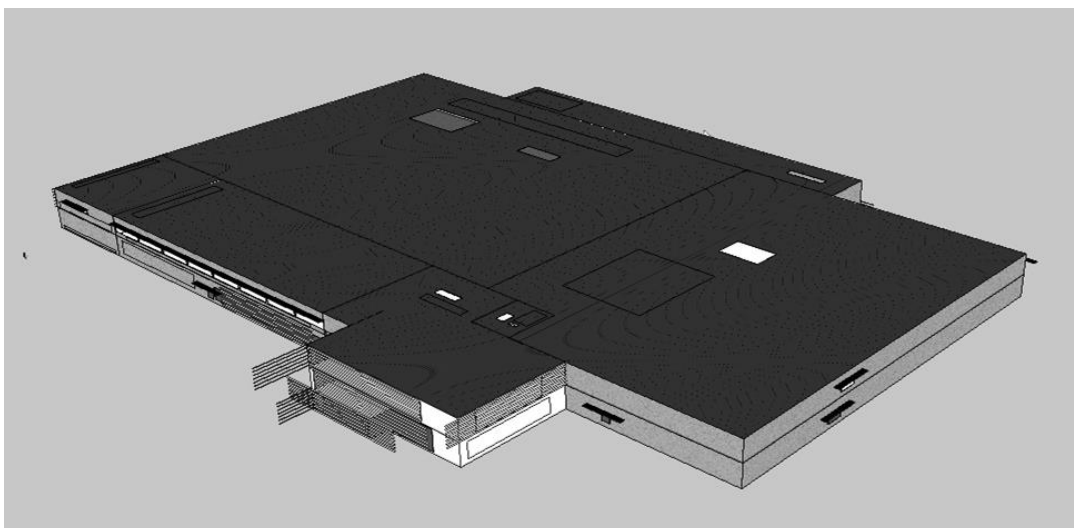


Figur 13 - Modell före ändring

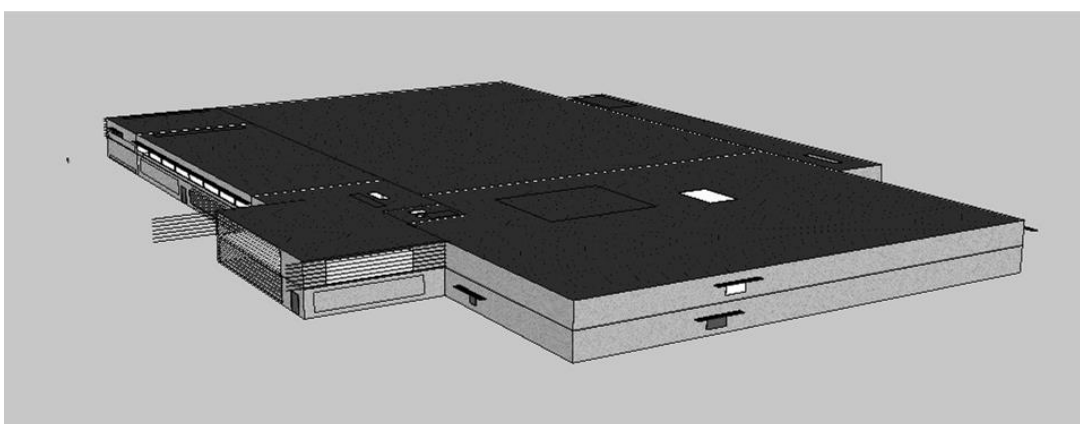


Figur 14 - modell efter ändring

Som kan ses i figur 13 finns det en glasbyggnad under entrén. Denna är borttagen för att efterlikna IKEA Umeå mer, se figur 14.



Figur 15 - modell före ändring



Figur 16 - modell efter ändring

I figur 15 och till viss del i figur 13 har entrén vitt fasadmaterial istället för grått som resten av byggnaden har. Detta beror på att detta material består av glas medan övrigt material är annat fasadmaterial.

På IKEA Umeå består inte de vita partierna av glas utan är av liknande material som övriga fasaden. Därför ändras materialet i entréutbyggnaden till att vara av samma material som övrigt fasadkonstruktion.

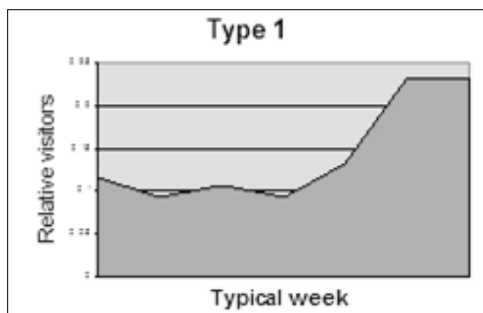
I den tillhandahållna modellen angavs den använda energin till belysning och apparater i samma post. Denna post delades upp på de två grupperna för att tydliggöra den separata energianvändningen, vilket kommer till användning i senare kapitel.

4.2.2 Interna laster

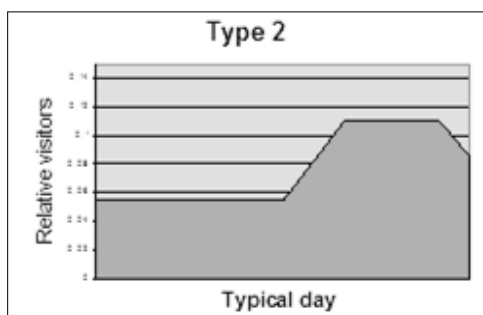
IKEA har tagit fram en egen beräkningsmodell i Excel för att beräkna energibehovet för ett IKEA-varuhus. Resultatet används senare i IDA ICE:

Öppningstider och beräknad årlig mängd sålt gods anges. Beräknad årlig mängd sålt gods tas från den beräknade mängd sålt gods från det femte öppningsåret.

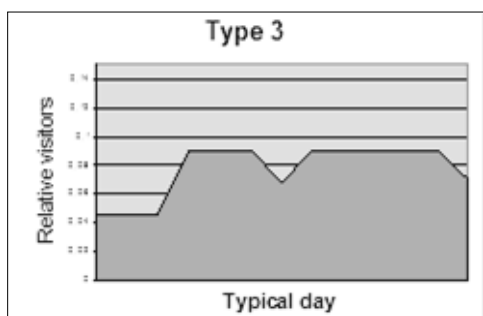
Årligt antal besökare utgår även det från det 5:e öppningsåret. För IKEA Umeå antas det vara 1 500 000 besökare/år. Medeltiden för ett besök är medelvärde på hur många timmar kunder förväntas vara inne i varuhuset, i detta fall 1,5 timme. När besökarna förväntas besöka varuhuset tas fram genom hur den förväntade fördelningen av besöken ser ut grafisk under hela veckan, veckodagar och helger. Utifrån denna fördelning skapas ett schema som används i IDA ICE. För IKEA Umeå förväntas besöken för en typisk vecka, vardag och helg ha en besöksfördelning enligt figur 17,18 respektive 19.



Figur 17 - Typisk vecka



Figur 18 - Typisk veckodag



Figur 19 - Typisk helg

Läget (longitud och latitud) och byggnadsentréns orientering (öst, väst, nord, syd, sydöst, nordöst, sydväst eller nordväst) läggs in. Storlek och grundläggningsalternativ väljs från en lista av standardformat. Därefter väljs typ av byggnadens skal t.ex. fasad och tak. U-värden på dessa skrivs in manuellt. Vid val av fönster finns färdiga modeller att välja mellan. Dessa har färdiga U-värden med angivna g- och transmissionsvärden.

Minimi- och maximitemperaturer anges. I detta referensfall 20-24°C. Minimiluftflödet anges till 0,35 l/(s·m²) och koldioxidhalten får maximalt vara 1000 ppm. Dimensionerande utomhustemperaturerna anges till 26,5°C på sommaren och till -25°C på vintern.

Till sist anges de olika rumsareorna, hur mycket belysning varje rum behöver och hur mycket elektricitet all utrustning i rummen förväntas behöva.

All indata till referensmodellens energimodell finns i bilaga 3.

Det kommer att finnas verksamhet i varuhuset även tre timmar före och en timme efter öppningstiderna. När det är verksamhet i lokalerna kommer ventilationssystemet att vara igång. När ingen verksamhet sker förses ventilationssystemet byggnaden med minsta tillåtna luftflöde.

Besökarnas varmvattenanvändning antas vara 10 m³/dag. Detta är ett riktvärde som används i alla IKEA-varuhus. IKEA antar att 50 % av varmvattnet kan värmas upp med hjälp av solpaneler eller med hjälp av värmeåtervinning från kökets kylsystem.

4.3 IKEA Umeå i IDA ICE

I grundmodellen används följande värden på U-värde och luftläckage:

Tabell 7 - Klimatskal i IKEA-modellen

U _{medel} OBS ej inklusive köldbryggor	0,2077 W/(K·m ²)
Luftläckaget q ₅₀	0,5 h ⁻¹
Köldbryggor	<i>Very poor</i>

U_{medel} uppfyller BBR:s krav. För att uppfylla FEBY 12:s krav behöver fönstrens U-värde förbättras. Ska tysk standard på passivhus uppnås behöver väggarnas U-värden förbättras. Att uppnå tysk standard är dock inget krav.

En byggnads formfaktor räknas ut genom A_{omsl}/A_{temp}. En byggnad med formfaktor över 1,7 räknas som en låg byggnad. Byggnader under 1,7 får maximalt ha ett luftläckage vid 50 kPa, q₅₀, på 0,3 l/s m². Den aktuella byggnaden har en formfaktor på 1,5. Ett luftläckage på 0,5 h⁻¹ motsvarar i detta fall 0,59 l/s m². Vilket innebär att luftläckaget behöver förbättras.

Temperaturerna ska hållas inom vissa gränser. Dessa gränser är:

Inomhustemperatur min/max 20-24 °C

Godsmottagning min/max 15-30 °C

Koldioxidnivån i luften utomhus är antagen till 400 ppm. Nivån inomhus får inte överstiga 1000 ppm.

Byggnadens ingång ligger i öst och godsmottagningen i väst. Det är även i dessa två riktningar de flesta stora öppningar i form av dörrar och fönster finns.

4.3.1 Material

Grund

Betong 150, sand 150 U=2,9

Betong 150 mm
Cellplast 1 mm
Betong 100 mm

Mellanbjälklag

Betonghåldäck med kärna på 200 mm, vilket motsvarar 110 mm solid betong.

Ytterväggar

Sandwichkonstruktion U=0,29

Stålblåt 1 mm
IKEA hård isolering 140 mm $\lambda=0,043$
Betong 1 mm
Stålblåt 1 mm

Innervägg

Dubbelgips på 95-reglar, 30mm lätt isolering

Gips 26 mm
Luftspalt 32 mm
Lätt isolering $\lambda=0,036$
Luftspalt 32 mm
Gips 26 mm

Tak

Metallprofil TRP, plastfolie 0,0002, isolering 150 mm, Gummibeläggning, U=0,20

Stålpåt 1 mm
Luftspalt 70mm
IKEA Heavy insulation PAROC 170 mm $\lambda=0,037$
Betong 1 mm
Plastmatta 2 mm

Fönster

Fönsterglas: U-värde= 1,4

In- och utvändig emissivitet = 0,837

G=0,41 (Solfaktor)

T=0,38 (Primär solenergitransmittans)

4.3.2 Internlaster

Internlasterna har tagits fram av IKEA.

Tabell 8 - Internlaster

Zon	Area [m ²]	Belysning [W/m ²]	Apparater [W/m ²]	Personer/m ²
Zone 8 - Goods unloading	1248	5,82	16,03	0,000641
Zone 1b - Entrance, 1:st floor	1456	1,27	0,00	0,002129
Zone 4 - Market hall	6696	5,46	1,49	0,07431
Zone 5 - Self serve & warehouse	9408	2,13	0,01	0,005495
Zone 6b - Check-out, exit	672	9,39	5,95	0,01845
Zone 6a - Check-out, exit	2016	5,81	1,98	0,01146
Zone 3a - Restaurant, seating area	1456	4,59	0,00	0,3815
Zone 3b - Kitchen	672	8,93	44,64	0,000446
Zone 7 - Office, Staff room	2016	1,36	4,96	0,008482
Zone 2 - Showroom	6696	5,59	1,49	0,0728

Internlasterna antas ske efter framtagna scheman.

Nedan visas schemat över belysningen. Värdena anger hur stor del (%) av total installerad effekt som är igång.

Tabell 9 - Schema över belysning

Before/after opening	Entrance	Show Room	Restaurant, seating area	Kitchen	Market Hall	Self Serve/Ware house	Check-out, exit	Office	Goods receiving	Glass House	Exterior parking*	Parking under the store
-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33
-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33
-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33
-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33
-6	0	0	0	0	0	60	0	0	100	0	35	33
-5	0	0	0	0	0	60	0	0	100	0	35	33
-4	0	0	0	70	33	60	0	0	100	33	35	33
-3	33	33	25	70	33	60	33	65	100	33	35	33
-2	33	33	25	70	33	60	33	65	100	33	35	33
-1	33	33	25	70	33	60	33	65	100	33	35	33
OPENINGS HOURS, 100												
+1	33	33	25	40	33	60	33	20	100	33	35	33
+2	0	0	0	0	0	60	0	0	100	0	35	33
+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33
+4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33
+5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	33

*Belysning för utomhusparkering kommer endast vara igång när dagsljuset inte är tillräckligt.

4.3.3 Ventilationssystem

Tilluften har en konstant temperatur på 17 °C. Det behovsstyrda luftflödet styrs av CO₂-halten i rummen som ej får överstiga 1 000 ppm. CO₂-halten utomhus antas vara 400 ppm. Luftflödet varierar mellan 0,35-7 l/s·m².

Tilluften tas från utomhusluften, och går genom en värmeväxlare med en verkningsgrad på 0,6. Värmeväxlaren är alltid igång. Därefter värms eller kyls tilluften efter behov i ett värme- eller kylbatteri. Batterierna är vattenanslutna. Tilluftsfläkten ger en tryckökning på 688,5 Pa. Detta motsvarar ett SFP på 0,9836 kW/(m³/s) med en verkningsgrad på 0,7. Fläkten kan gå för fullt varje dag mellan 6-21. Därefter sänks varvtalet så att tilluften endast blir 0,35 l/s·m².

Frånluften värmer tilluften genom värmeväxlaren med verkningsgrad på 0,6. Frånluftsfläkten har en tryckstegring på 798,5 Pa. Detta motsvarar ett SPF på 1,141 kW/(m³/s) med en verkningsgrad på 0,7.

Ventilationssystemet drivs av elektricitet. Det finns inga angivna energiförluster i kanalsystemet för tilluft.

4.3.4 Installationsanläggning

Varmvattenberedare

Varmvattenberedaren har en maximal värmekapacitet på 5 000 kW (exklusive hushållsvarmvatten). Värmen kommer från en bränslepanna med COP 0,9.

Använd energi redovisas i energimätaren för primär energikälla. Det finns inga angivna förluster i systemet.

Tappvarmvatten

Tappvarmvatten räknas inte in i byggnadens specifika energianvändning. Dock anges värden för tappvarmvatten ändå.

Hushållsvarmvattnets temperatur är satt till 30°C (inkommande vatten är standardvärdet 5 °C), och flödet är 0,1157 l/s. Verkningsgraden (energi till vatten) är 0,9.

Tappvarmvattnet kommer från varmvattenberedaren som värms upp av en bränslepanna.

Pumpeffekt för varmvatten

Då pumpeffekten är satt till obegränsad räknar IDA ICE ut den effekt som behövs. Ingångsvärden är:

$$P_{SetMax} = 90\,000 \text{ Pa}$$

$$\eta_{pump} = 0,8$$

Använd energi redovisas i elmätaren för installationsanläggning.

Kallluft

Luftkylaren har en maximal kylkapacitet på 8 000 kW och COP=3.

Börvärde till zonens tillufttemperatur = 14 °C

Börvärde till fläktens tillufttemperatur = 8 °C

Systemet drivs av el. Använd energi redovisas i elmätaren för installationsanläggningen. Det finns inga angivna förluster i systemet.

Pumpeffekt för kallvatten

Då pumpeffekten är satt till obegränsad räknar IDA ICE ut den effekt som behövs. Ingångsvärden är:

$$P_{SetMax} = 140\,000 \text{ Pa}$$

$$Eta_{pump} = 0,8$$

Använd energi redovisas i elmätaren för installationsanläggningen.

Vattenradiatorer och kylbafflar

Vattenradiatorerna har ingångstemperatur på 55 °C och en fråntemperatur på 45 °C. Anläggningen är dimensionerad för att lufttemperaturen i en zon aldrig ska vara under 20 °C. Hur stor den maximala installerade effekten är beror på zonen, då alla zoner har olika värmebehov. Det förekommer inga förluster i systemet.

Kylanläggning består av kylbafflar som använder vatten för att kyla. Vid full kapacitet är temperaturskillnaden 8 °C mellan luft och köldmedium. Köldmediets temperatur ökar med 3 °C när kylanläggningen går med full kapacitet. Hur stor den maximala effekten är beror på zonen, då alla zoner har olika kylbehov. Det förekommer inga förluster i systemet.

Värmen sätts igång när temperaturen i en zon understiger 20 °C alternativt 15 °C i zonen för godsmottagningen. Kylan sätts igång när temperaturen i en zon överstiger 24 °C alternativt 30 °C i zonen för godsmottagningen.

4.4 Resultat för grundmodellen

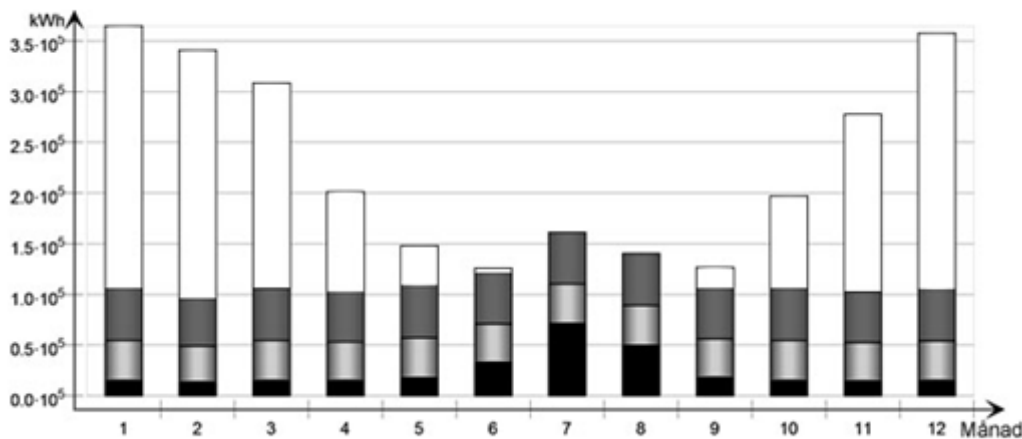
Beräkning av VFT_{DVUT} sker enligt FEBY 12. Alla värden till beräkning av VFT_{DVUT} för grundmodellen finns bilaga 4.

VFT_{DVUT} för grundmodellen är beräknad till 11,24 W/m². Eftersom detta är under max VFT_{DVUT} på 18,36 W/m² är byggnaden godkänd ur denna synpunkt.

Då all värme kommer från en bränslepanna är byggnaden icke eluppvärmd ur både BBR:s och FEBY:s synpunkt. Bränslet är dock inte definierat. Den levererade energin till byggnaden ser ut enligt tabell 10 och figur 20.

Tabell 10- Levererad energi under 1 år

	Levererad energi		Behov
	kWh	kWh/m ²	kW
■ Installationsanläggning	293765	9,1	560,0
□ Utrustning	463730	14,3	88,08
□ Belysning	599330	18,5	143,1
■ Totalt, Fastighetsel	1356825	41,8	
□ Bränslepanna	1392544	42,9	1 602,0
□ Totalt, Fastighetsbränsle	1392544	42,9	
□ Totalt	2749369	84,7	



Figur 20 - Levererad energi per månad

Det strängaste kravet av BBR och BELOK är BELOK:s krav för byggnader på nivå A. Nivå A innebär en så låg energianvändning så att det kan jämföras med NNE-byggnader. Nivå B har en högre energianvändning, även om den fortfarande är låg. Jag väljer att jämföra med Nivå A i och med målet är att uppnå passivhusstandard.

Nivå A för klimatzon 1 innebär för en icke eluppvärmd byggnad att max köpt energi för byggnadens drift, exklusive verksamhetsenergi, får uppgå till 60 kWh/(m²·år).

I modellen har det inte skiljts på om belysningen eller apparaterna tillhör fastigheten eller verksamheten. Därför görs uppskattningen att 90 % av byggnadens belysning och 85 % av utrustningen är verksamhetsanknuten. Antagandet grundar sig i att större delen av energibehovet kommer att vara verksamhetsknuten. Besökarnas varmvattenanvändning anses vara verksamhetsknuten och ska därmed inte ingå i specifik energianvändning.

Varuhusets specifika energianvändning blir med dessa antaganden:

$$84,7 - 0,9 \cdot 18,5 - 0,85 \cdot 14,3 = 55,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år}).$$

Därmed uppfyller byggnaden kraven. Dock måste sägas att den egentliga specifika energianvändningen ligger någonstans mellan 51,9 och 84,7 kWh/(m²·år), eller något högre då inga förluster i systemet är medräknade.

4.4.1 Uppfyllande av ställda krav

Nedanstående indata och resultat kommer från IKEA:s modell i IDA ICE.

U-värden och läckage

Luftläckaget q_{50} ligger på 0,59 l/s·m². Enligt FEBY12 ska läckaget vara $\leq 0,3$ l/s·m². Byggnaden uppfyller inte alla krav på U-värden:

Tabell 11 - Jämförelse av U-värden

U-värden	Högst ställda krav	Enligt modell
U_m (enligt BBR:s definition)	<0,4 W/(m ² ·K)	0,21
Fönster (inklusive karm)	<0,8 W/(m ² ·K)	1,40
Yttervägg	<0,1 W/(m ² ·K)	0,29
Glasfasadsystem (inklusive karmar)	<1,0 W/(m ² ·K)	-
Takfönster (inklusive karm)	<0,8 W/(m ² ·K)	1,40
Yttertak	<0,10 W/(m ² ·K)	0,20
Ytterdörrar	<0,8 W/(m ² ·K)	0,29

Ventilation

Ventilationsflödet är satt till att vara minst 0,35 l/(s·m²) dygnet runt, vilket är det lägsta tillåtna värdet. Lufthastigheten får inte överstiga 0,15 m/s i vistelsezonerna i enlighet med kraven från BBR.

Det termiska klimatet

Tabell 12 - tabell över det termiska klimatet

Zone Group	Min temp, °C	Max temp, °C	Min op temp, °C	Max op temp, °C	Min rel. fuktighet, %	Max rel. fuktighet, %	Max PPD, %	Max CO2, ppm(vol.)
Zone 8 - Goods unloading	7,2	30,1	12,5	31,3	3,532	67,66	100	852,6
Zone 1b - Entrance, 1:st	13,2	24	18,2	24	2,878	69,21	100	847
Zone 4 - Market hall.	20	24	20	24,3	2,88	64,65	98,05	963,7
Zone 5 - Self serve & warehouse.	19,9	23,2	19,3	23	3,046	70,12	99,38	729,2
Zone 6b - Check-out, exit.	20	24	19,9	24,7	2,907	61,44	98,26	670,8
Zone 6a - Check-out, exit.	16,5	23,5	19,4	23,6	2,853	69,17	99,99	755,2
Zone 3a - Restaurant, seating area.	20	24	19,5	25	3,755	69,82	99,25	997,6
Zone 3b - Kitchen.	19,9	24,1	20,4	26,2	2,131	63,87	98,21	493,7
Zone 7 - Office, Staff room.	20	24	19,3	24,1	3,556	65,16	99,32	606,7
Zone 2 - Showroom.	19,9	24	19,8	24,5	2,846	64,8	98,64	967,2
Zone 1a - Entrance.	19,9	24	21,2	25	2,737	66,15	95,18	941,2
Zone 1 - stairs.	7,2	30,1	12,5	31,3	3,532	67,66	100	852,6

Tabell 13 - komfortpreferens

Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	10 %
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0 %
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	73 %

Med börvärden på temperaturen satta till

- Inomhustemperatur min/max 20-26 °C, med medelvärde på 20-24 °C
- Godsmottagning min/max 15-30 °C

Kan lufttemperaturerna anses vara godkända inomhus enligt IKEA. Dock ska luftens temperatur enligt BELOK kunna hållas över 21°C under arbetstid. Under simuleringen har den lägsta temperaturen i godsmottagningen understigit börvärdet som är satt av IKEA.

Den övre nivån på ett börvärde för temperaturen får enligt BELOK överstigas totalt 80 arbetstimmar under ett år. Detta motsvarar 1,6 % av arbetstimmarerna, eller 0,9 % av alla timmar under året. Byggnaden klarar detta krav.

Den operativa temperaturen är godkänd enligt BBR:s krav, då den lägsta operativa temperaturen håller sig över 18°C i arbetsrum. Det kan konstateras att den operativa temperaturen kan bli hög i en del av zonerna. Det finns inget krav på vad den maximala operativa temperaturen får vara.

Luftkvaliteten kan anses vara godkänd då koldioxidnivån aldrig överstiger 1000 ppm.

Den relativa fuktigheten ligger i alla zoner under 75 % vilket är en gräns satt av BBR för att inte riskera mikrobiell tillväxt. Den undre relativa fuktigheten kan bli väldigt låg i alla zoner.

Att missnöjdheten med inneklimatet är så stort som 73 % av tiden under verksamhetstimmarna beror till en del av att godsmottagningen är medräknad i resultatet. Det är godkänt med större temperaturväxlingar inne i godsmottagningen då det inte är en zon där personer visas några längre perioder. Även om godsmottagningen drar upp resultatet något så kan det ändå inte räknas som godkänt eftersom många zoner upplevs för varma.

SFP

Tilluftsfälkten har en SFP 0,9836 kW/(m³/s) med en verkningsgrad på 0,7.

Frånluftsfälkten har en SFP 1,141kW/(m³/s) med en verkningsgrad på 0,7.

För från- och tilluftssystem med värmeåtervinning ska SFP vara under 1,3 kW/(m³/s). Kravet klarar fläktarna enskilt, men den totala SFP blir 2,1 kW/(m³/s). Därmed uppfylls inte BBR:s krav på 2,0 kW/(m³/s) för till- och frånluftsfäkt med återvinning.

Värmeåtervinning

Värmeväxlaren har en verkningsgrad på 0,6. Då värmeväxlarna är roterande växlare förutom i köket där plattväxlare används uppfyller värmeväxlarna inte kravet på verkningsgrad från BELOK.

Vattenflöde

Tappvarmvattnets flöde är 0,1157 l/s. Tvättställ med både varm- och kallvatten ska enligt BBR vara minst 0,1 l/s, övriga tappvattenställen ska ha ett flöde på minst 0,2 l/s. Flödet till tvättställ är godkänt, men borde vara högre till restaurangverksamheten. Om varmvattnet cirkulerar skulle det gå att klara väntetiden för varmvatten.

Pumpverkningsgrad

Varmvattenpumpens effekt är 263,7 W och har en verkningsgrad på 0,8 och klarar därmed kraven för pumpar.

4.5 Tillvägagångssätt för att minska energianvändningen

För att få ner energianvändningen kommer arbetet ske enligt Kyoto-pyramidens arbetssteg, se figur 4, kapitel 2.3. Följande kapitel kommer följa Kyotopyramiden enligt nedan.

Kapitel 4.6 Minimera värmebehovet

Kapitel 4.7 Minimera elbehovet

Kapitel 4.8 Utnyttja solenergin

Kapitel 4.9 Visa och reglera

Kapitel 4.10 Välj energi

Grundmodellen simulerades för perioden 1 januari - 31 december 2006. Även följande modeller kommer att simuleras i samma tidsperiod för att vara jämförbara. Som tidigare angetts i begränsningarna kommer inga ändringar göra i installerad belysningsstyrka, byggnadens utformning, plats, öppettider och internbelastning. Temperaturkraven som är angivna av IKEA kommer att fortsätta att gälla.

4.6 Minimera värmebehovet

För att minska värmebehovet kommer de klimatskiljande konstruktionerna grund, yttertak och vägg att varieras i två modeller. Modell 1 är en betongkonstruktion i både grund, yttervägg och tak. Modell 2 har samma betongkonstruktion i grund och tak, men har ytterväggar av plåtsandwich. Modell 2 liknar grundmodellens ytterväggskonstruktion, men har en tjockare isolering. Grundmodellens konstruktion finns i kapitel 4.3.1 Material.

Nya konstruktioner innebär även att köldbryggorna påverkas. Värdena på köldbryggorna för de nya konstruktionerna kommer att beräknas och användas i simuleringarna.

Eftersom mycket människor går in- och ut ur ett varuhus hela tiden kan val av dörrkonstruktion påverka värmebehovet. Hur mycket den påverkar kommer att undersökas.

4.6.1 Modeller med lägre uppvärmningsbehov

De nya modellerna 1 och 2 kommer framförallt att åtgärda krav som inte blivit uppfyllda i grundmodellen.

- Luftläckage q_{50}
- U-värden
- Även det termiska klimatet ska försöka förbättras.

Modell 1

Eftersom luftläckaget ska minskas behöver klimatskalet ändras. När det ändras ska hänsyn tas till BELOK:s och FEBY:s rekommendationer om U-värde, men även till materialens egenskaper som till exempel specifik värmekapacitet. Ett material som är lufttätt i sig och dessutom har hög specifik värmekapacitet är betong. För att kunna ha IKEA:s standardfasad väljs följande konstruktioner:

Grund

Betong 200 mm
Cellplast 200 mm

Ytterväggar

Betong 120 mm
Isolering $\lambda=1,7$ W/m·K 240 mm
Betong 80 mm
Luftspalt 30 mm
Fasadmaterial – stålplåt

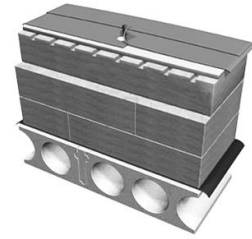


Figur 21 - Betongelement (Paroc)

Se figur 21

Tak

Betonghåldäck 265 mm
Luft- och ångspärr
Isolering $\lambda=0,036$ W/m·K 460 mm
Isolering $\lambda=0,038$ W/m·K 20 mm
Takmembran med mekanisk infästning



Se figur 22

Figur 22 - Takkonstruktion (Paroc)

Fönster

Fönsterglas: Pilkington Suncool 70/40 (6C/74)-15Ar-4-15Ar-S(3)4 (U-värde= 0,6, g=0,33)

Infiltration

Antas vara $0,3$ l/s·m². Antagandet grundades på uppgifter från BetongBanken (BetongBanken).

Värmeåtervinning

Då bl.a. roterande värmeväxlare används bör verkningsgraden enligt BELOK vara över 80 %. Därför ändras värmeväxlarens verkningsgrad från 0,6 till 0,8.

Modell 1_01

Är densamma som modell 1, men antas ha en infiltration på $0,11$ l/s·m² och innerväggar av betong 200 mm. Infiltrationen grundas på täthetsprovningar från kvarteret Blå Jungfrun (Svensk Betong) som är en byggnad av platsgjuten betong, isolering och en skalmur av träfibercement. Denna byggnad används som referens då det funnits svårigheter att hitta täthetsprovningar från mer liknande byggnader.

Modell 2

Eftersom luftläckaget ska minskas behöver klimatskalet ändras. När det ändras ska hänsyn tas till BELOK:s och FEBY:s rekommendationer om U-värde, men även till materialens egenskaper som till exempel täthet. Ett material som är lufttätt i sig är stål.

Grund

Betong 200 mm
Cellplast 200 mm

Ytterväggar

Stålplåt 0,5 mm
AST S 300 mm (305) U=0,13 vikt kg/m³=210 (normal brandklass)
Stålplåt 0,6 mm



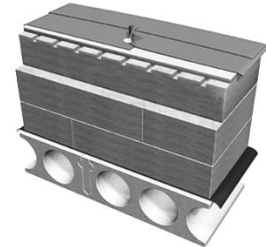
Se figur 23

Figur 23 – Plåtsandwich (Paroc)

En försämring av U-värdet med 0,001 alternativt 0,004 genom inverkan av genomgående skruvar (0,7 st/m²). Denna försämring försummas dock i beräkningen då dess påverkan anses vara minimal i förhållande till väggens totala U-värde.

Tak

Betonghåldäck 265 mm
Luft- och ångspärr
Isolering $\lambda=0,036$ W/m·K 460 mm
Isolering $\lambda=0,038$ W/m·K 20 mm
Takmembran med mekanisk infästning



Figur 24 - Takkonstruktion (Paroc)

Se figur 24

Fönster

Fönsterglas: Pilkington Suncool 70/40 (6C/74)-15Ar-4-15Ar-S(3)4 (U-värde= 0,6, g=0,33)

Infiltration

Antas vara 0,15 m³/m²h, vilket motsvarar 0,04 l/s·m². Värdet kommer från PAROC:s produktblad (Paroc, 2014).

Värmeåtervinning

Då bl.a. roterande värmeväxlare används bör verkningsgraden vara över 80 % enligt BELOK ändras värmeväxlarens verkningsgrad från 0,6 till 0,8.

Modell 2_01

Då stål inte lagrar värme bra ändras innerväggarna material till betong 200 mm istället för träregelväggar. I övrigt är modellen densamma som modell 2.

4.6.2 Jämförelse av resultat

Resultat från modell 1, modell 1_01, modell 2 och modell 2_01 jämförs i tabell 15 och 15.

Det som verkar ha störst betydelse för värme- och kylbehovet är infiltrationen. Värmetröga material påverkar energianvändningen, men i mindre skala. Materialvalet verkar ha störst betydelse under kyla-säsongen. Värmetröga material påverkar PPD-index positivt. Det är svårt att säga vilken den bästa konstruktionen är. Därför undersöks de mest energieffektiva modellerna av varje typ vidare. Dessa är modellerna 2_01 och 1_01.

Dessa modeller kan förbättras ytterligare genom att minska bl.a. köldbryggor, vilket görs i nästa delkapitel.

Tabell 14 - komfortpreferens

	betong 1	betong 1_01	plåt 2	plåt 2_01
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	9	2	12	5
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	59	59	56	58

Tabell 15 - energiöversikt

	betong 1		betong 1_01		plåt 2		plåt 2_01	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	333148	10,3	316418	9,7	344560	10,6	337761	10,4
Utrustning	463729	14,3	463729	14,3	463729	14,3	463731	14,3
Belysning	599328	18,5	599326	18,5	599329	18,5	599328	18,5
Totalt, Fastighetsel	1396205	43,0	1379473	42,5	1407618	43,4	1400820	43,2
Bränslepanna	606846	18,7	524481	16,2	509424	15,7	496309	15,3
Totalt, Fastighetsbränsle	606846	18,7	524481	16,2	509424	15,7	496309	15,3
Totalt	2003051	61,7	1903954	58,7	1917042	59,1	1897129	58,5

4.6.3 Förbättring av köldbryggor

Köldbryggorna uppskattas i HEAT2 som simulerar värmeflödet genom väggen. Beräkningarna för de detaljer som simuleras finns i bilaga 5.

Beräkningarna kommer visa på en stor skillnad från tidigare. Det beror på att alla köldbryggorna från grundmodellen har varit inställda på "very poor".

Modell 1_01_01

Modell 1_01 förbättras genom nya värden på köldbryggor enligt tabell 16.

Tabell 16 - Köldbryggor

Typ av köldbrygga	Grundmodellen [W/(K·m)]	Nytt beräknat [W/(K·m)]
Yttervägg/ bjälklag	0,4	0,0005
Yttervägg/ innervägg	0,4	0,0005 ¹
Yttervägg/ yttervägg	0,8	0,0516
Yttervägg/ fönster	0,8	0,0192 ²
Yttervägg/ dörr	0,4	0,01921 ²
Tak/ yttervägg	0,8	0,0662
Grund/ yttervägg	0,8	0,0848
Balkonggolv/ yttervägg	1,2	-
Grund/ innervägg	0,4	0,00124 ²
Tak/ innervägg	0,4	0,00961 ²

Modell 2_01_01

Modell 2_01 förbättras genom nya värden på köldbryggor enligt tabell 17.

Tabell 17 - Köldbryggor

Typ av köldbrygga	Grundmodellen [W/(K·m)]	Nytt beräknat [W/(K·m)]
Yttervägg/ bjälklag	0,4	0,034
Yttervägg/ innervägg	0,4	0,022 ²
Yttervägg/ yttervägg	0,8	0,008 ³
Yttervägg/ fönster	0,8	0,026 ⁴
Yttervägg/ dörr	0,4	0,026 ³
Tak/ yttervägg	0,8	0,041
Grund/ yttervägg	0,8	0,12 ²
Balkonggolv/ yttervägg	1,2	-
Grund/ innervägg	0,4	0,022 ³
Tak/ innervägg	0,4	0,0064 ³

4.6.4 Jämförelse av resultat

Resultat från modell 1_01_01 och 2_01_01 jämförs i tabell 18 och 19.

Konstruktion av betong använder sig av marginellt mindre energi än den i plåtsandwich. Båda konstruktionerna sänkte energianvändningen. Den konstruktion som ger bäst komfort per använd energi är plåtsandwichkonstruktionen 2_01_01.

¹ Köldbryggornas värde baseras på liknande köldbryggor

² Köldbryggornas värde är uppskattade genom att vara ett medelvärde av övriga köldbryggors klassificering i IDA ICE:s system none till very poor

² Köldbryggornas värde baseras på liknande köldbryggor

³ Värde angivet av tillverkaren Paroc (Paroc, 2014, s. 8)

⁴ Köldbryggornas värde är uppskattade genom att vara ett medelvärde av övriga köldbryggors klassificering i IDA ICE:s system none till very poor

Tabell 18 - komfortpreferens

	betong 1_01	betong 1_01_01	plåt 2_01	plåt 2_01_01
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	2	4	5	1
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	59	53	58	48

Tabell 19 - energiöversikt

	betong 1_01		betong 1_01_01		plåt 2_01		plåt 2_01_01	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	316418	9,7	353957	10,9	337761	10,4	448211	13,8
Utrustning	463729	14,3	463730	14,3	463731	14,3	463731	14,3
Belysning	599326	18,5	599327	18,5	599328	18,5	599327	18,5
Totalt, Fastighetsel	1379473	42,5	1417014	43,7	1400820	43,2	1511269	46,6
Bränslepanna	524481	16,2	355609	11,0	496309	15,3	338157	10,4
Totalt, Fastighetsbränsle	524481	16,2	355609	11,0	496309	15,3	338157	10,4
Totalt	1903954	58,7	1772623	54,6	1897129	58,5	1849426	57,0

4.6.5 Betydelse av val av dörr

Grundmodellens dörr är ett glasfönster som är stängt eller öppet enligt ett schema. Den modell som används och ändras efterhand när betydelse av dörrval undersöks är sandwichkonstruktionen 2_01_01. Jämförelser sker mellan fallen med att dörren alltid är öppen, alltid stängd eller karuselldörrar vid in- och utgång.

Det görs försök att simulera en karuselldörr enligt tips från Equa. Den mest avancerade modellen med ett separat ventilationsflöde som ska motsvara luftutbytet med karuselldörrens sektioner fås inte att fungera. I den enklare modellen läggs ett luftläckage motsvarande storleken på en sektion från karuselldörren in. Luftläckage från en karuselldörrens ena sektion uppskattas till ca 200 l/s. Storleken beror såklart på storlek på karuselldörren och hur många sektioner den innehåller. Läckaget styrs av besöksschemat. Denna simulering skiljer sig från verkligheten i och med att all luft i karuselldörren inte försvinner ut från sektionen och luften i sektionen inte är fullt uppvärmd. Därmed borde det varma luftläckaget bli mindre.

4.6.6 Jämförelse och diskussion

Tabell 20 - energianvändning beroende dörrval vid in- och utgång

	plåt stängd dörr		plåt öppen dörr		plåt karuselldörr		plåt 2_01_01	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	374933	11,6	290433	8,9	352798	10,9	448211	13,8
Utrustning	463729	14,3	463728	14,3	463731	14,3	463731	14,3
Belysning	599330	18,5	599325	18,5	599331	18,5	599327	18,5
Totalt, Fastighetsel	1437992	44,3	1353486	41,7	1415860	43,6	1511269	46,6
Bränslepanna	247387	7,6	1553540	47,9	361411	11,1	338157	10,4
Totalt, Fastighetsbränsle	247387	7,6	1553540	47,9	361411	11,1	338157	10,4
Totalt	1685379	51,9	2907026	89,6	1777271	54,8	1849426	57,0

Skillnaden i värmeanvändningen mellan in- och utgångar som alltid är öppna och alltid är stängda är stor. En dörr som alltid är öppen ökar energianvändning med nästan 73 % för hela byggnaden. Därmed är det viktigt att välja en energisnål dörr.

Resultatet från den simulerade karuselldörren anses vara någotsånär korrekt, men misstänks kunna ge en högre energianvändning än verkligheten. Skillnaden mellan försöket med simulerad karuselldörr och en alltid stängd dörr ger en ökad energianvändning på 2,9 kWh/m² för hela byggnaden.

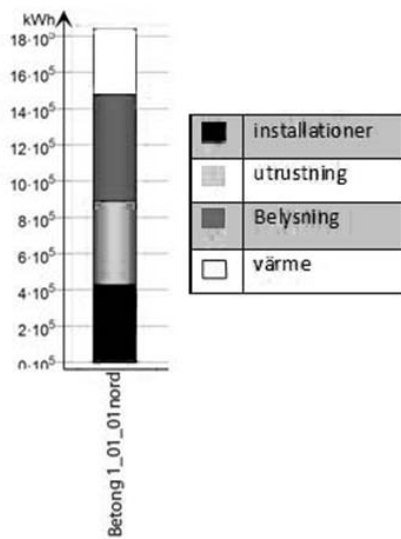
4.7 Minimera elbehovet

För att minimera elbehovet kan de energisnålaste elektriska apparater av alla slag väljas. Det är dock något som är svårt att påverka på byggnadsnivå. Många elektriska apparater är dessutom på verksamhetsnivå och inte på fastighetsnivå, och räknas därmed inte in i byggnadens specifika energianvändning.

Belysning är något som finns i alla fastigheter och som går att påverka. Belysning kan vara knuten till både verksamheten och till fastigheten, och bör därför delas upp efter användningsområde.

4.7.1 Belysning

I grundmodellen står belysning för 18,8 kWh/m². Genom att studera gällande krav och vilken typ av ljuskälla som används skulle elbehovet kunna minska. Som kan ses i figur 25 är belysningen den största posten i energianvändningen.



Figur 25 - Diagram över energianvändningen för betongkonstruktionen 1_01_01 med nordlig orientering

De installerade belysningskällorna har ett ljusutbyte mellan 12-70 lm/W. För en lågenergilampa motsvarar 70 lm/W ungefär en 7-10W glödlampa. Installerade ljuskällor avger med andra ord relativt svagt ljus.

Verkningsgraden är 0,3 vilket betyder att 70 % av den inmatade energin blir värme. Detta motsvarar någon form av lågenergilampa. Används en LED-lampa kan det gå att minska värmeavgivningen. En LED-lampa avger ingen värme från själva ljuskällan, utan från halvledaren som alstrar ljuset. Värmen som uppstår hanteras av armaturen. Därför är val av armatur viktig vid användandet av en LED-lampa. Rätt armatur sänker värmen runt LED-lampan och minskar därmed värmeavgivningen samtidigt som lampans livslängd förlängs (Ljuskultur i samarbete med belysningsbranschens LED-sektion, 2009).

BELOK ställer krav på hur stor den installerade belysningseffekten max får vara per kvadratmeter. En del av zonerna överstiger dessa krav. Därmed finns det utrymme för åtgärder för att minska belysningens installerade effekt.

4.7.2 Belysning med fiberoptik

Med hjälp av fiberoptik går det att föra in solljus utifrån. Fördelen är att solens alla synliga våglängder finns med i ljuset och ger därför ett brett naturligt ljusspektrum, som uppfattas som riktigt solljus (Parans). Systemet avger ingen värme och konsumerar mindre än 7 W/år. Nackdelen är att systemet endast kan använda sig av direkt solljus, vilket innebär att det inte kommer att fungera när moln blockerar solen (Parans). Därför behövs ett fiberoptiksystem kompletteras med vanliga armaturer. Simuleringar behövs för att bedöma om lösningen är ekonomiskt försvarbar i varje specifikt fall i och med att hur effektivt systemet är kommer skilja sig beroende på vilken ort, land och omgivning.

4.8 Utnyttja solenergin

Solenergi är en gratis energikälla. Beroende på hur stora glaspartier en byggnad har och hur dessa är orienterade kan en byggnad ta tillvara på gratis värme genom infallande sol. Det bör även beaktas så att solen inte värmer för mycket vid fel tidpunkt så att byggnaden behöver använda sig av extra kyla.

Solen är inte bara en värmekälla utan kan även med hjälp av solceller användas för att skapa elektricitet. Varje byggnads placering är unik, vilket gör varje fall unikt. Byggnadens orientering, latitud, omgivning och solcellernas vinkel och placering spelar roll hur mycket energi som går att producera. Vinkeln på solcellerna beror på när på året som energiproduktionen ska optimeras efter.

4.8.1 Påverkan av orientering

De två modellerna 1_01_01 av betong och 2_01_01 av plåtsandwich kommer att simuleras med olika orientering. Orienteringen som avses är orienteringen på entrén. Aktuella orienteringar blir med ingången mot:

- Väst (original)
- Nordväst
- Nord
- Nordöst
- Öst
- Sydöst
- Syd
- Sydväst

Inga ändringar på byggnadens utformning kommer att göras. Den omslutande arean per volym anses vara bra. Dock kunde utformningen vara mer kubisk för att minska omslutande area och antal köldbryggor.

4.8.2 Resultat

Betong

Tabell 21 - komfortpreferens för betongkonstruktion beroende på entréns orientering

	betong 1_01_01 n	betong 1_01_01 nv	betong 1_01_01 nö	betong 1_01_01 s
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	0	0	1	8
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	51	53	48	51

Tabell 22 - komfortpreferens för betongkonstruktion beroende på entréns orientering

	betong 1_01_01 sv	betong 1_01_01 sö	betong 1_01_01 v	betong 1_01_01 ö
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	11	1	4	0
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	52	48	53	48

Tabell 23 - använd energi

	betong 1_01_01 n		betong 1_01_01 nv		betong 1_01_01 nö		betong 1_01_01 s	
	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²
Installationsanläggning	438715	13,5	362668	11,2	482521	14,9	358434	11,0
Utrustning	463732	14,3	463730	14,3	463731	14,3	463730	14,3
Belysning	599326	18,5	599327	18,5	599329	18,5	599328	18,5
Totalt, Fastighetsel	1501773	46,3	1425725	43,9	1545581	47,6	1421492	43,8
Bränslepanna	353240	10,9	356875	11,0	343667	10,6	356579	11,0
Totalt, Fastighetsbränsle	353240	10,9	356875	11,0	343667	10,6	356579	11,0
Totalt	1855013	57,1	1782600	54,9	1889248	58,2	1778071	54,8

Tabell 24 - använd energi

	betong 1_01_01 sv		betong 1_01_01 sö		betong 1_01_01 v		betong 1_01_01 ö	
	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²
Installationsanläggning	354900	10,9	482521	14,9	353957	10,9	448398	13,8
Urustning	463730	14,3	463731	14,3	463730	14,3	463728	14,3
Belysning	599327	18,5	599329	18,5	599327	18,5	599328	18,5
Totalt, Fastighetsel	1417957	43,7	1545581	47,6	1417014	43,7	1511454	46,6
Bränslepanna	356037	11,0	343667	10,6	355609	11,0	339248	10,5
Totalt, Fastighetsbränsle	356037	11,0	343667	10,6	355609	11,0	339248	10,5
Totalt	1773994	54,7	1889248	58,2	1772623	54,6	1850702	57,0

Den bästa komforten per använd energi är med riktning öst, med avseende på hela byggnaden. Västlig orientering ger dock lägst energianvändning, även om uppvärmningsbehovet i östlig orientering är lägst.

De zoner som kan få operativa temperaturer över 26 °C är godsmottagning, entré, restaurang och kontor under april till september, men framförallt under perioden juni till augusti.

Tabell över resultat finns i bilaga 6.

Plåt

Tabell 25 - komfortpreferens för plåtsandwich beroende på entréns orientering

	2_01_01 n	2_01_01 nv	2_01_01 nö	2_01_01 s
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	1	0	3	10
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	49	51	46	49

Tabell 26 - komfortpreferens för plåtsandwich beroende på entréns orientering

	2_01_01 sv	2_01_01 sö	2_01_01 v	2_01_01 ö
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	12	0	7	2
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	50	47	51	46

Tabell 27 - använd energi

	2_01_01 n		2_01_01 nv		2_01_01 nö		2_01_01 s	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	531942	16,4	399788	12,3	614069	18,9	383745	11,8
Utrustning	463729	14,3	463731	14,3	463731	14,3	463730	14,3
Belysning	599327	18,5	599328	18,5	599327	18,5	599329	18,5
Totalt, Fastighetsel	1594998	49,1	1462847	45,1	1677127	51,7	1446804	44,6
Bränslepanna	346737	10,7	351354	10,8	333571	10,3	347896	10,7
Totalt, Fastighetsbränsle	346737	10,7	351354	10,8	333571	10,3	347896	10,7
Totalt	1941735	59,8	1814201	55,9	2010698	62,0	1794700	55,3

Tabell 28 - använd energi

	2_01_01 sv		2_01_01 sö		2_01_01 v		2_01_01 ö	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	375687	11,6	414884	12,8	377092	11,6	559072	17,2
Utrustning	463730	14,3	463729	14,3	463730	14,3	463730	14,3
Belysning	599326	18,5	599328	18,5	599329	18,5	599328	18,5
Totalt, Fastighetsel	1438743	44,3	1477941	45,5	1440151	44,4	1622130	50,0
Bränslepanna	350007	10,8	332262	10,2	350207	10,8	326476	10,1
Totalt, Fastighetsbränsle	350007	10,8	332262	10,2	350207	10,8	326476	10,1
Totalt	1788750	55,1	1810203	55,8	1790358	55,2	1948606	60,0

Den bästa komforten per använd energi är med riktning sydöst, med avseende på hela byggnaden. Det är även den orienteringen ger lägst energianvändning, även om uppvärmningsbehovet i östlig orientering är lägst.

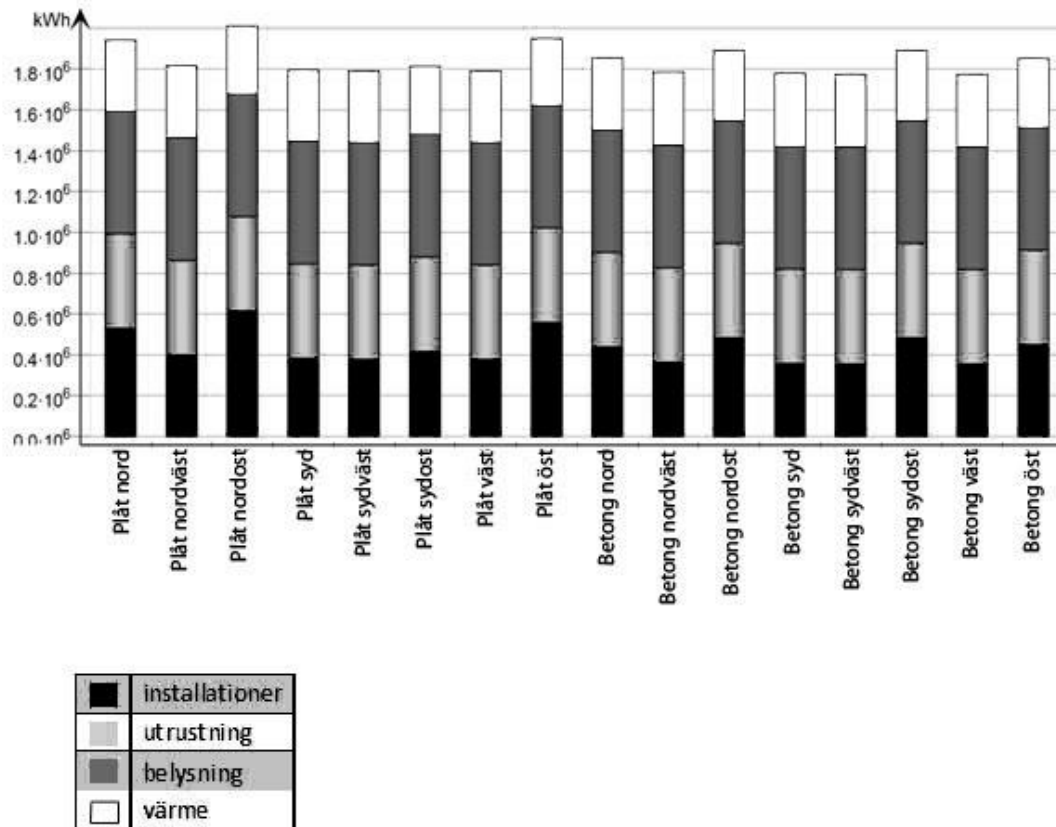
De zoner som kan få operativa temperaturer över 26 °C är godsmottagningen, ingång, restaurang och kontor under april till september, men framförallt under perioden juni till augusti.

Tabell över resultat finns i bilaga 7.

Jämförelse och diskussion

Med hänsyn till vilket klimat som fås i förhållande till använd energi anses plåtsandwichkonstruktion med entré i sydöstlig riktning vara bäst.

Plåtsandwich kräver mer energi om man jämför de olika alternativen i de olika orienteringarna. Detta beror antagligen på att betongkonstruktionen har överlag bättre köldbryggor. Variationerna i energibehov är större vid olika orienteringar än vid olika konstruktioner.



Figur 26 - Energianvändningen per år för olika orienteringar

Östlig orientering ger med betongkonstruktionen bäst komfort och lägst uppvärmningsbehov. Tyvärr så ökar fläktbehovet, vilket leder till att det totala energibehovet blir ett av de större.

I fallet med plåtsandwich sammanfaller bäst klimat per använd energi med lägst energibehov. Dock fås det bästa inomhusklimatet i östlig och nordöstlig riktning. Liksom i fallet med betongkonstruktionen har dessa riktningar lågt uppvärmningsbehov men ett ökat fläktbehov som leder till ökat energibehov.

4.8.3 Fönsterstorlek

Fönster orsakar värmeförluster då de har ett lägre U-värde än omgivande klimatskal. De kan även bidra till uppvärmning på grund av att de släpper in solljus som värmer. Simuleringar ska göras för att se om värme- eller kylbehov kan minskas genom att ändra fönsterarean. Då fönster släpper in solljus görs även simulering med en större fönsterarea och behovsstyrd Belysning. Eftersom fönsterareorna är olika stora i olika riktningar görs simuleringarna med olika orientering på byggnaden.

1_01_03_01

Den totala fönsterarean ökas.

1_01_03_01_01

Solavskärmningen ändras från fast till behovsstyrd.

Belysningen ändras från schemastyrd till behovs- och schemastyrd.

4.8.4 Resultat

En ökad fönsterarea leder till att värmeförlusten blir större. Värmeförlusterna blir totalt sett större än den värmeenergi som tillgodogörs genom solinstrålning.

Tabell 29 - energianvändning vid ökad fönsterarea

	1_01_03_01 n		1_01_03_01 nv		1_01_03_01 nö		1_01_03_01 s	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	449030	13,8	339889	10,5	368522	11,4	358603	11,1
Utrustning	463730	14,3	463730	14,3	463728	14,3	463730	14,3
Belysning	599327	18,5	599327	18,5	599328	18,5	599326	18,5
Totalt, Fastighetsel	1512087	46,6	1402946	43,2	1431578	44,1	1421659	43,8
Bränslepanna	365615	11,3	371715	11,5	364461	11,2	367781	11,3
Totalt, Fastighetsbränsle	365615	11,3	371715	11,5	364461	11,2	367781	11,3
Totalt	1877702	57,9	1774661	54,7	1796039	55,3	1789440	55,1

Tabell 30 - energianvändning vid ökad fönsterarea

	1_01_03_01 sv		1_01_03_01 sö		1_01_03_01 v		1_01_03_01 ö	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	353012	10,9	352224	10,9	352027	10,9	476281	14,7
Utrustning	463732	14,3	463730	14,3	463731	14,3	463730	14,3
Belysning	599327	18,5	599326	18,5	599327	18,5	599327	18,5
Totalt, Fastighetsel	1416071	43,6	1415280	43,6	1415085	43,6	1539338	47,4
Bränslepanna	369284	11,4	365941	11,3	368822	11,4	349075	10,8
Totalt, Fastighetsbränsle	369284	11,4	365941	11,3	368822	11,4	349075	10,8
Totalt	1785355	55,0	1781221	54,9	1783907	55,0	1888413	58,2

Effekten av behovsstyrd solavskärmning tillsammans med ökad fönsterarea ger ett varierat resultat från att minska energianvändning med 2,7 kWh/m² (öst) till att öka med 0,6 kWh/m² (nordväst). Väst är den enda som får märkbart bättre inneklimat med färre antal timmar med missnöjdhet med klimatet. Både syds och västs klimat förbättras i den bemärkelsen att antalet timmar med temperatur över 27 °C minskar. I syd förändras inte antalet timmar med missnöjdhet.

Tabell 31 - Energianvändning vid ökad fönsterarea och behovsstyrd solavskärmning

	1_01_03_01_01 n		1_01_03_01_01 nv		1_01_03_01_01 nö		1_01_03_01_01 s	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	476281	14,7	368522	11,4	352265	10,9	358603	11,1
Utrustning	463730	14,3	463728	14,3	463731	14,3	463730	14,3
Belysning	599327	18,5	599328	18,5	599328	18,5	599326	18,5
Totalt, Fastighetsel	1539338	47,4	1431578	44,1	1415324	43,6	1421659	43,8
Bränslepanna	349075	10,8	364461	11,2	365940	11,3	367781	11,3
Totalt, Fastighetsbränsle	349075	10,8	364461	11,2	365940	11,3	367781	11,3
Totalt	1888413	58,2	1796039	55,3	1781264	54,9	1789440	55,1

Tabell 32 - Energianvändning vid ökad fönsterarea och behovsstyrd solavskärmning

	1_01_03_01_01 sv		1_01_03_01_01 sö		1_01_03_01_01 v		1_01_03_01_01 ö	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	353012	10,9	353012	10,9	352007	10,9	371217	11,4
Utrustning	463732	14,3	463732	14,3	463731	14,3	463730	14,3
Belysning	599327	18,5	599327	18,5	599329	18,5	599327	18,5
Totalt, Fastighetsel	1416071	43,6	1416071	43,6	1415067	43,6	1434274	44,2
Bränslepanna	369284	11,4	369284	11,4	368827	11,4	366289	11,3
Totalt, Fastighetsbränsle	369284	11,4	369284	11,4	368827	11,4	366289	11,3
Totalt	1785355	55,0	1785355	55,0	1783894	55,0	1800563	55,5

Att ändra belysningen till behovsstyrd minskar energianvändningen då både kyl- och värmebehovet minskar.

Tabell 33 - Energianvändningen med ökad fönsterarea, behovsstyrd solavskärmning och belysning

	1_01_03_01_01 _01 n		1_01_03_01_01 _01 nv		1_01_03_01_01 _01 nö		1_01_03_01_01 _01 s	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	352002	10,9	344570	10,6	344570	10,6	358603	11,1
Utrustning	463733	14,3	463731	14,3	463731	14,3	463730	14,3
Belysning	599326	18,5	599328	18,5	599328	18,5	599326	18,5
Totalt, Fastighetsel	1415061	43,6	1407629	43,4	1407629	43,4	1421659	43,8
Bränslepanna	368817	11,4	369528	11,4	369528	11,4	367781	11,3
Totalt, Fastighetsbränsle	368817	11,4	369528	11,4	369528	11,4	367781	11,3
Totalt	1783878	55,0	1777157	54,8	1777157	54,8	1789440	55,1

Tabell 34 - Energianvändningen med ökad fönsterarea, behovsstyrd solavskärmning och belysning

	1_01_03_01_01 _01 sv		1_01_03_01_01 _01 sö		1_01_03_01_01 _01 v		1_01_03_01_01 _01 ö	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	339889	10,5	344570	10,6	449030	13,8	352007	10,9
Utrustning	463730	14,3	463731	14,3	463730	14,3	463731	14,3
Belysning	599327	18,5	599328	18,5	599327	18,5	599329	18,5
Totalt, Fastighetsel	1402946	43,2	1407629	43,4	1512087	46,6	1415067	43,6
Bränslepanna	371715	11,5	369528	11,4	365615	11,3	368827	11,4
Totalt, Fastighetsbränsle	371715	11,5	369528	11,4	365615	11,3	368827	11,4
Totalt	1774661	54,7	1777157	54,8	1877702	57,9	1783894	55,0

Om åtgärderna minskar energianvändningen eller inte i jämförelse med 1_01_01 beror på orienteringen av byggnaden.

4.8.5 Solceller och solfångare

För att göra mer avancerade modeller i IDA ICE, t.ex. använda solceller, krävs det att grundmodellen av installationsmodellen ersätts av en ESBO plant (se beskrivning av beräkningsprogram, kapitel 3.1 IDA ICE), vilket är en mer avancerad modell på installationerna. När omvandlingen sker följer inte tidigare värden med. Då storleken på varmvatten- och kallvattentankarna måste anges sätts dessa till 17 m³ då detta är den minsta storlek som klarar av fastighetens värme- och kylbehov. Pumparnas och fläktarnas effektivitet och verkningsgrad har samma värden som i tidigare modeller. Värme begränsad till 5 000 kW och kyla till 8 000 kW. Energianvändningen minskar vid bytet till en ESBO

plant; fläktarna drar mindre energi, men varmvattenanvändningen till uppvärmningen ökar. Jämförelse mellan de olika modellerna finns i bilaga 8.

Genom att installera solceller och solfångare erhålls gratis energi som går att ta tillvara på. Solceller på grund av den producerade elen går att använda till fastighets- och verksamhetsel. Solfångare producerar varmvatten som går att använda till uppvärmning och till tappvarmvatten.

Simuleringar görs för att kontrollera gynnsammaste vinkeln på solceller, hur många kvadratmeter som behövs för att täcka fastighetens årliga elbehov, hur många kvadratmeter som inte bör överskridas om det inte ska bli något överskott varje månad och hur många kWh/år som totalt går att installera med hänsyn till takets storlek. Enligt BBR får enbart den energi som går att tillgodogöra sig med en gång dras av från den specifika energianvändningen. Det motsvarar på ett ungefär att det inte blir något producerat överskott någon månad. Om en större area installeras går det att använda den producerade elen till annat än fastighetsel. Den vinkel på solceller och solfångare som kommer att användas i simuleringarna är den som ger mest energi totalt under året.

4.8.6 Resultat

Den mest gynnsammaste vinkeln för att producera så mycket el som möjligt under ett helt år ligger runt 52°. Ju större vinkel desto mer energi produceras under vinterhalvåret. Tabellen nedanför redovisar mängden producerad energi för en yta på 10 m² med olika vinklar.

Tabell 35- producerad solenergi för 10 m²

Månad	Vinkel								
	40	45	48	49	50	51	52	53	55
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	5,2	5,4	5,5	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7
2	29,1	31,2	32,3	32,7	33	33,4	33,7	34	34,6
3	57,3	59,6	60,8	61,2	61,6	61,9	62,2	62,5	63,1
4	95,2	96,4	96,7	96,8	96,9	96,9	97	97	96,9
5	131,6	131,2	130,5	130,3	130	129,7	129,4	129,1	128,3
6	150,5	149,1	148	147,5	147	146,5	146	145,4	144,1
7	145,8	144,9	144	143,7	143,3	142,9	142,5	142	140,9
8	100,5	100,9	100,9	100,8	100,8	100,7	100,6	100,5	100,2
9	55,6	57,3	58	58,3	58,5	58,7	58,9	59,1	59,4
10	40,9	43,6	45,1	45,5	46	46,4	46,9	47,3	48
11	10,2	11	11,4	11,6	11,7	11,8	11,9	12,1	12,3
12	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Totalt	824,1	832,8	835,6	836,2	836,6	836,9	837,1	837	836

Med en vinkel på 52° fås följande resultat:

- För att täcka upp hela årsbehovet av använd fastighetsel behövs 15 545 m² solceller.
- För att det aldrig ska bli överskott någon månad ska solcellernas area inte överskrida 7 735 m².

- Totalt går det att producera 1809453 kWh/år om 21 620 m² installeras.

För att få ut så mycket energi som möjligt under vinterhalvåret bör vinkeln på solcellerna vara 65-85°. Under sommarhalvåret bör vinkeln vara 30-45°. I och med att Umeå ligger så långt norr ut varierar vinkeln på de infallande solstrålarna kraftigt under året. För att verkligen få ut maximal produktion kan det eventuellt vara lönsamt att installera solceller som kan följa solens läge och vinkel under hela året.

4.9 Visa och reglera

Visa innebär att det finns ett installerat system som visar hur mycket energi olika delar förbrukar. Reglera är att energianvändningen anpassas efter behov. Exempel på det är att belysning, värme och ventilation är behovsstyrd

I denna fallstudie är brukningsmönstren till stor del redan kartlagda. Värme och kyla är igång vid behov under simuleringen. Ventilationen styrs efter koldioxidnivån när lokalerna används, annars är ventilationen på minimiflödet 0,35 l/s·m².

Andra energikrävande mönster kan påverkas positivt genom tekniska åtgärder. Exempel på detta kan vara att använda karuselldörrar, eller något likande, vid in- och utgång så att luftflöde och ofrivilligt luftläckage blir lägre. Om dessa styrs av rörelsesensorer kan energianvändningen minska samtidigt som arbetsmiljön förbättras för personalen vid kassorna, då risken för drag minskar.

4.9.1 Behovsstyrning av belysning

I grundmodellen är belysningen schemalagd. Mitt på dagen är belysningen på med maximal effekt. När verksamheten är lägre ner på morgnar och kvällar är den reducerad. En del av rummen som t.ex. ett kontor skulle kunna reducera sitt behov av belysning och utnyttja solljus istället. Ett sätt att göra detta på är att använda sig av ett system som kombinerar ljusreglering och närvarostyrning. Ljusreglering skulle även kunna användas i försäljningsutrymmen.

Zonerna godsmottagning, entré, check out, restaurang och kontor, ändras så att de kontrolleras genom schema och börvärde. De här zonerna är utvalda p.g.a. vistelsetiden i dessa zoner är hög av besökare och arbetstagare. Om ljuskällan kommer från solen skulle trivseln och produktiviteten kunna öka (Parans).

Börvärdena varierar beroende på zon och anges i lux. När belysningen kontrolleras med schema och börvärde kan belysningen vara tänd under den tid som schemat anger, men släcks om ljusnivån överstiger maximal angiven lux, och tänds igen när ljusnivån når den undre nivån. Jämförelser och ändringar görs enbart från modell 1_01_01 då simuleringarna tar lång tid. Simuleringar med olika orienteringar på byggnaden då solljuset infaller olika och eventuella besparingar kan skilja sig åt beroende på byggnadens orientering.

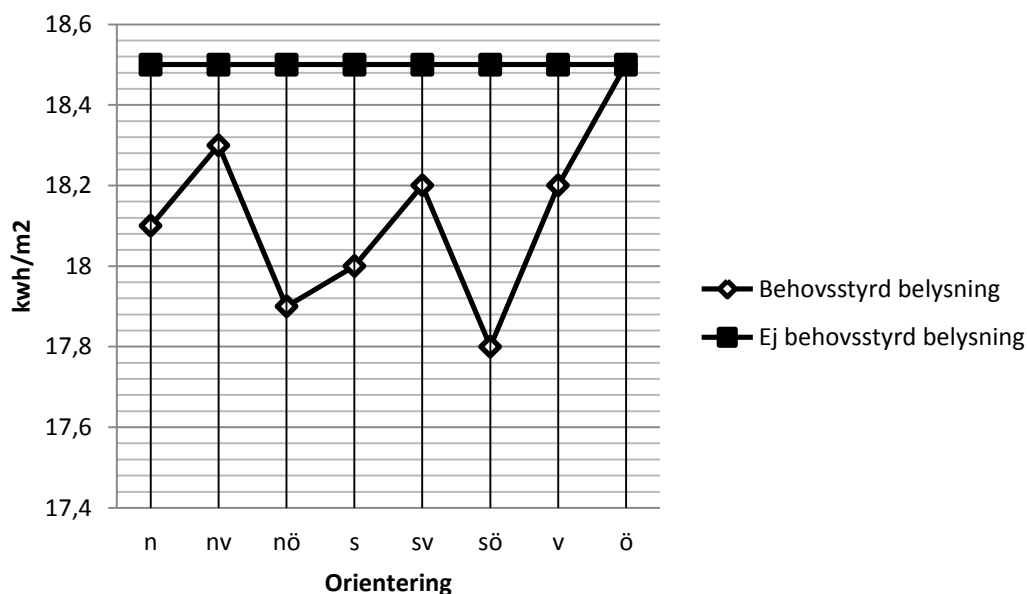
4.9.2 Resultat

Tabell 36 - Energimätare när belysningen har ändrats

	1_01_04 belysning n		1_01_04 belysning nv		1_01_04 belysning nö		1_01_04 belysning s	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	427636	13,2	357302	11,0	464772	14,3	350610	10,8
Utrustning	463730	14,3	463731	14,3	463730	14,3	463730	14,3
Belysning	588621	18,1	594283	18,3	579687	17,9	585421	18,0
Totalt, Fastighetsel	1479987	45,6	1415316	43,6	1508189	46,5	1399761	43,1
Bränslepanna	362234	11,2	366317	11,3	353477	10,9	368574	11,4
Totalt, Fastighetsbränsle	362234	11,2	366317	11,3	353477	10,9	368574	11,4
Totalt	1842221	56,8	1781633	54,9	1861666	57,4	1768335	54,5

Tabell 37 - Energimätare när belysningen har ändrats

	1_01_04 belysning sv		1_01_04 belysning sö		1_01_04 belysning v		1_01_04 belysning ö	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	348470	10,7	355447	11,0	348535	10,7	448398	13,8
Utrustning	463730	14,3	463731	14,3	463731	14,3	463728	14,3
Belysning	589851	18,2	576075	17,8	591257	18,2	599328	18,5
Totalt, Fastighetsel	1402051	43,2	1395253	43,0	1403523	43,2	1511454	46,6
Bränslepanna	366027	11,3	358576	11,1	365634	11,3	339248	10,5
Totalt, Fastighetsbränsle	366027	11,3	358576	11,1	365634	11,3	339248	10,5
Totalt	1768078	54,5	1753829	54,0	1769157	54,5	1850702	57,0



Figur 27 - Diagram över hur behovsstyrd belysning påverkar energibehovet för belysning

Ljusreglering kan ge en liten skillnad i energibehovet vilket tydliggörs i figur 27 som grundar sig i resultaten i tabell 36 och 37.

För att minska värmeavgivningen och därmed minska kylbehovet skulle LED-lampor kunna användas, då det numera finns en del LED-lampor som fungerar att ljusreglera.

4.10 Välj energi

Det sista steget i Kyotopyramiden är att välja energikälla. Vilket energilag som är bäst ur miljösynpunkt beror på hur energin produceras. Vid uppvärmning och kyla tas hänsyn till hur stora utsläppen blir när värmen och kylan produceras.

På den nordiska elmarknaden kan koldioxidutsläpp för el variera mellan ca 0-100 g/kWh (Svensk energi). Koldioxidutsläpp från ett fjärrvärme- eller fjärrkyleverk beror i hög grad vilken typ av bränsle som används i just det verket. Siffror för specifika verk finns att hämta på Svensk Fjärrvärme (Svensk Fjärrvärme). För Umeå fjärrvärme är det totala koldioxidutsläppet 82 g/kWh. Då är både koldioxidutsläpp för både förbränning och distribution medräknat.

4.10.1 Värme och kyla

Genom att använda sig av fjärrvärme och fjärrkyla belastar inte förlusterna byggnaden så som den kan göra ifall en värmepanna används. Verkningsgraden/ energiutbytet sägs vara 1 då förlusterna sker utanför systemgränsen. Enligt definitionen på en byggnads specifika energianvändning skulle därför fjärrvärme och fjärrkyla kunna sänka den specifika energianvändningen. För att kunna använda sig av fjärrverk krävs det att det finns sådana i området/ orten och att verket har kapaciteten för en utbyggnad vid nybyggnation.

Kyla behövs framförallt under sommaren när tillgången till el är stor. Under denna tidsperiod producerar solcellerna mycket el, vilken kan användas för att producera kyla vid behov. Även om kylan produceras ur en högvärdig energikälla blir koldioxidutsläppen och kostnaderna låga. Att producera kyla ur garanterat grön högvärdig el kan vara bättre ur miljösynpunkt än att använda lågvärdig energi som bidrar till koldioxidutsläpp. Kyla och värme från fjärrverk kan som tidigare nämnts produceras ur icke förnybara källor.

Då det är möjligt att simulera hur energibehovet påverkas genom olika energikällor kommer detta att jämföras. Det hade varit intressant att se hur självcirkulerande kyltorn, evaporativ kyla och frikyla hade påverkat energianvändningen. Även om det går att simulera dessa i IDA ICE krävs det kunskaper i att göra egna kopplingscheman. Simuleringar kommer därför inte göras med dessa kyltekniker.

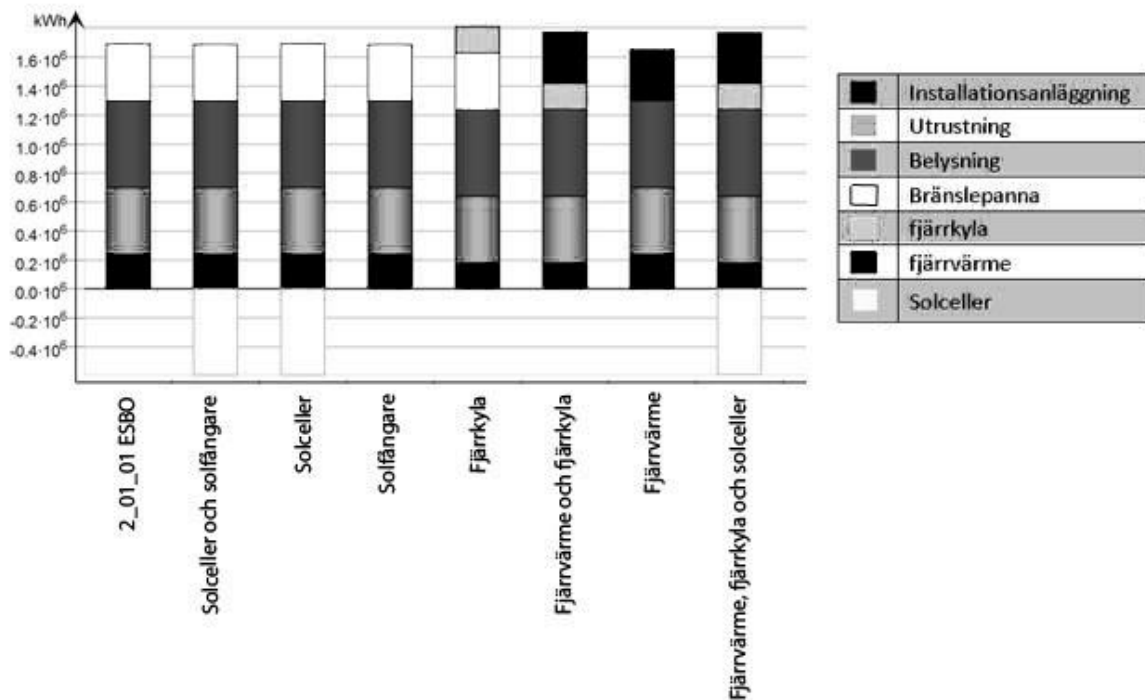
4.10.2 Resultat

Tabell 38 - Använd energi vid olika energislag

	2_01_01 ESBO		solceller och solfångare		solceller		solfångare	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	238694	7,4	238545	7,4	238459	7,3	238760	7,4
Utrustning	463728	14,3	463730	14,3	463728	14,3	463727	14,3
Belysning	599328	18,5	599328	18,5	599328	18,5	599328	18,5
Totalt, Fastighetsel	1301750	40,1	1301603	40,1	1301515	40,1	1301815	40,1
Bränslepanna	390987	12,1	387514	11,9	391089	12,1	387126	11,9
Totalt, Fastighetsbränsle	390987	12,1	387514	11,9	391089	12,1	387126	11,9
Fjärrkyla								
Fjärrvärme								
Totalt, Fastighetsenergi fjärrverk	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Totalt	1692737	52,1	1689117	52,0	1692604	52,1	1688941	52,0
Solceller			-594459	-18,3	-594445	-18,3		
Totalt, Producerad el	0	0,0	-594459	-18,3	-594445	-18,3	0	0,0
Total summa	1692737	52,1	1094658	33,7	1098159	33,8	1688941	52,0

Tabell 39 - Använd energi vid olika energislag

	fjärrkyla		fjärrvärme och fjärrkyla		fjärrvärme		fjärrvärme, fjärrkyla och solceller	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	177559	5,5	177559	5,5	238694	7,4	177555	5,5
Utrustning	463728	14,3	463728	14,3	463728	14,3	463731	14,3
Belysning	599328	18,5	599328	18,5	599328	18,5	599327	18,5
Totalt, Fastighetsel	1240615	38,2	1240615	38,2	1301750	40,1	1240613	38,2
Bränslepanna	390987	12,1						
Totalt, Fastighetsbränsle	390987	12,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fjärrkyla	183410	5,7	183410	5,7			182881	5,6
Fjärrvärme			351889	10,8	351889	10,8	348492	10,7
Totalt, Fastighetsenergi fjärrverk	183410	5,7	535299	16,5	351889	10,8	531373	16,4
Totalt	1815012	55,9	1775914	54,7	1653639	51,0	1771986	54,6
Solceller							-591096	-18,2
Totalt, Producerad el	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-591096	-18,2
Grand total	1815012	55,9	1775914	54,7	1653639	51,0	1180890	36,4



Figur 28 - Använd energi vid olika energislag

I tabellerna 35 och 36 tydliggörs hur den köpta energianvändningen blir mindre när en del av den använda energin är egenproducerad el från solceller.

Fjärrkyla ger i detta fall upphov till en ökad energianvändning jämfört med när energin kommer från el. Fjärrkylan minskar behovet av el till distributionssystemet, men inte tillräckligt för att jämna ut energiskillnaderna. Om en eldriven kylmaskin hade använts för kylbehovet och ingått i systemgränsen skulle energianvändningen kunna bli större än jämfört med fjärrkyla. Energibehovet minskar om fjärrvärme används istället för att använda egen bränslepanna.

När systemgränserna är satta enligt BBR borde det mest energieffektiva systemet vara uppvärmning med hjälp av fjärrvärme och kyla med hjälp av elvärme. Elen kan vara producerad av egentillverkad el från solceller.

En sådan energilösning skulle enligt FEBY 12 kunna klassas som ett icke renodlat system. Därmed behöver beräkningar göras för att se om byggnaden uppfyller de krav som ställs för att en byggnad ska klassas som ett passivhus. Då energin för ett icke renodlat system viktas vid energiberäkningar i FEBY 12 skulle det kunna visa sig att fjärrkyla är ett bättre alternativ än elkyla producerad från solceller.

4.11 Slutgiltig modell

Slutgiltiga versioner kommer att skapas med de båda olika konstruktionerna med de orienteringar som gav bäst resultat i kapitel 4.8.1 Påverkan av orientering.

4.11.1 Val av slutgiltiga modellerer

Med plåtsandwich kommer enbart sydöstlig riktning på entrén att simuleras då den hade lägst energianvändning och bäst inneklimat med hänsyn till energianvändningen.

Betongkonstruktionen kommer att simuleras ur västlig orientering, som gav lägst energibehov, och ur östlig riktning, som gav bäst inneklimat med hänsyn till energianvändning.

Då större fönster inte gav något större positivt utslag i energianvändningen kommer ingen av modellerna simuleras med detta. Däremot kommer belysningen vara behovsstyrd i zonerna 8 godsmottagning, 1b entré, 6a och 6b check out, 3a restaurang och 7 kontor. Dörren som sätts in är en glasdörr som är öppet enligt ett schema.

Slutversionerna kommer att delas upp i två stycken. I den första kommer energikällorna vara fjärrvärme, fjärrkyla, solceller och solfångare. I den andra kommer energikällorna vara fjärrvärme, elkyla, solceller och solfångare.

4.11.2 Resultat av slutgiltiga modellerer

Enligt resultaten i tabellerna 40 och 41 ger plåtsandwich med entré mot sydöst lägst energianvändning. Högst energianvändning ger betongkonstruktion med entré mot väst. Denna riktning och konstruktion genererar också sämst inneklimat. Bäst inneklimat genererar betongkonstruktionen med entré mot öst enligt tabellerna 42 och 43.

Mot denna bakgrund går det att se att de bästa konstruktionerna är plåtsandwich med entré mot sydöst och betongkonstruktion med entré mot öst. För att säga vilken av dessa som är bättre än den

andra måste energibehovet viktas mot inneklimatet. Då detta det huvudsakliga målet är att minska energianvändningen anses plåtsandwichkonstruktionen i detta fall vara den bästa konstruktionen.

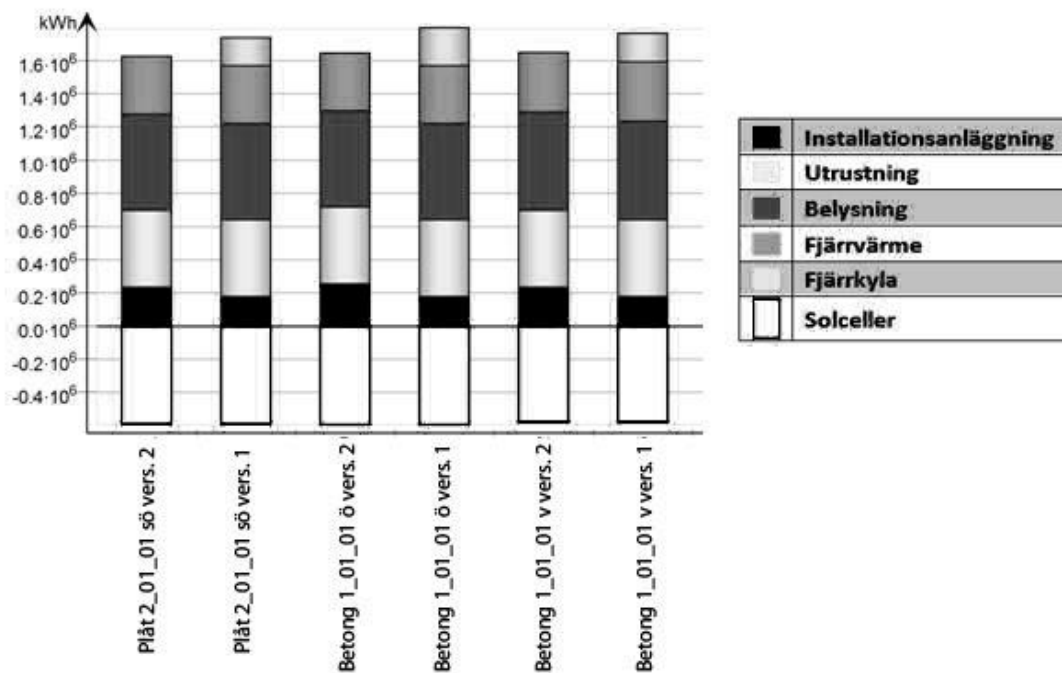
En hög andel befolkade timmar med termisk missnöjdhet kan i stor del förklaras med att zonen för godsmottagning är medräknad. Den nämnda zonen har temperaturbörvärden 15- 30 °C. Den stora temperaturspridningen påverkar resultatet negativt. Det hade varit intressant att se hur många procent av antalet timmar med termiskt missnöje är utan att ta med zonen Godsmottagning.

Tabell 40 - Energianvändning över ett helt år

	plåt 2_01_01 sö version 2		plåt 2_01_01 sö version 1		betong 1_01_01 ö version 2	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	233700	7,2	177315	5,5	253056	7,8
Utrustning	463731	14,3	463731	14,3	463731	14,3
Belysning	580000	17,9	580000	17,9	578658	17,8
Totalt, Fastighetsel	1277431	39,4	1221046	37,6	1295445	39,9
Fjärrvärme	347952	10,7	347952	10,7	345174	10,6
Fjärrkyla			169156	5,2		
Totalt, Fastighetsenergi fjärrverk	347952	10,7	517108	15,9	345174	10,6
Totalt	1625383	50,1	1738154	53,6	1640619	50,6
Solceller	-591109	-18,2	-591109	-18,2	-594480	-18,3
Totalt, Producerad el	-591109	-18,2	-591109	-18,2	-594480	-18,3
Total summa	1034274	31,9	1147045	35,3	1046139	32,2

Tabell 41 - Energianvändning över ett helt år

	betong 1_01_01 ö version 1		betong 1_01_01 v version 2		betong 1_01_01 v version 1	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	177654	5,5	233283	7,2	177456	5,5
Utrustning	463731	14,3	463730	14,3	463730	14,3
Belysning	578658	17,8	591404	18,2	591406	18,2
Totalt, Fastighetsel	1220043	37,6	1288417	39,7	1232592	38,0
Fjärrvärme	345174	10,6	363750	11,2	354914	10,9
Fjärrkyla	226208	7,0			170146	5,2
Totalt, Fastighetsenergi fjärrverk	571382	17,6	363750	11,2	525060	16,2
Totalt	1791425	55,2	1652167	50,9	1757652	54,1
Solceller	-594480	-18,3	-579225	-17,9	-579237	-17,9
Totalt, Producerad el	-594480	-18,3	-579225	-17,9	-579237	-17,9
Total summa	1196945	36,9	1072942	33,1	1178415	36,3



Figur 29 - Energianvändning över ett helt år

Tabell 42 - Inneklimat

	plåt 2_01_01 sö version 2	plåt 2_01_01 sö version 1	betong 1_01_01 ö version 2
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	0	0	0
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	51	51	49

Tabell 43 - Inneklimat

	betong 1_01_01 ö version 1	betong 1_01_01 v version 2	betong 1_01_01 v version 1
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	0	3	3
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	49	53	53

4.12 Modell med värden från FEBY 12

Energiberäkningar enligt FEBY 12 är utformat så att byggnader med likande användningsområden ska vara så jämförbara som möjligt med varandra. Därför sätts standardiserade internlaster in i byggnaden vid beräkningar istället för de verkliga.

Grundmodellen och den slutgiltiga modellen ändras så att internlasterna i största möjliga utsträckning liknar FEBY 12:s referensvärden.

4.12.1 Anpassning av internlaster enligt FEBY 12

Den tolkning som görs av referensvärdena för personbelastningen är att verksamheten är 63 respektive 45 timmar/vecka. Detta slogs ut som ett medelvärde per dag.

Persontätheten ska enligt FEBY 12 vara 3 m²/person. Denna enhet finns inte i IDA ICE utan räknas om till 0,33 personer/m². Personnärvaron är 15 % i butiksdel och 10 % i restaurangdelen.

Verksamhetsenergin anges i FEBY 12 som kWh/m². Det går inte att skriva in den här enheten i IDA ICE. Därför används värden från spillvärme från belysning istället. Dessa är 3,2 och 2,0 för butiker respektive lunchrestauranger. Eftersom värdet som anges som spillvärme tas all energi vara som värme.

Varmvattenanvändningen är 2 kWh/m² per år.

4.12.1 Resultat av anpassning av internlaster enligt FEBY 12

Med internlaster enligt FEBY 12 så blir energibehovet enligt tabell 44

Tabell 44 - Energianvändning under ett år

	FEBY 1 - grundmodell		FEBY 2 - slutversion med bränslepanna		FEBY 3 - slutversion med fjärrvärme	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	239374	7,4	214941	6,6	168040	5,2
Utrustning	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Belysning	477274	14,7	487916	15,0	487916	15,0
Totalt, Fastighetsel	716648	22,1	702857	21,7	655956	20,2
Bränslepanna	1458744	45,0				
Totalt, Fastighetsbränsle	1458744	45,0	0	0,0	0	0,0
Fjärrvärme			428111	13,2	428113	13,2
Fjärrkyla					143366	4,4
Totalt, Fastighetsenergi fjärrverk	0	0,0	428111	13,2	571479	17,6
Totalt	2175392	67,0	1130968	34,9	1227435	37,8
Solceller			-594432	-18,3	-594433	-18,3
Totalt, Producerad el	0	0,0	-594432	-18,3	-594433	-18,3
Total summa	2175392	67,0	536536	16,5	633002	19,5

För att räkna ut den specifika energianvändningen enligt FEBY 12 används följande ekvation:

$$E_{viktad} = 2,5 \cdot \Sigma(E_{el,till} - E_{el,från}) + \Sigma(E_{\ddot{o},till} - E_{\ddot{o},från}) + 0,8 \cdot \Sigma(E_{fjv,till} - E_{fjv,från}) \\ + 0,4 \cdot \Sigma(E_{kyla,till} - E_{kyla,från}) / A_{Temp} [kWh_{viktad}/m^2 A_{Temp}, \ddot{a}r]$$

Där

$E_{el,från}$ är gen genererad som levereras från byggnaden

E_{fjv} är energi från fjärrvärme

E_{kyla} är energi från fjärrkyla

$E_{\ddot{o}}$ är levererad energi från övriga slag som t.ex. biobränsle, naturgas m.fl.

-till, och – från är energi levererad till byggnaden, respektive från byggnaden

I beräkningarna kommer endast energi för klimatinstallationer tas med då energi från belysning räknas som verksamhetsenergi.

För grundfallet, som kallas FEBY 1 i tabellen på föregående sida blir den specifika energianvändningen:

$$2,5 \cdot (7,4) + 45 = 63,5 [kWh_{viktad}/m^2 A_{Temp}, \ddot{a}r]$$

För FEBY 2, som är plåtsandwich sydöst slutversion 2, d.v.s. utan fjärrkyla blir den specifika energianvändningen:

$$2,5 \cdot (6,6 - 18,3) + 0,8 \cdot (13,2) = -18,69 [kWh_{viktad}/m^2 A_{Temp}, \ddot{a}r]$$

Solcellerna ger ett överskott av elenergi. Byggnaden kan därmed klassas som ett plusenergihus. Överskottet av den producerade elen kan användas till belysning och annan utrustning.

För FEBY 3, som är plåtsandwich sydöst slutversion 1, d.v.s. med fjärrkyla blir den specifika energianvändningen:

$$2,5 \cdot (5,2 - 18,3) + 0,8 \cdot (13,2) + 0,4 \cdot (4,4) = -20,43 [kWh_{viktad}/m^2 A_{Temp}, \ddot{a}r]$$

Även här ger solcellerna ett överskott som kan användas till belysning och övrig utrustning.

I och med att byggnaden i den sista versionen, FEBY 3, kyls med fjärrkyla sänks den viktade specifika energianvändningen jämfört med FEBY 2. Att detta händer är tack vare att energislagen är viktade, annars hade den specifika energianvändningen varit lägre för FEBY 2.

Den viktade specifika energianvändningen är för FEBY 2 och FEBY 3 lägre än 0. Detta innebär att byggnaderna kan klassas som ett nollenergihus. Detta innebär att byggnaden producerar mer energi än vad det gör av med.

5 Slutsats och diskussion

Som fallstudien har visat går det att minska energianvändningen med befintlig teknik. Det som verkar ha haft störst betydelse för energianvändningen har varit U-värden och lufttätheten. Den byggnadskonstruktion som visade sig att vara den bästa hade sämre köldbryggor än den andra konstruktionstypen, men var i gengäld mer lufttät. Det har dock inte tagits hänsyn till om lösningarna är ekonomiskt försvarbara. Rent byggnadstekniskt anser jag att lösningarna är rimliga. Solcellerna kan dock vara något överdimensionerade, men jag anser att jag visar mer på vad som är möjligt än vad som är ekonomiskt försvarbart för tillfället.

Resultaten från simuleringarna ger bara en ungefärlig energianvändning. Denna varierar från år till år. Det simuleringsår som användes under beräkningarna var år 2006. Dessutom är inga förluster angivna i systemen. Med dessa förluster ökar energianvändningen ytterligare. En brist är att värdena på köldbryggorna är enbart ungefärliga värden. Ett säkrare värde skulle kunna behöva räknas ut med mer detaljerade ritningar. En del av köldbryggorna är dessutom enbart uppskattade då jag inte hade tillgång till de detaljritningar som behövs.

Uppbyggnaden av modellen på varuhuset är på en rätt låg detaljnivå. De huvudsakliga zonerna är inte indelade i mer detalj än efter deras huvudsakliga område. Det innebär att det saknas det är inte specierat var t.ex. toaletter, kontor och andra rum ligger. Därför saknas det även en hel del innerväggar som bland annat kan jämna ut värme och påverka belysningsbehovet. Att modellen inte är fullständig påverkar naturligtvis den egentliga slutgiltiga energianvändningen.

Att orienteringen hade så pass stor betydelse på energianvändningen blev jag förvånad över. Ett IKEA-varuhus är relativt stort och med en liten andel fönsterpartier. Jag tycker att studien visat tydligt att det har stor betydelse åt vilket håll entréer och stora glaspartier är riktade. Det blev även rätt tydligt att inomhusklimatet och temperaturen påverkades mycket av glaspartiernas riktning. Av detta kan man dra lärdomen att inte placera stora glaspartier åt syd till väst. Luften värms upp för mycket av solinstrålningen och leder i sin tur att kylbehovet ökar.

Jag tycker det är synd att jag på grund av bristande kunskaper och tidsbrist inte haft möjlighet till att göra egna kopplingsscheman. Med denna kunskap skulle jag kunnat simulera fiberoptik. Förutom att kunna minska på energi till belysningen så ökar välbefinnandet av att vistas i dagsljus. Att kunna få in dagsljus djupt inne i ett varuhus skulle kunna öka trivseln på arbetsplatsen samtidigt som försäljningen skulle kunna öka p.g.a. att kunderna upplever miljön som trevligare och uppfattar därmed produkterna som mer attraktiva. Det skulle även vara intressant att se om fiberoptik är en gångbar lösning så långt norrut.

Med kunskaper om hur man gör ett kopplingsschema skulle det finnas möjlighet till att simulera kyla genom bl.a. kyltorn. Om teorin stämmer med verkligheten skulle energianvändningen kunna minskas ytterligare.

Att inte fler bygger så pass energisnåla byggnader tror jag beror dels på en högre byggkostnad och till en viss del av gammal vana. Därför är det i förlängningen viktigt att visa på den minskade energianvändningen för att öka viljan till att bygga fler byggnader med låg specifik energianvändning.

Ju tidigare man lär sig bygga mer energisnålt desto mindre blir effekten när byggreglerna skärps till att alla byggnader ska byggas som passivhus efter 2020.

6 Litteraturförteckning

- Abel, E., & Elmroth, A. (2006). *Byggnaden som system* (2 uppl.). Forskningsrådet Formas.
- Adalberth, K. (1998). *God lufttätthet - En guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer*. Byggeforskningsrådet.
- Arbetsmiljöverket. (den 23 04 2013). *Arbetsplatsens utformning*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: http://www.av.se/dokument/afs/afs2009_02.pdf den 07 02 2014
- BELOK. (den 15 12 2003). *Bilaga 7, 2003-12-15 Ordlista*. Hämtat från BELOK: http://www.belok.se/docs/dagsljus/Bilaga7_Ordlista_ljus.pdf den 26 05 2014
- BELOK. (2008, maj). *Innemiljökrav, version 3*. BELOK.
- BELOK. (2011, augusti). *Energikrav för byggnader, version 3*. BELOK.
- Bergsten, B. C. (2008). *Frikyla med kyltorn - Utvärdering av pilotprojekt om frikyla från evaporativt kyltorn kopplat till vattenburen komfortkyla*. Göteborg: BELOK.
- BetongBanken. (u.d.). *Dokumenterade mätresultat*. Hämtat från BetongBanken: <http://www.communigate.se/index.aspx?s=2645> den 06 05 2014
- Bokalders, V., & Block, M. (2009). *Byggekologi - Kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm: AB Svensk byggtjänst.
- Boverket. (2012). *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler* (2 uppl.). Boverket.
- Boverket. (2013). *Boverkets byggregler, BBR*. Boverket.
- Boverket. (u.d.). *Energi från solfångare och solceller får tillgodoräknas vid bestämning av byggnadens specifika energianvändning. Hur mäts eller beräknas detta?* Hämtat från Boverket: <http://www.boverket.se/Kontakta-oss/Fragor-och-svar/Boverkets-byggregler-BBR/Om-avsnitt-9-i-BBR/Energikrav/Energi-fran-sol/> den 13 02 2014
- Bygga L. (2014). *Lufttätthet - en förutsättning för väl fungerande byggnader*. Hämtat från Lufttäta byggnader: <http://www.lufttathet.se/sv/why/Sidor/default.aspx> den 07 03 2014
- Dahlblom, M., & Warfvinge, C. (2010). *Projektering av installationer i byggnader*. Lund: Studentlitteratur.
- Ekonomifakta. (den 13 12 2013). *Elanvändning*. Hämtat från Ekonomifakta: <http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elanvandning/> den 03 02 2014
- Ekonomifakta. (den 13 12 2013). *Elanvändning per sektor - utveckling*. Hämtat från Ekonomifakta: <http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elanvandning-utveckling/> den 03 02 2014

- Ekonomifakta. (den 14 10 2013). *Elproduktion - internationellt*. Hämtat från Ekonomifakta: <http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Energi/Energibalans-internationellt/Elproduktion/> den 03 02 2014
- Ekonomifakta. (den 11 09 2013). *Energianvändning per sektor - internationellt*. Hämtat från Ekonomifakta: <http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Energi/Energibalans-internationellt/Energianvandning/> den 03 02 2014
- Ekonomifakta. (den 12 12 2013). *Energianvändning per sektor - utveckling*. Hämtat från Ekonomifakta: <http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Energianvandning-utveckling/> den 11 06 2014
- Elmroth, A., Roos, A., Berglund, B., Nowacki, J.-E., Sjögren, J.-U., Gräslund, J., . . . Levin, P. (2010). *Energieffektiva byggnader*. Stockholm: Kretsloppsrådet.
- Energimyndigheten. (2010). *Uppdrag 13: Nationell strategi för lågenergibygnader*. Hämtat från Energimyndigheten: <http://www.energimyndigheten.se/PageFiles/17865/Nationell%20strategi%20f%C3%B6r%20l%C3%A5genergibygnader.pdf> den 27 05 2014
- Energimyndigheten. (2013). *Energiläget 2013*. Statens energimyndighet.
- Energimyndigheten. (den 15 04 2013). *Styrmedel*. Hämtat från Energimyndigheten: <http://www.energimyndigheten.se/Offentlig-sektor/Energieffektiva-myndigheter/Styrmedel/> den 04 02 2014
- Energimyndigheten och Boverket. (2005). *Solceller i byggnader – nya möjligheter!* Energimyndigheten.
- Equa Solutions AB. (2013). *User Manual IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5*. Hämtat från Equa Solutions: http://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/1256391/mod_resource/content/1/ICE45eng.pdf den 07 02 2014
- Equa Solutions AB. (u.d.). *Building Performance Simulation (BPS)*. Hämtat från Equa Solutions: <http://www.equa-solutions.co.uk/en/software> den 07 02 2014
- Equa Solutions. (u.d.). *Validation & Certifications*. Hämtat från Equa Solutions: <http://www.equa-solutions.co.uk/en/software/validation> den 07 02 2014
- Equa. (u.d.). *Validation & Certifications*. Hämtat från Equa Solutions: <http://www.equa-solutions.co.uk/en/software/validation> den 07 02 2014
- Föreningen V. (2000). *Eleffektivitet hos fläktar och luftbehandlingsaggregat - beräkning och kontroll av SPFv-värden*. Stockholm: Föreningen V.
- Kjellsson, E. (2004). *Solvärme i bostäder med analys av kombinationen solfångare och bergvärmepump*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsfysik.

- Lavenergi programmet. (u.d.). *Hvor kan man få hjelp til å bygge passivhus?* Hämtat från Lavenergi programmet: <http://www.lavenergiprogrammet.no/hvor-kan-man-faa-hjelp-til-aa-bygge-passivhus/hvor-kan-man-faa-hjelp-til-aa-bygge-passivhus-article95-238.html> den 12 05 2014
- Ljuskultur. (1990). *Belysning inomhus*. Stockholm: Ljuskultur.
- Ljuskultur i samarbete med belysningsbranschens LED-sektion. (2009). *Värt att veta om LED*. Ljuskultur.
- Miljödepartementet. (den 12 09 2012). *Mål och åtgärder*. Hämtat från Regeringskansliet: <http://www.regeringen.se/sb/d/11759/a/123033> den 03 02 2014
- Nevander, L. E., & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok - Praktik och teori* (3 uppl.). Stockholm: AB Svensk byggtjänst.
- Nordman, R., Andersson, K., Axell, M., & Lindahl, M. (2010). *Calculation methods for SPF for heat pump systems for comparison, system choice and dimensioning*. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden.
- Parans. (u.d.). *FAQ*. Hämtat från Parans: <http://parans.com/swe/customerservice/faq.cfm> den 11 04 2014
- Parans. (u.d.). *The Parans System Brochure*. Hämtat från Parans: http://parans.com/eng/customerservice/documents/ParansBrochure_web.pdf den 11 04 2014
- Paroc. (01 2014). *Teknisk handbok PAROC - elementlösningar*. Hämtat från Paroc: <http://www.paroc.se/~media/Files/Brochures/Sweden/Technical-Guide-Paroc-Panels-SE.ashx> den 06 05 2014
- Paroc. (u.d.). *Betongelement*. Hämtat från Paroc: <http://www.paroc.se/losningar-och-produkter/losningar/vaggar/betongelement> den 28 04 2014
- Paroc. (u.d.). *Låglutande tak Betonghåldäck*. Hämtat från Paroc: <http://www.paroc.se/losningar-och-produkter/losningar/tak/laglutande-tak-betonghaldack> den 28 04 2014
- Paroc. (u.d.). *PAROC sandwichelement*. Hämtat från Paroc: <http://www.paroc.se/losningar-och-produkter/losningar/sandwichelement/paroc-sandwichelement> den 28 04 2014
- Passivhaus Institut. (2014). *Qualitätsanforderungen an Passivhäuser*. Hämtat från Passivhaus Institut: http://www.passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm den 27 02 2014
- SMHI. (den 22 11 2012). *Växthuseffekten*. Hämtat från SMHI: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844> den 03 02 2014
- SP. (u.d.). *Allmänt om fukt*. Hämtat från SP: <http://www.sp.se/sv/index/services/moist/general/Sidor/default.aspx> den 27 02 2014

- Strängnäsbetong. (07 2010). *TermoDeck - modern uppvärmning*. Hämtat från Strängnäsbetong: <http://www.strangnasbetong.se/wp-content/uploads/2011/11/TermoDeck.pdf> den 26 05 2014
- Svensk Betong. (u.d.). *Platsgjuten stomme i Svenska Bostäders första passivhus*. Hämtat från Svensk Betong: <http://www.svenskbetong.se/om-svensk-betong/vi-pa-svensk-betong/33-nyhetsbrev/nyhetsbrev2/322-platsgjuten-stomme-i-svenska-bostaeders-foersta-passivhus.html> den 12 05 2014
- Svensk energi. (u.d.). *Hur mycket koldioxid medför din elanvändning?* Hämtat från Svensk energi: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Miljo-och-klimat/Klimatpaverkan/Hur-mycket-koldioxid-medfor-din-elanvandning/> den 24 04 2014
- Svensk Fjärrvärme. (u.d.). *Svensk Fjärrvärme*. Hämtat från Miljövården 2012: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Miljovardering-av-fjarrvarme/Miljovarden-2012/> den 24 04 2014
- Svensk solenergi. (u.d.). *Fakta om solenergi*. Hämtat från Svensk solenergi: <http://www.svensksolenergi.se/fakta-om-solenergi> den 13 02 2014
- Svensk ventilation. (u.d.). *Olika typer av värmeväxlare*. Hämtat från Svensk Ventilation - Bransch i samverkan: <http://www.svenskventilation.se/?id=1379> den 18 03 2014
- Sveriges centrum för nollenergibyggnader. (2012). *Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus - lokaler - FEBY12*. Sveriges centrum för nollenergibyggnader.
- Sveriges centrum för nollenergihus. (2012). *FEBY 12 - Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus - lokaler*. Sveriges centrum för nollenergihus.
- Sveriges centrum för nollenergihus. (den 28 08 2014). *Olika typer av lågenergihus*. Hämtat från Sveriges centrum för nollenergihus: <http://www.nollhus.se/lagenergihus> den 03 03 2014

7 Bilagor

Bilaga 1 – Krav att uppfylla

Bilaga 2- IKEA:s energiberäkningsmodell – grundfallet

Bilaga 3 – VFT för grundmodellen

Bilaga 4 – Köldbryggor

Bilaga 5 – Resultat från ändring av orientering på betongkonstruktionen

Bilaga 6 – Resultat från ändring av orientering på plåtsandwichkonstruktionen

Bilaga 7 – Jämförelse till ESBO

7.1 Bilaga 1 – Krav att uppfylla

Kraven som visas nedan är de som är relevanta för projektets beräkningar och redovisningar. Andra krav som t.ex. emissioner från material kommer anses vara uppfyllda.

FEBY 12	Klimatzon 1	
VFT _{DVUT}	17 W/m ² A _{temp} Tillägg för byggnader med längre verksamhetstid T än 60 h/vecka: + 0,04 (T - 60) W/m ² A _{temp}	
Levererad årsenergi till byggnader	Elvärmd	29 W/m ² A _{temp}
	Icke elvärmd	53 W/m ² A _{temp}
	Icke renodlat system	73 W/m ² A _{temp}
Ljud från ventilationssystem	Minst ljudklass B	
Termisk komfort	Byggnadens innetemperatur för perioden april – september ska beräknas och redovisas	
Luftläckage, q ₅₀	Max 0,3 l/s·m ² omslutande area genom klimatskärmen vid en tryckdifferens på 50 Pa.	
Fönster och entréer, genomsnittligt U-värde	≤0,8 W/m ² K	
Nattavstängda ventilationssystem	Ventilationssystem för intermittent drift ska utformas på lämpligt sätt för att hålla tilluftsfilter torrt vid avstängd ventilation och därmed förhindra att fukt kondenseras i filter och ge innemiljöproblem.	
Fastighetsenergi	Specifik elåtgång för ventilation (SFP), elåtgång för pumpar, belysning och annan fastighetsenergi ska redovisas i en sammanställning som underlag till årsenergikalkylen.	
Verksamheternas elanvändning	Elanvändningen liksom spillvärme från dessa installationer ska kalkyleras, dokumenteras och jämföras med referensvärden enligt 8.4 (Sveriges centrum för nollenergihus, 2012).	

BBR	
Gammastrålningsnivån	<0,3 μSv/h
Radonstrålning - årsmedelvärde	<200 Bq/m ³
Ventilationsflöde	>0,35 l/s per m ² golvarea. Rum ska kunna ha kontinuerlig luftväxling när de används För andra byggnader än bostäder får ventilationssystemet utformas så att reduktion av tilluftsflödet, i flera steg, steglöst eller som intermittent drift, är möjlig när ingen vistas i byggnaden.
Dagsljus	Byggnader ska utformas så att tillfredsställande ljusförhållanden är möjliga att uppnå, utan att skaderisker och olägenheter för människors hälsa uppstår.
Operativ temperatur vid DVUT	<ul style="list-style-type: none"> Den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18 °C i bostads- och arbetsrum och 20 °C i hygienrum och vårdlokaler Den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst

	<p>5K</p> <ul style="list-style-type: none"> • Yttertemperaturen på golvet under vistelsezonen beräknas bli lägst 16 °C (i hygienrum lägst 18 °C och i lokaler avsedda för barn lägst 20 °C) och kan begränsas till högst 26 °C. 		
Lufthastighet	Lufthastigheten i ett rums vistelsezon bör inte beräknas överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen och lufthastigheten i vistelsezonen från ventilationssystemet inte överstiga 0,25 m/s under övrig tid på året.		
SFP [kW/(m³/s)]	Från – och tilluft med återvinning	2,0	
	Från – och tilluft utan återvinning	1,5	
	Frånluft med återvinning	1,0	
	Frånluft	0,6	
Tappvarmvatten	Installationer för tappvarmvatten ska utformas så att en vattentemperatur på lägst 50°C kan uppnås efter tappstället. För att minska risken för skällning får temperaturen på tappvarmvattnet vara högst 60 °C efter tappstället.		
Vattenflöde, normflöde	<p>0,2 l/s för tappställen med både varm och kallvatten och för enbart kallvatten 0,1 l/s för vattenklosett och 0,2 l/s för övriga tappställen.</p> <p>Utformningen av vattenledningar och placeringen av vattenvärmare bör vara sådana att tappvarmvatten kan erhållas inom ca 10 sekunder vid ett flöde av 0,2 l/s.</p> <p>Tappvatteninstallationer ska utformas för ett statiskt vattentryck på lägst 1 MPa och med hänsyn tagen till den påverkan som tryckslag medför.</p>		
Spillvatten	Spillvatteninstallationer ska utformas så att de kontinuerligt ska kunna avleda minst 150 % av de betjänade tappställets normflöden.		
Byggnadens specifika energianvändning [kWh/m², A_{temp}, år]	110(q _{medel} ^{-0,35}) där q _{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 [l/s per m ²]		
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m, [W/m²K]	≤0,6		
U_i		Byggnad med annat uppvärmningssätt än elvärme	Byggnad med elvärme där A _{temp} är 51–100 m ²
	U _{tak}	0,13	0,08
	U _{vägg}	0,18	0,10
	U _{golv}	0,15	0,10

	U _{fönster}	1,3	1,1
	U _{ytterdörr}	1,3	1,1
Kylbehov	<p>Behovet av kylning ska minimeras genom bygg- och installationstekniska åtgärder.</p> <p>Allmänt råd: För att minska behovet av kylning i byggnaden bör man pröva åtgärder så som val av fönsterstorlek och placering av fönster, solavskärmning, solskyddande glas, eleffektiv belysning och utrustning för att minska interna värmelaster, nattkyla och kylackumulering i byggnadsstommen.</p>		

Arbetsmiljöverket	
Koldioxid	En halt på 1 000 ppm ska inte ses som ett värde som aldrig får överskridas.
Lufttemperatur i vistelsezonen	<ul style="list-style-type: none"> • 20 °C vid stillasittande, fysiskt mindre ansträngande arbete • 14–15 °C vid rörligt eller fysiskt mera ansträngande arbete

BELOK (BELOK, 2008, maj; BELOK, 2011, augusti)			
Koldioxid	<1000 ppm		
Radon	<200 Bq/m ³		
Formaldehyd	<0,05 mg/m ³		
Termiskt klimat	Under arbetstid ska rumstemperaturen alltid kunna hållas över 21°C och kunna hållas under en övre gräns mer än 80 arbetstimmar/ år		
Lufthastighet	<0,15 m/s i vistelsezonen vid lufttemperatur 20 °C <0,22 m/s i vistelsezonen vid lufttemperatur 26 °		
Buller från installationer dB(A)/dB(C)	Cellkontor	<35/55	
	Storrum	<40/55	
Köpt energi för nybyggnation, verksamhet över 3000 h/år (enligt BBR:s definitioner)	Icke Elvärmd	Energivå A	60+90(q _{medel} -0,7) kWh/(m ² ·år)
		Energivå B	85+100(q _{medel} -0,7) kWh/(m ² ·år)
	Elvärmd	Energivå A	50+60(q _{medel} -0,7) kWh/(m ² ·år)
		Energivå B	70+65(q _{medel} -0,7) kWh/(m ² ·år)
U-värden	U _m (enligt BBR:s definition)		<0,4 W/(m ² ·K)
	Fönster (inklusive karm)		<0,9 W/(m ² ·K)
	Yttervägg		<0,1 W/(m ² ·K)
	Glasfasadsystem (inklusive karmar)		<1,0 W/(m ² ·K)
	Takfönster (inklusive karm)		<1,1 W/(m ² ·K)
	Yttertak		<0,10 W/(m ² ·K)
	Ytterdörrar		<1,2 W/(m ² ·K)
Relativ fönsterarea			
Solskydd	Solfaktor g<0,3		
Värmeåtervinning	Roterande växlare		>80%
	Plattväxlare		>70%

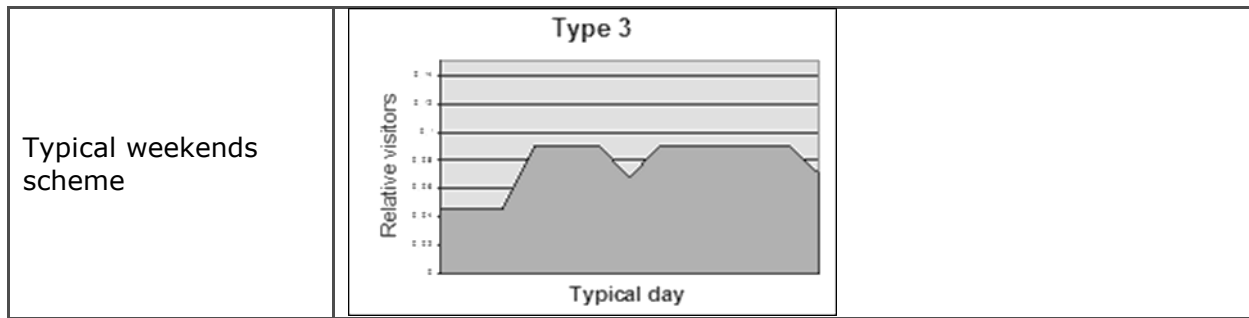
	Vätskekopplade växlare	>60%
Lufttäthet q_{50}	0,3 l/m ² ·s	
Ventilation	SFP < 1,3 kW/(m ³ /s) VAV i lokaler där VAV accepteras med hänsyn till exempelvis barriärkrav eller hygienkrav. Vid VAV SFP vid 0,7 av dimensionerande flöde	
Tilluftsdon VAV	Dragfri tilluftstemperatur <+15 °C. Gäller för samtliga tilluftsdon i ett VAV system.	
Pumpverkningsgrad	Pumpar <0,5 kW Pumpar 0,5 – 2 kW Pumpar > 2 kW	>25 % >30 % >50 %
CAV	Vinterreducering 30 %. För CAV-system reduceras luftflödet vid utetemperaturer lägre än +5 °C. Gäller ej skyddsventilation.	
Installerad belysningseffekt	Kontor Korridor Källare Driftutrymmen	<9 W/m ² <5 W/m ² <3 W/m ² <9 W/m ²

IKEA		
Temperatur	Inomhustemperatur min/max 20-26 °C Godsmottagning min/max 15-30 °C	
Koldioxid	Maxvärde på 1000 ppm används vid beräkningar	
U-värde [W/m²·K]	Tak Fasad Golv (upphöjt varuhus) Golv (Varuhus direkt mot mark)	0,4 0,15 0,25 2,9 (Isolering behövs ej)
Luftläckage, q_{50}	0,5 h ⁻¹ vid ett tryck på 50 Pa. Vid beräkningar används vindberoende infiltration.	
Minsta ventilationsflöde	0,35 l/(s·m ²) under verksamhetstimmar	
Ventilation i kök	18 000 m ³ /h. 20 000 m ³ /h är ett vanligt IKEA-värde. Andra värden kan användas beroende på olika länders regler.	
SFP	Baseras på SFP-värden av 1,5 kW/(m ³ /s) VAV-system 65 % CAV-system 100 % (kök)	
Luftflödesintervall	Intervall mellan 40-100 %	
Värmeåtervinning	Maximal temperatureffektivitet 80 % (roterande växlare) i alla zoner förutom i kök där 60 % (plattväxlare) används	
Energianvändning	Beräkning av köpt energi för värme baseras på varmvattenberedare med en effektivitet på 80 %. Vid kylning används traditionell luft till vatten kylanläggning	
HVAC-system	Beräkningar baseras på traditionella luftbaserade system, d.v.s. värme och kyla distributionernas via ventilationssystemet.	

7.2 Bilaga 2 - IKEA:s energiberäkningsmodell - grundfallet

Project name	IKEA Umeå, Sweden
Project description	Standard IKEA Store, Pallet height 5.5, No Glasshouse
Project description	Shopping mall, attached to a mall
Project description	Parking: on ground
Project description	Store area 29.970 m ²
Location	Umeå, Sweden

User/ Statistics							
General							
Sold goods							
	55 000 [m ³ /year, year five]						
Opening hours							
	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
Open	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
Close	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	18:00	18:00
Occupancy							
Yearly store visitors							
	1 500 000 [nr]						
Average visit time							
	1,5	[h/visit], use the estimated parking time value from the store					
Typical week scheme							
Typical weekdays scheme							



Building				
Location				
Latitude	63,81	[degree]		
Longitude	20,25	[degree]		
Entrance orientation	W	(Indicate the direction which the entrance are facing)		
Store format				
Store format	Medium, on ground	29.970 m2		
Exterior parking	35 000	[m ²]	985 pcs	
Building envelope				
	Construction	U-value [W/m ² ,K]		
Facade	Light weight facade	0,3		
Roof	Light weight roof	0,2		
Floor	-	-		
	IKEA-standard	U-value [W/m ² ,K]	Solar Heat Gain [%]	Transmission [%]
Windows	Type1	1,4	41	38

Climate/ System				
Set point				
	min	max		
Room	20	24	[°C]	
Outdoor air flow	0,35	-	[l/s,m ²]	
CO ₂ -level	-	1000	[ppm]	
Design outdoor temperature				
	Dry bulb [°C]		Wet bulb [°C]	
DOT-summer	26,2			
DOT-winter	-25		-	

Internal loads					
	Lighting	Area	Equipment	Peak, number of visitors	
	[W/m ²]	m ²	[kW, tot/zone]	[pers/10,m ²]	
Stairs	5,0	1295	0,0	-	
Entrance	3,7	820	0,0	-	
Entrance, 1:st floor	3,7	500	0,0	-	
Showroom	6,9	5428	10,0	1,8	1000 pcs
Restaurant seating area	3,6	1855	0,0	5	500 pcs
Market hall	12,0	5540	10,0	1,8	1300 pcs
Self serve	6,6	8365	0,0	-	
Checkout exit	2,4	2370	8,0	-	
Office, staff	7,6	1525	10,0	-	
Goods unloading	1,8	1210	20,0	-	
Kitchen	6,0	500	100,0	-	

7.3 Bilaga 3 – VFT för grundmodellen

Beräknat värde

Värde från IDA ICE

Fast värde

VFTDVUT		Grundmodell				
Model floor area	32 616,00	m ² A _{temp}				
Model volume	210 315,80	m ³				
Model ground area	21 616,00	m ²				
Model envelope area	48 969,00	m ² A _{omsl}				
Window/Envelope	1,60%					
Average U-value	0,2042	W/(K·m ²)	OBS ej inkl. köldbryggor			
Envelope area per Volume	0,2328	m ² /m ³				
DVUT	-19,5					
ρ*c	1262,5					
q ₅₀	29206,479	l/s	29,20648	m ₃ /s	0,00059643	m ₃ /s m ₂
q _{sup} -q _{ex}	0,4712744	m ₃ /s				
e	0,005					
f	15					
q _{läck}	0,08198968					
	VAV (11 st)	CAV (1 st)		totalt		
	0,8	0,6		0,783333		
q _{vent}	0,007	0,00583		26,64686		
d	1	1		1		
Thermal bridges	Area or Length		Avg. Heat conductivity		Totalt [W/K]	
External wall - Internal slab	705,98	m	0,40	W/(K m)	282,392	
External wall - Internal wall	116,40	m	0,40	W/(K m)	46,56	
External wall - External wall	64,50	m	0,80	W/(K m)	51,6	
Window perimeter	708,60	m	0,40	W/(K m)	283,44	
External door perimeter	93,72	m	0,40	W/(K m)	37,488	
Roof - External wall	570,00	m	0,80	W/(K m)	456	
External slab - External wall	620,02	m	0,80	W/(K m)	496,016	
Balcony floor- External wall	0,00	m	0,00	W/(K m)	0	
External slab - Internal wall	893,08	m	0,00	W/(K m)	0	
Roof - Internal wall	910,00	m	0,00	W/(K m)	0	

External wall - Inner corner	9,70	m	0,00	W/(K m)	0
Totalt envelope	48969,00	m ²	0,00	W/(K m ²)	0
Extra losses	0,00	0,00			0
Sum	1653,496				
Um	0,033770349				
HT	9046,239104		W/K		
VFTDVUT	11,2329128		W/m ²	≤18,36	OK

Beräkning av q_{sup} , q_{ex} och q_{vent}					
grundfall			supply l/s m		return l/s m ²
			0,3545		0,3668
	0,3545	0,3511	area	supply	return
	0,7909	0,7701	1248	442,416	457,7664
	0,3545	0,3511	1456	516,152	511,2016
	0,3545	0,3509	6696	5295,866	5156,59
	0,3545	0,351	9408	3335,136	3303,149
	3,431	3,36	672	238,224	235,8048
	5,906	5,847	2016	714,672	707,616
	0,3545	0,3509	1456	4995,536	4892,16
	0,9392	0,9171	672	3968,832	3929,184
	0,3545	0,351	2016	714,672	707,4144
	0,6646	0,647	6696	6288,883	6140,902
		summa	160	56,72	56,16
		$q_{sup}-q_{ex}$	120	79,752	77,64
				26646,86	26175,59
			q_{vent}	471,2744	l/s
				0,471274	m ³ /s

7.4 Bilaga 4 - Köldbryggor

Betong			ber-ref
Typ av köldbrygga			
Yttervägg/ bjälklag	ytervägg	bjälklag	tot
ref	0,0723		0,1616
ber			0,1621
köldbrygga			0,0005
Yttervägg/ yttervägg	ytervägg	ytervägg	tot
ref	0,0723	0,0723	0,1446
ber			0,1962
köldbrygga			0,0516
Tak/ yttervägg	tak	ytervägg	tot
ref	0,0368	0,0723	0,1091
ber			0,1753
köldbrygga			0,0662
Grund/ yttervägg	grund	ytervägg	tot
ref	0,5351	0,7235	1,2586
ber			1,3434
köldbrygga			0,0848

Plåt			ber-ref
Typ av köldbrygga			
Yttervägg/ bjälklag	yttervägg	bjälklag	tot
ref	0,1406		0,2812
ber			0,3152
köldbrygga			0,034
Yttervägg/ yttervägg	yttervägg	yttervägg	tot
ref	0,1406	0,1406	0,2812
ber			0,2892
			0,008
Tak/ yttervägg	tak	yttervägg	tot
ref	0,0368	0,2812	0,318
ber			0,3589
köldbrygga			0,0409
Grund/ yttervägg	grund	yttervägg	tot
ref	0,5351	0,7235	1,2586
ber			1,3434
köldbrygga			0,0848

7.5 Bilaga 5 - Resultat från ändring av orientering på betongkonstruktionen

öst												
Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	7,8	26,7	13,6	26,1	3,79	69,25	888	953,8				
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16,1	25,4	18,9	26,1	3,587	64,47	867,9	2992				
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,8	24,5	3,486	62,86	965,7	408915				
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,7	19,7	23,6	3,61	64,17	720,2	62415				
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,6	24	22,5	24,3	2,836	60,49	670,7	7282				
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	24,1	20	25	3,312	64,51	748,9	23969				
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24,1	20,1	27,5	4,707	65,18	997,6	353144				
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21	24,1	22,4	24,3	1,866	63,75	484,9	196,1				
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	26,6	20,1	27,5	3,436	60,36	611,5	14943				
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,5	3,543	67,45	969	379341				
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,4	25,1	3,408	66,2	962,3	5828				
TOTAL												1259979
nordöst												
Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	7,3	26,7	13,6	26	3,306	70,9	888,5	967,1				
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16,1	25,9	18,7	26,6	3,492	64,3	868,7	2978				
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,8	24,4	3,485	63,07	966,1	412569				
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,8	19,7	23,6	3,624	64,04	724,5	61996				
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,7	24	22,5	24,4	2,846	60,41	670,8	7161				
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	24,2	19,8	25,1	3,277	63,54	747,5	23709				
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,2	27,8	4,42	65,24	997,6	360005				
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21	24,1	22,4	24,8	1,869	63,45	488,1	189,9				
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	27,9	20,1	29	3,457	60,35	614,6	15120				
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,3	24,5	3,305	67,73	969,2	383845				
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,4	25,2	3,346	66,35	963,4	5859				
TOTAL												1274399

syd

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	11	30,1	14,3	29,3	4,225	62,52	896,3	873,7
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	15,4	24	18,7	24,2	3,525	69,08	850,4	3498
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,4	24	20,7	24,5	3,44	62,82	966,8	422506
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,9	19,7	23,8	3,596	63,46	739,3	63998
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,4	24	22,6	24,3	2,826	60,57	671,1	7598
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,5	24	19,9	24,1	3,161	64,56	756	27033
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	25,4	4,673	65,08	997,6	404691
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21,1	24,1	22,4	24,2	1,866	64,13	486,9	209
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24	20,1	24,2	3,344	60,35	609,4	17744
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,5	3,515	64,22	968	390930
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,4	24	21,4	25	3,382	64,96	964,2	6468
TOTAL								1345549

sydöst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	7,3	26,7	13,6	26	3,306	70,9	888,5	967,1
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16,1	25,9	18,7	26,6	3,492	64,3	868,7	2978
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,8	24,4	3,485	63,07	966,1	412569
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,8	19,7	23,6	3,624	64,04	724,5	61996
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,7	24	22,5	24,4	2,846	60,41	670,8	7161
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	24,2	19,8	25,1	3,277	63,54	747,5	23709
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,2	27,8	4,42	65,24	997,6	360005
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21	24,1	22,4	24,8	1,869	63,45	488,1	189,9
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	27,9	20,1	29	3,457	60,35	614,6	15120
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,3	24,5	3,305	67,73	969,2	383845
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,4	25,2	3,346	66,35	963,4	5859
TOTAL								1274399

väst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10,4	29,6	14,1	29,1	3,852	64,04	879,7	887,5
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	13,8	24	18,9	24,1	3,609	67,97	882,9	3550
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,2	24	20,7	24,4	3,499	62,8	967,1	427821
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	24	19,7	23,8	3,651	63,47	738,5	63627
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,8	24	22,5	24,4	2,819	60,54	671	7409
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	17,1	24	20	24,1	3,378	64,2	767,5	27013
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	24,9	4,723	65,14	997,5	430488
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21	24,1	22,4	25,1	1,868	63,38	487,3	201,2
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24	20,1	24,1	3,473	60,29	612,5	17928
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,5	3,554	64,11	968,3	396406
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,1	24	21,4	24,9	3,44	64,68	955,5	6547
TOTAL								1381878

sydväst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10,4	30,1	14,5	29,9	3,98	61,6	883,4	859,8
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	13,7	24	18,9	24,1	3,529	68,69	871,2	3555
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,8	24,4	3,512	62,94	967,3	423795
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	24	19,7	23,9	3,649	63,38	739,6	63425
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,6	24	22,6	24,3	2,809	60,54	670,9	7572
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	17,1	24	19,8	24,1	3,238	65,74	764,2	27054
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	25	4,581	65,26	997,5	423545
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21,1	24,1	22,4	24,2	1,868	63,98	486,7	208,5
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24	20,1	24,1	3,34	60,31	611,2	17956
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,5	3,519	64,1	968	392158
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,1	24	21,4	24,9	3,418	64,65	957,6	6524
TOTAL								1366652

nord

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10	26,7	13,6	26,1	3,352	70,66	888,8	970,5
Zone 1b - Entrance, 1.st floor.Simulation summary	16,4	25,4	18,2	25,9	3,524	63,95	864,4	3191
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,7	24,4	3,488	62,7	966,4	424286
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,8	19,7	23,7	3,637	63,49	728,6	62859
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,7	24	22,5	24,5	2,841	60,42	670,9	7136
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,7	24,1	19,4	24,8	3,422	62,51	758,3	25010
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	27,2	4,473	65,2	997,6	388476
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21,1	24,1	22,4	25,6	1,868	63,02	489	188,2
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	26,6	20,1	27,4	3,477	60,3	622,8	16322
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,3	24,5	3,379	67,31	968,8	394837
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,4	24	21,3	25,1	3,375	65,77	963,7	6168
TOTAL								1329444

nordväst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10,6	27,1	13,5	26,5	3,582	66,23	888,8	955,5
Zone 1b - Entrance, 1.st floor.Simulation summary	16	24	18,2	24,3	3,611	65,87	866,9	3471
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,2	24	20,7	24,4	3,489	61,9	966,5	433468
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,8	19,7	23,7	3,648	63,31	733,4	64248
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,7	24	22,5	24,5	2,839	60,48	671	7250
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	24	19,4	24,2	3,441	61,54	766,8	26696
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	25,1	4,832	65,15	997,5	422194
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21,1	24,1	22,4	25,6	1,868	63,04	490,4	192,9
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24	20,1	24,2	3,484	60,29	611,4	17702
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,3	24,5	3,544	64,32	968,3	402567
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,3	25	3,435	64,24	964,1	6513
TOTAL								1385257

7.6 Bilaga 6 - Resultat från ändring av orientering på plåtsandwichkonstruktionen

öst										
Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	7,8	26,7	13,6	26,1	3,79	69,25	888	953,8	888	953,8
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16,1	25,4	18,9	26,1	3,587	64,47	867,9	2992	867,9	2992
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,8	24,5	3,486	62,86	965,7	408915	965,7	408915
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,7	19,7	23,6	3,61	64,17	720,2	62415	720,2	62415
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,6	24	22,5	24,3	2,836	60,49	670,7	7282	670,7	7282
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	24,1	20	25	3,312	64,51	748,9	23969	748,9	23969
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24,1	20,1	27,5	4,707	65,18	997,6	353144	997,6	353144
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	21	24,1	22,4	24,3	1,866	63,75	484,9	196,1	484,9	196,1
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	26,6	20,1	27,5	3,436	60,36	611,5	14943	611,5	14943
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,5	3,543	67,45	969	379341	969	379341
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,4	25,1	3,408	66,2	962,3	5828	962,3	5828
TOTAL										1259979

nordöst										
Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	6,8	27,3	13,2	26,6	3,306	70,49	888,2	937,9	888,2	937,9
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16,1	28	18,7	29,3	3,501	64,35	867,3	2772	867,3	2772
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,8	24,5	3,493	63,18	966,5	400784	966,5	400784
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	20	23,9	19,7	23,8	3,626	63,71	720,7	60211	720,7	60211
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,6	24	22,4	24,5	2,868	60,41	670,8	6994	670,8	6994
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	25,5	19,8	26,4	3,279	62,27	748,4	22253	748,4	22253
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24,1	20,1	30,1	4,423	68,74	997,6	333113	997,6	333113
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	20,9	24,1	22,4	25,6	1,865	63,33	488,1	182,2	488,1	182,2
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	33,2	20,1	34,6	3,452	60,36	614,5	14278	614,5	14278
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,6	3,32	67,76	969	372286	969	372286
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,4	25,3	3,352	66,41	962,8	5591	962,8	5591
TOTAL										1219402

väst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10,2	30,1	13,9	30,2	3,85	64,79	879,8	860
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	13,8	24	18,9	24,2	3,625	68,02	883,4	3479
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,2	24	20,7	24,5	3,507	62,87	967,5	420639
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	24,1	19,7	23,9	3,652	63,16	736,1	62774
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,6	24	22,5	24,5	2,839	60,54	670,9	7284
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	17,1	24	20	24,2	3,376	63,92	768,7	26575
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	25,1	4,721	65,12	997,6	411196
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	20,9	24,1	22,4	25,9	1,865	63,29	487,3	196,4
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24	20,1	24,2	3,468	60,29	612,5	17535
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,6	3,561	64,14	968,3	387761
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,1	24	21,4	25	3,443	64,73	961,5	6414
TOTAL								1344713

sydväst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10,2	30,1	14,3	30,7	3,985	62,82	884,5	836,3
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	13,7	24	18,9	24,2	3,53	68,68	876,7	3478
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,7	24,5	3,516	63,03	967,7	416262
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	24,1	19,7	24	3,651	63,05	736,3	62566
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,4	24	22,5	24,3	2,829	60,54	670,9	7473
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	17,1	24	19,9	24,2	3,233	65,54	758,8	26605
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	25,1	4,583	65,09	997,6	399662
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	20,9	24,1	22,4	24,3	1,865	64,02	486,7	204,6
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24	20,1	24,2	3,344	60,31	611,2	17543
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,4	24,6	3,525	64,13	967,9	383278
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,1	24	21,4	24,9	3,417	64,73	962,3	6381
TOTAL								1324289

nord

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	9,8	27,2	13,4	26,6	3,352	70,21	889,9	943,1
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16,4	27,1	18,2	27,9	3,53	63,97	866,4	3034
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,3	24	20,7	24,5	3,496	62,81	966,8	414025
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,9	19,7	23,8	3,637	63,26	727,9	61484
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,5	24	22,4	24,6	2,862	60,42	670,9	6960
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,7	24,9	19,4	25,6	3,415	61,45	758,9	23966
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24,1	20,1	29,1	4,472	65,73	997,6	364505
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	20,9	24,1	22,4	27,1	1,866	62,84	489	180,1
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	30,8	20,1	31,6	3,472	60,31	622,7	15594
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,3	24,6	3,382	67,35	968,9	384207
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,4	24	21,3	25,2	3,376	65,84	963,7	5944
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	1280842

nordväst

Zone	Min temp, DegC	Max temp, DegC	Min op temp, DegC	Max op temp, DegC	Min rel hum, %	Max rel hum, %	Max CO2, ppm(vol)	PDH, h
Zone 8 - Goods unloading.Simulation summary	10,4	27,7	13,3	27,1	3,581	66,22	888,2	926,1
Zone 1b - Entrance, 1:st floor.Simulation summary	16	24,1	18,2	24,6	3,627	65,56	866,4	3379
Zone 4 - Market hall.Simulation summary	20,2	24	20,7	24,4	3,496	61,95	966,7	425625
Zone 5 - Self serve & warehouse.Simulation summary	19,9	23,9	19,7	23,8	3,649	63,18	729,7	63325
Zone 6b - Check-out, exit.Simulation summary	21,5	24	22,4	24,6	2,86	60,48	670,9	7093
Zone 6a - Check-out, exit.Simulation summary	18,8	24	19,5	24,3	3,437	61,53	767,8	26132
Zone 3a - Restaurant, seating area.Simulation summary	20	24	20,1	25,7	4,83	65,15	997,6	401032
Zone 3b - Kitchen.Simulation summary	20,9	24,2	22,4	27	1,865	62,9	490,4	186,1
Zone 7 - Office, Staff room.Simulation summary	20	24,1	20,1	24,5	3,479	60,29	611,3	17213
Zone 2 - Showroom.Simulation summary	20	24	20,3	24,6	3,552	64,45	968,4	393260
Zone 1 - stairs.Simulation summary	20,5	24	21,3	25,1	3,439	63,87	964	6354
TOTAL								1344525

7.7 Bilaga 7 - Jämförelse med ESBO

	plåt 2_01_01 väst		plåt 2_01_01 ESBO väst		betong 1_01_01 väst		betong 1_01_01 ESBO väst	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Installationsanläggning	448211	13.8	238694	7.4	353946	10.9	235028	7.2
Utrustning	463731	14.3	463728	14.3	463730	14.3	463731	14.3
Belysning	599327	18.5	599328	18.5	599327	18.5	599327	18.5
Totalt, Fastighetsel	1511269	46.6	1301750	40.1	1417003	43.7	1298086	40.0
Bränslepanna	338157	10.4	390987	12.1	355604	11.0	392895	12.1
Totalt, Fastighetsbränsle	338157	10.4	390987	12.1	355604	11.0	392895	12.1
Totalt	1849426	57.0	1692737	52.1	1772607	54.6	1690981	52.1
Totalt, Producerad el	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Grand total	1849426	57.0	1692737	52.1	1772607	54.6	1690981	52.1

	plåt 2_01_01 väst	plåt 2_01_01 ESBO väst	betong 1_01_01 väst	betong 1_01_01 ESBO väst
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i värsta zonen	1	5	4	4
Procent av antalet timmar med operativ temperatur över 27°C i zon med medelvärde	0	0	0	0
Procent av antalet befolkade timmar med termiskt missnöje	48	52	53	52