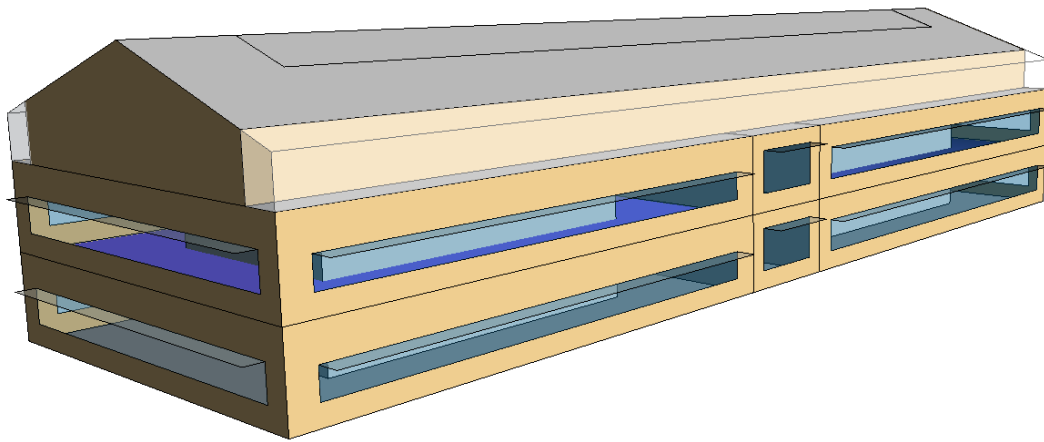




CHALMERS



Energianalyser i tidiga skeden

En utredning av Green Building Studio som verktyg för energianalys av konceptmodeller inom byggnadsprojektering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

Johan Fransson
Johan Åsenklint

Energianalyser i tidiga skeden

En utredning av Green Building Studio
som verktyg för energianalys av
konceptmodeller inom
byggnadsprojektering

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

Johan Fransson

Johan Åsenklint

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Construction Management
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2016

Energianalyser i tidiga skeden

En utredning av Green Building Studio som verktyg för energianalys av konceptmodeller inom byggnadsprojektering

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

Johan Fransson

Johan Åsenklint

© JOHAN FRANSSON, JOHAN ÅSENKLINT, 2016

BOMX03-16-30 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2016

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för Construction Management
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Kontorsbyggnad i Vreta

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2016

Energianalyser i tidiga skeden

En utredning av Green Building Studio som verktyg för energianalys av konceptmodeller inom byggnadsprojektering

SAMMANFATTNING

Examensarbetet utfördes våren 2016 på Sweco Systems AB.

Bakgrunden till arbetet var att bygg- och fastighetssektorn i Sverige idag står för 40 % av vår totala energianvändning. De energianalyser som utförs för att utvärdera en byggnads energiprestanda görs relativt sent i projekteringen idag då möjligheterna för förändring av byggnadens design är små. För att hålla nere byggnaders energianvändning är det fördelaktigt om dessa analyser kan utföras tidigare med enklare medel än den avancerade programvaran IDA-ICE som är vanligast i Sverige just nu.

Autodesk har implementerat en funktion i BIM-programvaran Revit som möjliggör energianalys av konceptmodeller tidigt i projekteringen direkt i programmet med hjälp av den webbaserade plattformen Green Building Studio, som är framtagen för just energianalyser i tidiga skeden. Syftet med examensarbetet har varit att utvärdera denna funktion för att se hur nära energiförbrukningen av konceptuella byggnadsmodeller kommer färdiga IDA-modeller samt om det kan användas för att utvärdera designalternativ.

Examensarbetet behandlar enbart nyttan med att använda verktyget för att rita byggnadskroppar med hjälp av ritverktyget *In-place Mass*. Med detta verktyg skapas geometrier som det sedermera specificeras indata för i menyn för energiinställningar i Revit. Resultaten från dessa analyser har jämförts med färdiga IDA-modellers energianvändning.

Slutsatserna som dras är att det inte går att räkna ut preliminär total energiförbrukning inklusive klimatsystem, bland annat då dessa är av Amerikansk standard. Däremot kan Green Building Studio användas för att räkna ut transmission (värmeöverföringar genom byggnadsdelar) samt internlast (värmestillskott från exempelvis elektronisk utrustning) och för att uppskatta effekter av olika designalternativ vilket leder till att det har potential för att i tidig projektering användas för att påverka designbeslut.

Nyckelord:

BIM, Energi, Analys, Revit, GBS, Green Building Studio, IDA-ICE, Byggnad, Prestanda, Autodesk, EQUA

Energy analysis in early stages

A review of Green Building Studio as a tool for energy analysis of conceptual models in building design

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

Johan Fransson

Johan Åsenklint

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Construction Management

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The thesis was done on Sweco Systems AB during the spring of 2016.

The background to the thesis was that the building- and property sector is responsible for 40% of the country's total energy usage. The energy analyses that are done to evaluate a buildings energy performance are done relatively late in the design process when the possibilities for changing the buildings design are slim. To keep the energy usage of buildings low, it is beneficial if energy analyses can be made earlier and with simpler means than with the advanced program IDA-ICE, which is the most commonly used in Sweden at the moment.

Autodesk have recently implemented a function in the BIM-oriented program Revit which enables energy analyses of conceptual models early in the building design process with the web based tool Green Building Studio, which was developed especially for energy analyses in early stages. The objective of the thesis has been to evaluate this tool to see how close the energy usage of conceptual models comes to the results of reference models in IDA-ICE.

The thesis only considers the usefulness of Revit's tool *In-place Mass* which is a tool for modeling geometries for which data is specified in the *Energy Settings* menu. The results from these analyses has then been compared to reference models in IDA-ICE.

The conclusions are that while it is not possible to calculate total preliminary energy usage including HVAC-systems, since, inter alia, the systems are of American standard, it is possible to use Green Building Studio to calculate conductivity (heat transfers through building elements) and internal loads (such as heat loads from electronic devices). It is also possible to use it to evaluate the effects of different design alternatives which leads to the possibility for it to be used in early stages of building design which could affect decisions that have an impact on energy usage.

Key words:

Energy, Analysis, GBS, Green Building Studio, IDA-ICE, Building, Performance, Revit, Autodesk, EQUA

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
<i>DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME</i>	II
ABSTRACT	II
FÖRORD	V
NOMENKLATUR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställningar	1
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Metod	2
2 GBS, REVIT OCH ENERGIANALYS I PROJEKTERINGEN	3
2.1 Autodesk och GBS	3
2.2 Varför energianalys?	3
2.3 Användning av GBS i byggprocessen	4
2.4 GBS enligt Autodesk	5
2.5 DOE-2: Programvaran bakom GBS	7
2.6 Validering av programvara för energianalys	8
2.7 Klimatsystem i Revit	9
2.7.1 Energiprestanda enligt Amerikansk standard	10
2.7.2 En jämförelse med Europeisk standard	11
2.7.3 Val av klimatsystem i Revit enligt Autodesk	12
2.8 Energianalys och projektering på Sweco	12
2.8.1 Arkitekt	12
2.8.2 Energikonsult	13
2.8.3 VVS-konsult	14
3 UTVÄRDERING AV PROGRAMVARAN	15
3.1 Modelleringsprocessen	15
3.2 Hantering av analysdata	15
3.3 Val av indata	19
3.3.1 Klimatsystem	20
3.3.2 U-värden	20
3.3.3 Internlaster	20
3.3.4 Klimatdata	22
3.3.5 Bruksscheman	24

3.4	Analys av referensprojekten	26
3.4.1	Hovås Flerbostadshus	26
3.4.2	Hovås Fyrbo	29
3.4.3	Hovås Radhus	31
3.4.4	Vreta Linköping	33
3.4.5	Kommentarer om analysresultaten	36
3.5	Jämförelseanalys av olika designalternativ	38
3.5.1	Skuggning av fönster på kontorsbyggnad	38
3.5.2	Ändring av klimatskalets U-värden	39
3.5.3	Väderstrecksplacering av avlång byggnad	40
3.5.4	Tillbyggnad: inglasad atriumentré	41
4	DISKUSSION	47
4.1	Användandet av konceptmodeller	47
4.2	Att jämföra designalternativ	47
4.3	Att påverka designbeslut	48
5	SLUTSATSER	49
6	FÖRSLAG PÅ FORTSATTA STUDIER	50
7	REFERENSER	51
7.1	Litteratur	51
7.2	Figurer	53

Förord

Ett stort tack riktas till våra handledare Suzana Cordic och Daniel Nilsson samt alla andra kollegor på Sweco Systems AB som med stor entusiasm bidragit med kunskap och stöd under projektet. Vi vill även tacka vår handledare Mikael Johansson på Chalmers för sitt stora engagemang. Avslutningsvis vill vi tacka våra klasskamrater Oscar Berg och Gusten Göthe som under examensarbetets gång agerat bollplank.

Göteborg juni 2016

Johan Fransson

Johan Åsenklint

Nomenklatur

BIM	Building Information Modeling. En arbetsmetod i byggprocessen som fokuserar på att samla all information på ett ställe.
Byggnadselement	Byggnadens bärsystem och klimatskal.
DOE-2	DOS-baserad energianalysprogramvara som Green Building Studio använder sig av.
EAM	Energianalysmodell
GBS	Green Building Studio. Simuleringsverktyg för byggnadsprestanda.
gbXML	Green Building XML. Öppet filformat för att överföra byggnadsinformation i CAD-programvara till analysprogramvara.
IDA-ICE	IDA Indoor Climate and Energy. Simuleringsverktyg för byggnadsprestanda.
Klimatsystem	All form av utrustning som upprätthåller rätt temperatur, luftfuktighet och luftkvalitet i en byggnad.
Konceptmodell	Avser användandet av verktyget för att skapa massor i Revit. Faktiska byggnadselement specificeras alltså inte i modellen. Schablonvärden för byggnadselementen väljs istället efter att en EAM skapats.
Massor	Ett verktyg i Revit för att skapa 3D-geometrier.
Revit	BIM-programvara för design och dokumentation av byggnader.
SketchUp	3D-modelleringsprogramvara för designprocessen av byggnader.
EUI	Energy Use Intensity. Ett mått på hur energianvändningen per kvadratmeter och år.
Template	En mall med förvalda inställningar.

1 Inledning

Detta kapitel beskriver bakgrunden till rapporten, syfte och frågeställningar samt avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorn i Sverige står för 40 % av vår totala energianvändning. Att energieffektivisera byggnader för att erhålla en viss miljöcertifiering är både ekonomiskt och miljömässigt fördelaktigt.

Många byggnader ritas idag i BIM-programvaran Revit som kan användas av näst intill alla inblandade i projekteringen. En stor fördel med detta är att man inte riskerar att förlora viktig information då man exporterar och importerar modeller mellan olika programvaror som används av respektive disciplin.

Energisimuleringar av byggnader görs idag i stor utsträckning i projekteringen. Simuleringarna kan göras i alla steg i projekteringsprocessen, men vanligt är att de görs när utformningen av byggnaden är i princip färdig, och då för att det är ett krav för att erhålla en viss miljöcertifiering. För energisimuleringar används inte Revit utan ett vanligt program i Sverige är IDA-ICE. Programvaran är väldigt avancerad och används oftast inte förrän i ett väldigt sent projekteringsstadium för att få en viss miljöcertifiering. Vid användandet av IDA-ICE är det vanligt att modellen måste tillföras information som gått förlorad vid import av Revitmodellen vilket skapar dubbelarbete.

Autodesk har implementerat en funktion i Revit som möjliggör energianalys av konceptmodeller tidigt i projekteringen direkt i programmet med hjälp av den webbaserade plattformen Green Building Studio, hädaneftre kallat GBS. En fördel med GBS är att analysen kan köras direkt i den befintliga revitmodellen i ett tidigt skede utan att behöva rita upp en ny modell i en annan programvara eller göra tillägg senare vilket kan kosta mycket tid och pengar.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera om GBS kan användas för att energieffektivisera byggnader i ett tidigt designstadium samt jämföra olika designalternativ.

1.3 Frågeställningar

- Går det att använda en enkel konceptmodell i ett tidigt designstadium för att snabbt kunna räkna ut en preliminär energiförbrukning av byggnaden?
- Kan man med de värden man får ut från Revit och Green Building Studio jämföra olika designalternativ?
- Kan man i tidigare skeden i byggprocessen använda Revit för att påverka designbeslut som i sin tur påverkar energiförbrukningen av byggnaden?

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet kommer att jämföra Green Building Studio (GBS) med normativa värden som erhålls från energianalyser gjorda på färdiga byggnader i simuleringsverktyget IDA-ICE. Anledningen till att det inte sker någon jämförelse med verklig energiförbrukning är att specifik väderdata från år till år kan skilja sig åt väldigt mycket. En annan faktor som påverkar är brukarna av byggnaden. En brukare behöver nödvändigtvis inte uppföra sig eller använda byggnaden på det sättet som förväntas eller som det projekterades för. För att göra en kvalificerad jämförelse krävs därför att man utgår ifrån samma indata.

Examensarbetet handlar enbart om GBS:s förmåga att uppskatta energiförbrukning för konceptmodeller i Revit och således kommer inget annat än verktyget *Mass* att användas för att konstruera byggnadskropparna. Webverktyget för GBS kommer endast att användas för att specificera de indata som inte går att specificera i Revit som annat än schablonvärden.

1.5 Metod

Arbetet inleddes med att utföra en omfattande litteraturstudie genom att studera tekniska rapporter och vetenskapliga tidskrifter som handlar om Green Building Studio och energianalysprogramvara i allmänhet, samt att studera Autodesk's egna guider för hur energianalys i Revit fungerar. Litteraturstudien omfattade även miljöcertifieringssystem.

För att reda ut hur projekteringen i allmänhet ser ut för tre discipliner som under den inledande delen av arbetet ansågs beröras mest av energianalys har en intervjustudie gjorts. Anledningen till detta var att besvara hur energianalysprogramvara används i projekteringen av byggnader i branschen idag. De som intervjuades jobbade som arkitekt, energikonsult och VVS-konsult.

En fallstudie utfördes avslutningsvis för att empiriskt testa GBS. Referenserna för denna fallstudie var färdiga energianalyser gjorda i IDA-ICE. Fyra byggnader användes som referens, ett bostadsområde i Hovås som omfattade ett flerbostadshus, ett loftgångshus och en radhuslänga, samt en kontorsbyggnad i Linköping. Fallstudien omfattade även en jämförelseanalys för att avgöra hur väl GBS med Revit fungerar som designverktyg.

2 GBS, Revit och energianalys i projekteringen


Följande kapitel presenterar resultatet av litteraturstudien och intervjustudien som ligger till grund för rapporten.

2.1 Autodesk och GBS

Autodesk Inc. som utvecklar CAD- och BIM-programvara tillhandahåller GBS som är ett verktyg för att utvärdera energianvändning och koldioxidutsläpp från byggnader. GBS lanserades som webbtjänst 2004 och köptes 2008 av Autodesk tillsammans med Carmel Software Corp som är en komplementär programvara för att utvärdera nödvändig storlek på klimatsystem. (Spiegel 2008)

2.2 Varför energianalys?

En energianalys görs för att avgöra huruvida en byggnad kommer att uppfylla kraven för ett miljöcertifikat samt att BBR-kraven uppfylls. Sweden Green Building Council beskriver miljöcertifiering som en bedömning av hur miljömässigt hållbar en byggnad är. Det finns ett flertal certifieringssystem världen över. Några exempel på dessa illustreras i Figur 1 där det även framgår vad de olika systemen tar hänsyn till.

	 BREEAM	 LEED	 MILJÖ BYGGNAD	 GB	 Svanen
Energi	X	X	X	X	X
Innemiljö	X	X	X		X
Materialval	X	X	X		X
Vatten	X	X			
Management	X	X			X
Avfallshantering	X	X			X
Transport & Infrastruktur	X	X			
Ekologi & platsval	X	X			
Föroreningar	X	X			
Process / Innovation	X	X			

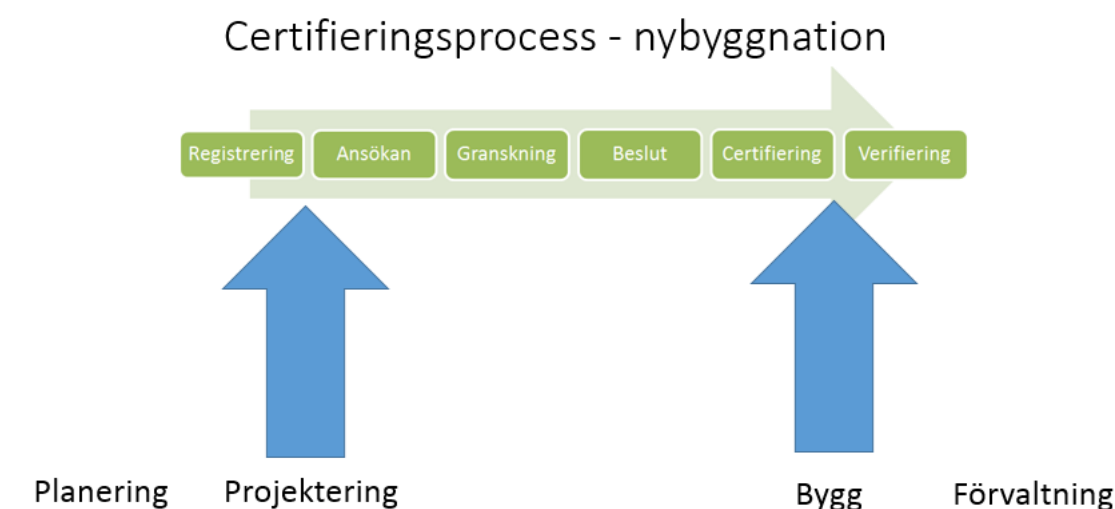
Figur 1. Omfattning av certifieringssystem. (Moberg & Henriksson). Återgiven med tillstånd.

Miljöbyggnad är det certifikat som är utvecklat för svenska förhållanden och är ett enkelt och kostnadseffektivt sätt att få en relevant miljöbedömning. Systemet används både för nya och befintliga byggnader. (SGBC 2016)

GreenBuilding är ett certifikat som kom till genom ett EU-initiativ som sträckte sig mellan 2004-2014 och riktar sig till fastighetsägare och förvaltare för befintliga byggnader som är ute efter att energieffektivisera. Kravet för att erhålla stämpeln GreenBuilding är att byggnaden skall använda 25 % mindre energi än innan ombyggnaden eller jämfört med nybyggnadskraven enligt BBR. Vid nybyggnation gäller helt enkelt kravet att byggnaden skall använda 25 % mindre energi än kraven enligt BBR. (SGBC 2016)

Svanenmärkning av byggnader utfärdas för småhus och flerbostadshus samt skolor och förskolor. (Miljömärkning Sverige 2016)

Vanliga internationella certifieringssystem är LEED och BREEAM där LEED administreras av U.S. Green Building Council medan BREEAM administreras av BRE som tidigare var ett statligt institut men som nu mera ägs av en sammanslutning av branschaktörer. (SGBC 2016)



Figur 2. Miljöcertifieringsprocessen. (Moberg & Henriksson). Återgiven med tillstånd.

I Figur 2. Miljöcertifieringsprocessen. (Moberg & Henriksson). Återgiven med tillstånd. illustreras certifieringsprocessen. Energianalysen som görs under projekteringen fungerar som underlag för ansökan om certifikat.

2.3 Användning av GBS i byggprocessen

Flera vetenskapliga artiklar har publicerats där GBS:s användningsområden och nytta diskuteras. Slutsatsen för de flesta av dessa är att programvaran är ett bra designverktyg.

En artikel publicerad i Building Design & Construction diskuterar problemet med att presentera energidata för en byggnad är en dyr och tidskrävande process, vilket ofta resulterar i att detta skjuts upp till ett sent projekteringsstadium då möjligheterna för förändring är relativt små. GBS är ett verktyg som är särskilt

effektiv när det gäller att tidigt utföra energianalyser på ett enkelt sätt. (Building Design & Construction 2005)

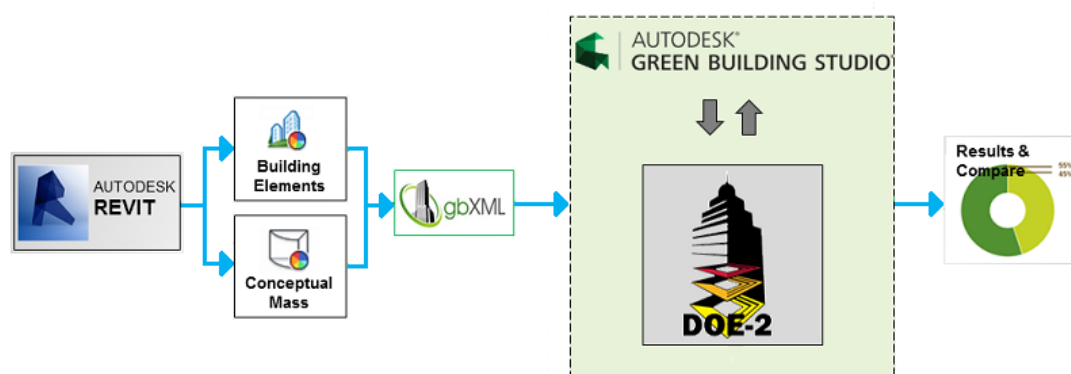
I en intervju i tidskriften Architect berättar Brad Clark vid konsultfirman BNIM om hur han använder GBS. Han medger att programvaran inte är anpassad för superdetaljerade analyser men att den kan användas av designers som snabbt vill ha en överblick för hur byggnaden kommer att fungera. Han berättar vidare om hur han använder verktyget för att testa sina egna intuitioner för att se om dessa stämmer. (Libby 2011)

Ett annat exempel på användandet av Autodesk Revit i branschen är från 2009 vid renoveringen av Klau Library i Cincinnati, USA. Konsultföretaget KLG Engineers använde då den intelligenta informationen från Revit MEP och den integrerade energi analysen för att optimera byggnadsprestandan. "We did not have to lose valuable time recreating model data for analysis and instead focused on designing more efficient building systems," kommenterar Millard. (Autodesk 2010)

2.4 GBS enligt Autodesk

Följande avsnitt sammanfattar Autodesk's beskrivning av processen för en energianalys i Revit, vad som tas hänsyn till, samt hur energianvändningen beräknas. Ord inom parentes är vad de kallas av Autodesk och även de man finner i Revit.

När en energianalys på en konceptmodell eller en modell med byggnadselement skall analyseras exporteras Revitmodellen till gbXML-format. Filen laddas därefter upp mot molntjänsten GBS som modellerar den förväntade energianvändningen med hjälp av analysprogramvaran DOE-2 som finns beskriven i avsnitt 2.5. Resultatet för analysen presenteras därefter på en webplattform som i sin tur Revit hämtar data från vilket presenteras direkt i Revits *Results & Compare*. (Autodesk 2016)



Figur 3. Whole Building Energy Analysis. (AUTODESK, 2016). CC-BY

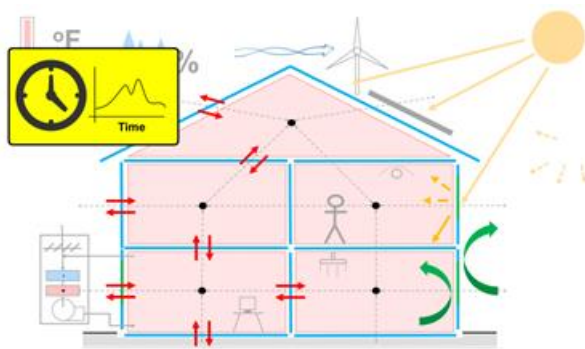
Efter att resultaten från energianalysen erhållits finns det verktyg för att visa förslag på energieffektiviseringar och hur mycket man kan förväntas spara. Det finns även möjlighet att se hur mycket energianvändningen kommer kosta och

vad för alternativ som finns för att göra byggnaden till en plusenergibyggnad. Hela processen illustreras i Figur 3. (Autodesk 2016)

Formen är en av de huvudsakliga faktorerna som påverkar energikonsumtionen, vilket bland annat inkluderar area, volym, glaserade ytor och skuggning. Detta täcks in i vad Autodesk kallar en EAM. (Autodesk 2016)

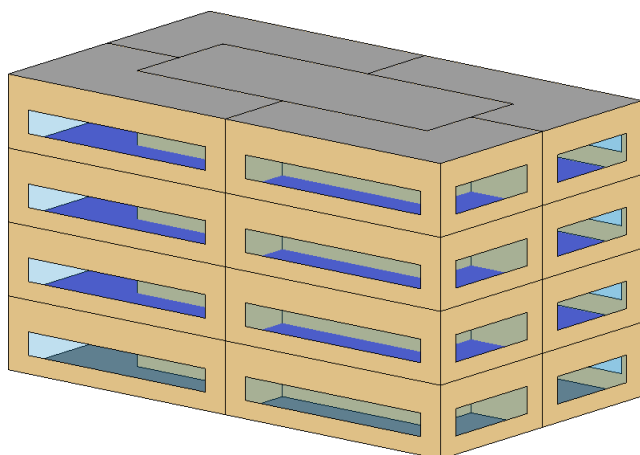
Rumsvolymer (Spaces) och ytor (Surfaces) utbyter värmeenergi med utsidan och andra rum i byggnaden. Autodesk's EAM sätter en punkt mitt i dessa volymer som beräknar de termiska behoven. Dessa punkter kan vidare delas in i grupper av volymer, kallat zoner (Zones). Beräknade värmeöverföringar mellan rum och ytor sker i ett rutnät mellan dessa punkter. Beräkningsprogrammet tar hänsyn till skillnad mellan fönster och väggar och golv i materialspecifikationerna för dessa där det bland annat specificeras R-värde. (Autodesk 2016)

Nästa steg i analysen innefattar utomhusförhållanden så som temperatur, relativ fuktighet, solinstrålning samt vind. Allt som tas hänsyn till i en energianalys är illustrerat i Figur 4. (Autodesk 2016)



Figur 4. Heat Transfer Modeled Over Time. (AUTODESK, 2016). CC-BY.

Om analysen utgår från en konceptmodell skapar Revit en diskret analysmodell. Detta innebär att det automatiskt skapats volymsektioner i byggnaden för att ge mer trovärdiga analysresultat. Volymer bör inte blandas ihop med rum eftersom väldigt stora rum behöver delas upp i delvolymer för att representera värmeöverföringsprocesser mer noggrant. Anledningen till detta är att om det skapas en enda stor volym i en byggnad kommer beräkningsprogrammet att ta ett genomsnitt av tillförseln och förlusterna av värme över hela klimatskalet, snarare än att lokala system i varje rum kan behöva korrigera för dessa förändringar. Resultatet skulle bli att simuleringsresultaten skulle underskatta den faktiska energianvändningen. Vidare är en rumsuppdelning som även innefattar en uppdelning som tar hänsyn till en byggnads djup önskvärd, speciellt i konceptmodeller. Detta illustreras i Figur 5. Exempelvis kan denna inre "kärna" illustrera trapphus och toaletter som vanligtvis inte förläggs mot fasad. Revit delar upp konceptmodellen enligt riktlinjer från ASHRAE. (Autodesk 2016)



Figur 5. Exempel på EAM.

Beroende på hur tidigt stadium projektet befinner sig i är det möjligt att välja om denna uppdelning skall göras på egen hand eller inte. Om den ungefärliga invändiga uppdelningen av rum är känd kan det vara fördelaktigt att dela in byggnaden på egen hand med byggnadselement. (Autodesk 2016)

2.5 DOE-2: Programvaran bakom GBS

En översiktsrapport som beskriver DOE-2 publicerades 1990 av Birdsall, Buhl, Ellington, Erdem och Winkelmann (1990) vid University of California. Följande stycke sammanfattar denna.

Analysprogramvaran bakom GBS är en DOS-baserad programvara kallad DOE-2. Utvecklingen påbörjades 1976 av U.S. Energy Research and Development Administration (ERDA) och California Energy Commission (CEC) eftersom uppfattningen var att befintliga programvaror för energianalys hade otillräcklig användarvänlighet. Efter en tid kom ERDA att bli en del av U.S. Department of Energy (DOE). En tidig version av programvaran fick således namnet DOE-1 som vidareutvecklades till den senaste versionen av DOE-2, kallad DOE-2.1D, som lanserades 1989.

DOE-2 är uppdelat i två övergripande sektioner. En inputprocessor som accepterar byggnadsdata som tillhandahållits av användaren och ett simuleringsverktyg som använder timbaserade väderdata. Dessa används tillsammans ett bibliotek med materialspecifikationer för att kalkylera energiprestandan.

Programvaran är i sin tur uppdelad i fyra delar: LOADS, SYSTEMS, PLANT och ECONOMICS. LOADS är den del som beräknar energin som krävs för att bibehålla en viss rumstemperatur med hänsyn till utomhusförhållanden och internlast. Solinstrålning och värmeöverföringar analyseras under dygnet med hänsyn till solens faktiska position och rådande inne- och utetemperaturer för tidpunkten. Förutom att solen påverkar energiförbrukningen för värmning och kylning av byggnaden har den också inverkan på hur mycket belysning som simuleringen avgör att byggnaden kräver. Exempelvis skulle en analys av en skuggad byggnad uppskattas behöva mer belysning än en utsatt för direkt solljus. Det är också

viktigt att påpeka att energirapporterna för uppvärmning och kylning inte är direktrelaterade till varandra. Anledningen är att DOE-2 tar hänsyn till att byggnaden har möjlighet att absorbera energi med avseende på dess massa. Övriga delar av programmet beräknar energianvändning för klimatsystemet, samt preliminär driftskostnad för dessa.

Presentation av analysdata kan ske direkt genom DOE-2's presentationsverktyg men det är även möjligt att användaren själv väljer vilka data som skall tas med och hur dessa ska presenteras. I Autodesk's Revit finns ett eget presentationsverktyg för data från GBS.

2.6 Validering av programvara för energianalys

Att bestämma en energianalysprogramvaras förmåga att spegla verkligheten medför vissa svårigheter. En mängd faktorer spelar roll när faktisk energianvändning skall avgöras innan byggnaden faktiskt är byggd, exempelvis brukares vanor, vilket gör det hela komplext. Officiell validering av programvaran, så som ANSI/ASHRAE 140, tar därför inte hänsyn till användandet av byggnaden utan enbart programvarans förmåga att modellera konstanta variabler som exempelvis rumsuppvärmning av solinstrålning. Det har ändå gjorts vetenskapliga tester för att undersöka GBS förmåga att modellera en byggnad i bruksstadium.

Enligt Autodesk är varje version av GBS validerad med hjälp av standarden ANSI/ASHRAE 140, 2004. År 2008 utvärderade amerikanska Department of Energy programvaran och fastslog att den uppfyllde kraven. Alla versioner som släppts därefter har haft resultaten från 2008 som referens. Då IDA-ICE4 validerades hade man bland annat DOE-2 som referens då man använde samma valideringsstandard som GBS validerades med 2008. Proceduren innefattar 17 tester på samma byggnadskropp där varje test ändrar en parameter. Ett exempel är jämförelsen av skuggad söderfasad respektive oskuggad. Utgångspunkten är en 6 x 8 meter stor välisolerad låda med två söderliggande fönster. I nästan alla testade fall uppskattade IDA-ICE4 energiförbrukningen till något högre än DOE2 men generellt sett låg de väldigt lika jämfört med de andra testade programvarorna.

Reeves, Olbina och Issa (2012) utförde 2012 en fallstudie i Florida för att validera energianalysprogramvara som stödjer gbXML och innefattade bland annat Green Building Studio. Utvärderingen gjordes för att testa hur väl programvarans analysvärden motsvarade verkligheten. Studien bör dock ses med en viss kritik eftersom den enbart jämförde med verkliga resultat som uppmäts över ett referensår. Det framgår inte av rapporten om de använt väderdata för referensåret i själva analysen.

Reeves et al. (2012) menar att flera studier pekar mot att en generell trend inom energianalys är att klimatsystemets energianvändning har en tendens att underskattas. Resultaten som uppmättes i studien visar att GBS med ett årsgenomsnitt låg knappt 48 % under den faktiska energikonsumtionen för båda referensbyggnaderna man analyserat. Reeves et al. föreslår att en stor anledning

till dessa stora skillnader är att det i programvaran inte går att realistiskt specificera brukstid, belysning och teknisk utrustning.

Ryan & Sanquist (2012) påpekar emellertid att det inte finns någon möjlighet att helt validera en energimodel eftersom det finns för många parametrar för att kunna ta hänsyn till alla möjliga fall. Oftast används tidigare testade modeller och empirisk data i kombination för att validera en energimodell. Vidare anser de att det finns två kategorier som bör tas hänsyn till. En kategori som innefattar byggnadsstrukturen, materialval och tekniska system, samt en som behandlar vanor och avsett bruksområde för de som vistas i byggnaden. Ryan & Sanquist (2012) anser därför att validering av energimodeller bör delas upp i realistisk och ideal validering.

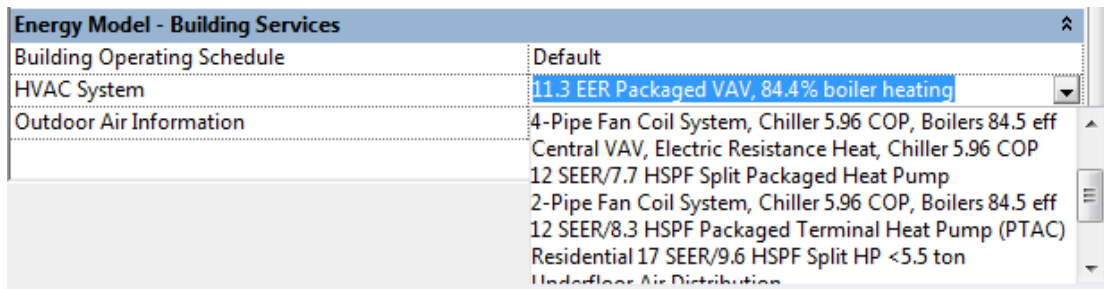
Angående ideal validering hänvisar Ryan & Sanquist (2012) till en studie där det byggts en testcell för att empiriskt testa energimodellen. Där framgår det att IDA-ICE mycket exakt förutspår kylenergi som behövs för en mulen dag men överskattar energin som behövs för en solig dag. Det nämns också att samma studie visar att DOE-2 har svårt att precis modellera faktiskt solinstrålning, men att även den fungerade bra för mulet väder.

Rörande realistisk validering påpekar Ryan & Sanquist (2012) svårigheten att uppskatta brukares vanor. Vid en intervjustudie påvisades det exempelvis att brukare använder ungefär dubbelt så mycket energi som de själva uppskattar utifrån ett frågeunderlag där de får svara på hur många timmar per dygn de tror att de har igång apparater och dusch. En lösning som föreslås är att dela upp invånare i en bostad i kategorier så som arbetande man, arbetande kvinna, pensionerad man, osv. där kategorierna tilldelas schema. En sådan stokastisk modell skulle enligt författarna göra energimodellen mer exakt.

Avslutningsvis hävdar Ryan & Sanquist (2012) att energimodellering i allmänhet fungerar väldigt bra, men att det måste göras förbättringar i hur noggrant programvarorna beräknar energiförbrukning utifrån brukarnas vanor. Slutsatsen de drar är sammanfattningsvis att det är omöjligt att validera energimodeller utifrån alla möjliga bruksfall. Istället är det viktigt att ha en valideringsmetodik som testar en modells förmåga att räkna precis vid särskilda förhållanden.

2.7 Klimatsystem i Revit

I Revit finns det möjlighet att välja olika paketylösningar för klimatsystemet som modeleras i energianalysen. Se Figur 6. Alla dessa system är av amerikansk standard. En utförlig beskrivning av hur dessas energieffektivitet bestäms är därför nödvändig för att förstå valen som finns.



Figur 6. HVAC-System.

2.7.1 Energiprestanda enligt Amerikansk standard

Amerikansk lag styr hur uppvärmnings- och kylsystem standardiseras efter energieffektiviteten. Dessa standarder och enheter är det som används i Revit och GBS. Klimatanläggningars energieffektivitet beskrivs vanligtvis med 6 olika enheter som presenteras i Figur 7.

SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
HSPF	Heating Seasonal Performance Factor
EER	Energy Efficiency Rating
COP	Coefficient of Performance
AFUE	Average Fuel Utilization Efficiency
kW/ton	Kilowatts per ton

Figur 7. Energieffektivitet i USA.

Värmepumpars energieffektivitet för kyla bestäms enligt SEER och uppvärmning enligt HSPF. En värmepump som har förmågan att både kyla och värma och har både ett SEER-värde och ett HSPF-värde. SEER avser kyleffektiviteten och HSPF dess uppvärmningseffektivitet. (Horizon Services 2016)

SEER innebär kortfattat total producerad kylenergi (i Btu) dividerat med total elenergianvändning (i Wh) vid en given driftspunkt över en genomsnittlig säsong och mäts i Btu/Wh. 1987 uppraderades SEER-kravet från SEER 10 till SEER 13 vilket innebar en ökning av energieffektiviteten med 30 %. Kraven sänktes emellertid 2001 till SEER 12 vilket är det lägsta som går att välja i Revit och GBS. Kraven har på senare tid återigen höjts och det lägsta som finns på marknaden är just nu SEER 13. Kraven varierar dock beroende på hur systemet är utformat samt vilken delstat som berörs. (EESI 2016)

HSPF fungerar på samma sätt men det är istället det genomsnittliga uppvärmningsbehovet under en säsong som beräknas. Det lägsta tillåtna HSPF-värdet på nyproducerade värmepumpar är 7,7, vilket också är det lägsta värdet som går att välja i programvaran. (Bailes 2010)

EER är en konstant för klimatsystemet och används som en teknisk term snarare än en säljterm. EER beräknas genom konstant given innetemperatur, utetemperatur och luftfuktighet. SEER är det vanligaste och används huvudsakligen för att jämföra olika system samt för att beskriva större klimatanläggningar. EER å andra sidan används oftast för små fönstermonterade

AC-enheter. EER-värde kan vara svårt att hitta för större klimatsystem än så. (All Systems Mechanical 2016)

COP är ett enhetslöst mått på energieffektivitet eftersom både elenergi och producerad energi mäts i Wh. COP är en universell enhet och används till annat än enbart klimatsystem. (Power Knot 2016)

AFUE är standardenheten för att beräkna effektiviteten för gas- och oljepannor. Värdet ges i procent och beskriver i princip hur mycket bränsle som används för att värma byggnaden och hur mycket som försvinner genom skorstenen. (Horizon Services 2016)

kW/ton är en vanlig enhet för stora kylsystem i industrier. Det används för att beskriva hur mycket kylenergi som behövs för ett specifikt kylbehov. Ett lägre värde här innebär ett mer effektivt system. 1 ton motsvarar här drygt 3,5 kW. Exempelvis kan en kylare ha en ratio på 1,8 kW/ton vilket innebär ett COP på 1,95. Detta innebär att för varje kW elenergi som används av kylaren bidrar den med 1,95 kW kylenergi. (Power Knot 2016)

2.7.2 En jämförelse med Europeisk standard

I Europa används exempelvis inte beteckningen HSPF utan den europeiska standarden SCOP används istället (IVT 2011). De olika systemen liknar varandra på det sättet att säsongsmiddeltemperaturerna beräknas på samma sätt¹. De olika systemen bygger dock på olika klimatdata². Detta innebär att det inte finns någon möjlighet att direkt översätta HSPF till SCOP på ett enkelt sätt.

Emellertid kan en omräkningsfaktor användas för att omvandla enheten Btu/Wh till Wh/Wh vilket ger en bättre inblick i vad systemet hade inneburit i Europa. Omvandlingen illustreras i Ekvation 1 och bygger på förhållandet mellan Btu och Wh. Här används enheten COP_{avg} för att det inte skall blandas ihop med SCOP.

$$COP_{avg} = 0,293 * HSPF$$

Ekvation 1. COP_{avg}

Vad som anses vara en högpresterande värmepump har ett HSPF-värde på 9,6 vilket innebär ett COP_{avg} på ca 2,8. Detta kan jämföras med en högpresterande värmepump från IVT som har ett SCOP på 4,7. Det går inte att dra någon direkt slutsats om hur dessa två förhåller sig till varandra eftersom det är ovanligt att tillverkare producerar värmepumpar både för den europeiska och den amerikanska marknaden. Sammanfattningsvis kan det sägas att det inte finns något sätt att ta fram en omräkningsfaktor för dessa värden.

¹ Detta visar sig vid jämförelse av *Understanding Heating Seasonal Performance Factors for Heat Pumps* (publicerat av European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE)) och *Calculator of SCOP for heat pumps according to EN 14825* (Utgivet av Danska Energistyrelsen).

² Detta visar sig vid jämförelse av *Calculator of SCOP for heat pumps according to EN 14825* och *Climatic Impacts on Heating Seasonal Performance Factor (HSPF) and Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) for Air-Source Heat Pumps* (utgivet av tidskriften ASHRAE Transactions).

2.7.3 Val av klimatsystem i Revit enligt Autodesk

Artikeln *Energy Analysis using Conceptual Masses - Detailed Workflow* utgiven av Autodesk själva säger inget om hur HVAC-systems skall väljas.

I en tråd från 2010 på diskussionsforumet för GBS ställer användaren *bcpratt* frågan om varför det inte går att finna något alternativ för bergvärmepump. Svaret från en anställd, Marjorie Stein, på Autodesk var att medan de håller på att uppdatera listan med energisystem är GBS designat för den konceptuella fasen i ett projekt. Stein menar vidare att man borde använda verktyget för att optimera byggnadens energianvändning huvudsakligen med hänsyn till byggnadens utformning, orientering och solinstrålning. Stein hävdar att först efter att dessa steg gjorts ska man börja oroa sig för HVAC. Förslagsvis kan detta svar betyda att verktyget är gjort för att jämföra olika lösningar i designfasen, och inte för att ge några uppskattningsvärden gällande energianvändning per kvadratmeter, samt att GBS inte är designat för att modellera HVAC. Det nämns också i diskussionstråden att DOE-2's sätt att jobba är med just paketslösningar av HVAC. Vidare i samma diskussionstråd ställs en fråga 2012 om bergvärmepumpar lagts till i programvaran. Svaret blir då att man gör bäst i att ladda ner analysfilen för att därefter importera den i programvaran eQUEST. (Autodesk 2016)

2.8 Energianalys och projektering på Sweco

I följande kapitel sammanfattas de intervjuer som genomfördes på Sweco för att få en bild av projekteringen i allmänhet samt hur det jobbas med energianalys.

2.8.1 Arkitekt

I en intervju med Catrine Andersson på Sweco Architects framgick det i stora drag hur arkitekterna jobbar med design av byggnader och i vilken utsträckning energi spelar in i deras arbete.

Vid designen av en byggnad är det först och främst yttre önskemål från en beställare som har ett behov som måste fyllas i och med byggnaden. Önskemålen kan vara väldigt specifika. Exempelvis kan beställaren vilja ha 100 bostäder eller ett visst antal kvadratmeter. Andra aspekter som påverkar är huruvida det är en ombyggnad eller tillbyggnad, hur omgivningen ser ut, vad detaljplanen säger samt hur tomten är utformad. Det kan vara så att projektet måste vara i kvarterstruktur eller punkthusform. I fallet om beställaren inte specificerat vad för slags byggnad som önskas är det i större utsträckning upp till arkitekten om man vill jobba med punkthus eller lamellhus, om det exempelvis rör sig om bostäder. Faktorer som spelar in här kan vara att en viss utsikt skall tas tillvara på och hur eventuella balkonger skall placeras.

Ekonomi är något som är väldigt viktigt om det inte finns tydliga ramar från början. Detta styr bland annat hur många lägenheter man väljer att förlägga per plan och antal plan totalt. Däremot kan det vara så att dyrare ytor kan byggas om byggnaden ligger i ett attraktivt område eller om ett högre marknadsvärde skapas till följd av miljöcertifiering.

I vilken utsträckning arkitekten jobbar med energieffektivitet och miljö kan vara väldigt individuellt. Om uppdraget går ut på att ha en viss miljöcertifiering eller om det ska bli ett passivhus tvingas arkitekten dock tänka på energiaspekten. Emellertid är inte säkert att det går att kompromissa med byggnadsutformningen. I vissa fall kan vissa kvalitéer vara så viktiga att det inte är värt att offra dem. Exempel på detta kan vara balkonger i ett visst väderstreck eller fönster på så många fasader som möjligt. I dessa fall kan det vara mer aktuellt att jobba med persienner, yttre solavskärmning och glastyp.

På Sweco Architects jobbas det i nästan alla fall med Revit och målet är att alla projekt framöver skall ritas i programmet. Designprocessen är dock väldigt individuell och många kombinerar papper och penna, SketchUp och Revit.

Att det jobbas väldigt mycket i Revit skapar stora möjligheter för samarbete med energikonsulten eftersom det är en stor fördel att det finns en färdig 3D-modell när en energimodell skall skapas. Ett problem med projekteringen över lag är dock att man för sent inser att byggnaden inte uppfyller kraven för ett visst miljöcertifikat och man tvingas då att vidta fördyrande åtgärder som att sätta in bättre fönster eller installera solpaneler. Åtgärder som i vissa fall hade kunnat undvikas om en enklare energianalys hade kunnat göras tidigare.

2.8.2 Energikonsult

I en intervju med Daniel Nilsson vid Energi- och Miljögruppen på Sweco Systems berättar han att det förekommer att energianalytikern är med från början i projekteringen men att det beror helt på projektet. I många fall görs energianalysen när byggnaden är i princip färdig och vanligast är att IDA används. Dock beror det mycket på ambitionsnivån i projektet. Vid enklare beräkningar kan andra programvaror så som BV2 användas. Ofta görs inte enbart energiberäkningar i projekt utan uppdraget kan även sträcka sig till att göra beräkningar för miljöcertifiering, inneklimatberäkningar, dagsljusberäkningar m.m. Om så är fallet kopplas energikonsult in tidigare i projektet. I vissa fall kan de även vara med från systemhandlingar och får i de fallen påverka exempelvis val av fönsterplacering.

Vanligtvis fås endast 2D-ritningar som underlag för energianalys. Ibland fås även 3D-ritningar i ifc-format. En fördel med ifc-filer är att man kan spara tid genom att inte behöva bygga upp geometrier eller mäta areor.

Hur mycket analyserna påverkar byggnadsutformningen varierar från projekt till projekt. Ofta kan en energiberäkning besvara frågor om vad för slags fönster och solskydd som måste användas. Uppdraget blir då att lämna förslag. Nilsson menar att det kan finnas fler bidragande faktorer än enbart komplexiteten i informationsöverföringen som svar på frågan om varför de tror att de inte har så stor möjlighet att påverka utformningen av byggnaden. Andra orsaker kan vara traditioner i hur projekteringen går till eller hur information förs vidare.

Från en IDA-beräkning kan även dimensioneringsvärden för VVS-konstruktören tas ut. I projekt där IDA-beräkningar görs kan dimensionerande värden för alla

rum i byggnaden erhållas eftersom det är förhållandevis enkelt att ta fram rumsspecifik data när väl en färdig IDA-modell skapats. VVS-konsulten kan också göra detta i viss utsträckning, men använder oftast excelark för den typen av beräkningar.

2.8.3 VVS-konsult

I en intervju med Dennis Lönn på Sweco Systems berättar han hur en VVS-konsults roll kan se ut i olika skeden av byggprocessen. Ofta är VVS-konsulten med och påverkar byggnadsutformningen först i projekteringskedet. Man är då med tidigt och påverkar placering och storlek av teknikrymmen, schakt och undercentraler. Man gör även uppskattningar av kyl- och värmelaster samt luftflöden. VVS-konsulten kan vara med och ta fram förfrågningsunderlag, bygghandlingar och systemhandlingar.

Som VVS-konsult är man inte med och påverkar fönsterstorlek eller isoleringsgrad, utan när VVS-systemen dimensioneras är indata för de olika rummen generellt sett bestämd i exempelvis rumsbeskrivningar. Dessa beskriver bland annat hur många personer det specifika rummet ska dimensioneras för när det gäller hygienluftflöde samt erforderliga kyl- och värmeeffekter. Vanliga underlag för att dimensionera VVS-system är 2D-ritningar. Rumsbeskrivningar utifrån dessa ritningar kan därefter användas i excel-beräkningar för dimensionering. Det är även möjligt att använda sig av schablonvärden rörande bland annat minsta tillåtna värde för antal luftomsättningar.

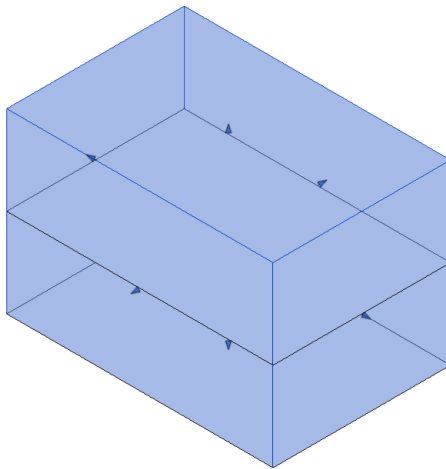
Energikraven finns med i projekteringen i form av energiförbrukning/kvm men det är inte vanligt att en VVS-konstruktör jobbar med miljöcertifieringar. På Sweco Systems AB faller den rollen på energikonsulten.

3 Utvärdering av programvaran

Följande kapitel beskriver kortfattat hur modelleringsprocessen har gått till samt hur analysdata har hanterats. Här presenteras även fallstudien där resultaten från GBS jämförs med resultat från IDA-ICE.

3.1 Modelleringsprocessen

Proceduren för att göra en energianalys med hjälp av konceptmodeller finns utförligt beskrivet i Bilaga 1. Kortfattat kan det sägas att byggnaderna har modellerats som block med verktyget *In-Place Mass* enligt Figur 8.



Figur 8. Skapandet av konceptmodellen.

3.2 Hantering av analysdata

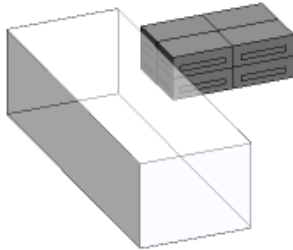
Analysrapporten inleds med en presentation av energiprestanda för byggnaden som helhet enligt Figur 9. De data som hämtats från denna del av rapporten är *Avarage Light Power*, *People* och *Electricity EUI*. Areor har även jämförts för att se till att Revitmodellen stämmer överens med IDA-modellen.

Fyrbo 2 fönsterstorlekar med skugga från hus

Fyrbo Exakta fönsterstorlekar med skugga från hus

Analyzed at 4/29/2016 1:18:17 PM
Version 2016.104.16.29(DOE-2.2-48r)

Energy Analysis Result



Building Performance Factors

Location:	SÅrve, Sweden
Weather Station:	159407
Outdoor Temperature:	Max: 26°C/Min: -8°C
Floor Area:	274 m ²
Exterior Wall Area:	261 m ²
Average Lighting Power:	6.46 W / m ²
People:	7 people
Exterior Window Ratio:	0.16
Electrical Cost:	\$0.08 / kWh
Fuel Cost:	\$1.48 / Therm

Energy Use Intensity

Electricity EUI:	86 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	163 MJ / sm / yr
Total EUI:	474 MJ / sm / yr

Life Cycle Energy Use/Cost

Life Cycle Electricity Use:	710,678 kWh
Life Cycle Fuel Use:	1,342,689 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$35,206

*30-year life and 6.1% discount rate for costs

Renewable Energy Potential

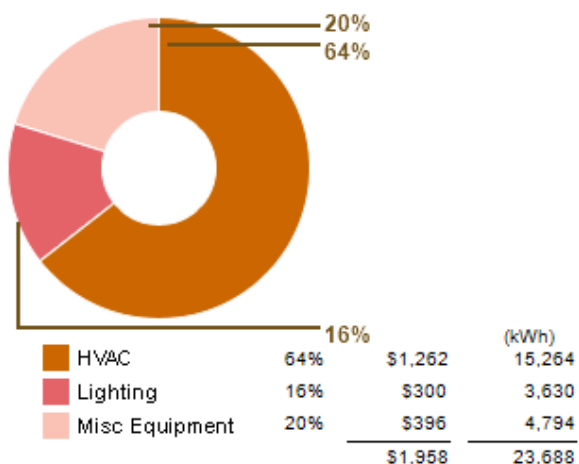
Roof Mounted PV System (Low efficiency):	5,641 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	11,281 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	16,922 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	2,310 kWh / yr

*PV efficiencies are assumed to be 5%, 10% and 15% for low, medium and high efficiency systems

Figur 9. Analysrapport: Övergripande energiprestanda.

Vidare presenteras data i form av cirkeldiagram för koldioxidutsläpp, driftskostnad, bränsleenergianvändning och elenergianvändning. Se Figur 10.

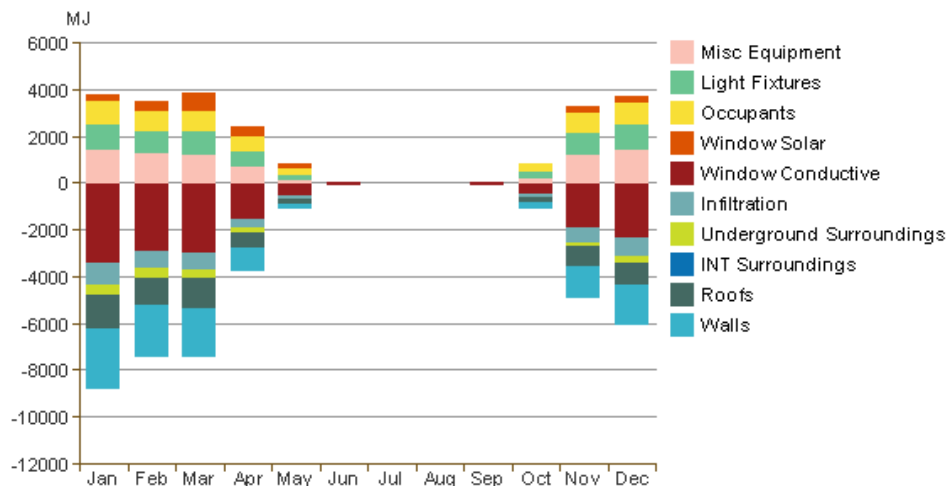
Energy Use: Electricity



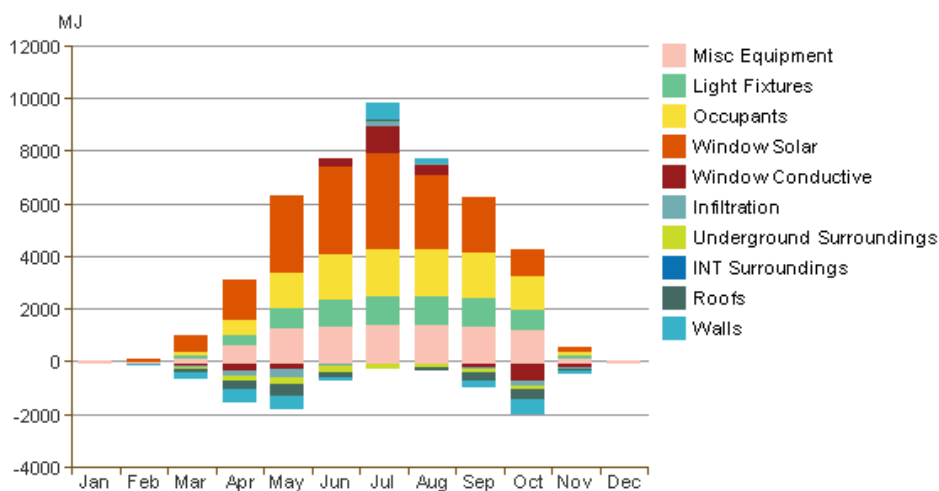
Figur 10. Analysrapport: Electricity.

Data ges också i form av stapeldiagram för uppvärmningsbehov samt kylbehov enligt Figur 11. I diagrammen illustreras de positiva staplarna som uppvärmning och de negativa som kylning av byggnaden. I uppvärmningsfallet är således det som är positivt på y-axeln internvärmestillskott och det som är negativt värmeförluster. Skillnaden mellan dessa två axlar är följaktligen uppvärmningsbehovet för respektive månad. I fallet om kylbehov fungerar det på samma sätt. Det positiva på y-axeln är värmelasten och det negativa är kyltillskottet som kan tillgodoräknas.

Monthly Heating Load

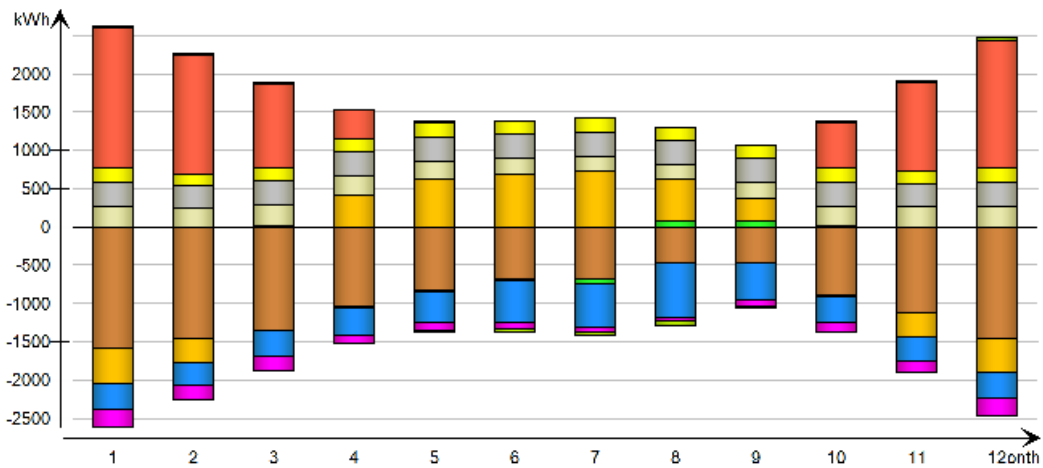


Monthly Cooling Load

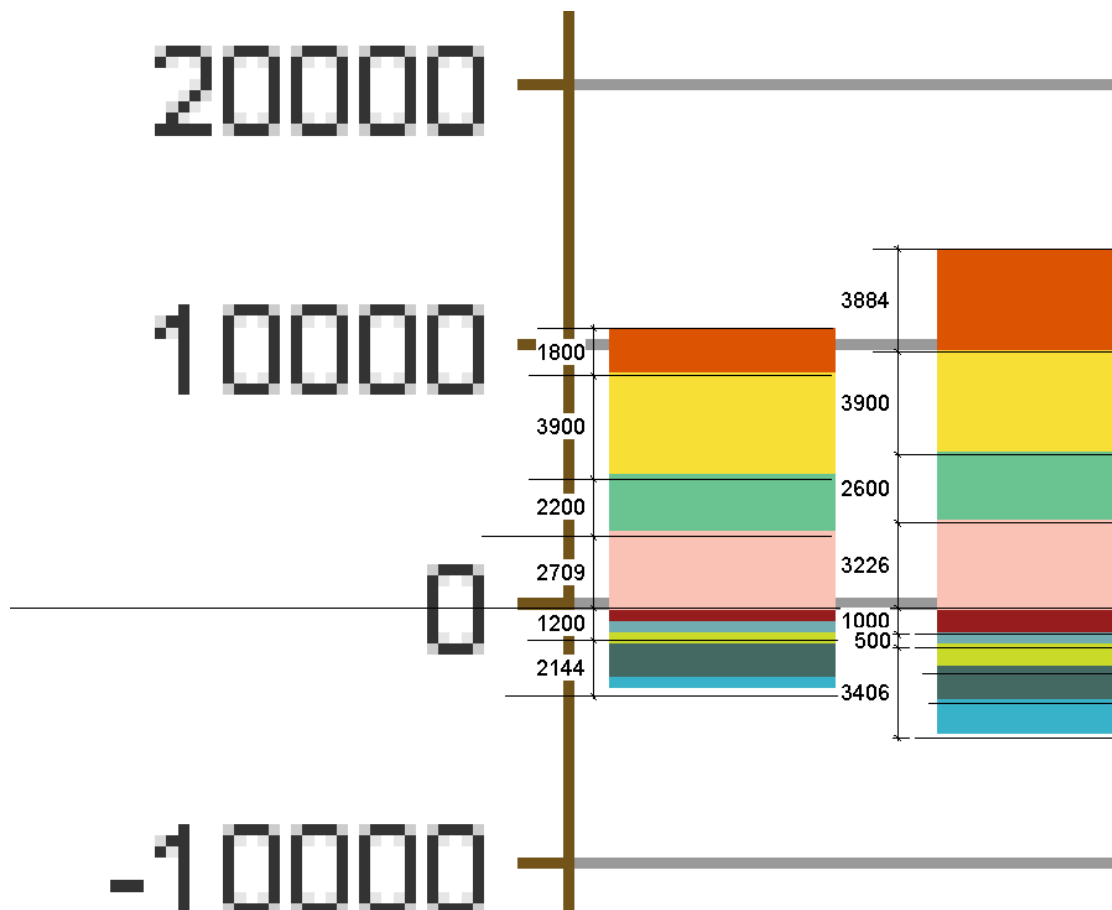


Figur 11. Analysrapport: Loads.

I IDA-modellen är dessa två diagram sammanslagna enligt Figur 12. De röda staplarna visar värmeunderskottet för respektive månad. För att kunna jämföra datan överfördes diagrammen till CAD-programvara där staplarnas ungefärliga värde har kunnat mätas enligt Figur 13. En sammanställning gjordes därefter i Excel där Heating Load och Cooling Load slogs ihop och räknades om till kWh. I IDA presenteras lasterna enligt ett sammanslaget energibalansdiagram. Se Figur 12.



Figur 12. Analysrapport: Energibalans IDA-ICE.



Figur 13. Analysrapport: Lastberäkningar

3.3 Val av indata

Indatan i Revit valdes så likt som möjligt IDA-modellens. De indata som lagts fokus på är:

- Väderstreckorientering
- Väderdata i form av gradtimmar

- Byggnadsutformning
- Termisk zonindelning
- Bruksschema
- Internvärmelaster från människor, elektrisk utrustning samt belysning
- Solavskärmning och skuggande objekt

Vidare fanns det några kända felfaktorer i modelleringen innan analyserna utfördes.

- Då modellering med konceptuella massor görs i Revit kan endast schablonvärden för U-värden väljas och blir således inte likadana som i IDA-modellen.
- Driftstiderna för Revit- och IDA-modellerna skiljer sig åt något.
- Eftersträvad innetemperatur skiljer sig åt. Revits börvärde för innetemperatur är 21,1 °C medan IDA-modellerna för Hovås har 21,0 °C och Vreta Linköping har ett accepterat spann om 22,0-24,0 °C.

U-medel för IDA-modellerna räknades automatiskt ut av programvaran. U-medel för Revitmodellerna har beräknats enligt Ekvation 2.

$$\sum_{i=1}^n U_i * \frac{A_i}{A_{om}}$$

Ekvation 2. U-medelvärde

3.3.1 Klimatsystem

Det finns inget klimatsystem som motsvarar det som används i IDA-modellen. Därför har systemet *Residential 17 SEER/9.6 HSPF Split HP <5.5 ton* använts, som av författarna anses vara det system som med störst sannolikhet hade kunnat motsvara ett system i Sverige. Detta med hänvisning till avsnitt 2.7. Ett problem med alla typer av klimatsystem i Revit är att de på något sätt använder gas för uppvärmning eftersom det är okonventionellt med den typen av system i Sverige. Systemet som valts här använder endast gas för uppvärmning av tappvatten. Dock är ändå detta system i Revit så fundamentalt annorlunda än de som modellerats i IDA-ICE att enbart transmission samt internlasten enligt Figur 11 för kyla och värme har kunnat jämföras mellan de två programvarorna.

3.3.2 U-värden

Indata för U-värden valdes med hänsyn till konceptuella massor i Bilaga 2. Då konceptuella konstruktioner enbart har en begränsad mängd schablonvärden kommer U-medelvärdena att skilja sig mellan modellerna. Dörrar har i både IDA-modellerna och Revitmodellerna räknats som fönster.

3.3.3 Internlasten

För att specificera indata för internlasterna belysning, utrustning och personer öppnades projektet upp i webplattformen för GBS där indata likvärdig IDA-modellerna specificerades i W/ft². Se Figur 14 samt Figur 15. Indata för dessa

togs fram från IDA-modellens *Peak Demand* under *Delivered Energy Report* enligt Figur 16.

The screenshot shows the Autodesk Green Building Studio (GBS) interface. At the top, there's a navigation bar with 'My Projects', 'Dashboards', 'My Profile', and 'My Account'. Below that, the current project is 'Final Radhus Korrekt Position'. There are tabs for 'Run List', 'Run Charts', 'Project Defaults', 'Project Details', 'Project Members', 'Utility Information', and 'Weather Station'. The 'Project Defaults' tab is active, showing a dropdown menu for 'Project Default' set to 'Final Radhus Korrekt Position_default' and a 'Load Selected Template' button. Below this are buttons for 'Save Changes', 'Save as New Template', and 'Assign Template to Project'. A table with columns 'Info', 'Building', 'Spaces', 'Zones', 'Surfaces', 'Openings', and 'HVAC & DHW' is visible. The 'Spaces' tab is selected, showing a table with columns 'Use', 'Parameter', 'Value', 'Units', 'Criteria', and 'Notes'. The table lists parameters like Condition Type, Space Type*, Lighting Power Density*, Equipment Power Density*, Area per Person*, Sensible Heat Gain*, Latent Heat Gain*, and Design Temperature* with their respective values and units.

Use	Parameter	Value	Units	Criteria	Notes
<input type="checkbox"/>	Condition Type	Select one: ▼	N/A	Always ▼	
<input type="checkbox"/>	Space Type*	Select one: ▼	N/A	Always ▼	
<input checked="" type="checkbox"/>	Lighting Power Density*	0.27	W / ft ²	Always ▼	
<input checked="" type="checkbox"/>	Equipment Power Density*	0.22	W / ft ²	Always ▼	
<input checked="" type="checkbox"/>	Area per Person*	902	ft ² / person	Always ▼	
<input type="checkbox"/>	Sensible Heat Gain*		BTU / person	Always ▼	
<input type="checkbox"/>	Latent Heat Gain*		BTU / person	Always ▼	
<input type="checkbox"/>	Design Temperature*		°F	Always ▼	

* Applied only to spaces whose heights are over 2 meters or not unconditioned.

Figur 14. Internlaster GBS 1.

This is a close-up of the 'Spaces' tab in the GBS interface. It shows a table with columns 'Use', 'Parameter', and 'Value'. The parameters listed are Condition Type, Space Type*, Lighting Power Density*, Equipment Power Density*, and Area per Person*. The values for the last three parameters are 0.27, 0.22, and 902 respectively. The 'Use' column has checkboxes, with the last three checked.

Use	Parameter	Value
<input type="checkbox"/>	Condition Type	Select one:
<input type="checkbox"/>	Space Type*	Select one:
<input checked="" type="checkbox"/>	Lighting Power Density*	0.27
<input checked="" type="checkbox"/>	Equipment Power Density*	0.22
<input checked="" type="checkbox"/>	Area per Person*	902

Figur 15. Internlaster GBS 2.

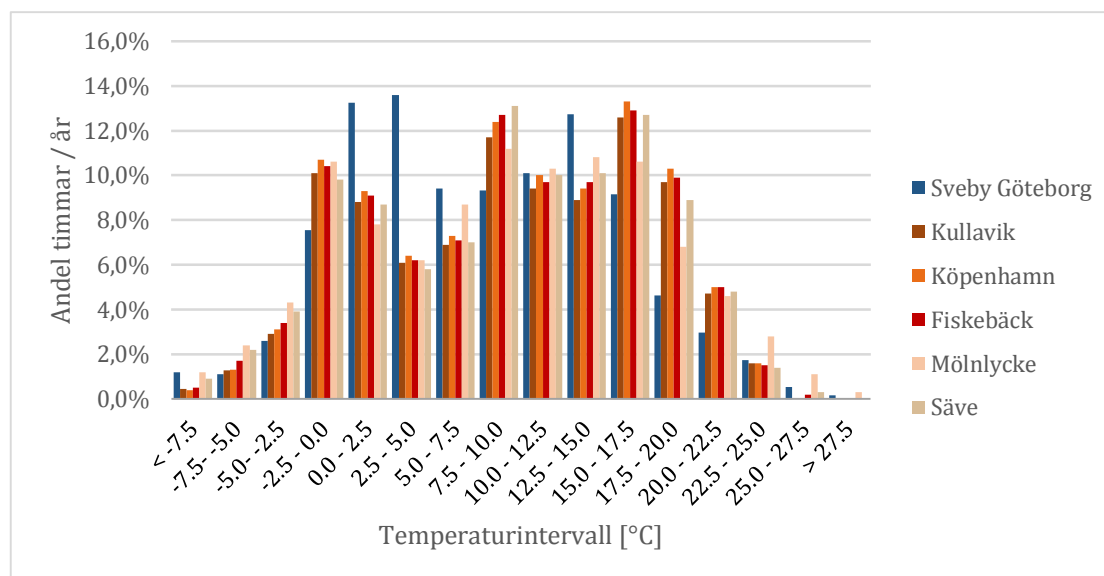
Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kW
<input checked="" type="checkbox"/>	Electric cooling	0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/>	HVAC aux	2065	7.7	0.24
	DHW	8038	29.8	0.92
	Room heating	8648	32.1	24.82
<input checked="" type="checkbox"/>	AHU heating	828	3.1	2.26
	Total, Facility electric	19579	72.6	
	Total	19579	72.6	
<input type="checkbox"/>	Lighting, tenant	2016	7.5	0.79
<input type="checkbox"/>	Equipment, tenant	3743	13.9	0.66
	Total, Tenant electric	5759	21.4	
	Grand total	25338	93.9	

Figur 16. Internlaster IDA.

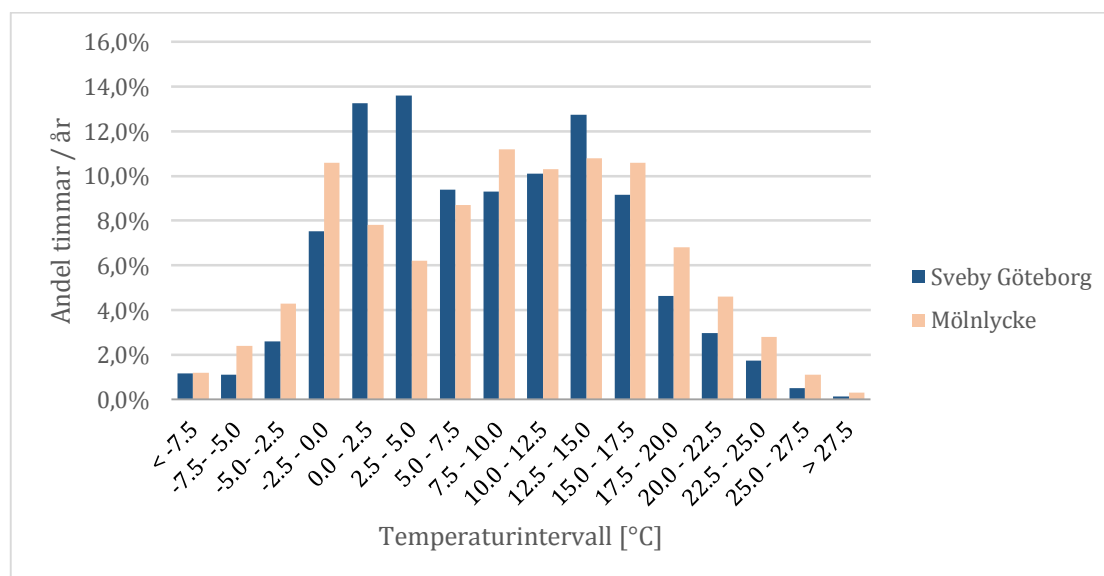
3.3.4 Klimatdata

Vidare finns det ingen möjlighet att välja samma klimatdatafil i Revitmodellerna som för IDA-modellen. I Revit väljs väderstation grafiskt från en karta vilka använder data från WMO (World Meteorological Organization). För att ta reda på vilken klimatdatafil som skulle användas för Hovåsområdet i jämförelsen analyserades data för 5 väderstationer omkring Göteborg som går att välja i Revit. Dessa jämfördes sedan i ett diagram där den klimatdatafil som var mest lik den som använts i IDA-modellen valdes. I diagrammet i Figur 17 är Sveby Göteborg den klimatdatafil som använts i IDA-modellerna för Hovåsområdet.



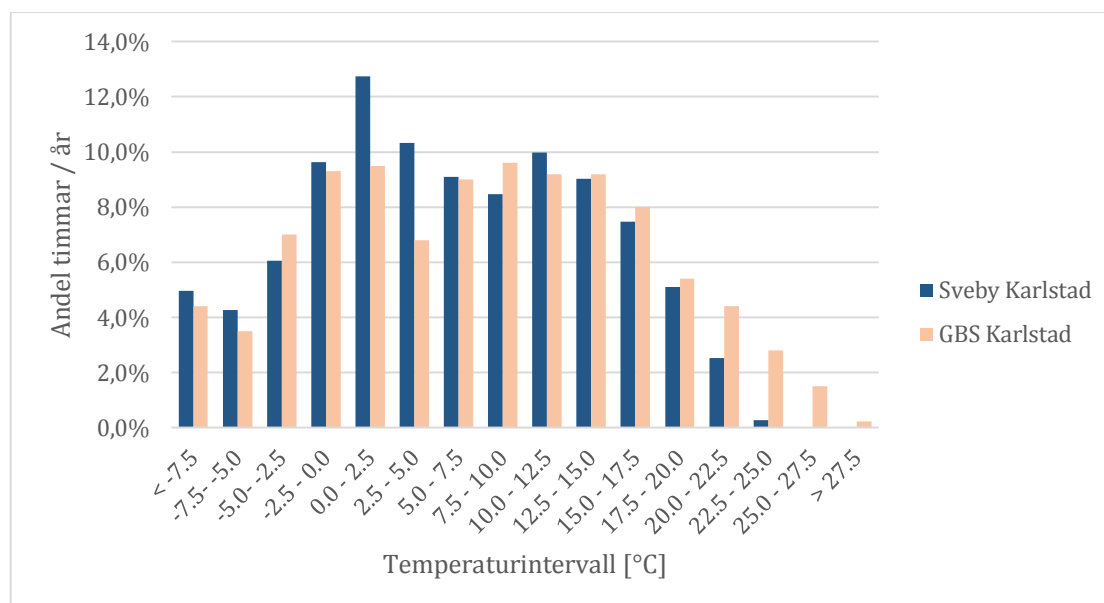
Figur 17. Analysrapport: Klimatdata för Hovås.

Den klimatdatafil som ansågs vara mest lik Sveby Göteborg var Mölnlycke vilket presenteras i Figur 18.



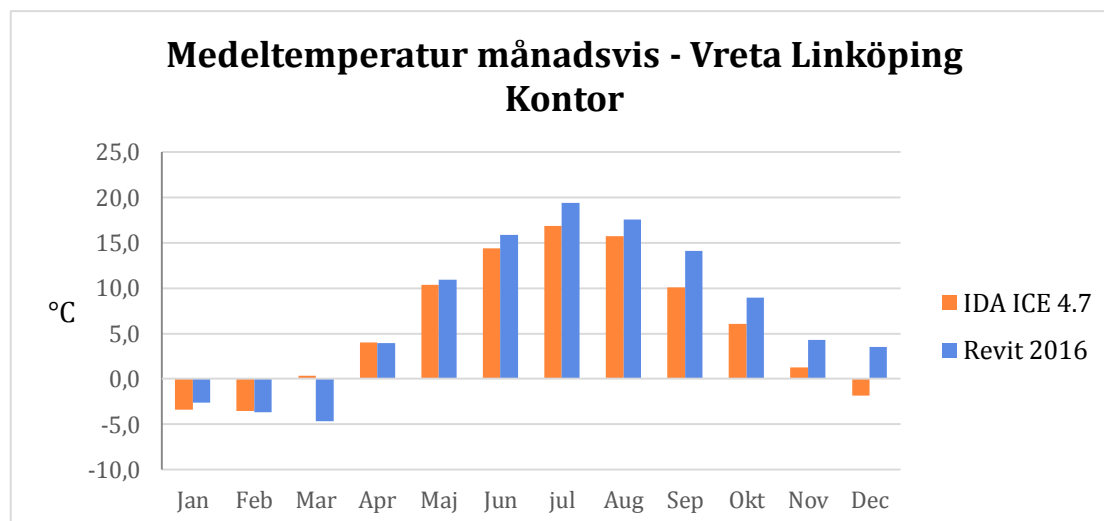
Figur 18. Analysrapport: Klimatdata – Sveby Göteborg och Mölnlycke.

För referensprojekt Linköping testades en klimatdatafil som ansågs vara tillräckligt lik IDA-modellens. I Figur 19 presenteras klimatdata för IDA-modellen som Sveby Karlstad och som GBS Karlstad för Revitmodellen.

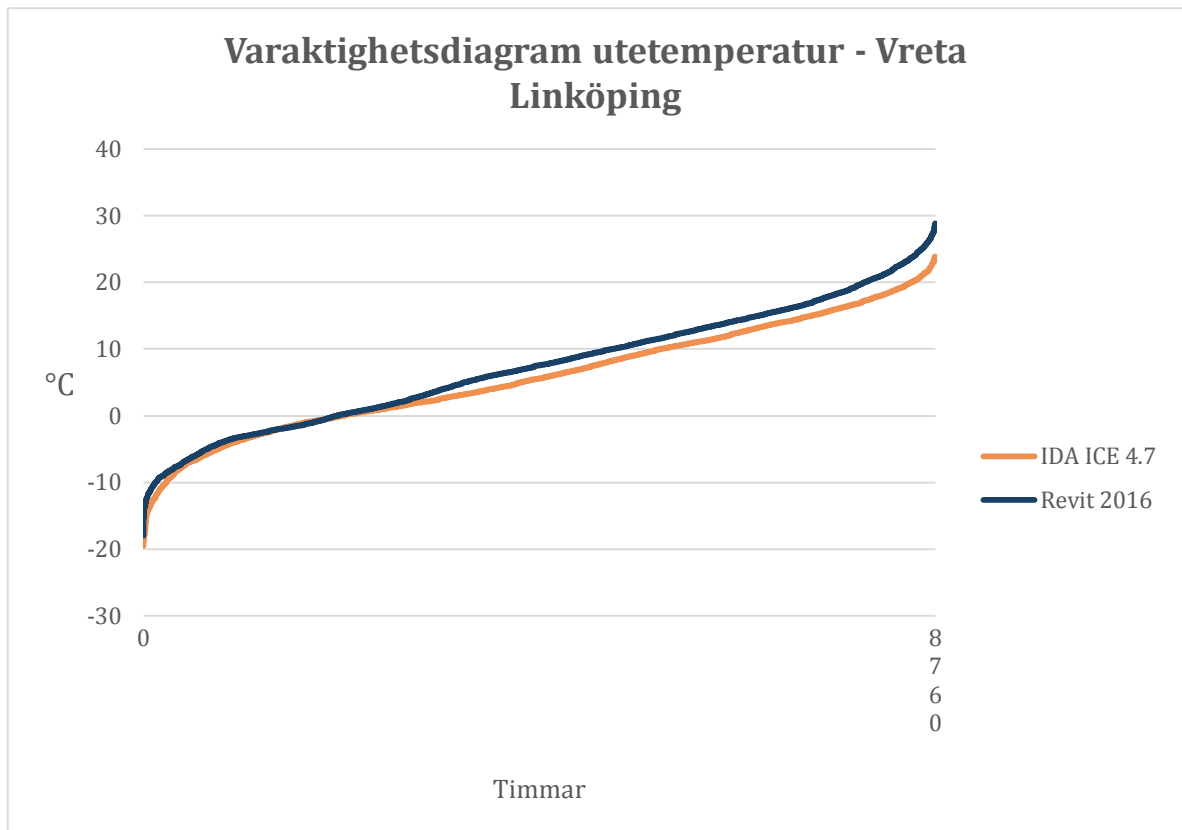


Figur 19. Analysrapport: Klimatdata – Sveby Karlstad och GBS Karlstad.

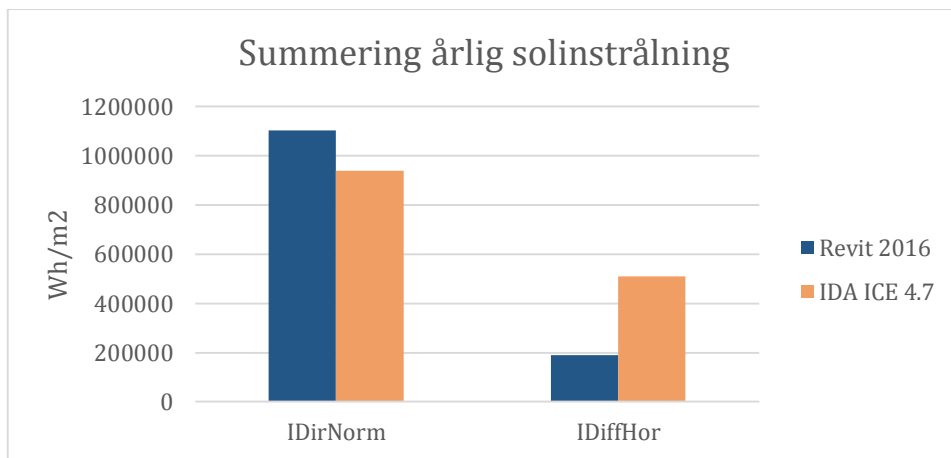
I fallstudien Vreta Linköping gjordes även jämförelser mellan månadsvisa medeltemperaturer, varaktighetsdiagram samt total årlig solinstrålning enligt Figur 20, Figur 21 och Figur 22. I de två staplarna i Figur 22 avser IDirNorm *Direct Normal Radiation*, alltså direkt solinstrålning vid klart väder. IDiffHor avser *Diffuse Radiation on a Horizontal Surface*, alltså all solinstrålning vid mulet väder samt solinstrålning som reflekteras från andra ytor.



Figur 20. Medeltemperatur månadsvis - Vreta Linköping Kontor



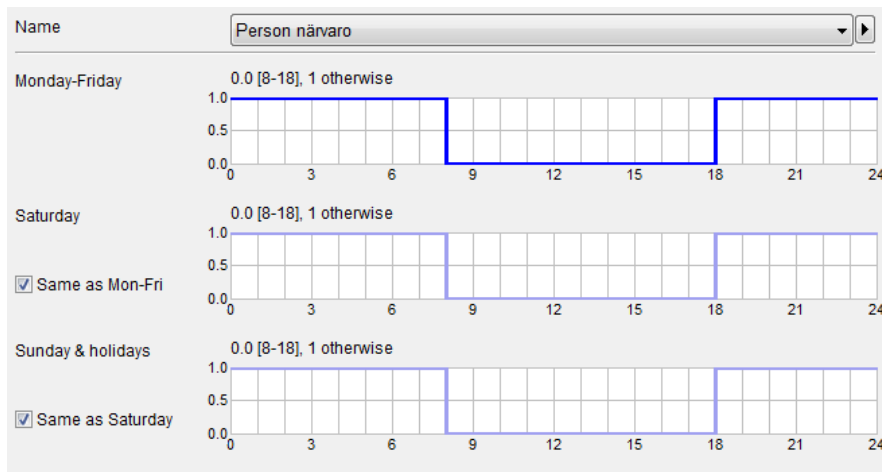
Figur 21. Varaktighetsdiagram utetemperatur - Vreta Linköping



Figur 22. Årlig solinstrålning - Vreta Linköping.

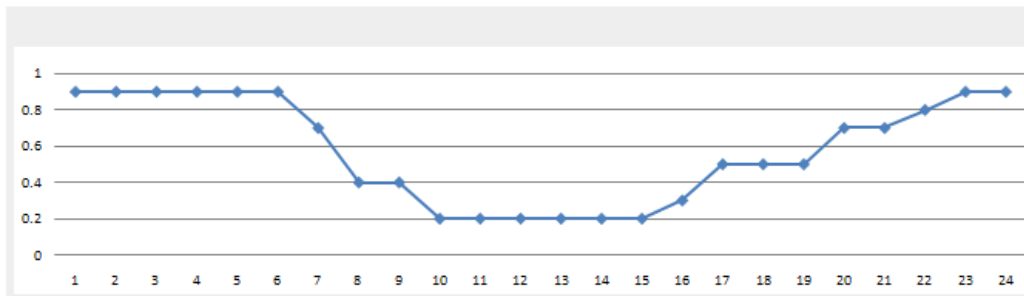
3.3.5 Bruksscheman

I Figur 23 och Figur 24 presenteras bruksscheman för Revit- och IDA-modellerna i Hovås. Figur 25 och Figur 26 presenteras bruksscheman för Revit- och IDA-modellerna för Vreta Linköping. Dessa skiljer sig något åt men är så lika som är möjligt.

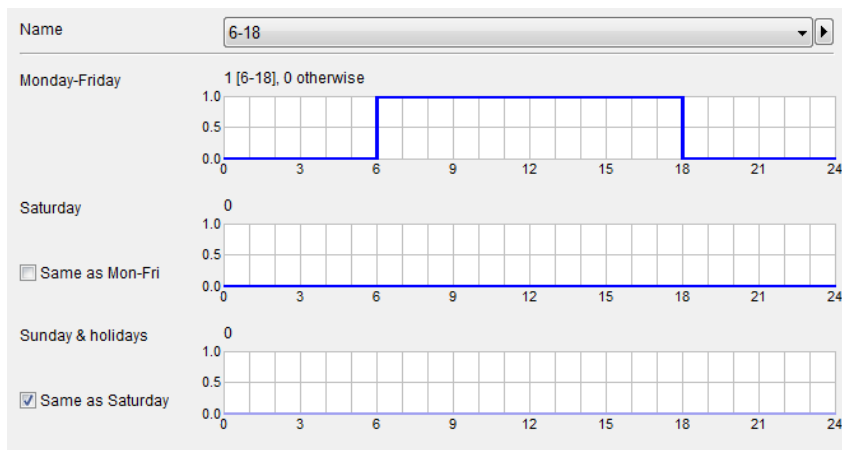


Figur 23. Bruksschema Hovås – IDA.

Home - 24 hrs.

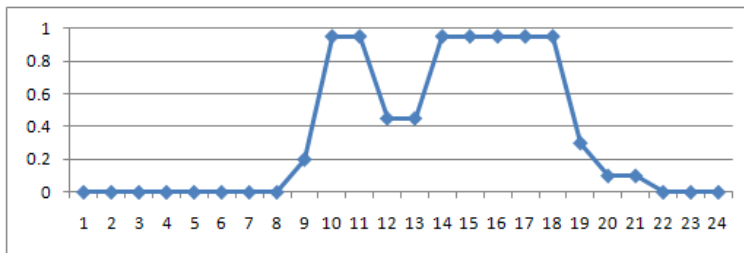


Figur 24. Bruksschema Hovås – Revit.

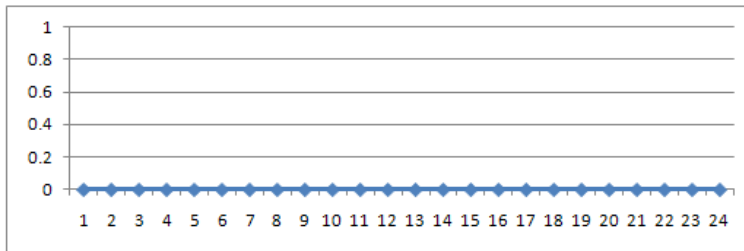


Figur 25. Bruksschema Vreta Linköping – IDA.

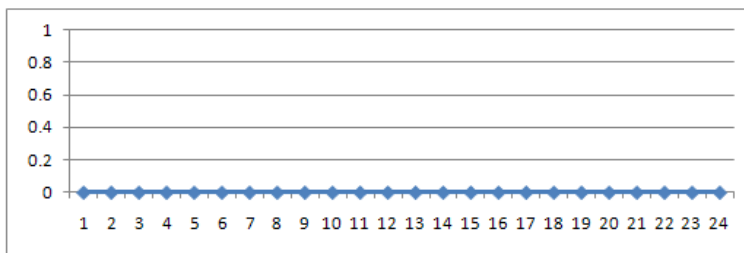
12/5 Facility



12/5 facility schedule on weekdays



12/5 facility schedule on Saturday



12/5 facility schedule on Sunday

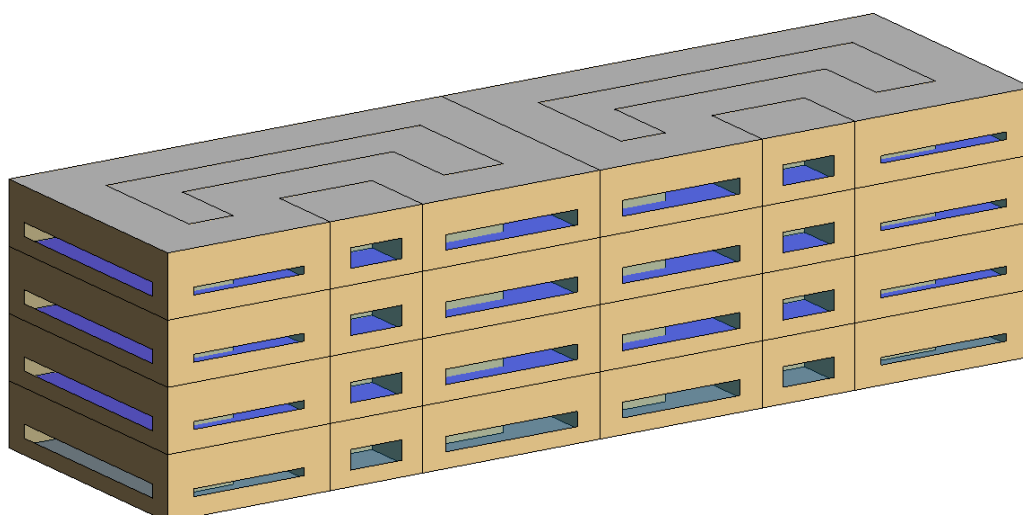
Figur 26. Bruksschema Vreta Linköping – Revit.

3.4 Analys av referensprojektet

Följande avsnitt presenterar resultatet från fallstudierna som hade till syfte att jämföra GBS med Revit 2016 med IDA ICE 4.7. Analysdatan presenteras som tre diagram för termisk energi för varje fallstudie. Ett uppdelat på total termisk energi för varje last per år, ett för termisk energi för klimatskalet per månad samt ett för total värme- och kylkost. För mer utförlig analysdata hänvisas till Bilaga 3.

3.4.1 Hovås Flerbostadshus

Huskroppen skapades och orienterades i samma riktning som referenshuset med hjälp av två block för att illustrera de två trapphusen i objektet. Se Figur 27 för Revitmodellen och Figur 28 för IDA-modellen.



Figur 27. Flerbostadshus: EAM.



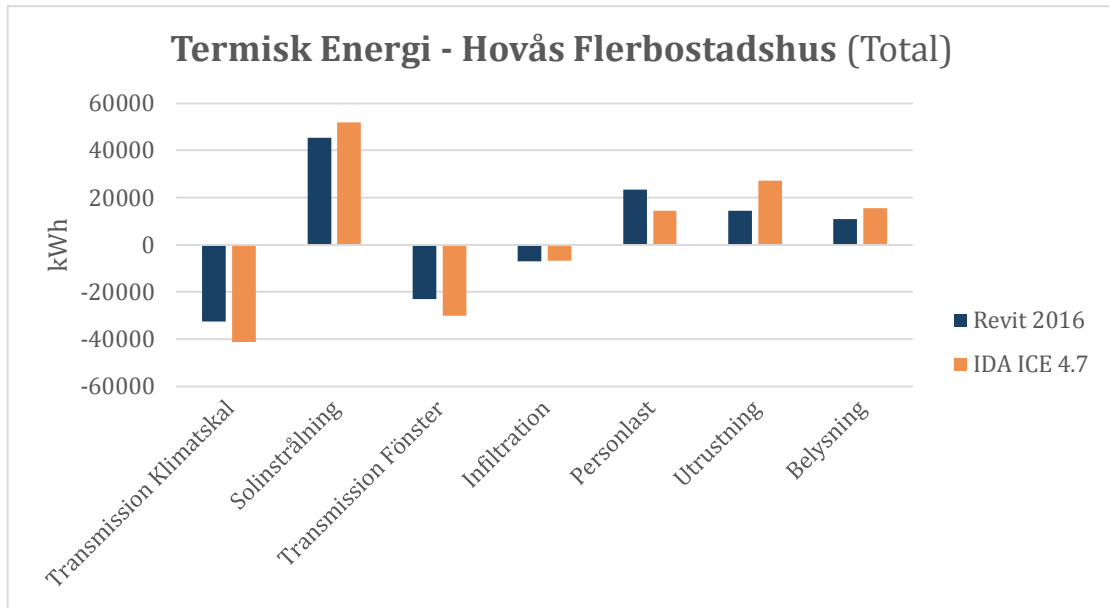
Figur 28. Flerbostadshus: IDA-modell.

Som det framgår av Figur 29 är Revitmodellen mindre välisolerad än IDA-modellen. Se Ekvation 2 för beräkning av U-medelvärde.

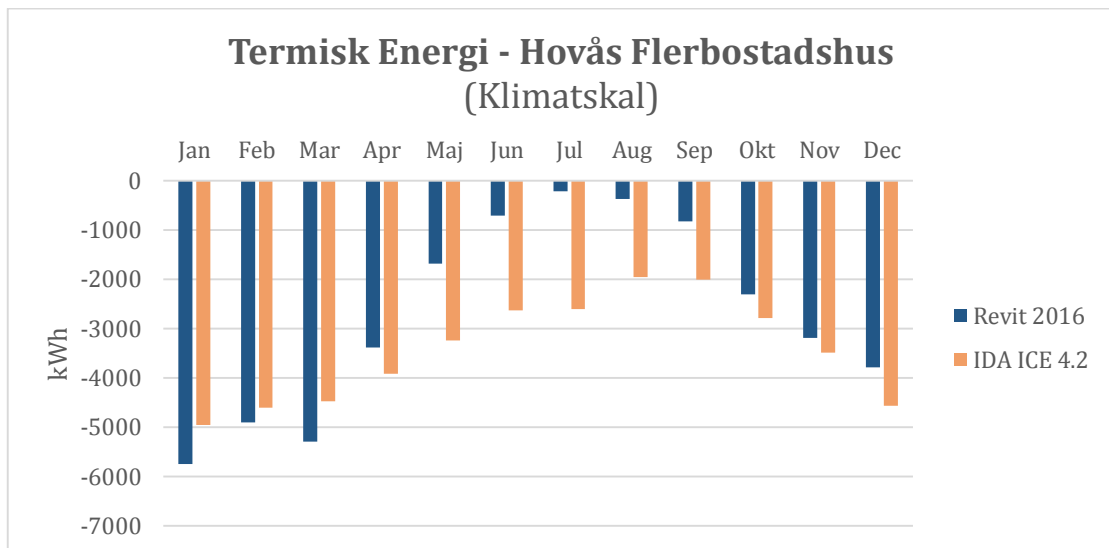
Konstruktionsdel	U-värde Revit	U-värde IDA
Yttervägg	0,22	0,2
Fönster	1,26	0,9
Yttertak	0,18	0,2
Bottenbjälklag	0,35	0,2
Dörrar	1,26	0,9
<i>U-medel</i>	<i>0,347</i>	<i>0,297</i>

Figur 29. Flerbostadshus: Tabell för U-värden i modellerna.

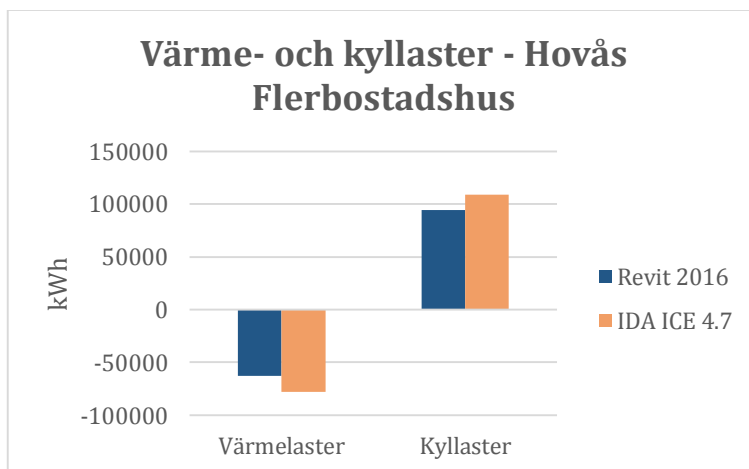
I Figur 30 presenteras resultatet för den totala termiska energin för de båda programvarorna.



Figur 30. Termisk Energi - Hovås Flerbostadshus (Total)



Figur 31. Termisk Energi - Hovås Flerbostadshus (Klimatskal)

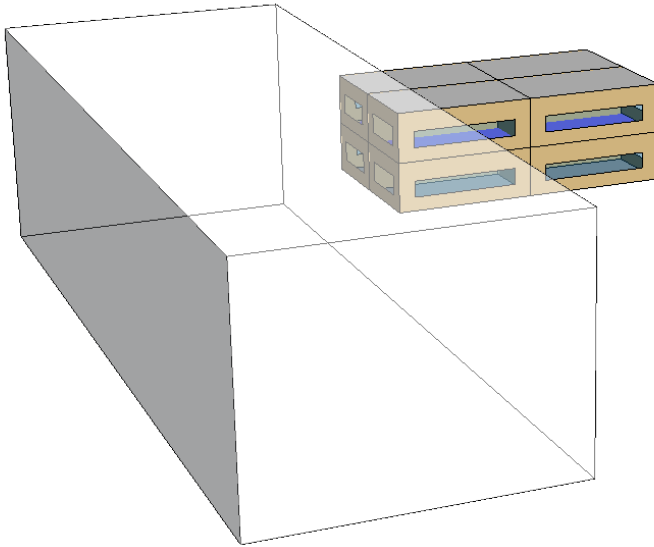


Figur 32. Värme- och kylaster - Hovås Flerbostadshus.

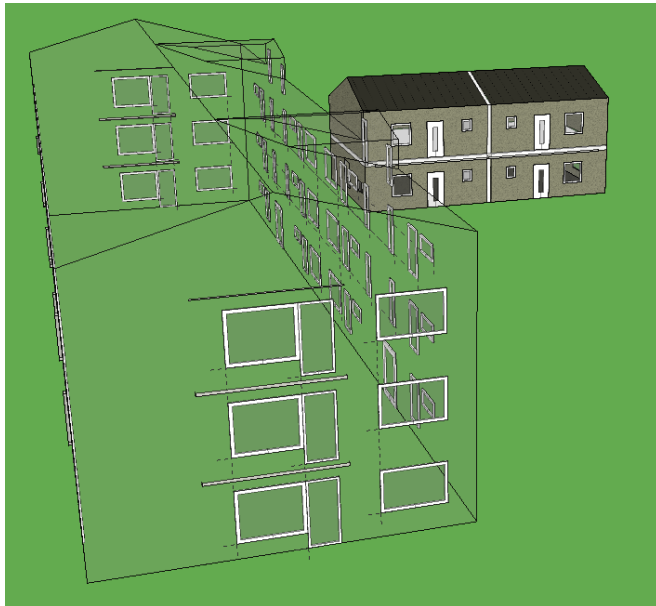
3.4.2 Hovås Fyrbo

Följande test gjordes på ett mindre loftgångshus kallat Fyrbo i området Hovås.

Modellen skapades som ett block uppdelat för att illustrera de fyra lägenheterna. Ett skuggande objekt lades även till för att illustrera flerbostadshuset intill. Se Figur 33 för Revitmodellen och Figur 34 för IDA-modellen.



Figur 33. Fyrbo: EAM.

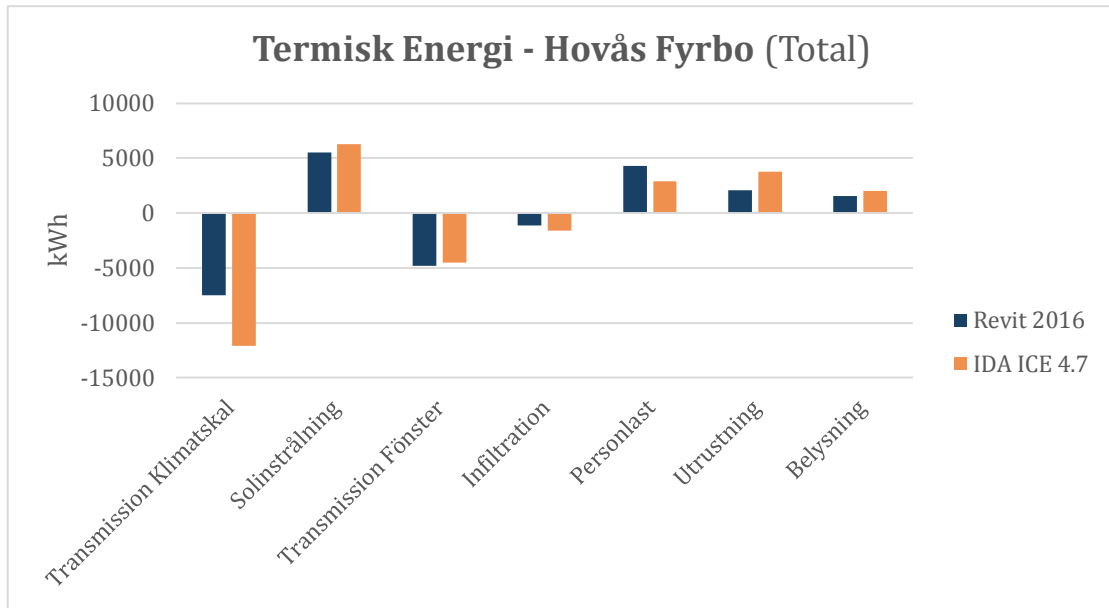


Figur 34. Fyrbo: IDA-modell.

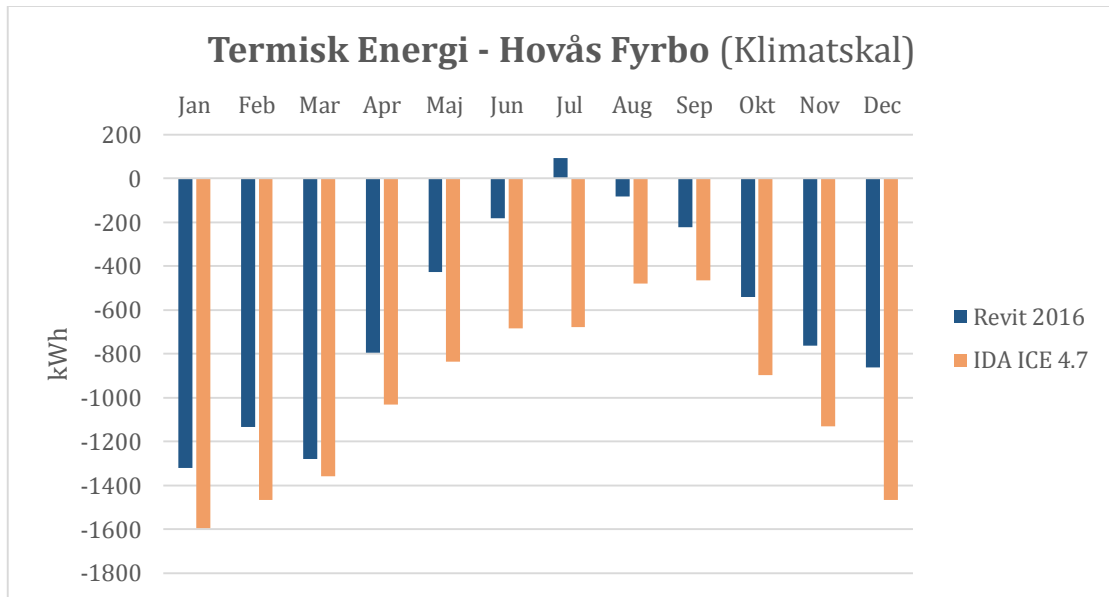
Fyrbo använde samma U-värden som flerbostadshuset i avsnitt 3.4.1.

U-medel Revit	U-medel IDA
0,321	0,268

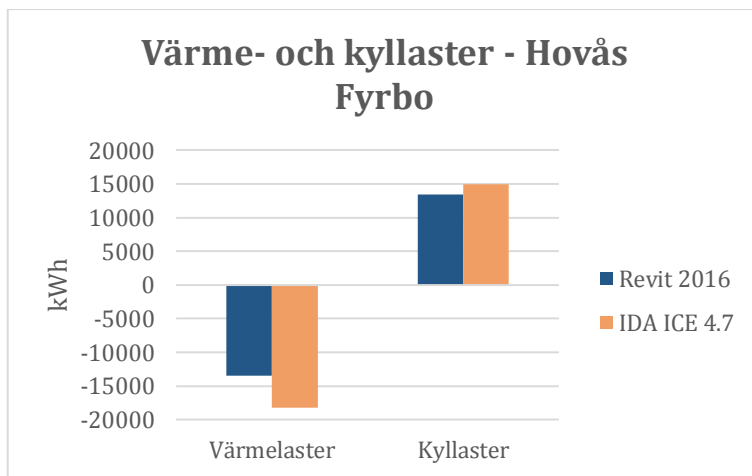
Figur 35. U-medel Fyrbo.



Figur 36. Termisk Energi - Hovås Fyrbo (Total)



Figur 37. Termisk Energi - Hovås Fyrbo (Klimatskal)

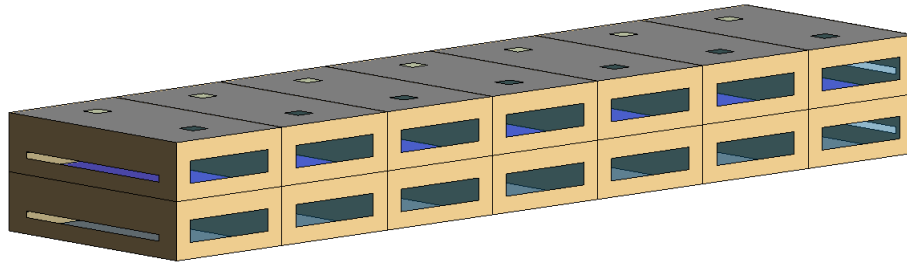


Figur 38. Värme- och kyllaster - Hovås Fyrbo.

3.4.3 Hovås Radhus

Det tredje huset i området Hovås är en radhuslänga innehållande 7 hus.

Radhusen modellerades som 7 individuella block som tillsammans utgör huskroppens EAM. Fasadernas och takets procentuella fönsteryta sattes specifikt för varje vägg- och takelement. Se Figur 39 för Revitmodellen och Figur 40 för IDA-modellen.



Figur 39. Radhus: EAM.

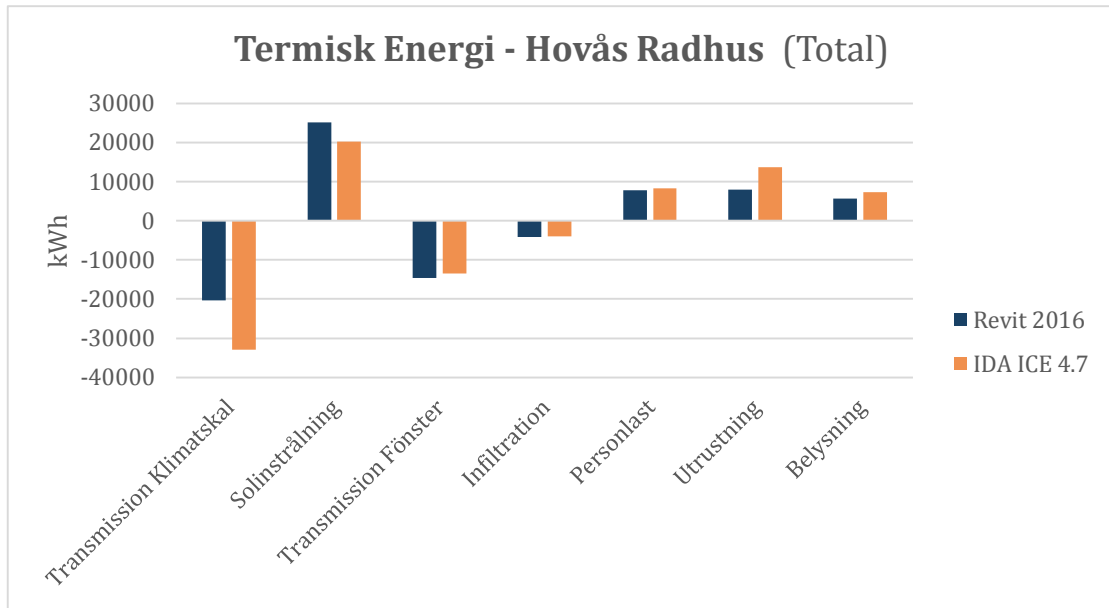


Figur 40. Radhus: IDA-modell.

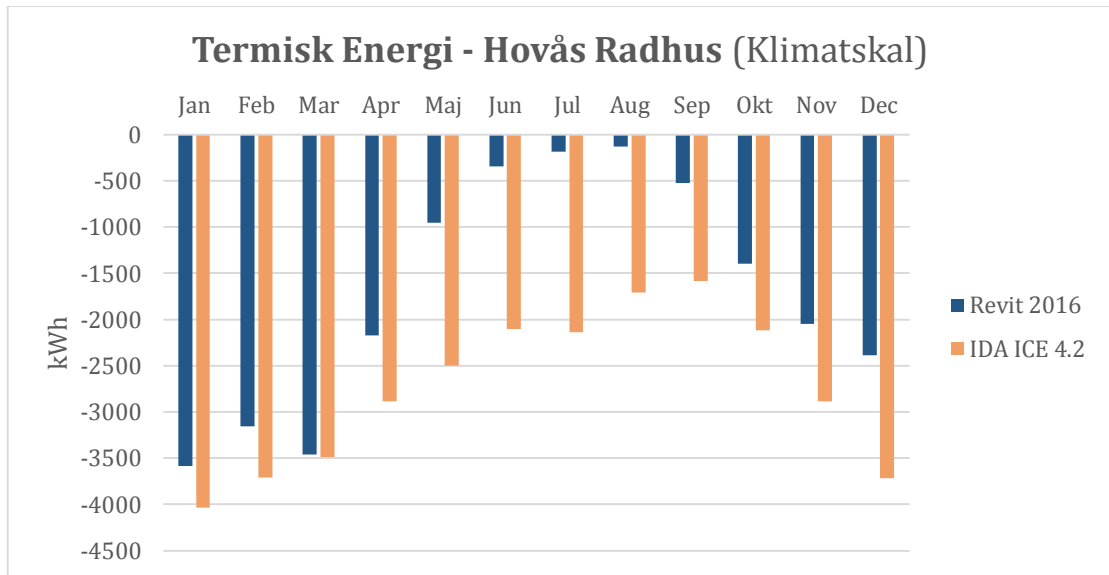
U-värden är likadana som övriga referensprojekt i Hovås. Indata för dessa återfinns i Figur 29.

U-medel Revit	U-medel IDA
0,332	0,256

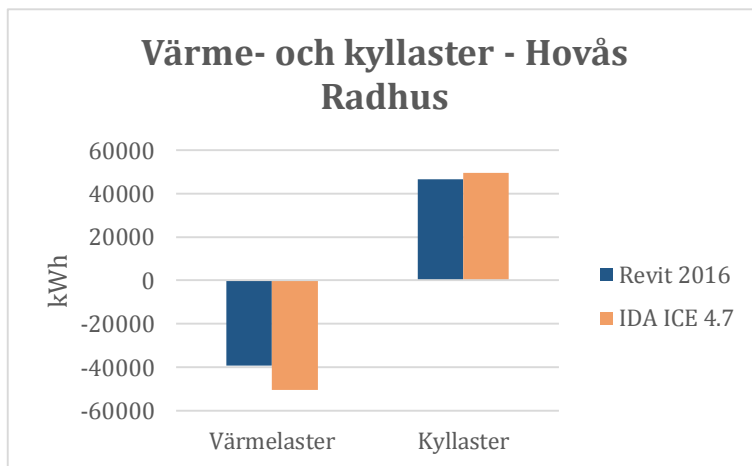
Figur 41. U-medel Radhus.



Figur 42. Termisk Energi - Hovås Radhus (Total)



Figur 43. Termisk Energi - Hovås Radhus (Klimatskal)

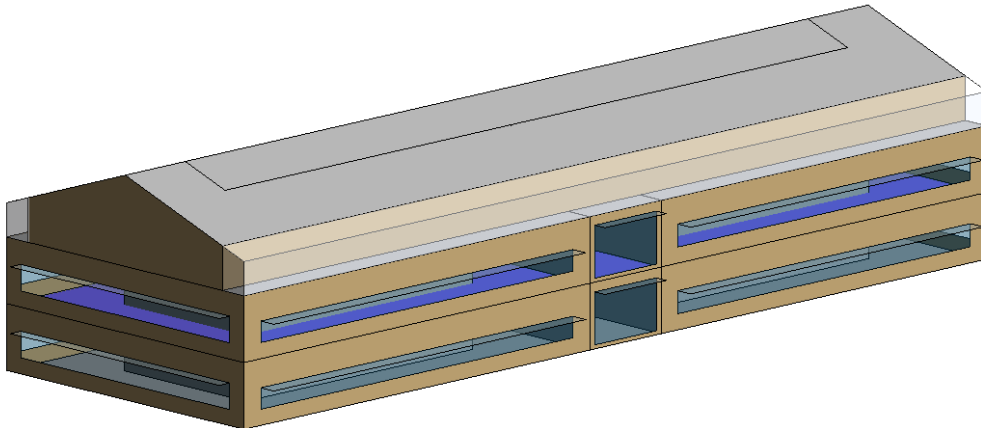


Figur 44. Värme- och kylaster - Hovås Radhus.

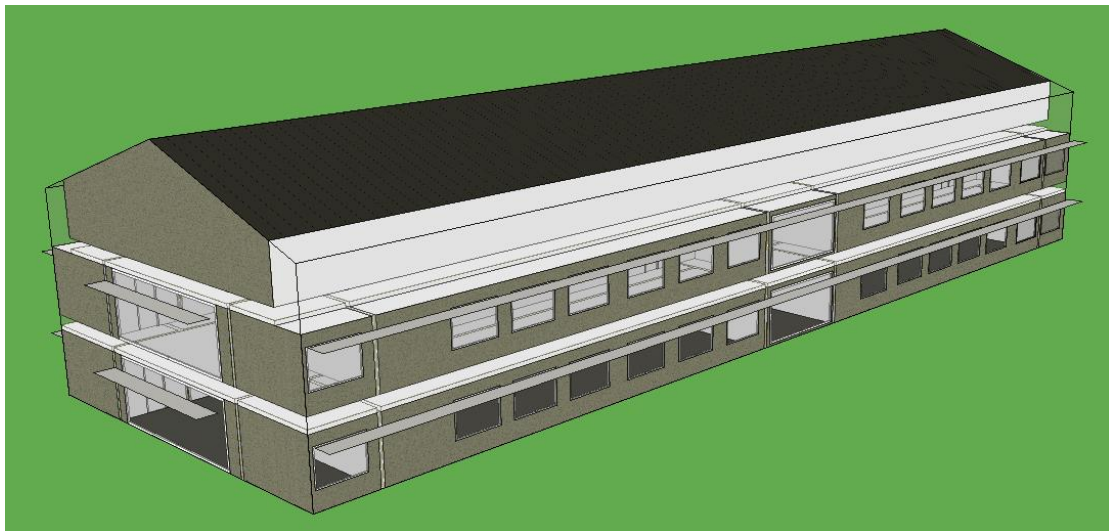
3.4.4 Vreta Linköping

Följande fallstudie behandlar en kontorsbyggnad i Linköping.

Huskroppen skapades med 5 massor enligt Figur 45. Se Figur 46 för IDA-modellen. I dessa massor valdes *Space Type* och *Condition Type*. Se Bilaga 1 för mer information om att skapa konceptmodeller. En av massorna är dessutom modellerad för att den del av vinden som ligger utanför klimatskalet ej skall tilldelas *Mass Floor*. Detta för att denna yta ej skall betraktas som uppvärmd yta, liknande IDA-modellen.

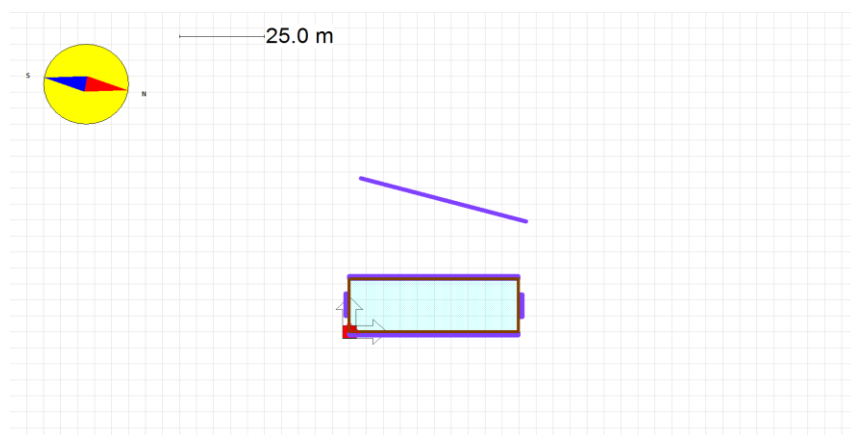


Figur 45. Vreta Linköping: EAM.

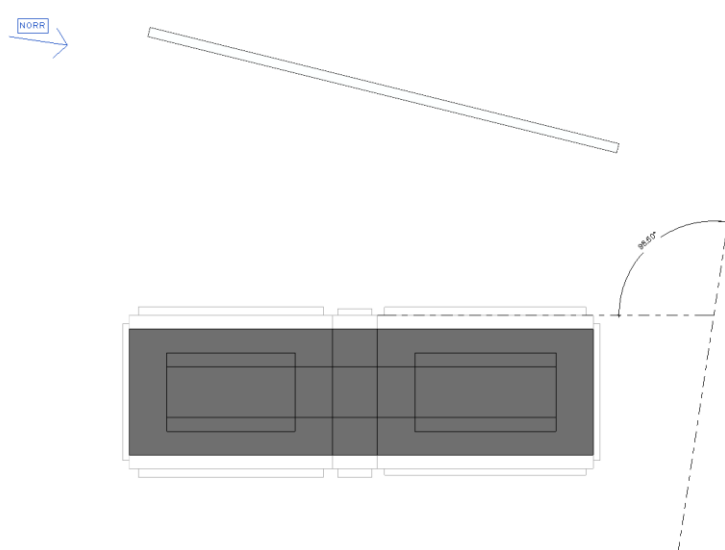


Figur 46. Vreta Linköping: IDA-modell.

Byggnaden orienterades också i samma riktning som referenshuset med långsidan i riktning Sydväst -98,5 grader från Norr. Se Figur 47 och Figur 48.



Figur 47. Orientering IDA - Vreta Linköping.



Figur 48. Orientering Revit - Vreta Linköping.

Som det framgår av Figur 49 är Revitmodellen något mindre välisolerad än IDA-modellen.

Konstruktionsdel	U-värde Revit (A_{om})	U-värde IDA (A_{om})
Yttervägg	0,22 (488 kvm)	0,14 (492 kvm)
Fönster	1,96 (303 kvm)	1,91 (303 kvm)
Yttertak	0,18 (668 kvm)	0,10 (711 kvm)
Bottenbjälklag	0,35 (815 kvm)	0,17 (795 kvm)
Dörrar*	1,26 (0 kvm)	0,0 (0 kvm)
<i>U-medel</i>	<i>0,49 (2273 kvm)</i>	<i>0,40 (2301 kvm)</i>

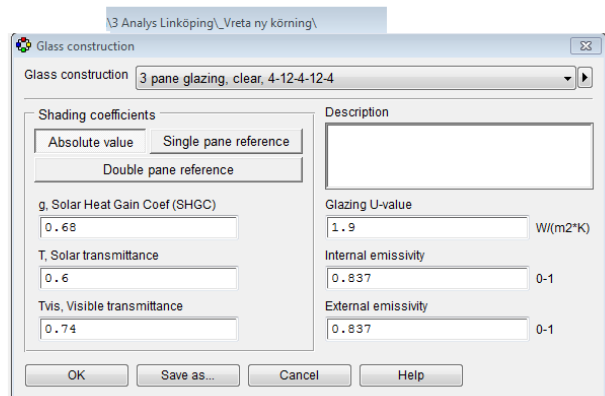
Figur 49. U-medel Vreta Linköping.

Fönster valdes enligt indata i Figur 50.

Mass Glazing - Metric (SI) Values

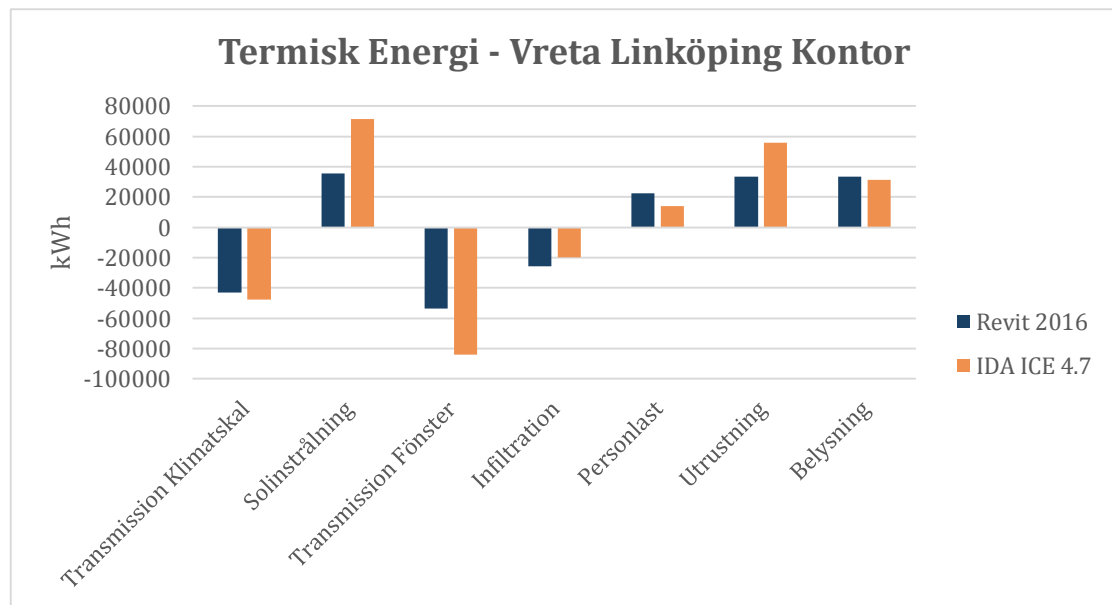
The following table shows SI values.

Conceptual Construction	U-value	SHGC	Tvis
Single Pane Clear - No Coating	6.18	0.81	0.88
Single Pane - Tinted	6.32	0.71	0.61
Single Pane - Reflective	5.06	0.28	0.13
Double Pane Clear - No Coating (default)	3.17	0.69	0.78
Double Pane - Tinted	3.24	0.61	0.55
Double Pane - Reflective	2.40	0.19	0.10
Double Pane Clear - LowE Cold Climate, High SHGC	1.96	0.67	0.72
Double Pane Clear - LowE Cold Climate, Low SHGC	1.68	0.44	0.70
Double Pane Clear - High Performance, LowE, High Tvis, Low SHGC	1.63	0.27	0.64
Triple Pane Clear - LowE Hot or Cold Climate	1.26	0.47	0.64
Quad Pane Clear - LowE Hot or Cold Climate	0.66	0.45	0.62

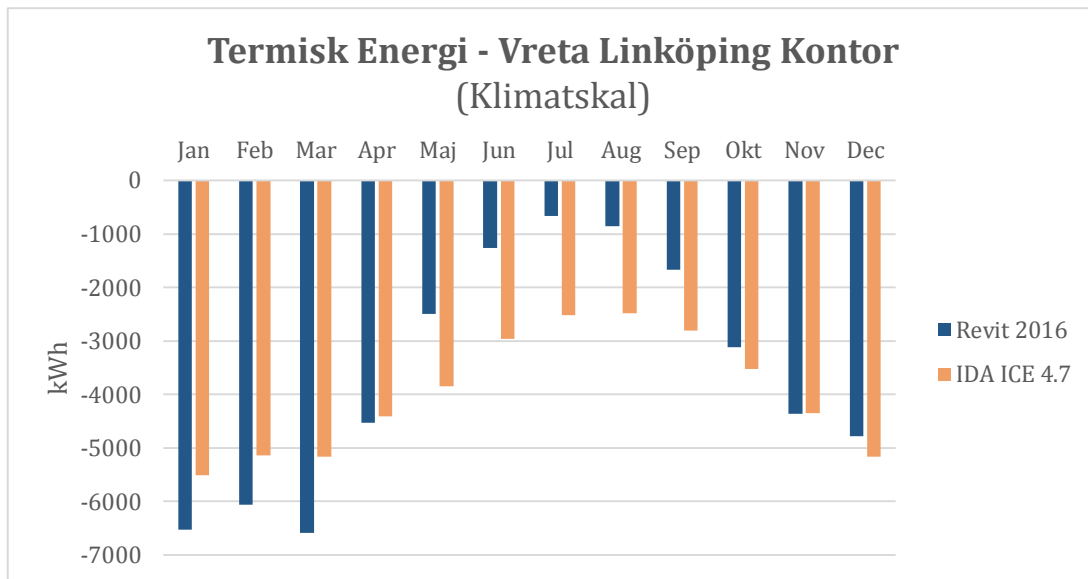


Figur 50. Fönsterdata i Revit och IDA ICE – Vreta Linköping

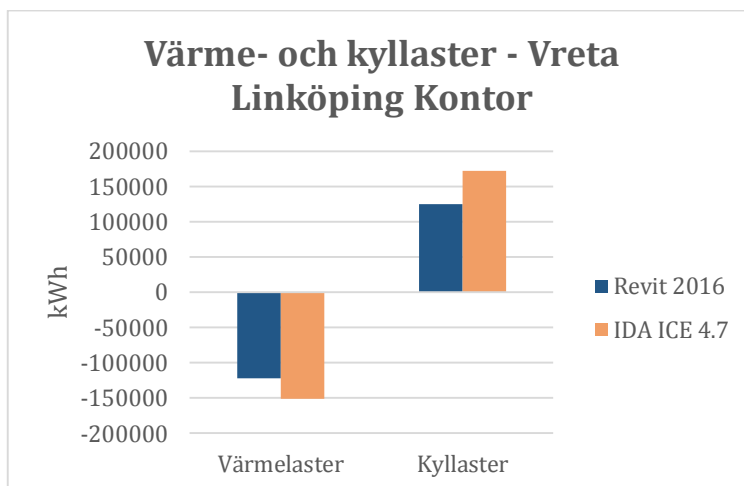
I Figur 51 presenteras resultatet för den totala termiska energin för de båda programvarorna.



Figur 51. Termisk Energi – Vreta Linköping Kontor (Total)



Figur 52. Termisk Energi - Vreta Linköping Kontor (Klimatskal)



Figur 53. Värme- och kylaster – Vreta Linköping Kontor.

3.4.5 Kommentarer om analysresultaten

Följande avsnitt diskuterar de analysresultat som redovisats i avsnitt 3.4.

3.4.5.1 Transmission Klimatskal

I diagrammen för den totala termiska energin visar det sig att IDA-modellerna beräknar större värmeförluster genom klimatskalet. Se exempelvis Figur 30. Anledningen till detta är att IDA-modellen beräknar större värmeförluster på sommarhalvåret. Se exempelvis Figur 31. En förklaring till detta är att IDA-modellerna har större förluster till följd av markkyla. Se Bilaga 3. En slutsats som kan dras är att Revitmodellen saknar indata för markkyla. Detta med hänvisning till avsnitt 3.5.2 där ingen skillnad i transmissionsförluster kunde påvisas vid förändring av bottenplattans U-värde. Vidare skulle en förklaring till skillnaderna kunna vara att klimatdatafilerna skiljer sig åt. En förklaring till varför det inte skiljer sig lika mycket åt i flerbostadshuset som i övriga

Hovåsprojekt kan vara för att trapphusen i de två modellerna ej har modellerats på samma sätt.

3.4.5.2 Solinstrålning

I Hovåsprojekten ligger solinstrålningen tämligen nära varandra i de fyra fallstudierna. Anledningen till att solinstrålningen i radhuset är högre skulle kunna bero på att taket i Revit modellerats platt, medan taken i IDA-modellen är brutna med lutning vars takfönster är placerade i nordlig riktning.

I modellen för Vreta Linköping specificerar IDA-modellens klimatdatafil högre energitillskott från solinstrålning enligt Figur 22 vilket kan ge upphov till den stora skillnaden i solinstrålning mellan de två modellerna. Det skulle också kunna vara så att Revit uppskattar högre effekter från solavskärmningen då fönstren i Revitmodellen har en lägre höjd och således skuggas till större del.

En förklaring till varför solinstrålningen skiljer sig åt i Hovåsmodellerna är att G-värden för fönstren skiljer sig åt. Dock stämmer G-värdena väldigt bra överens i Vreta Linköping enligt Figur 50.

3.4.5.3 Transmission Fönster

Skillnaden i transmissionsförluster genom fönster kan förklaras med att klimatdatan ej stämmer överens samt att fönstrens U-värden skiljer sig åt. Se avsnitt 3.3.4.

3.4.5.4 Infiltration

Infiltrationen visade sig stämma väldigt bra överens i de både IDA-modellerna och Revitmodellerna på helårsbasis.

3.4.5.5 Personlast

I Revitmodellen tas uppvärmningen från människor hänsyn till både latent och sensibel uppvärmning. Sensibel uppvärmning är internvärmestillskottet till följd av personens kroppstemperatur. Latent är intervärmestillskottet till följd av att personen även avger fukt. IDA tar endast hänsyn till den sensibla uppvärmningen. Det totala energitillskottet för människor i Revitmodellerna är ca 132 W/person. Samma värde i IDA-modellerna för Hovås är ca 78 W/person medan den i Vreta Linköping är 88 W/person.

En annan förklaring till skillnaderna är att byggnadernas bruksscheman ej stämmer överens till fullo. Se avsnitt 3.3.5.

3.4.5.6 Utrustning

Energiförbrukningen för apparater och teknisk utrustning är genomgående högre i IDA-modellerna. Då indatan för maxeffekt är densamma i både Revit och IDA dras slutsatsen att IDA-modellerna uppskattar att utrustningen används under längre tidsperioder.

3.4.5.7 Belysning

Indatan för max ljuseffekt är densamma i både Revit och IDA. Här är värdena närmare varandra än i avsnitt 3.4.5.6. En anledning till de skillnader som finns kan vara att bruksscheman skiljer sig åt.

3.4.5.8 Sammanslagning av värme- och kyllaster

I sammanslagningen av värme- och kyllaster i Figur 32, Figur 38, Figur 44 samt Figur 53 visar det sig att Revitmodellerna och IDA-modellerna ligger nära varandra. Det visar sig också att förhållandet mellan skillnaderna är liknande i alla fyra fallstudier. Skillnaderna ligger inom intervallet 10 % till 30 %.

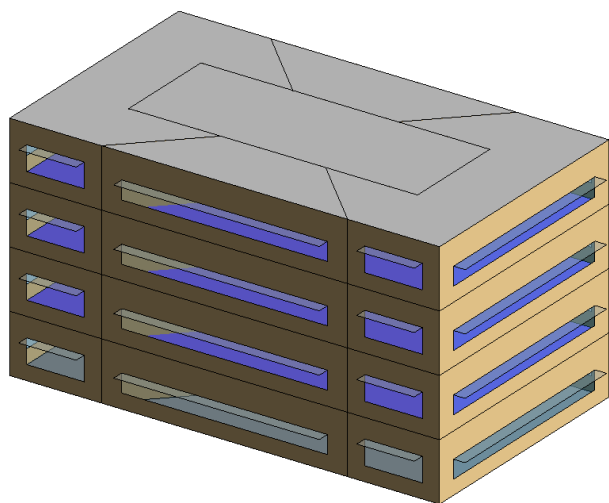
Slutsatsen som kan dras enligt hela avsnitt 3.4.5 är att skillnaderna delvis beror på skillnader i indata men enligt valideringsstudien som behandlar DOE-2.1 och IDA-ICE 4.7 som tas upp i avsnitt 2.6 räknar de båda programvarorna olika även om indatan är densamma.

3.5 Jämförelseanalys av olika designalternativ

Följande avsnitt presenterar resultatet från en serie tester som undersöker nyttan med att använda GBS med Revit för att jämföra olika designalternativ. I fyra olika tester observeras skillnaden i energianvändning för isolerade förändringar av byggnaden.

3.5.1 Skuggning av fönster på kontorsbyggnad

I detta test görs en solavskärmningsstudie på en kontorsbyggnad. I 10 steg analyserades förändringen av energiförbrukning med hänsyn till fönsteravskärmning. Nedan presenteras analysresultaten från 2 fall: Oskuggade fönster och fönster med 1 m djup solavskärmning. Anledningen till detta är att det med djupare avskärmning än 1 m endast kunde observeras marginella skillnader. Modellen illustreras i Figur 54.



Figur 54. Kontor med 600 mm fönsteravskärmning.

I en jämförelse i Figur 55 mellan 1 m solavskärmning och avsaknaden av solavskärmning för 1 m höga fönster visar det sig att den totala energiförbrukningen är 3,3 % lägre om fönstren avskärmas. Det totala kylbehovet sänks med 20,4 %. Det totala internvärmestillskottet från solen minskar med ca 57 % om fönstren avskärmas med 1 m.

	Ingen avskärmning	1 m avskärmning	Skillnad [%]
EUI [kWh/m ² /år]	122	118	3,3
Internvärme solinstrålning [kWh/år]	36 528	15 556	57,4
Total erforderlig kyleffekt [kWh/år]	99 167	78 889	20,4

Figur 55. Skuggtest 1 m.

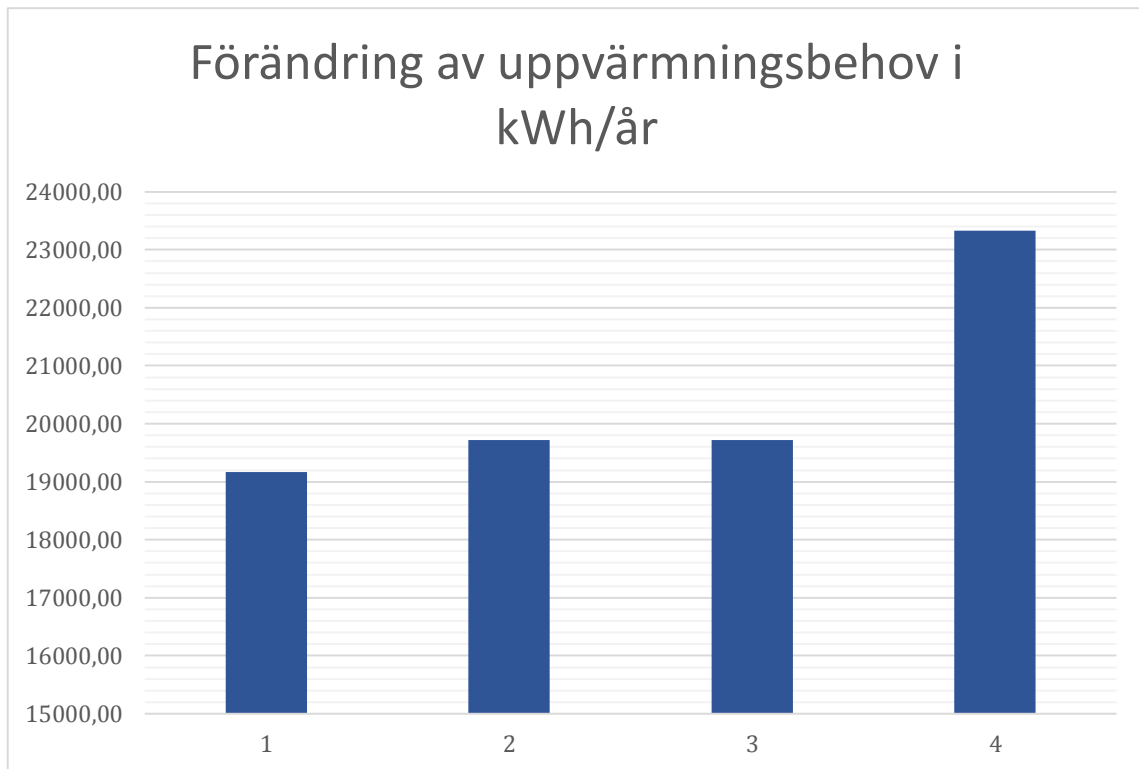
3.5.2 Ändring av klimatskalets U-värden

Här redovisas ett U-värdestest för att undersöka förändringen i byggnadens energiförbrukning. I Test 1 ansattes de lägsta U-värden som gick att välja i Revit. I Test 2 höjdes U-värdet för glaspartierna. I Test 3 ökades bottenbjälklagets U-värde. Slutligen i Test 4 ökades U-värdet för hela klimatskalet. Indata specificeras i Figur 56.

Konstruktionsdel	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Yttervägg	0,22	0,22	0,22	0,33
Fönster	0,66	1,26	1,26	1,26
Yttertak	0,18	0,18	0,18	0,26
Bottenbjälklag	0,35	0,35	0,59	0,59
U-medel	0,27	0,33	0,39	0,44

Figur 56. U-värdestest: Indata.

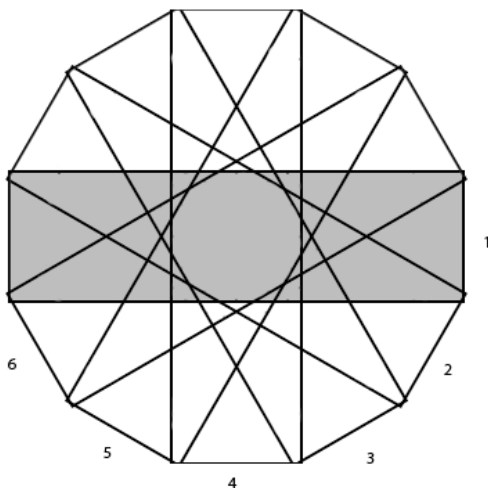
I Figur 57 presenteras resultatet som ett stapeldiagram. Vid förändring av bottenbjälklagets U-värde kunde ingen skillnad i uppvärmningsbehov observeras. Enligt analysresultaten var skillnaden i klimatsystemets energianvändning mellan Test 2 och Test 3 endast $5 \cdot 10^{-4}$ %.



Figur 57. U-värdestest: Resultat.

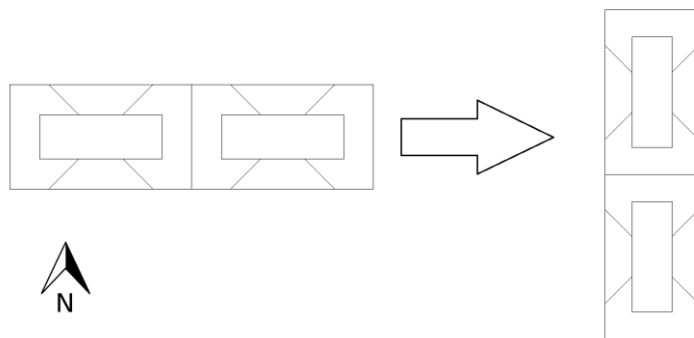
3.5.3 Väderstrecksplacering av avlång byggnad

I det här testet analyserades en avlång byggnad med lika fördelad andel fönster på alla fyra fasader. Förändringen i energianvändning observerades då byggnaden i 6 steg roterades 180° kring sin egen axel enligt Figur 58.



Figur 58. Väderstrecksplacering: Rotationsschema.

Den mest intressanta observerade skillnaden var skillnaden i kylbehov mellan 0° och 90°. De olika orienteringarna illustreras i Figur 59.

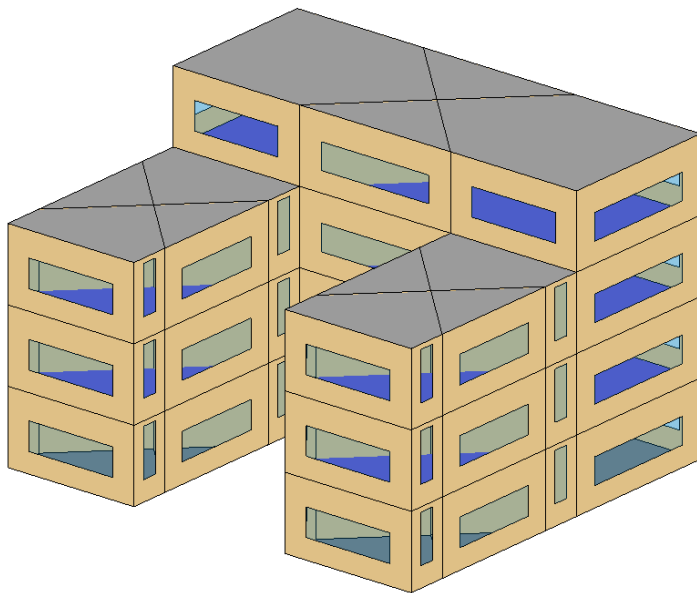


Figur 59. Väderstrecksplacering: Orientering 0° och 90°.

Det totala kylenergiebehovet om byggnaden roteras 90° blir i det här fallet 1,7 % högre, tvärt emot vad som kanske kan förväntas eftersom modellen till höger i bild har en mindre total area som är exponerad rakt söderut. Analysresultaten visar bland annat att erforderlig kylenergi i juli månad är ca 11 % högre i 90°-orienteringen (ca 26 500 kWh jämfört med nästan 30 000 kWh), i princip uteslutande till följd av ökad internvärmelast från solinstrålning.

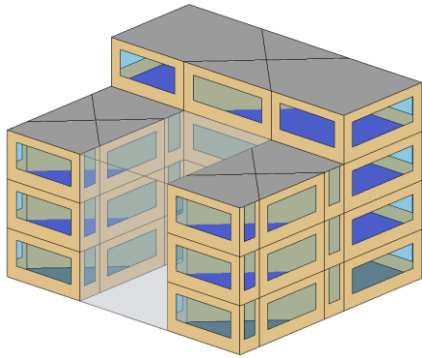
3.5.4 Tillbyggnad: inglasad atriumentré

I följande försök var syftet att analysera energianvändningen för en byggnad med atriumliknande entré. Tanken var att jämföra skillnaden mellan öppet atrium och inglasat atrium. Se Figur 60.



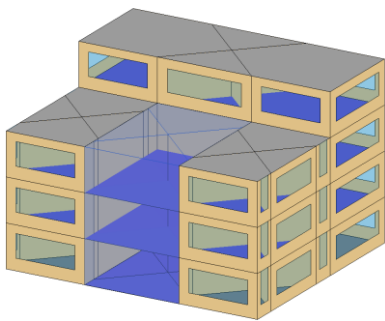
Figur 60. Atriumhus: EAM.

I Figur 60 beräknades energianvändningen som tidigare i rapporten enbart med hjälp av konceptuella massor. Däremot uppstod problem när glaspartierna skulle modelleras. För att skapa ett inglasat område enligt Figur 61 skapades en massa i atriet enligt Figur 62.



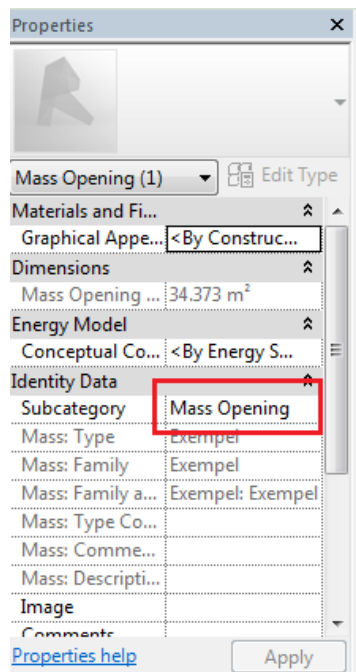
Figur 61. Atriumhus: EAM med massa i atrium.

Denna gick inte att hantera som en del av den EAM som illustreras i Figur 60. Ett annat försök gjordes då atriummassan lades till i massan som fungerar som huskropp på så vis att det blev en enda massa. I Figur 23 illustreras detta.



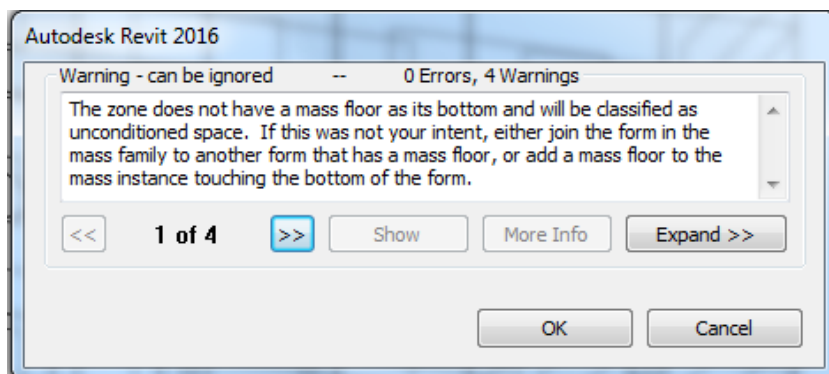
Figur 62. Atriumhus: EAM med massa i atrium - utvecklad.

I Figur 62 visas de glaserade ytorna som transparent blått. De korsande innerväggarna i atriet valdes som *mass openings* som återfinns i *properties* till vänster i programvaran om väggelementet markeras. Se Figur 63. Golven i modellen gick inte att göra något åt då de automatiskt genereras i förhållande till vart massorna finns.

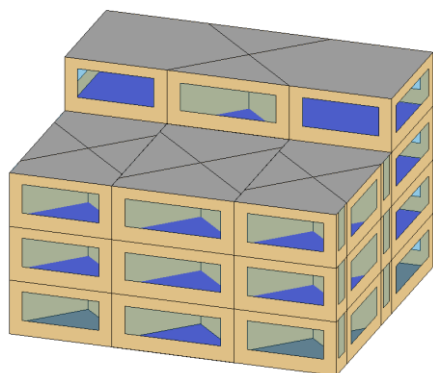


Figur 63. Properties: Construction element.

Härefter kördes energianalysen. GBS betraktade då atriet som inomhus och energianvändningen ökade således. Lösningen fungerade med andra ord inte. Dock inträffade ett fel efter att energianalysen körts: programmet visade ett varningsmeddelande enligt Figur 64. Alternativet *OK* valdes varefter Revit återskapade modellen till ursprunget enligt Figur 65 och ingen av de specifika inställningar som valts för atriet fanns kvar.

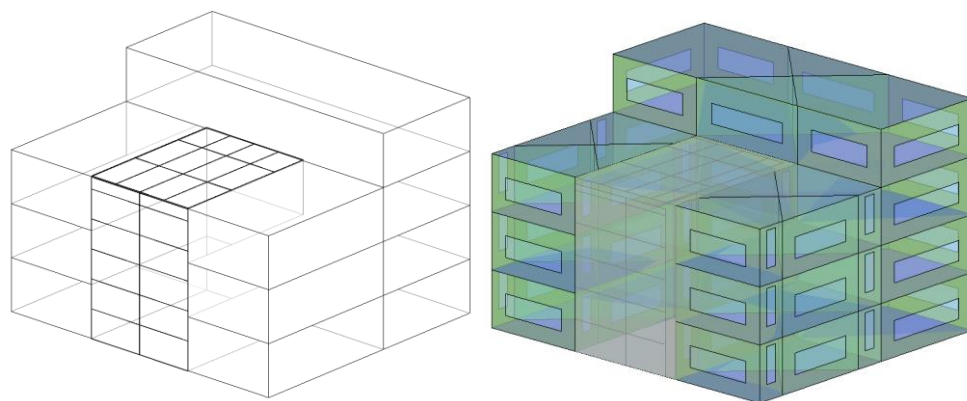


Figur 64. Atriumhus: Varningsmeddelande.



Figur 65. Atriumhus: EAM efter felmeddelande.

För att kringgå detta problem gjordes ett försök där modellen i Figur 61 återigen användes. Den här gången användes verktyget *Curtain System* för att skapa glasytor, vilket illustreras i Figur 66. Under *Energy Settings* valdes därefter *Use Conceptual Masses and Building Elements* under *Analysis Mode* för att programmet skulle ta hänsyn till glasytorna. Gör inte detta behandlas modellen som Figur 61 och glasytorna betraktas då som skuggande objekt.



Figur 66. Atriumhus. Inglasat atrium och dess EAM.

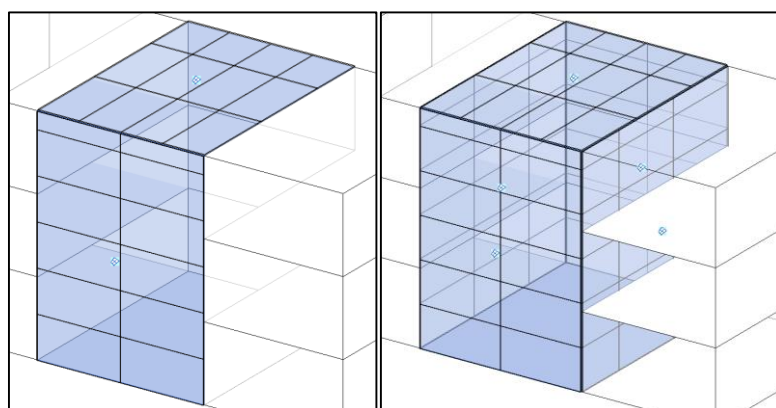
I Figur 67 listas relevanta skillnader mellan de två byggnaderna (Figur 66 och Figur 60).

	Inglasat atrium 1	Inglasat atrium 2	Inglasat atrium 3	Öppet atrium
Byggnadstyp	Office	Office	Office	Office
Golvarea [m²]	624	624	624	624
EUI [kWh/m²/år]	148	157	152	143
HVAC [kWh]	31 098	35 812	33 122	33 577
Antal personer	23	23	23	25
Erforderlig kylenergi Juli [kWh]	7916	7639	9722	11 111
Erforderlig värmeenergi Januari [kWh]	2917	5417	3055	4167

Figur 67. Atriumhus: Relevanta skillnader.

En av observationerna var att med inglasat atrium 1 var byggnadens EUI högre än öppet atrium, trots att GBS beräknat att alla parametrar som har med energianvändning att göra var lägre i fallet om inglasat atrium. En annan observation är att antalet personer i byggnaden uppskattas som färre när glasytorna läggs till, detta trots att antalet personer i byggnaden enligt Autodesk enbart uppskattas utifrån golvarea och byggnadstyp, vilket i detta test har varit det samma i alla tre alternativ i Figur 67.

Vidare undersöktes det om de ytor av massan som användes för att glasa in atriets som inte specificerats som *Curtain System* betraktades som skuggande ytor, vilket illustreras som *Inglasat atrium 1* till vänster och *Inglasat atrium 2* till höger i Figur 68.

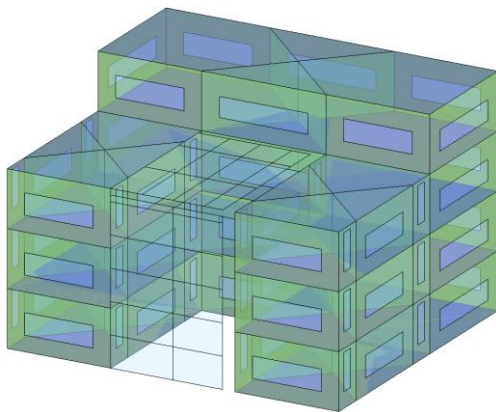


Figur 68. Atriumhus: Inglasat atrium 1 och Inglasat atrium 2.

Enligt Figur 67 ökar energianvändningen för alternativ 2 vilket tyder på att även om valet *Use Conceptual Masses and Building Elements* har gjorts i *Analysis Mode* betraktar GBS fortfarande de ytor, som inte specificerats, som skuggande, vilket också visar sig i *Properties* när elementet markeras i EAM-vyn.

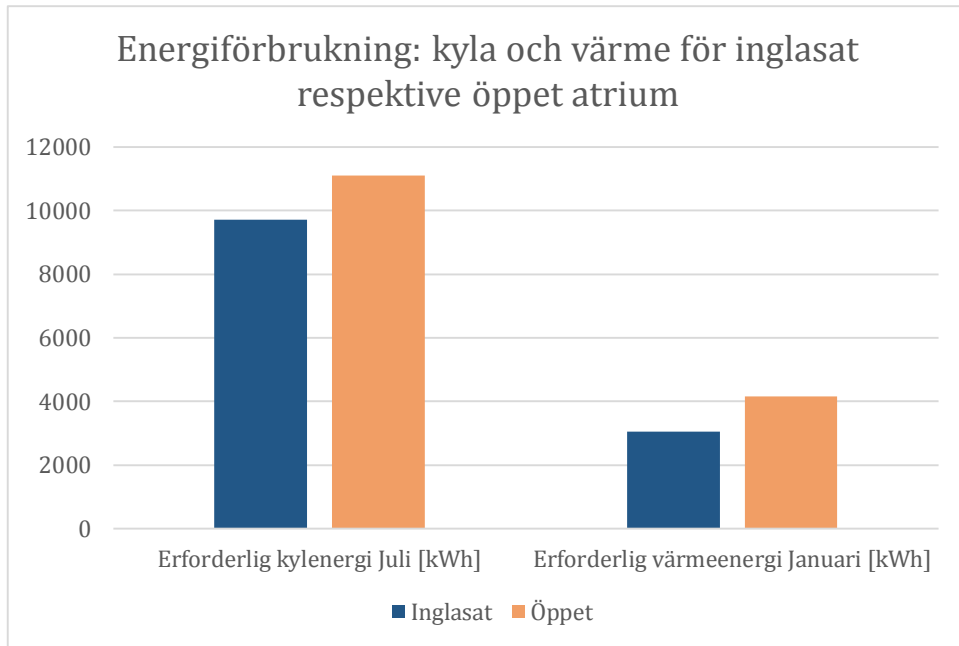
Det kan även spekuleras i skillnaderna i erforderlig kyl- och värmeenergi. Energianvändningen för uppvärmning sänktes efter inglasning i alternativ 1. Ett förslag till varför detta är fallet kan vara att total utvändig väggarea sänktes från 734 m² till 551 m². Om denna antagelse stämmer skulle i och för sig uppvärmningsbehovet sänkas ytterligare i alternativ 2 där utvändig väggarea beräknats till 417 m². Vid närmare analys av alternativ 2 visade det sig här att de fönster som skapades på insidan av atriet i objektet som saknade inglasning ersatts av de glaserade ytorna vilket förklarar det kraftigt ökade uppvärmningsbehovet.

För att lösa detta problem gjordes ett försök i att ta bort atriummassan och enbart ha kvar glaspartierna, vilket illustreras i Figur 69. Rent grafiskt ser det ut som om det borde vara en glipa mellan väggarna och glaspartierna men släcks EAM-vyn verkar det vara helt tätt. Även att döma av analysdatan verkar det även som att GBS anser det vara tätt.



Figur 69. Atriumhus: Inglasat atrium 3.

Även nu är byggnadens EUI högre i den inglasade versionen än den öppna, vilket inte speglar övrig analysdata då alla andra parametrar gällande energianvändningen är lägre om man väljer ett inglasat atrium snarare än ett öppet. Således har parametern EUI uteslutits i diagrammet i Figur 70.



Figur 70. Atriumhus: Diagram över energiförbrukning.

Diagramet i Figur 70 visar tydligt att både kyl- och värmebehov minskar om atriet glasas in.

4 Diskussion

I följande avsnitt diskuteras den kunskap som framkommit samt de problem och svårigheter som uppstått under de olika studierna.

4.1 Användandet av konceptmodeller

Att utföra energianalyser på konceptuella modeller i Revit är en relativt enkel process då man jobbar med geometriska former som det sedermera specificeras byggnadsdata för. Även att specificera indata är en enkel process då de flesta valen är schabloner som ansätts i snabbvalsmenyer. Dock måste vissa indata specificeras i webverktyget för GBS. Då dessa enheter är av Amerikansk standard och måste således konverteras om man vet vad för värden man vill ha enligt Europeisk standard.

Då klimatsystemen i Revit och IDA är så fundamentalt olika går det inte att dra någon slutsats om hur bra den preliminära energiförbrukningen som beräknas utifrån Revitmodellen stämmer. Se avsnitt 2.7. Ett stort problem med jämförelsen mellan IDA-modellerna och Revitmodellerna är att man varken i Revit eller via webportalen för GBS kan välja annat än förutsbestämda paketslösningar för uppvärmning, kyla och ventilation. Dessa paketslösningar är av Amerikansk standard och är dåligt anpassade för den Svenska marknaden.

Efter jämförelser av enbart värme- och kylaster kan det dock konstateras att dessa värden kan användas för ett tidigt överslag. Presentationen av dessa värden är dock undermålig. Att enheten är MJ och att diagrammens staplar saknar tabellvärden och att de är i dålig upplösning gör det svårt att snabbt plocka ut noggranna värden.

4.2 Att jämföra designalternativ

Enligt resultaten i 3.5 visar det sig att det på ett förhållandevis enkelt sätt går att jämföra olika designalternativ. Slutsatsen att skillnaderna mellan de olika designalternativen är trovärdiga dras då GBS har validerats enligt industristandarder, se avsnitt 2.6, samt att fallstudierna i avsnitt 3.4 påvisar att konceptuella modeller i Revit ger resultat som är nära den verklighet som IDA beräknar. Som diskuterat i avsnitt 4.1 finns det ingen möjlighet att välja ett klimatsystem som motsvarar ett av Svenska mått. Dock dras slutsatsen att om ett klimatsystem bestäms och används i alla designalternativ som önskas jämföras så är skillnaderna i energiförbrukning mellan dessa alternativ realistiskt uppskattat. Detta med referens till avsnitt 2.4 och 2.6.

När det gäller val av indata kan det för jämförelsens skull vara tillräckligt med de schablonvärden som är specificerade för teknisk utrustning, belysning och personlast, vilket innebär att man inte behöver öppna webverktyget för GBS. Detta då dessa data inte påverkar faktorer som solinstrålning och transmission i fallet om man vill jämföra termiska laster. Vidare spelar det ej heller någon roll för jämförelsen av alternativens totala energiförbrukning så länge man har samma indata i alternativen.

Ett bra exempel på användandet av energianalys i Revit som designverktyg är vädersträckstestet i avsnitt 3.5.3. Intuitionen var att byggnaden skulle förbruka mindre energi om total fasadyta mot söder minimerades, vilket inte visade sig stämma. Som beskrivet i avsnitt 2.3 används verktyget av vissa för att testa om de intuitioner man själv kan ha stämmer och detta är ett bra typexempel på användning av verktyget i just det avseendet.

4.3 Att påverka designbeslut

Eftersom modellerna och indatan för dessa på ett enkelt sätt går att ändra på finns det stor potential för användandet av programvaran för att påverka designbeslut i projekteringen. En stor fördel med GBS jämfört med IDA är att analyserna går väldigt fort att utföra, då de använder sig av en molntjänst. Således går det att dels testa många designalternativ under en väldigt kort tidsperiod för att optimera byggnadsprestandan men det finns även potential för att direkt under ett möte öppna modellen och exempelvis testa de skillnader som solavskärmning av fönster skulle ge upphov till inom loppet av ca 10 minuter om det är så att en färdig Revitmodell redan finns att tillgå. För att detta ska bli möjligt rent praktiskt måste dock presentationsverktyget i Revit utvecklas. Exempelvis hade det varit fördelaktigt att kombinera diagrammen för termiska laster med en tabell.

5 Slutsatser

Syftet med examensarbetet har varit att utvärdera energianalysverktyget GBS. Med detta som bakgrund gjordes en litteraturstudie samt en serie fallstudier. Utifrån dessa studier dras följande slutsatser:

- Det går inte att räkna ut preliminär energiförbrukning för en byggnad i Sverige då klimatsystemen är av Amerikansk standard. Däremot kan verktyget användas för att räkna ut preliminär transmission samt internlast.
- Revit med GBS kan användas för att realistiskt uppskatta effekterna av olika designalternativ.
- Verktöget har potential för att i tidig projektering påverka designbeslut.

6 Förslag på fortsatta studier

Det kan vara intressant att titta närmare på verktyget *Heating and Cooling Loads Analysis* i Revit, särskilt om arkitektmodellerna kommer med definierade *Spaces and Zones*.

Ett intressant framtida examensarbete kan vara att se närmare på om det går att skapa nya mallar i GBS (på webbplatsen) för byggnader i Sverige. Så att säga skapa schabloner mer anpassade för Sverige. Exempel på en schablon för Svenskt Sjukhus, en för Svenskt Kontor, osv, där man specificerar vanliga överslagsvärden för W/kvm för belysning osv.

Ett stort problem som uppstod under examensarbetet var översättningen mellan Amerikansk och Europeisk standard gällande energieffektivitet. En närmare studie och utredning över hur dessa två kan översättas mellan varandra hade varit intressant.

I ett av projekten finns en omfattande köldbrygga i form av en balkong. En djupare studie om hur man modellerar köldbryggor i Revit hade kunnat göras.

En bra fortsättning på examensarbetet hade varit att göra samma utredning fast titta närmare på byggnadselement istället för massor.

En valideringsstudie som baseras på att göra samma tester som i avsnitt 3.5 i IDA-ICE där indatan i IDA-ICE väljs likadan som i Revit för att undersöka skillnaderna skulle kunna utföras.

7 Referenser

7.1 Litteratur

All Systems Mechanical (2016). SEER vs EER – Understand What SEER is, What EER is and When to Use Each.

<http://asm-air.com/airconditioning/seer-vs-eer-what-is-seer-what-is-eer/>

Anonymous (2005). Green Building Studio: Energy analysis made easy. *Building Design & Construction, Volym*(46.11),

<http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/211044157/295A8B7D1CF4C24PQ/1?accountid=10041>

AUTODESK (2010) KLH Engineers: Hebrew Union College Klau Library.

<http://usa.autodesk.com/green-building-studio/customers/>

AUTODESK Knowledge Network. (2016). Building Performance Analysis.

http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/

AUTODESK Knowledge Network. (2016). Building Performance Analysis: Green Building Studio Validation.

http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-EF68E7D5-C0A5-4805-BFE5-7C74C57B712E

AUTODESK Knowledge Network. (2016). Energy Analysis using Conceptual Masses - Detailed Workflow.

<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-13351B33-CCDD-4798-B291-76A1ACDAF203-htm.html>

AUTODESK Community – Energy Analysis. (2010). Topic: HVAC Equipment.

<http://forums.autodesk.com/t5/energy-analysis/hvac-equipment/m-p/2713743/highlight/true#M64>

Bailes, A (2010). *Know Your Terms – Heat Pump Efficiency Ratings SEER & HSPF*.

<http://www.energyvanguard.com/blog-building-science-HERS-BPI/bid/29092/Know-Your-Terms-Heat-Pump-Efficiency-Ratings-SEER-HSPF>

Birdsall, B. Buhl, W.F. Ellington, K.L. Erdem, A.E. & Winkelmann, F.C.

(1990). *OVERVIEW OF THE DOE-2 BUILDING ENERGY ANALYSIS PROGRAM: Version 2.1D*.

<http://gundog.lbl.gov/dirpubs/19735.pdf>

EESI (2016). Fact Sheet: Air Conditioner Efficiency Standards: SEER 13 vs. SEER 12.

<http://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-air-conditioner-efficiency-standards-seer-13-vs.-seer-12#1>

Equa Simulation AB (2010). Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4.0 build 4 with respect to ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.

<http://www.equaonline.com/iceuser/validation/ASHRAE140-2004.pdf>

Fairey, P. Parker, D. S. Wilcox, B. Lobardi, M. (2004) Climatic Impacts on Heating Seasonal performance Factor (HSPF) and Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) for Air-Source Heat Pumps. *ASHRAE Transactions, Volym(110), 178-188.*

<http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/192493513?pq-origsite=summon>

Francisco, P. W. Palmitter, L. Baylon, D. (2004) Understanding Heating Seasonal Performance Factors for Heat Pumps. *European Council for an Energy Efficient Economy.*

http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/ACEEE_buildings/2004/Panel_1/p1_8/paper

Horizon Services (2016). SEER, AFUE and HSPF Ratings Explained.

<http://www.horizonservicesinc.com/reference/tips-articles/ratings-explained>

IVT Värmepumpar (2016). IVT Luft/Luftvärmepumpar – Höj värmen och sänk energikostnaden.

<http://www.ivt.se/produkter/luftluftvarme/ivt-nordic-inverter-pr-n/oversikt/>

Libby, B (2011). BIM, Bang, Boom. *Architect, Volym(100.7),*

<http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/884395251/CEA28A58235E4FE2PQ/1?accountid=10041>

Miljömärkning Sverige (2016). 089 Småhus, flerbostadshus och förskolebyggnader.

<http://www.svanen.se/Vara-krav/Svanens-kriterier/kriterie/?productGroupID=52>

Power Knot (2016). COPs, EERs, and SEERs: How Efficient is Your Air Conditioning System?

<http://www.powerknot.com/how-efficient-is-your-air-conditioning-system.html>

Rasmussen, P. (2011). Calculation of SCOP for heat pumps according to EN 14825. *Danish Technological Institute.*

http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj05Jvi7bPLAhXoKJoKHUUjA_YQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.eceee.org%2Fecodesign%2Fproducts%2Fboilers%2FApp%2520B%2520teknical%2520SCOP%2520NEF%2520%2520En14825%2520heatpumpsEN.docx&usg=AFQjCNENwOWOZdKsGyr-VqKUh8XyYkG9bA&sig2=K9uwsikRxf1YkUYogv8VXQ&bvm=bv.116274245,d.bGs

Reeves, T. Olbina, S. Issa, R. (2012). Validation of building energy modeling tools: Ecotect™, Green Building Studio™ and IES<VE>™. I *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2012 Winter, 2012, Berlin, Sidor 1-12.* doi:

10.1109/WSC.2012.6465223

Ryan, E M & Sanquist, T F. (2012). Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions. *Energy and buildings*, Volym(47), 375-382.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881100630X>

Spiegel, R. (2008). Autodesk Releases Green Building Studio. *Design News*, Volym(63.5),

<http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/235250776/9B8ECFD1BF77436DPQ/2?accountid=10041>

Sweden Green Building Council (2016). Vår verksamhet.

<https://www.sgbc.se/var-verksamhet/>

7.2 Figurer

AUTODESK Knowledge Network. (2016). *Building Performance Analysis*. [Elektronisk bild].

http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-30BE9353-50D0-4EA9-83C3-B40F74721A29

Moberg A, Henriksson E. *Miljöcertifiering av byggnader – Övergripande – En introduktion till miljöcertifiering*. [bild]. Opublicerad.

Bilaga 1

Energy Analysis Model (EAM) med massor

Här beskrivs arbetsmetoden för att skapa en *Energy Analysis Model (EAM)* genom att rita en konceptmodell bestående av en eller flera massor, massor ritas med ett verktyg i Revit kallat *In-Place Mass*. Detta kapitel bygger framförallt på ett antal sidor från Autodesk Knowledge Network (2016) och på empiriska tester av programvaran gjord av författarna.

Konceptmodellen består av de konceptuella massorna och valen som görs i Revit. Detta ligger sedan till grund för datan som skickas i form av en gbXML-fil till molntjänsten Autodesk Green Building Studio (GBS) där beräkningarna görs, vilket beskrivs i avsnitt 3.4. Beräkningarna sparas i molntjänsten som ett GBS-projekt för att sedan skickas tillbaka till Revit och presenteras i siffror och diagram i verktyget *Results and Compare*. Det bör tilläggas att denna bilaga endast behandlar proceduren för att energiberäkna i Revit och inte hur inställningarna för att göra en egen *Template* bör göras i molntjänsten Autodesk Green Building Studio (GBS). Webverktyget för GBS kan användas för att mer i detaljerat styra indata och hur resultat ska presenteras.

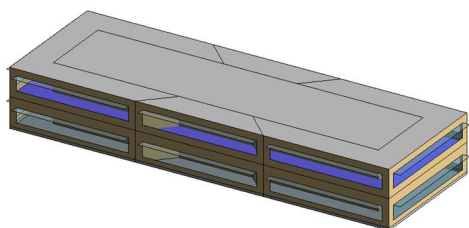
Att skapa konceptmodellen

Här går igenom hur man skapar konceptmodellen som är uppdelad i en eller flera massor, vilken ritas med hjälp av verktyget *In-place Mass* i Revit.

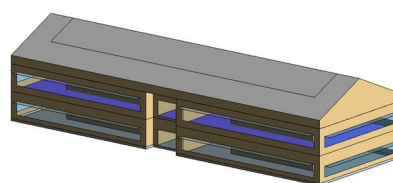
Steg ett är att öppna ett nytt *Project* i mallen *Architectural Template* eller motsvarande.

Beroende på hur detaljerat en energianalys ska göras så bör man nu välja hur många massor byggnaden ska vara uppbyggd av. Byggnaden bör också delas upp så att olika termiska zoner kan väljas för utrymmen med olika krav och förutsättningar.

I Revit finns i huvudsak två sätt att rita konceptuella massor dem kallas *Automatic zones* och *Custom zones*. Det är två sätt att dela upp byggnaden i termiska zoner men de kan också kombineras och det bör också göras för att uppnå så detaljerat resultat som möjligt med konceptuella massor.



Automatic zones



Custom zones

Space Type och Condition Type

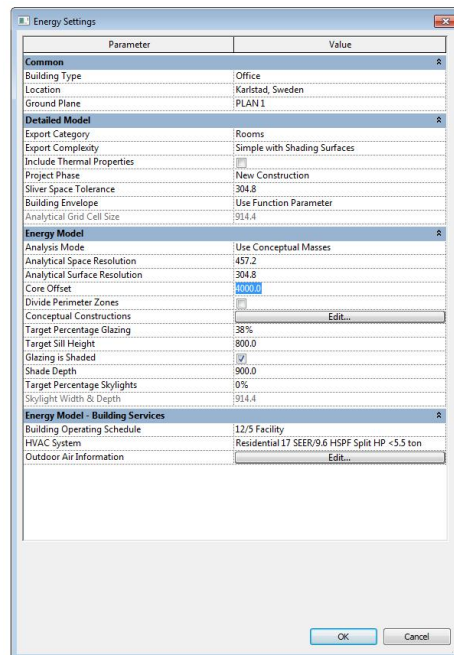
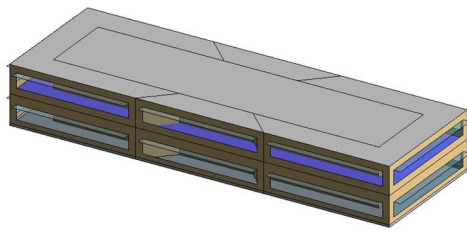
En byggnad kan alltså ritas som en enda stor box men resultatet kommer inte att bli särskilt detaljerat i jämförelse med om det ritas en massa för varje termisk zon. Zonerna kan i sin tur bland annat specificeras som uppvärmda, kylda eller både och. Finns det exempelvis ett trapphus som har andra krav på temperatur så ger det en mer precis energianalys om trapphuset ritas som en egen massa. Det kan då specificeras att massan representerar ett trapphus som bara är uppvärmt och inte kylt.

The image displays a 3D architectural model of a building and two screenshots of the Revit software's 'Modify | Mass Zone' property panel. The 3D model shows a long, low building with a blue base. The left screenshot shows the 'Properties' panel for a 'Mass Zone (1)' with the following settings: Mass Zone Volume: 1155,960 m³, Mass Floor Area: 296,400 m², Level: PLAN 1, Usage: Huskropp 3, Mass: Type: Huskropp 3, Mass: Family and Type: Huskropp 3: Huskropp 3, Space Type: Office - Enclosed, and Condition Type: Heated and cooled. The right screenshot shows the same 'Mass Zone (1)' with the following settings: Mass Zone Volume: 1155,960 m³, Mass Floor Area: 296,400 m², Level: PLAN 1, Usage: Huskropp 3, Mass: Type: Huskropp 3, Mass: Family and Type: Huskropp 3: Huskropp 3, Space Type: Office - Enclosed, and Condition Type: Heated and cooled.

Redan nu är det alltså bra att ta beslut om hur detaljerat byggnaden ska analyseras, därför kommer här en kort beskrivning av hur termisk zonindelning fungerar för konceptuella massor i Revit.

Automatic zones

Automatic zones används om den enklaste och snabbaste formen av analys ska göras. Det betyder att byggnadens geometri kan ritas väldigt enkelt som till exempel bara en box, resultatet blir då också mindre detaljerat. *Automatic zones* baseras på inställningarna man gör för *Core Offset* och *Divide Perimeter Zones* i *Energy Settings* under *Analyze*-fliken i Revit.

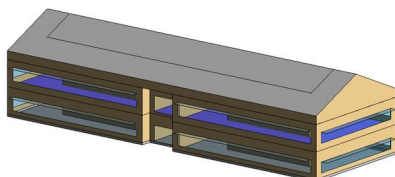


Automatic zones

Core Offset är ett valfritt mått från yttervägg i millimeter som genererar en kärna i massan, kan sättas till noll för att inaktiveras. *Core Offset* är bra att använda eftersom kärnan i en byggnad sällan utsätts för samma exponering från vädret som ytterdelarna. Exempel på väderpåverkan är solinstrålning, temperaturväxlingar, vindinfiltration, osv. *Divide Perimeter Zones* är ett val man kan kryssa i och genererar en uppdelning av en fyrkantig massa i fyrdelar.

Custom zones

Custom zones kan användas för att få massans geometri att i mer detalj svara mot den design man tänkt sig på byggnaden. Detta görs genom att skapa en eller flera nya massor som skär den ursprungliga massa och som då kan tas bort eller läggas till i volymen till den ursprungliga massan. Genom att använda verktygen *Cut Geometry* eller *Join Geometry*. Om man vill att de nya massorna ska tas med i energiberäkningen måste man lägga in *Mass Floors* i dem också. I *Custom zones* kan man också med fördel också använda *Automatic zones* som beskrivs i början av detta kapitel, "Att skapa konceptmodellen".

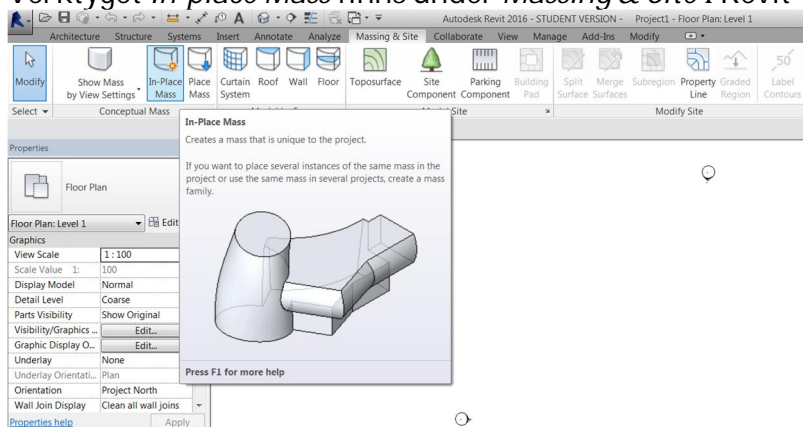


Custom zones

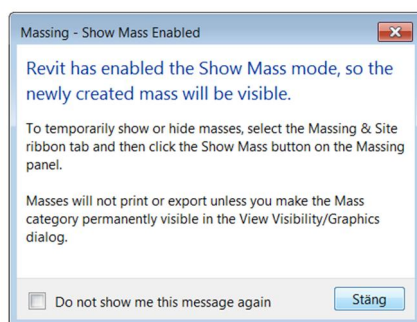
Att rita med massor

När nu för hur en konceptuell massa bör ritas nämnts är nästa steg att rita byggnaden med verktyget *In-place Mass* enligt följande steg.

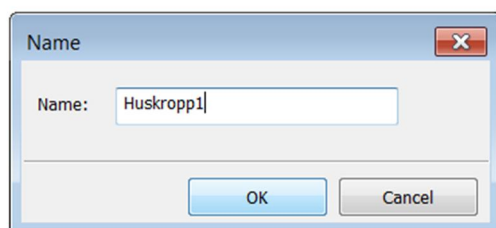
1. Det är enklast att rita massor i *Floor Plan - Level 1*.
2. Verktyget *In-place Mass* finns under *Massing & Site* i Revit



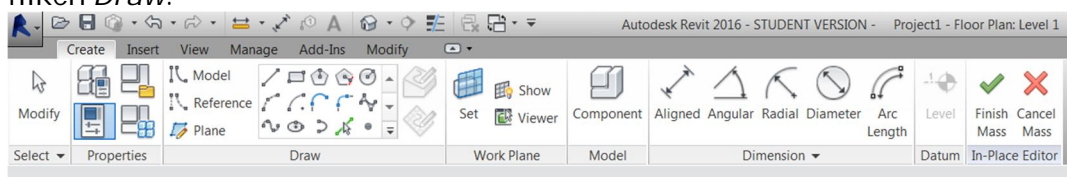
3. Här är det bara att trycka på "Stäng", Revit varnar för att massor inte visas som standard men att dem nu kommer göra det.



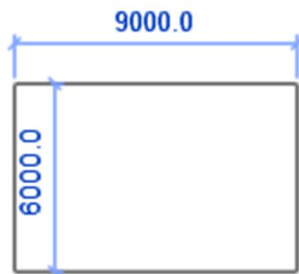
4. Namnge massan så det är lätt att hålla reda på de olika delarna av byggnaden.



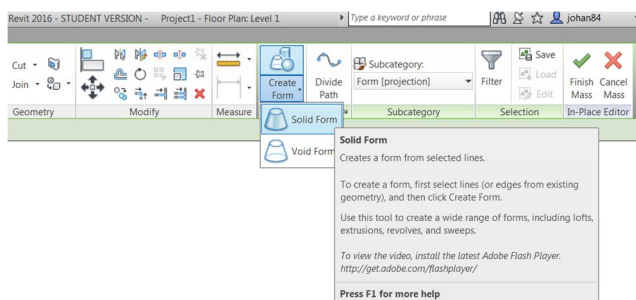
5. Det finns några olika geometriska former att använda för att göra massan till en 3D-volym. Till exempel linje, rektangel, polygon, cirkel, bågar, elips, osv. under fliken *Draw*.



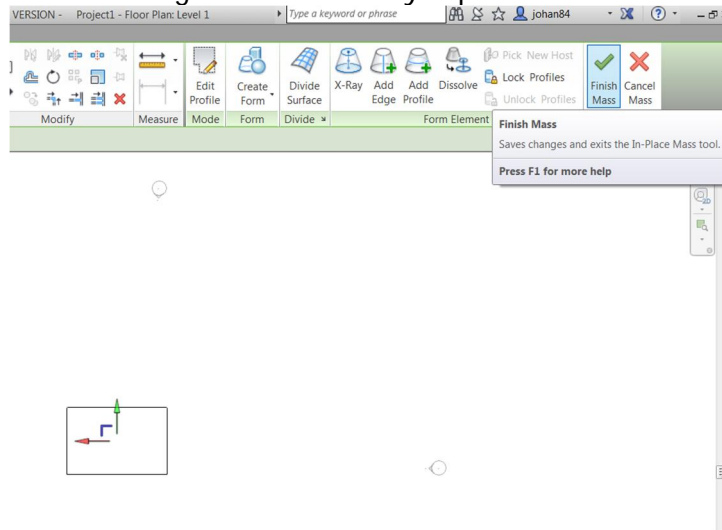
6. För att rita en massa med formen av en box så används med fördel rektangelverktyget för att rita basen.



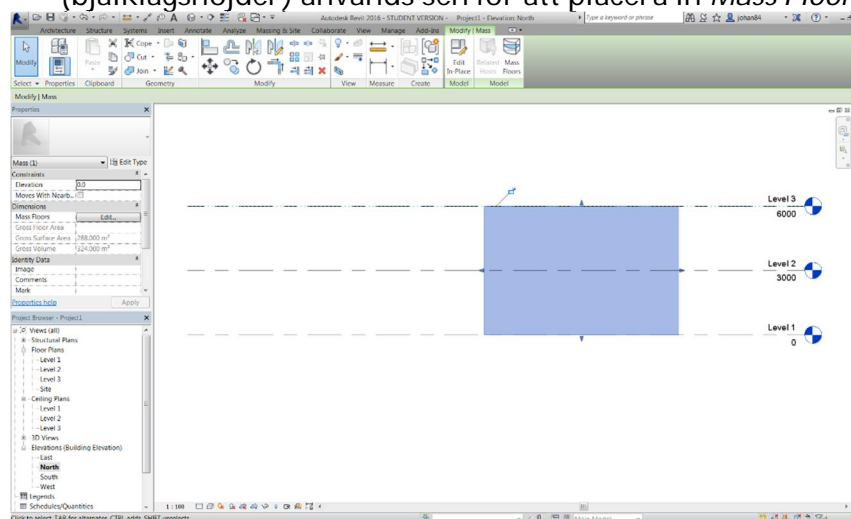
7. Näst steg är att skapa en 3D-volym av rektangeln. Markera hela rektangeln. Tryck sedan på *Create Form* och välj *Solid Form*, alternativet *Void Form* kan användas till öppningar.



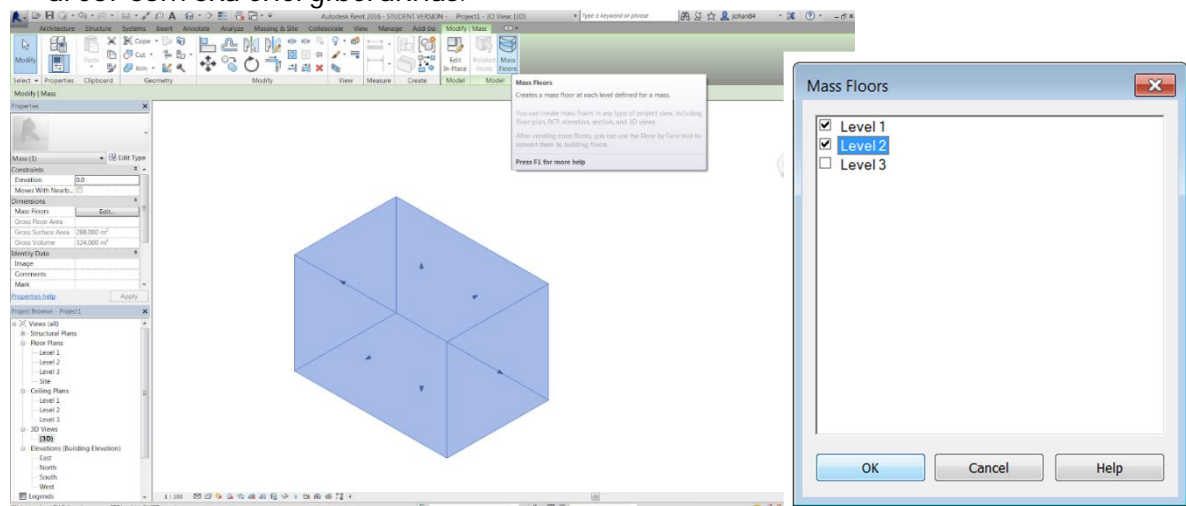
8. För att färdigställa massan tryck på *Finish Mass*.



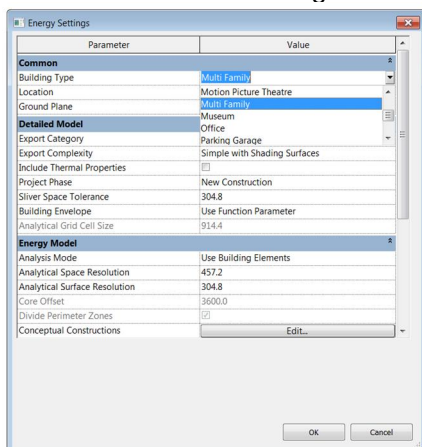
9. Nästa steg är att lägga in *Levels* i en av *Elevations*-vyerna, dessa *Levels* (bjälklagshöjder) används sen för att placera in *Mass Floors*.



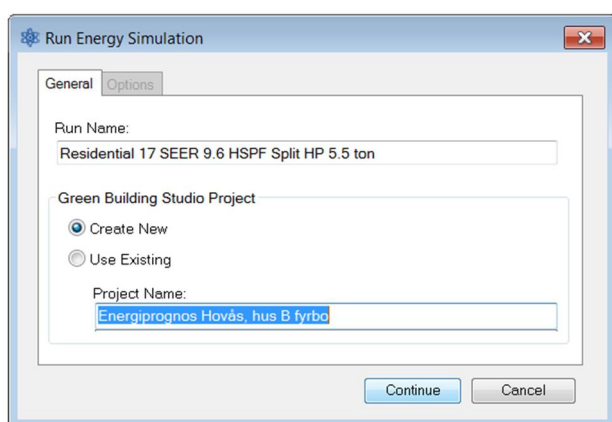
10. Med *Mass Floors* bestäms vilka *Levels* som ska ha golv, dessa golv definierar vilka areor som ska energiberäknas.



11. Nu är det dags att göra en del inställningar i *Energy settings* som finns under *Analyze*-fliken. Läs i nästa avsnitt, Val av indata för mer information om de olika valen som kan och bör göras.



12. När inställningar i *Energy settings* är klara är nästa steg att gå vidare till *Run Energy Simulation*. Detta är sista steget innan datan skickas till GBS (Autodesk Green Building Studio) för analys, som beskrevs i början av kapitlet och mer ingående i rapporten.



I *Run Energy Simulation* finns valen *Create New* och *Use Existing*, ett av dessa ska väljas och den stora skillnaden mellan dem är att *Create New* innebär att GBS tar information från Revitmodellen och de val som gjorts i *Energy settings*. *Create New* bör väljas om ändringar görs av *Building Type*, *Location*, eller andra val i *Energy Settings*. *Use Existing* innebär att informationen för energianalysen tas från en specifik template i GBS vilken kan vara en tidigare analys som modifierats eller skapats direkt i GBS. Om *Use Existing* väljs så ändras inte dessa data utan de tas från den GBS *Template* som är vald och använder data för *Building Type*, *Location* och övriga inställningar under *Energy Settings*. Ett undantag är däremot inställningen för *HVAC Systems* under *Building Services* i *Energy Settings* som tas från Revit trots att *Use Existing* är valt. Detta innebär att om exempelvis olika förslag för den ritade konceptmodellens geometriska utformning ska jämföras, så kan *Use Existing* med fördel väljas.

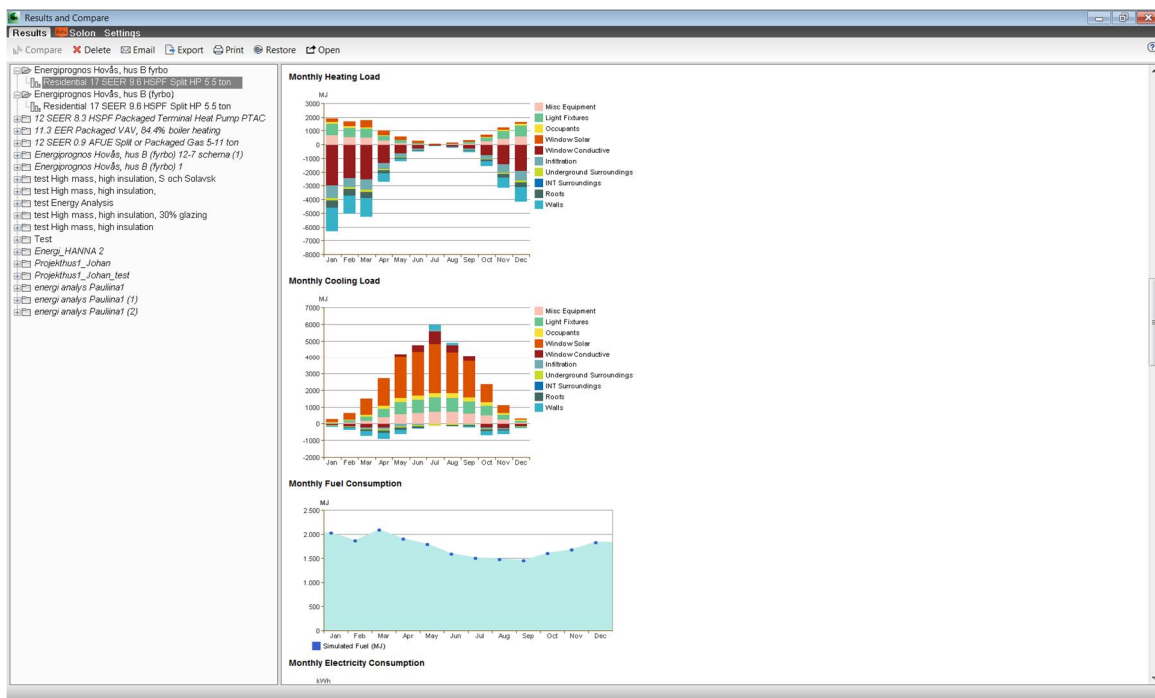
En annan fördel med att välja *Use Existing* är att det mer i detalj går att förbättra en *template* i GBS, de valen och funktionerna kommer inte tas upp i detta examensarbete men går att läsa mer om på Autodesk Knowledge Network.

Run Name, är namnet på den specifika energianalysen och ett *Project Name*, kan innehålla flera *Run Names*, dessa bör väljas så det är lätt att hålla reda på analyserna. Notera dock att för att få ett *Run Name* presenterat under ett *Project Name* så måste man välj *Use Existing*, annars kommer energianalyserna lägga sig som enskilda projekt i presentationsverktyget, *Results and Compare*. Autodesk Knowledge Network (2016). Specify the Green Building Studio Project for Energy Analysis

När alla inställningar är klara, tryck på *Continue*. Nu kommer datan från Revit skickas som en gbXML-fil till Autodesk Green Building Studio för beräkning.

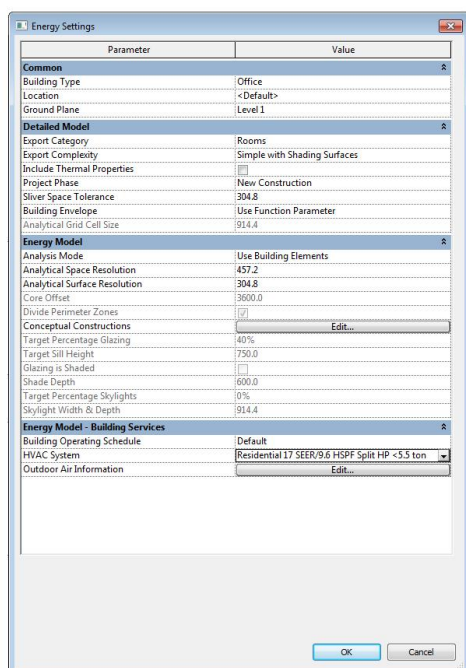
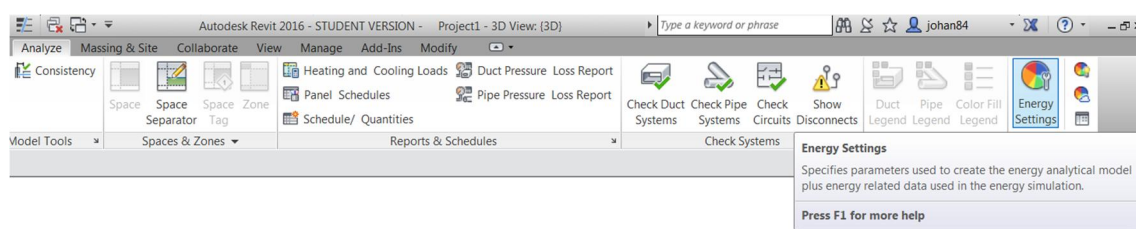
Results and Compare

När beräkningarna är klara skickas dem till Revits *Results and Compare* där kan olika alternativ jämföras. Nedan redovisas energirapporten för termiska laster.



Val av indata

Här förklaras mer i detalj vad för val som finns i *Energy settings* och vad de betyder. *Energy settings* hittas under *Analyze-fliken*. De val som görs bör så precist som möjligt spegla vad som är tänkt för byggnaden som ska byggas eller renoveras. Åtminstone bör *Building type*, *Location*, och *Analysis mode* specificeras. Resten av valen kan lämnas som dem är men energianalysen kommer inte bli detaljerad. Läs mer om inställningarna nedan under Energy Model. Autodesk Knowledge Network (2016). Workflow: Energy Analysis.



Common

Följande avsnitt bygger på Autodesk Knowledge Network (2016). Energy Settings Dialog: Common.

Building Type

Här görs val som påverkar det planerade användandet, det inkluderar antaganden om vilka tider som byggnaden kommer användas. Detta standardvärde går att åsidosätta genom att göra vilket val man vill ha i *Building Operating Schedule* under *Energy Model - Building Services*.

Location

Projektets placering genom detta verktyg i Revit har betydelse för vilken väderstation och därmed vilken väderdata som användas vid energiberäkningarna, väderstationerna inkluderar data från nuvarande år, virtuellt år och typår baserat på de senaste 30 årens väderdata. Vid val av väderstation bör beaktas att avståndet till projektet inte är för långt, särskilt om området har komplex terräng eller mikroklimat. Det är också viktigt att höjden inte skiljer sig för mycket mellan väderstation och projekt, eller att de befinner sig på varsin sida om ett berg. Om projektet är placerat nära ett hav så bör det väljas en väderstation nära projektet och inte för långt in i landet. Placeringen av byggnaden tar också hänsyn till andelen koldioxid som genereras vid elproduktionen av elektriciteten som sedan levereras till byggnaden.

Ground Plane

Här väljs vilken *Level* som ska användas som referens för vart marknivån (*Ground Plane*) ligger. Utrymmen (*Spaces*) som ligger under marknivån kommer i beräkningarna att betraktas som under marknivå och därmed inte ha några glasade ytor, de får dessutom ett särskilt R-värde (värmemotstånd) för väggarnas konstruktion.

Detailed Model

Denna del i *Energy settings* påverkar inte energianalyser gjorda på konceptuella massor utan enbart *Building elements*. Inställningarna under *Detailed Model* påverkar följande inställningar: *Room-based* eller *Space-based* export till *gbXML* och *Revit MEP Heating and Cooling load calculations*.

Energy Model

Här bestäms hur EAM:en skapas med konceptuella massor, byggnadselement eller båda.

Analysis Mode

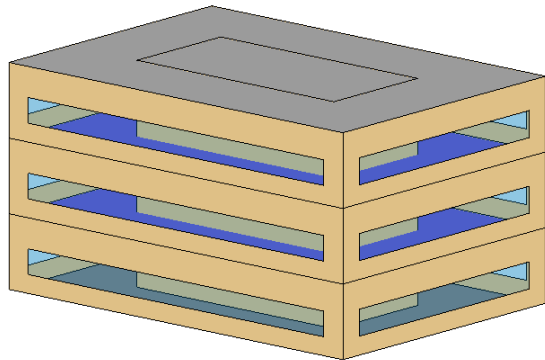
Det finns tre olika sätt att analysera modellen i Revit. *Use Building Elements*, *Use Conceptual Masses* och *Use Conceptual Masses and Building Elements*. När *Use Building Elements* väljs kommer programvaran att använda byggnadselement så som väggar, golv, tak, fönster, rum, spaces o.s.v. men *Conceptual Masses* ignoreras. För att använda detta alternativ måste man alltså ha ritat upp byggnaden mer detaljerat än om man väljer *Use Conceptual Masses*.

Use Conceptual Masses innebär programvaran kommer använda de *Conceptual Masses* som ritats i Revit. Dessa måste då innehålla *Mass Floors* för att tas med i beräkningarna. Eventuella byggnadselement som finns i modellen ignoreras vid detta val. *Use Conceptual Masses and Building Elements* innebär en kombination av de två ovanstående alternativen.

I alla analysalternativ kommer massor utan *Mass Floors* att hanteras som skuggande objekt, som till exempel kan representera skuggande träd eller en annan byggnad.

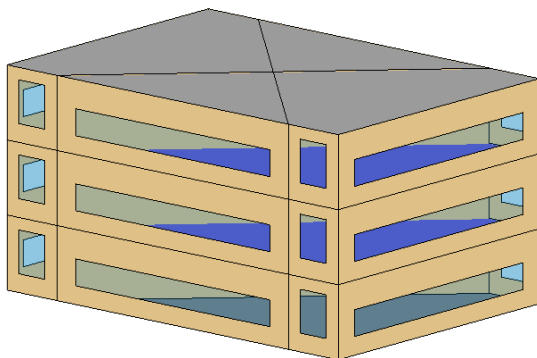
Core Offset

Detta val definierar avståndet från yttervägg in till *Core zone* som används för att dela upp byggnaden i *Automatic Thermal Zoning*, ett vanligt värde på *Core offset* är 4-5 m. Att använda sig av *Core Offset* är bra då man t.ex. inte vet exakt hur insidan på byggnaden kommer se ut eller bara ska rita upp byggnaden konceptuellt med massor. Kärnan eller *Core zone* har värme- och kylaster som skiljer sig från zonen närmare klimatskalet, vilken påverkas av väderförhållanden och dagsljus genom fönster.



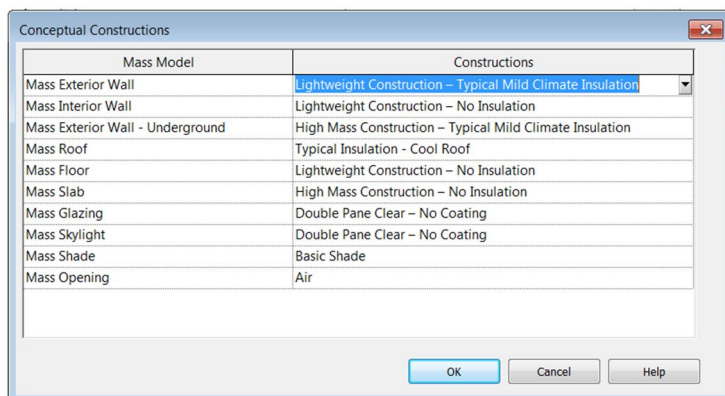
Divide Perimeter Zones

När detta val aktiveras delas massan in i fyra enkla *thermal zones* nordöst, sydöst, nordväst och sydväst. Om *Core Offset* är aktiverat så exkluderas *Core Zone* från indelningen men zonen närmast klimatskalet delas in. Att dela in massan in *Perimeter Zones* ger ett mer trovärdigt resultat.



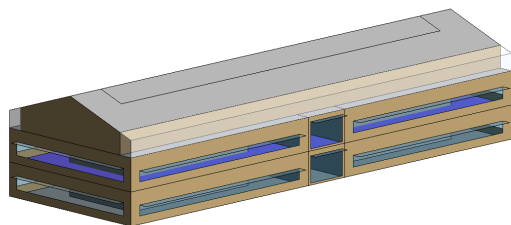
Conceptual Constructions

Här specificeras vilken konstruktionstyp som önskas för de olika massytorna vilket sin tur ger ett värmemotstånd (R-värde), densitet och värmekapacitet för den valda byggnadsdelen. Se bilaga 1 för data gällande konstruktionsdelar.

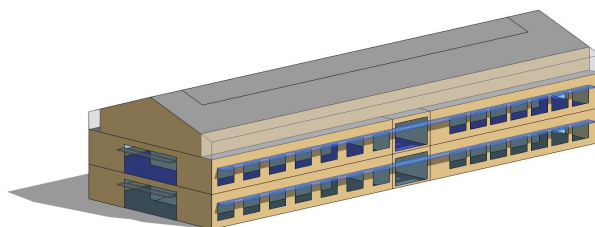


Target Percentage Glazing

Den här inställningen specificerar hur stor procentandel av byggnadens yttervägg som ska vara glasad. Detta kallas även *Window-to-Wall Ratio (WWR)*. Detta val ger automatiskt genererade fönster på ytterfasaden för respektive termisk zon. Det går också att rita upp fönstren själv för varje yttervägg på massorna med verktyget *Split Face* men det är tidskrävande. Därför rekommenderas att i ett senare skede, när man vill ha ett mer detaljerat resultat, att antingen använda av *Building Elements* eller göra detaljerade beräkningar i IDA ICE.



Automatiskt genererade fönster



Fönster och solavskärmning ritad för hand

Target Sill Height

Här ställs avståndet från golv till underkant för fönstren in. *Target Percentage Glazing* och *Target Sill Height* är kopplade på så vis att om man ställer in en högre fönsterhöjd än vad som får plats med avseende på *Target Percentage Glazing* så prioriteras valet för *Target Percentage Glazing*.

Glazing is Shaded and Shade Depth

Om det ska vara solskydd över fönstren så ska detta valet bockas i. Det gör också att valet för *Shade Depth* blir aktivt så man kan ställa in hur långt ut från fasaden solskydden ska gå och därmed skugga fönstren.

Target Percentage Skylights and Skylight Width & Depth

Den här inställningen specificerar hur stor procentandel av taket som ska vara glasad, i form av exempelvis takfönster. Detta kallas också Skylight-to-Roof Ratio (SRR). Standardvärde för denna inställning är 0%. *Skylight Width & Depth* definierar takfönstrens bredd och djup.

Energy Model - Building Services

Valen som beskrivs nedan kan användas för att förfinas energiberäkningarna för konceptuella massor, byggnadselement eller båda. Inställningarna påverkar dock inte *room-based* eller *space-based gbXML* export, *Heating and Cooling Load Calculations* eller *Cooling* i Revit MEP.

Building Operating Schedule

Detta val kan definieras genom att välja ett av alternativen i listan som bäst beskriver byggnadens användning. Valet kan ha stor påverkan på energianvändningen men sätts detta till *Default* så används standardvärdet från *Building Type* istället. Mer information om standardvärden kan hittas på *Autodesk Knowledge Network (2016)*. *Building Type Data* under *Occupancy Schedule*.

HVAC Systems

Här finns tolv stycken fördefinierade alternativ av *HVAC Systems* i Revit. De består av uppvärmningssystem för byggnaden, tappvarmvatten, kylsystem för byggnaden och ventilationssystem i ett enda paket.

Outdoor Air Information

Hur stort luftombyte som byggnaden ska ha kan här definieras men detta kan också lämnas som *Default*. Då kommer standardvärdet tas från *Building Type* som alltså definieras olika för olika *Building Types*. De definieras som *Infiltration Flow* i CFM/sq. ft. där *CFM* står för *cubic feet per minute*. Vilket gör att om större kontroll på detta värde önskas så bör detta ställas in under *Outdoor Air Information* för att få värdet i SI-enheter. Det kan göras med tre olika alternativ *Outdoor Air per Person*, *Outdoor Air per Area* samt *Air Changes per Hour*. Om flera av dessa tre alternativ väljs så kommer energiberäkningsprogramvaran att beräkna det största av dem och enbart använda det värdet i analysen. Detta är inte konventionellt i Sverige, då det finns krav från Boverket på vissa byggnader att ha en kombination av dessa val. Exempelvis 0,35l/s/kvm + 7l/s/person.

Referenser

About Green Building Studio and Energy Analysis

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-7948A714-1B97-4176-A942-D99A8ECA4786>

AUTODESK Knowledge Network. (2016). Perform Energy Analysis Using Conceptual Masses.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-13351B33-CCDD-4798-B291-76A1ACDAF203>

Autodeks Knowledge Network (2016). Floor Area.

http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-4B944BB8-91C6-4248-99E8-427DFB1D95B3

Autodesk Knowledge Network (2016). About Automatic Thermal Zoning.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-CCA545CA-B3E0-4BBE-AED3-BDB18D1B3150>

Autodesk Knowledge Network (2016). About Custom Thermal Zoning.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-DF26C938-4CF6-458C-B50C-387005918248>

Autodeks Knowledge Network (2016). Workflow: Energy Analysis.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-3242666F-501E-434C-A584-9DEE71BB632E>

Autodesk Knowledge Network (2016). Energy Settings Dialog: Common.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-291FB8FB-C7BB-4FA3-9691-344B82B2C81C>

Energy Settings Dialog: Detailed Model

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-46332DB3-74B1-4379-973D-AA6277154CB5>

Autodesk Knowledge Network (2016). Energy Settings Dialog: Energy Model.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-7E14499F-4769-46D7-839B-C48C12F889B3>

Autodesk Knowledge Network (2016). Energy Settings Dialog: Energy Model - Building Services.

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-D7436965-7973-465C-8877-C9C56129AD51>

Autodesk Knowledge Network (2016). Specify the Green Building Studio Project for Energy Analysis

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-2B7F5C32-1C33-4CE4-B763-BFED6399C2D3>

Autodesk Knowledge Network (2016). Building Type Data

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-7A1AFEAE-E3EA-404A-B17E-B24BCBBB8726>

Warfvinge, C., Dahlblom, M. (2014) *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur

Bilaga 2

Byggnadsdata för konceptuella massor.

Beteckning	Enhet
U	W/(m ² * K)
R	(m ² * K)/W
Densitet	kg/m ²
Värmekapacitet	J/(m ² * K)

Mass Exterior Wall				
Conceptual Construction	U-value	R-value	Unit density	Heat capacity
Lightweight Construction - High Insulation	0,22	4,47	139,54	0,234
Lightweight Construction - Typical Cold Climate Insulation	0,33	3,05	156,37	0,214
Lightweight Construction - Typical Mild Climate Insulation (default)	0,58	1,73	184,15	0,193
Lightweight Construction - Low Insulation	0,72	1,38	301,46	0,196
Lightweight Construction - No Insulation	2,04	0,49	455,55	0,193
High Mass Construction - High Insulation	0,34	2,91	496,07	1,116
High Mass Construction - Typical Cold Climate	0,39	2,58	477,14	1,081
High Mass Construction - Typical Mild Climate	0,52	1,91	513,07	1,080
High Mass Construction - No Insulation	4,17	0,24	669,35	1,075

Mass Exterior Wall - Underground				
Conceptual Construction	U-value	R-value	Unit density	Heat capacity
High Mass Construction - High Insulation	0,34	2,91	495,67	1,116
High Mass Construction - Typical Cold Climate	0,39	2,58	477,14	1,081
High Mass Construction - Typical Mild Climate (default)	0,52	1,91	512,67	1,080
High Mass Construction - No Insulation	4,17	0,24	669,35	1,075

Mass Roof				
Conceptual Construction	U-value	R-value	Unit density	Heat capacity
High Insulation - Cool Roof	0,18	5,63	108,25	0,158
High Insulation - Dark Roof	0,18	5,63	108,25	0,158
Typical Insulation - Cool Roof (default)	0,26	3,87	73,04	0,123
Typical Insulation - Dark Roof	0,26	3,87	73,04	0,123
Low Insulation - Cool Roof	0,47	2,11	101,56	0,109
Low Insulation - Dark Roof	0,47	2,11	101,56	0,109
No Insulation - Dark Roof	2,86	0,35	227,82	0,095

Mass Floor				
Conceptual Construction	U-value	R-value	Unit density	Heat capacity
Lightweight Construction - High Insulation	0,17	5,81	23,54	0,069
Lightweight Construction - Typical Insulation (default)	0,27	3,67	33,13	0,068
Lightweight Construction - Low Insulation	0,40	2,48	48,57	0,066
Lightweight Construction - No Insulation	1,35	0,74	156,51	0,032

Mass Slab				
Conceptual Construction	U-value	R-value	Unit density	Heat capacity
High Mass Construction - Frigid Climate Slab Insulation	0,35	2,84	602,93	1,203
High Mass Construction - Cold Climate Slab Insulation	0,59	1,69	602,93	1,203
High Mass Construction - No Insulation (default)	0,93	1,08	602,93	1,203

Mass Glazing	
Conceptual Construction	U-value
Single Pane Clear - No Coating	6,18
Single Pane - Tinted	6,32
Single Pane - Reflective	5,06
Double Pane Clear - No Coating (default)	3,17
Double Pane - Tinted	3,24
Double Pane - Reflective	2,40
Double Pane Clear - LowE Cold Climate, High SHGC	1,96
Double Pane Clear - LowE Cold Climate, Low SHGC	1,68
Double Pane Clear - High Performance, LowE, High Tvis, Low SHGC	1,63
Triple Pane Clear - LowE Hot or Cold Climate	1,26
Quad Pane Clear - LowE Hot or Cold Climate	0,66

Mass Skylight - Metric (SI) Values	
Conceptual Construction	U-value
Single Pane - Tinted	6,32
Single Pane - Reflective	5,06
Double Pane Clear - No Coating (default)	3,17
Double Pane - Tinted	3,24
Double Pane - Reflective	2,40
Double Pane Clear - LowE Cold Climate, High SHGC	2,36
Double Pane Clear - LowE Cold Climate, Low SHGC	2,08
Double Pane Clear - High Performance, LowE, High Tvis, Low SHGC	2,03
Triple Pane Clear - LowE Hot or Cold Climate	1,26
Quad Pane Clear - LowE Hot or Cold Climate	1,06

Bilaga 3
Analysresultat

Datasammanställning Vreta Linköping

Revitdata

MJ (sensible and latent)

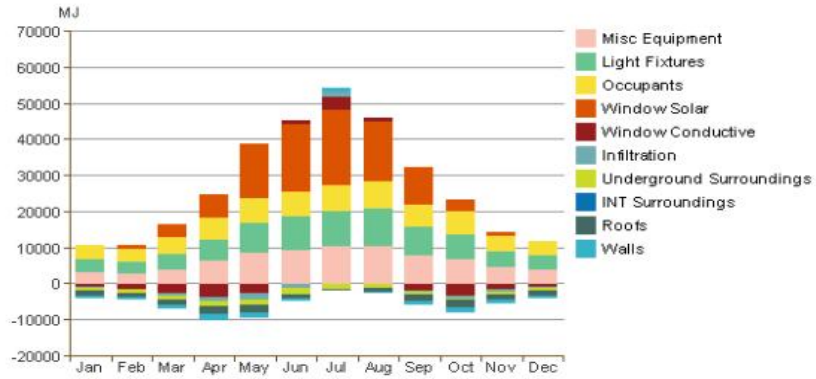
Month	Envelope & Thermal bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech, supply air			Infiltration & Openings			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses	
	Värme	Kyla	Totalt		Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt				
1	-20700	-2800	-23500		1500	0	1500	-31200	-800	-32000				-15800	-400	-16200	2400	3900	6300	6600	3200	9800	6800	3600	10400				
2	-18800	-3000	-21800		3300	1000	4300	-27900	-1400	-29300				-13900	-700	-14600	1900	3600	5500	6300	2800	9100	5700	3300	9000				
3	-20100	-3600	-23700		6200	3500	9700	-29400	-2600	-32000				-13800	-700	-14500	1900	4700	6600	6300	4000	10300	6200	4200	10400				
4	-11000	-5300	-16300		5200	6400	11600	-15800	-3700	-19500				-7200	-1100	-8300	1000	6200	7200	4000	6500	10500	3600	5700	9300				
5	-3900	-5100	-9000		3700	15100	18800	-6300	-2600	-8900				-3700	-1800	-5500	0	6900	6900	1900	8700	10600	2500	8200	10700				
6	-950	-3600	-4550		1800	18800	20600	-2400	0	-2400				-950	-1100	-2050	0	6900	6900	500	9300	9800	1000	9400	10400				
7	-500	-1900	-2400		1000	21000	22000	-500	0	-500				0	0	0	0	7300	7300	0	10400	10400	0	9700	9700				
8	-500	-2600	-3100		1300	16600	17900	-1300	0	-1300				0	0	0	0	7700	7700	0	10400	10400	500	10400	10900				
9	-2400	-3600	-6000		2400	10400	12800	-4700	-1800	-6500				-2500	-400	-2900	500	6200	6700	1500	7900	9400	1900	7900	9800				
10	-7200	-4000	-11200		2300	3200	5500	-11900	-3300	-15200				-5400	-700	-6100	1000	6600	7600	3500	6800	10300	3700	6800	10500				
11	-12400	-3300	-15700		1800	1100	2900	-20100	-1500	-21600				-10100	-700	-10800	1500	4400	5900	5400	4600	10000	5200	4300	9500				
12	-14400	-2800	-17200		900	0	900	-23600	-800	-24400				-11900	-400	-12300	2000	4000	6000	6300	3800	10100	5700	4000	9700				
Total	-112850	-41600	-154450		31400	97100	128500	-175100	-18500	-2E+05				-85250	-7300	-92550	12200	68400	80600	42300	78400	120700	42800	77500	120300				
During heating (3620,0 h)	-112850				31400			-175100						-85250			12200			42300			42800						
During cooling (0,0 h)		-41600				97100			-18500						-7300			68400			78400			77500					
Rest of time																													

kWh (sensible and latent)

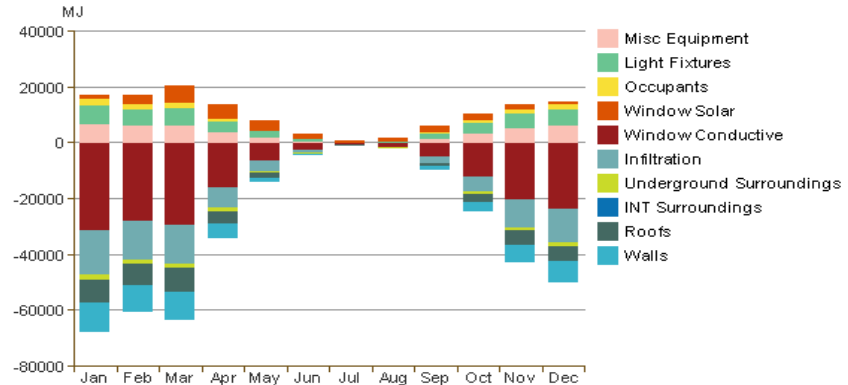
Month	Envelope & Thermal bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech, supply air			Infiltration & Openings			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses		
	Värme	Kyla	Totalt		Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt					
1	-5750	-778	-6528		417	0	417	-8667	-222	-8889				-982	-4389	-111	-4500	667	1083	1750	1833	889	2722	1889	1000	2889				
2	-5222	-833	-6056		917	278	1194	-7750	-389	-8139				-989	-3861	0	-3861	528	1000	1528	1750	778	2528	1583	917	2500				
3	-5583	-1000	-6583		1722	972	2694	-8167	-722	-8889				-1348	-3833	-194	-4028	528	1306	1833	1750	1111	2861	1722	1167	2889				
4	-3056	-1472	-4528		1444	1778	3222	-4389	-1028	-5417				-2018	-2000	-306	-2306	278	1722	2000	1111	1806	2917	1000	1583	2583				
5	-1083	-1417	-2500		1028	4194	5222	-1750	-722	-2472				-2938	-1028	-500	-1528	0	1917	1917	528	2417	2944	694	2278	2972				
6	-264	-1000	-1264		500	5222	5722	-667	0	-667				-3617	-264	-306	-569	0	1917	1917	139	2583	2722	278	2611	2889				
7	-139	-528	-667		278	5833	6111	-139	0	-139				-3959	0	0	0	0	2028	2028	0	2889	2889	0	2694	2694				
8	-139	-722	-861		361	4611	4972	-361	0	-361				-3777	0	0	0	0	2139	2139	0	2889	2889	139	2889	3028				
9	-667	-1000	-1667		667	2889	3556	-1306	-500	-1806				-2570	-694	-111	-806	139	1722	1861	417	2194	2611	528	2194	2722				
10	-2000	-1111	-3111		639	889	1528	-3306	-917	-4222				-1562	-1500	-194	-1694	278	1833	2111	972	1889	2861	1028	1889	2917				
11	-3444	-917	-4361		500	306	806	-5583	-417	-6000				-1111	-2806	-194	-3000	417	1222	1639	1500	1278	2778	1444	1194	2639				
12	-4000	-778	-4778		250	0	250	-6556	-222	-6778				-1088	-3306	-111	-3417	556	1111	1667	1750	1056	2806	1583	1111	2694				
Total	-31347	-11556	-42903		8722	26972	35694	-48639	-5139	-53778				-25958	-23681	-2028	-25708	3389	19000	22389	11750	21778	33528	11889	21528	33417				
During heating (3620,0 h)	-31347				8722			-48639						-6563	-23681			3389		11750			11889							
During cooling (0,0 h)		-11556				26972			-5139					-13713	-2028			19000			21778			21528						
Rest of time														-5681																

Bilaga 3 Analysresultat

Monthly Cooling Load



Monthly Heating Load



IDA-data

All zones

kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Solar	Window Conductive	Window & Solar	Mech, supply air	Infiltration & Openings	Occupants	Equipment	Lighting	Local heating units (IDA ICE)	Local cooling units (IDA ICE)	Net losses (IDA ICE)
1	-5512	24	1209	-10516	-9307	-982	-2749	1183	4665	2512	13091	-3208	279
2	-5138	-45	2863	-9533	-6670	-989	-2506	1120	4268	2396	10250	-2911	221
3	-5160	-127	5289	-9109	-3820	-1348	-2302	1272	4770	2755	7044	-3254	167
4	-4408	-28	7972	-7564	408	-2018	-1484	1159	4602	2635	2593	-3533	71
5	-3844	-283	10618	-5662	4956	-2938	-1130	1041	4665	2514	238	-5220	-1
6	-2956	-98	10784	-4158	6626	-3617	-860	1058	4602	2632	1	-7355	-37
7	-2521	-122	11087	-3389	7698	-3959	-595	1045	4718	2634	0	-8852	-47
8	-2482	27	9594	-3757	5836	-3777	-680	1068	4717	2633	0	-7309	-41
9	-2800	150	5987	-5298	690	-2570	-1230	1162	4603	2635	939	-3601	17
10	-3520	168	3733	-6812	-3080	-1562	-1509	1164	4666	2516	4357	-3319	113
11	-4349	-47	1617	-8322	-6706	-1111	-1896	1243	4603	2635	8543	-3114	195
12	-5165	-26	569	-9871	-9302	-1088	-2739	1299	4769	2753	12438	-3208	265
Total	-47852	-407	71321	-83991	-12670	-25958	-19678	13814	55647	31247	59494	-54883	1201
During heating (3620,0 h)	-28109	7911	11095	-61340	-50246	-6563	-13790	7357	6805	15779	59491	0	1299
During cooling (0,0 h)	-12067	-13712	49308	-13292	36016	-13713	-2903	4334	46757	10336	0	-54883	-136
Rest of time	-7677	5394	10918	-9359	1559	-5681	-2986	2122	2085	5133	3	0	37

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1242	-1301	-1760	-10516	0	-1209
2	-1110	-1142	-1789	-9533	0	-1097
3	-1017	-1010	-2096	-9109	0	-1037
4	-763	-721	-2071	-7564	0	-853
5	-511	-371	-2350	-5662	0	-612
6	-303	-143	-2078	-4158	0	-432
7	-208	-51	-1926	-3389	0	-336
8	-267	-186	-1645	-3757	0	-384
9	-508	-511	-1203	-5298	0	-579
10	-740	-791	-1221	-6812	0	-767
11	-971	-1032	-1391	-8322	0	-954
12	-1195	-1239	-1598	-9871	0	-1133
Total	-8834	-8497	-21128	-83991	0	-9393
During heating	-6325	-5767	-9013	-61340	0	-7001
During cooling	-1438	0	-9430	-13292	0	-1200
Rest of time	-1071	-2730	-2685	-9359	0	-1192

Bilaga 3
Analysresultat

Datasammanställning Hovås Flerbostadshus

Revitdata

MJ (sensible and latent)

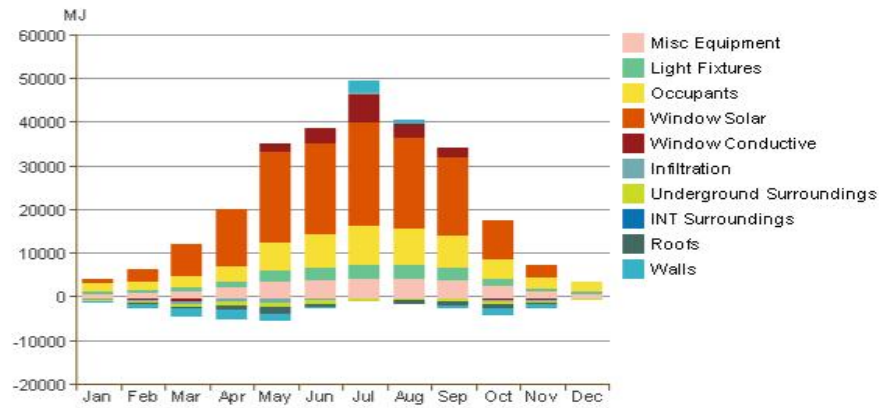
Month	Envelope & Thermal bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech. supply air	Infiltration & Opening s			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses
	Värme	Kyla	Total		Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total		Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total			
1	-19655	-1038	-20693		3000	876	3876	-19903	0	-19903		-4667	0	-4667	3400	2000	5400	3364	913	4277	2886	807	3693			
2	-15989	-1656	-17645		3227	2865	6092	-15703	-764	-16467		-3100	0	-3100	3600	1900	5500	2836	1420	4256	2225	400	2625			
3	-16289	-2775	-19064		4827	7547	12374	-16303	-654	-16957		-3600	-646	-4246	3800	2365	6165	2982	1420	4402	2080	1200	3280			
4	-7997	-4197	-12194		3800	13126	16926	-8607	0	-8607		-2200	-654	-2854	2465	3511	5976	1855	2620	4475	1841	1200	3041			
5	-1900	-4147	-6047		2117	20900	23017	-3249	1870	-1379		-1026	-1017	-2043	826	6400	7226	553	3820	4373	1000	2538	3538			
6	-600	-1971	-2571		543	20870	21413	-1295	3630	2335		0	-335	-335	1080	7600	8680	0	4120	4120	300	2938	3238			
7	0	-790	-790		0	23200	23200	-413	6630	6217		0	400	400	0	8900	8900	0	4320	4320	0	3438	3438			
8	0	-1335	-1335		0	21008	21008	-615	3000	2385		0	0	0	900	8092	8992	0	4320	4320	0	3438	3438			
9	-700	-2275	-2975		800	17609	18409	-1421	2400	979		0	0	0	684	7423	8107	0	4320	4320	416	2705	3121			
10	-4855	-3444	-8299		1400	9100	10500	-5592	-600	-6192		-1551	-300	-1851	2700	4438	7138	1500	2843	4343	1700	1477	3177			
11	-10132	-1375	-11507		2200	2938	5138	-10723	-900	-11623		-2810	-200	-3010	3700	2500	6200	3064	1520	4584	2052	800	2852			
12	-13031	-600	-13631		1806	0	1806	-13733	0	-13733		-3537	0	-3537	3600	2400	6000	3494	720	4214	2823	800	3623			
Total			-1E+05				163759			-82945					-25243		84284			52004			39064			
During heating (0.0 h)	-91148				23720					-97557				-22491		26755		19648			17323					
During cooling (1060.0 h)		-25603				139163			14612					-2752		57529			32356			21741				
Rest of time																										

kWh (sensible and latent)

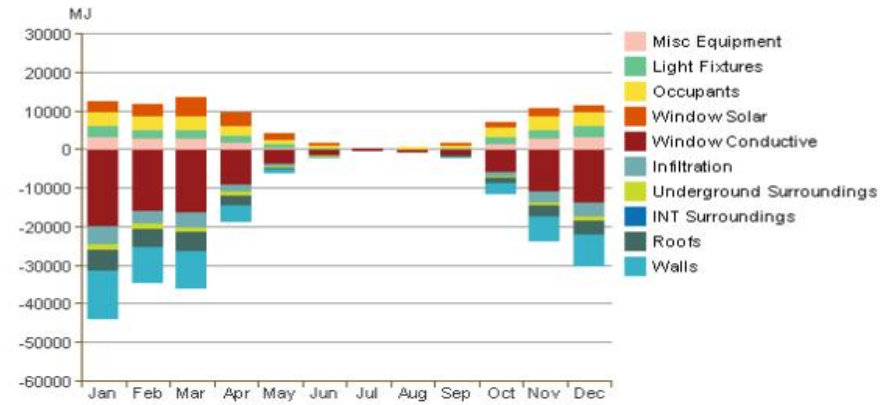
Month	Envelope & Thermal bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech. supply air	Infiltration & Opening s			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses	
	Värme	Kyla	Total		Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total		Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total				
1	-5460	-288	-5748		833	243	1077	-5529	0	-5529		-766	-1296	0	-1296	944	556	1500	934	254	1188	802	224	1026			
2	-4441	-460	-4901		896	796	1692	-4362	-212	-4574		-693	-861	0	-861	1000	458	1528	788	394	1182	618	111	729			
3	-4525	-771	-5296		1341	2096	3437	-4529	-182	-4710		-780	-1000	-179	-1179	1056	657	1713	828	394	1223	578	333	911			
4	-2221	-1166	-3387		1056	3646	4702	-2391	0	-2391		-886	-611	-182	-793	685	975	1660	515	728	1243	511	333	845			
5	-528	-1152	-1680		588	5806	6394	-903	519	-383		-1246	-285	-283	-568	229	1778	2007	154	1061	1215	278	705	983			
6	-167	-548	-714		151	5797	5948	-360	1008	649		-1566	0	-93	-93	300	2111	2411	0	1144	1144	83	816	899			
7	0	-219	-219		0	6444	6444	-115	1842	1727		-1620	0	111	111	0	2472	2472	0	1200	1200	0	955	955			
8	0	-371	-371		0	5836	5836	-171	833	663		-1970	0	0	0	250	2248	2498	0	1200	1200	0	955	955			
9	-194	-632	-826		222	4891	5114	-395	667	272		-1640	0	0	0	190	2062	2252	0	1200	1200	116	751	867			
10	-1349	-957	-2305		389	2528	2917	-1553	-167	-1720		-978	-431	-83	-514	750	1233	1983	417	790	1206	472	410	883			
11	-2814	-382	-3196		611	816	1427	-2979	-250	-3229		-748	-781	-56	-836	1028	694	1722	851	422	1273	570	222	792			
12	-3620	-167	-3786		502	0	502	-3815	0	-3815		-766	-983	0	-983	1000	667	1667	971	200	1171	784	222	1006			
Total	0	0	-32431		0	0	45489	0	0	-23040		-13657	0	0	-7012	0	0	23412	0	0	14446	0	0	10851			
During heating (0.0 h)	-25319	0	0		6589	0	0	-27099	0	0		-4827	0	0	-6248	0	7432	0	5458	0	0	4812	0	0			
During cooling (1060.0 h)	0	-7112	0		0	38656	0	0	4059	0		-6223	0	0	-764	0	15980	0	0	8988	0	0	6039	0			
Rest of time	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Bilaga 3 Analysresultat

Monthly Cooling Load



Monthly Heating Load



IDA-data

All zones
kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Solar	Window Conduct.	Window & Solar	Mech. supply air	Infiltration & Openings	Occupants	Equipment	Lighting	Local heating units	Local cooling units	Net losses
1	-4959	45	1188	-3431	-2243	-2106	-930	1473	2316	1314	4952	0	152
2	-4611	-59	2184	-3171	-986	-1931	-818	1325	2092	1187	3700	0	116
3	-4477	-295	4334	-3034	1300	-2415	-758	1427	2316	1314	1575	0	35
4	-3914	-755	6441	-2451	3989	-3474	-470	1216	2242	1272	88	0	-166
5	-3243	-190	6908	-2359	4549	-4952	-475	1084	2316	1314	0	0	-380
6	-2630	-88	6779	-1926	4853	-5713	-379	965	2242	1272	0	0	-507
7	-2608	-763	6999	-1605	5393	-5758	-297	918	2316	1314	0	0	-505
8	-1955	797	6200	-1820	4380	-6701	-287	796	2316	1314	0	0	-650
9	-2015	867	4842	-1988	2853	-5384	-371	1004	2242	1272	0	0	-457
10	-2787	645	3537	-2446	1091	-3377	-509	1291	2316	1314	167	0	-138
11	-3492	90	1260	-2522	-1262	-2201	-658	1404	2242	1272	2552	0	76
12	-4570	61	1216	-3250	-2034	-2137	-945	1468	2316	1314	4409	0	136
Total	-41260	356	51886	-30003	21884	-46149	-6896	14371	27269	15470	17443	0	-2288
During heating (0,0 h)	-19782	-3512	10259	-15719	-5460	-11213	-4450	7833	12421	6445	17341	0	446
During cooling (1060,0 h)	-9535	-8637	32007	-8795	23212	-23989	-1249	4558	11172	6370	0	0	-1825
Rest of time	-11943	12505	9620	-5489	4132	-10947	-1197	1980	3676	2655	103	0	-908

Envelope transmission
kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-2194	-1487	-632	-3431	0	-645
2	-1995	-1340	-676	-3171	0	-600
3	-1823	-1187	-895	-3034	0	-572
4	-1402	-927	-1131	-2451	0	-455
5	-1165	-577	-1066	-2359	0	-434
6	-863	-378	-1039	-1926	0	-350
7	-792	-366	-1167	-1605	0	-283
8	-668	-154	-809	-1820	0	-324
9	-846	-341	-468	-1988	0	-360
10	-1265	-735	-336	-2446	0	-451
11	-1573	-1037	-414	-2522	0	-468
12	-2047	-1351	-563	-3250	0	-609
Total	-16632	-9880	-9198	-30003	0	-5550
During heating	-8860	-5317	-2798	-15719	0	-2805
During cooling	-3334	-294	-4585	-8795	0	-1321
Rest of time	-4438	-4269	-1815	-5489	0	-1424

Bilaga 3
Analysresultat

Datasammanställning Hovås Flerbostadshus

Revitdata

MJ (sensible and latent)

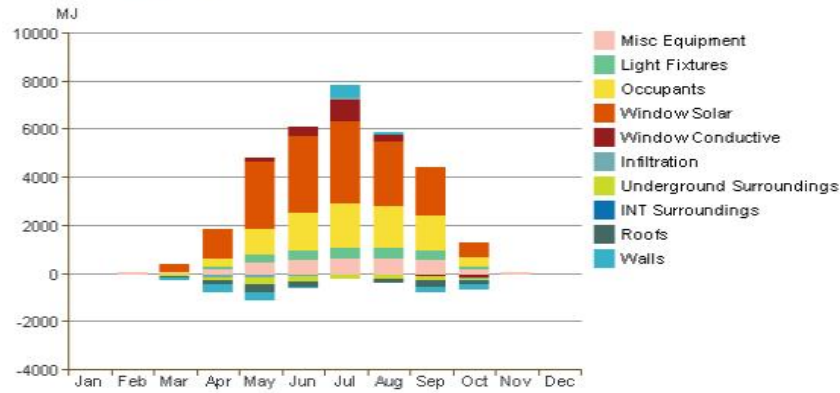
Month	Envelope & Thermal bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech, supply air			Infiltration & Openings			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses
	Värme	Kyla	Totalt		Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt			
1	-4750	0	-4750		300	0	300	-3700	0	-3700				-700	0	-700	1000	0	1000	650	0	650	400	0	400			
2	-4080	0	-4080		450	0	450	-3100	0	-3100				-550	0	-550	850	0	850	550	100	650	450	0	450			
3	-4400	-210	-4610		850	310	1160	-3300	0	-3300				-700	0	-700	1000	0	1000	550	0	550	450	0	450			
4	-2250	-610	-2860		700	1200	1900	-1800	0	-1800				-400	-110	-510	700	330	1030	400	200	600	400	130	530			
5	-570	-970	-1540		350	2800	3150	-650	190	-460				-150	-110	-260	400	1030	1430	0	500	500	250	350	600			
6	-130	-520	-650		150	3150	3300	-250	400	150				0	-60	-60	50	1600	1650	0	620	620	80	360	440			
7	500	-160	340		0	3400	3400	0	900	900				0	120	120	0	1850	1850	0	670	670	0	440	440			
8	60	-350	-290		0	2700	2700	-80	250	170				0	0	0	150	1750	1900	0	650	650	0	450	450			
9	-160	-640	-800		150	1980	2130	-250	-70	-320				0	0	0	150	1490	1640	0	620	620	50	370	420			
10	-1500	-450	-1950		340	600	940	-1200	-110	-1310				-240	-60	-300	740	420	1160	410	220	630	360	100	460			
11	-2750	0	-2750		320	0	320	-2180	0	-2180				-500	0	-500	950	0	950	550	90	640	550	0	550			
12	-3100	0	-3100		200	0	200	-2400	0	-2400				-600	0	-600	1000	0	1000	650	0	650	450	0	450			
Total	-23130	-3910	-27040		3810	16140	19950	-18910	1560	-17350				-3840	-220	-4060	6990	8470	15460	3760	3670	7430	3440	2200	5640			
During heating (3620,0 h)	-23130				3810			-18910						-3840			6990			3760			3440					
During cooling (0,0 h)		-3910				16140			1560						-220			8470			3670			2200				
Rest of time																												

kWh (sensible and latent)

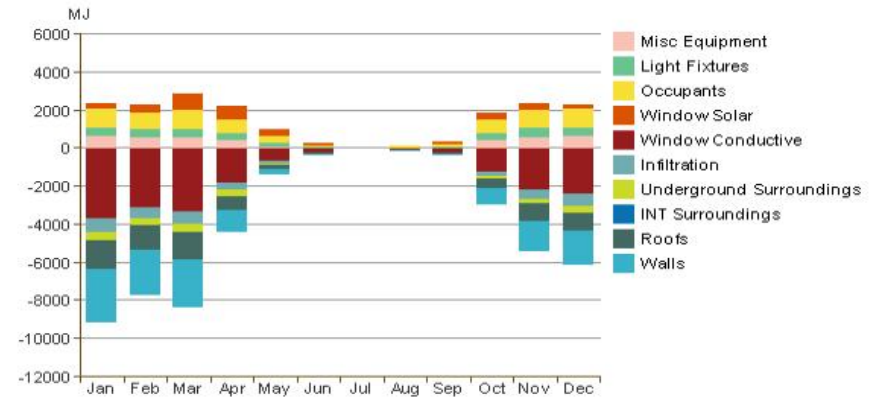
Month	Envelope & Thermal bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech, supply air			Infiltration & Openings			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses	
	Värme	Kyla	Totalt		Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt	Värme	Kyla	Totalt				
1	-1319	0	-1319		83	0	83	-1028	0	-1028				-330	-194	-524	278	0	278	181	0	181	111	0	111				
2	-1133	0	-1133		125	0	125	-861	0	-861				-298	-153	-451	236	0	236	153	28	181	125	0	125				
3	-1222	-58	-1281		236	86	322	-917	0	-917				-331	-194	-525	278	0	278	153	0	153	125	0	125				
4	-625	-169	-794		194	333	528	-500	0	-500				-343	-111	-454	194	92	286	111	56	167	111	36	147				
5	-158	-269	-428		97	778	875	-181	53	-128				-408	-42	-450	111	286	397	0	139	139	69	97	167				
6	-36	-144	-181		42	875	917	-69	111	42				-554	0	-17	14	444	458	0	172	172	22	100	122				
7	139	-44	94		0	944	944	0	250	250				-570	0	33	33	0	514	514	0	186	186	0	122	122			
8	17	-97	-81		0	750	750	-22	69	47				-699	0	0	0	42	486	528	0	181	181	0	125	125			
9	-44	-178	-222		42	550	592	-69	-19	-89				-501	0	0	42	414	456	0	172	172	14	103	117				
10	-417	-125	-542		94	167	261	-333	-31	-364				-335	-67	-402	206	117	322	114	61	175	100	28	128				
11	-764	0	-764		89	0	89	-606	0	-606				-320	-139	-459	264	0	264	153	25	178	153	0	153				
12	-861	0	-861		56	0	56	-667	0	-667				-330	-167	-497	278	0	278	181	0	181	125	0	125				
Total	-6425	-1086	-7511		1058	4483	5542	-5253	433	-4819				-5018	-1067	-61	-1128	1942	2353	4294	1044	1019	2064	956	611	1567			
During heating (3620,0 h)	-6425				1058			-5253						-5018	-1067			1942			1044			956					
During cooling (0,0 h)		-1086				4483			433						-61			2353			1019			611					
Rest of time																													

Bilaga 3 Analysresultat

Monthly Cooling Load



Monthly Heating Load



IDA-data

All zones

kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Solar	Window Conductive	Window & Solar	Mech, supply air	Infiltration & Openings	Occupants	Equipment	Lighting	Local heating units (IDA ICF)	Local cooling units (IDA ICF)	Net losses (IDA ICF)
1	-1595	0	111	-577	-466	-330	-238	271	318	171	1831	0	36
2	-1468	-4	229	-530	-301	-298	-204	244	287	155	1553	0	30
3	-1358	-3	502	-490	12	-331	-193	268	318	171	1092	0	21
4	-1032	-36	767	-349	418	-343	-105	251	308	166	374	0	2
5	-836	-17	916	-302	614	-408	-96	245	318	171	25	0	-14
6	-684	-16	933	-244	689	-554	-75	208	308	166	0	0	-39
7	-677	-70	918	-190	729	-570	-56	197	318	171	0	0	-40
8	-478	66	789	-231	559	-699	-54	178	318	171	0	0	-61
9	-464	80	550	-260	290	-501	-75	218	308	166	9	0	-30
10	-898	9	342	-363	-21	-335	-116	265	318	171	597	0	10
11	-1131	0	119	-421	-302	-320	-157	260	308	166	1152	0	22
12	-1468	3	103	-546	-443	-330	-227	270	318	171	1669	0	33
Total	-12087	13	6280	-4503	1777	-5018	-1595	2874	3743	2016	8302	0	-28
During heating (3620,0 h)	-9356	115	2567	-3523	-956	-2564	-1344	2008	2391	1255	8286	0	149
During cooling (0,0 h)	-1423	-88	2077	-479	1598	-1441	-110	427	735	422	0	0	-114
Rest of time	-1308	-14	1636	-501	1135	-1012	-141	439	617	338	16	0	-62

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-714	-467	-209	-577	0	-204
2	-645	-417	-217	-530	0	-189
3	-561	-355	-264	-490	0	-178
4	-376	-234	-292	-349	0	-131
5	-286	-148	-290	-302	0	-112
6	-210	-97	-287	-244	0	-90
7	-188	-111	-308	-190	0	-70
8	-153	-33	-210	-231	0	-83
9	-197	-81	-93	-260	0	-92
10	-399	-262	-107	-363	0	-130
11	-515	-336	-132	-421	0	-147
12	-667	-433	-174	-546	0	-193
Total	-4911	-2973	-2583	-4503	0	-1620
During heating	-4053	-2569	-1474	-3523	0	-1261
During cooling	-409	-192	-644	-479	0	-178
Rest of time	-449	-212	-465	-501	0	-182

Bilaga 3
Analysresultat

Datasammanställning Hovås Radhus

Revitdata

MJ (sensible and latent)

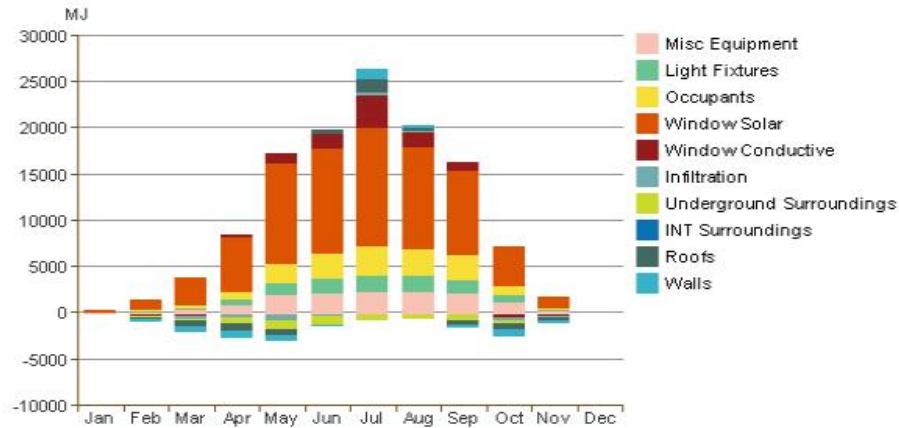
Month	Envelope & Thermal Bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech. supply air			Infiltration & Openings			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses
	Värme	Kyla	Total		Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total			
1	-12900	0	-12900		1500	343	1843	-14612	0	-14612																		
2	-10453	-900	-11353		1946	1260	3206	-9370	-280	-9650																		
3	-10729	-1720	-12449		3240	3000	6240	-9841	-280	-10121																		
4	-5600	-2215	-7815		2200	5860	8060	-5041	300	-4741																		
5	-1220	-2200	-3420		980	10938	11918	-1820	1200	-620																		
6	-160	-1080	-1240		480	11315	11795	-589	1598	1009																		
7	0	-654	-654		0	12945	12945	0	3300	3300																		
8	0	-450	-450		0	15689	15689	-372	1600	1228																		
9	-380	-1500	-1880		417	9144	9561	-569	900	331																		
10	-3218	-1800	-5018		986	4300	5286	-3349	-713	-4062																		
11	-6767	-600	-7367		1400	1300	2700	-6417	-413	-6830																		
12	-8600	0	-8600		1000	0	1000	-8019	0	-8019																		
Total			-73146				90243			-52787																		
During heating (0.0 h)	-60027				14149			-59999																				
During cooling (1060.0 h)		-13119				75751			7212					-1264			15800				14442				10040			
Rest of time																												

kWh (sensible and latent)

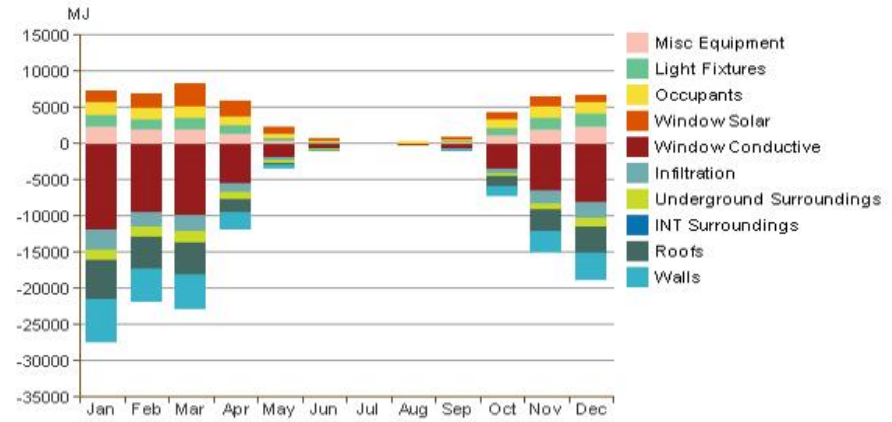
Month	Envelope & Thermal Bridges			Internal Walls and Masses	Window Solar			Window Conduct			Mech. supply air			Infiltration & Openings			Occupants			Equipment			Lighting			Local heating units	Local cooling units	Net losses
	Värme	Kyla	Total		Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total	Värme	Kyla	Total			
1	-3583	0	-3583		417	95	512	-4059	0	-4059																		
2	-2904	-250	-3154		541	350	891	-2603	-78	-2681																		
3	-2980	-478	-3458		900	833	1733	-2734	-78	-2811																		
4	-1556	-615	-2171		611	1628	2239	-1400	83	-1317																		
5	-339	-611	-950		272	3038	3311	-506	333	-172																		
6	-44	-300	-344		133	3143	3276	-164	444	280																		
7	0	-182	-182		0	3596	3596	0	917	917																		
8	0	-125	-125		0	4358	4358	-103	444	341																		
9	-106	-417	-522		116	2540	2656	-158	250	92																		
10	-894	-500	-1394		274	1194	1468	-930	-198	-1128																		
11	-1880	-167	-2046		389	361	750	-1783	-115	-1897																		
12	-2389	0	-2389		278	0	278	-2228	0	-2228																		
Total	0	0	-20318		0	0	25068	0	0	-14663				-13657	0	0	-4157	0	0	7847	0	0	7973	0	0	5650		
During heating (0.0 h)	-16674	0	0		3930	0	0	-16666	0	0				-4827	0	0	3458	0	0	3961	0	0	2861	0	0	0		
During cooling (1060.0 h)	0	-3644	0		0	21042	0	0	2003	0				-6223	0	0	-351	0	0	4389	0	0	4012	0	0	2789		
Rest of time	0	0	0		0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Bilaga 3 Analysresultat

Monthly Cooling Load



Monthly Heating Load



IDA-data

All zones
kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Solar	Window Conduct.	Window & Solar	Mech. supply air	Infiltration & Openings	Occupants	Equip-ment	Lighting	Local heating units	Local cooling units	Net losses
1	-4033	4	451	-1662	-1211	-766	-550	809	1161	626	3889	0	76
2	-3714	-21	860	-1522	-662	-693	-489	730	1049	565	3173	0	60
3	-3490	-40	1669	-1412	257	-780	-448	800	1161	626	1895	0	31
4	-2884	-235	2495	-1031	1465	-886	-255	734	1124	605	371	0	-33
5	-2495	-119	2736	-947	1789	-1246	-256	670	1161	626	1	0	-124
6	-2105	-108	2659	-768	1891	-1566	-210	578	1124	605	0	0	-208
7	-2141	-310	2749	-621	2128	-1620	-169	549	1161	626	0	0	-217
8	-1708	220	2409	-764	1646	-1970	-151	481	1161	626	0	0	-305
9	-1581	376	1879	-886	993	-1640	-216	567	1124	605	0	0	-227
10	-2117	282	1385	-1109	276	-978	-295	742	1161	626	359	0	-50
11	-2887	6	513	-1211	-698	-748	-403	776	1124	605	2193	0	38
12	-3720	8	467	-1574	-1106	-766	-571	807	1161	626	3499	0	67
Total	-32875	64	20274	-13505	6769	-13657	-4012	8242	13670	7365	15380	0	-891
During heating (4735,0 h)	-21146	289	6120	-8890	-2770	-4827	-2940	4914	7120	3776	15350	0	255
During cooling (2447,0 h)	-7070	-434	9303	-2604	6699	-6223	-595	1934	4185	2414	0	7609	-888
Rest of time	-4659	210	4851	-2011	2840	-2607	-477	1394	2365	1175	30	0	-258

Envelope transmission
kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1286	-1648	-657	-1662	0	-443
2	-1160	-1470	-673	-1522	0	-411
3	-1017	-1262	-824	-1412	0	-387
4	-708	-917	-968	-1031	0	-290
5	-586	-636	-1006	-947	0	-268
6	-442	-432	-1011	-768	0	-219
7	-398	-453	-1112	-621	0	-178
8	-375	-277	-844	-764	0	-211
9	-464	-434	-442	-886	0	-240
10	-700	-826	-294	-1109	0	-297
11	-926	-1184	-457	-1211	0	-320
12	-1203	-1527	-573	-1574	0	-418
Total	-9265	-11067	-8860	-13505	0	-3683
During heating	-6572	-8305	-3872	-8890	0	-2396
During cooling	-1510	-1538	-3290	-2604	0	-733
Rest of time	-1183	-1224	-1698	-2011	0	-555