

# En studie av indata i energiberäkningar utförda i ett system- och bygghandlingsskede

Joel Nilsson, Sven Lundgren

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2015  
Rapport TVIT--15/5053



En studie av indata i energiberäkningar  
utförda i ett system- och bygghandlingskede

---

*Joel Nilsson, Sven Lundgren*

# Förord

Detta examensarbete avslutar våra fem år i Lund och fullbordar vår civilingenjörsexamen på Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har genomförts under vårterminen 2015 på avdelningen för installations- och klimatiseringslära inom Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola.

Vi tackar vår handledare Hans Bagge, vid Lunds Tekniska Högskola, för god vägledning och värdefulla synpunkter och kommentarer under våren. Vi tackar också Hans Söderling, vår biträdande handledare på NCC Construction Malmö, som gett oss möjligheten att genomföra examensarbetet med material från NCC.

Dessutom tackar vi Ulla Jansson, på MKB Fastighets AB, som under ett par möten tagit sig tid att diskutera vår fortsatta process med examensarbetet och gett oss intressant information om projekt Greenhouse.

*Joel Nilsson & Sven Lundgren*

*Lund, juli 2015*

# Sammanfattning

- Titel:** En studie av indata i energiberäkningar utförda i ett system- och bygghandlingsskede
- Författare:** *Joel Nilsson och Sven Lundgren, civilingenjör Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola, LTH.*
- Handledare:** *Hans Bagge, Avdelningen för byggnadsfysik inom Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola, LTH.*  
*Hans Söderling, NCC Construction Malmö.*
- Examinator:** *Dennis Johansson, Avdelningen för installations- och klimatiseringslära inom Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola, LTH.*
- Syfte:** Syftet med detta examensarbete är att studera indata i energiberäkningar utförda under system- och bygghandlingsskedet av byggnaden Greenhouse i Malmö. Studien fokuserar på hur indata har ändrats mellan olika versioner av beräkningarna och hur en tredjepartsgranskning skulle kunna utföras. Specifikt studeras:
- Vilka indata som använts i programmet vid energiberäkningarna utförda inom ramen för projektet.
  - Hur indata har ändrats mellan de olika versionerna av beräkningar.
  - Vilka delar av den totala energianvändningen som har beräknats med hjälp av energiberäkningsprogrammet.
  - Hur indata relaterar till de krav som ställts på Greenhouse.
- Metod och material:** Omfattningen av de utförda energiberäkningarna är stor och ett urval av dessa beräkningar, benämnda som versioner i rapporten, görs. Det krävs också att ett verktyg skapas för att säkerställa att all indata i samtliga versioner studeras på ett likvärdigt och systematiskt vis. Verktuget, benämnd checklistan, skapas med bakgrund av en teoretisk beskrivning av en byggnads totala energianvändning, de energikrav som ställs på Greenhouse och en genomgång av energiberäkningsprogrammet IDA ICE som de studerade versionerna har utförts i. Utöver de lagstadgade kraven i Boverkets byggregler skall Greenhouse klara passivhuskrav enligt FEBY 12, uppnå betyg Guld i Miljöbyggnad och Miljöklass A i Miljöbyggprogram SYD.
- Checklistan delas upp i två huvuddelar; en på byggnadsnivå och en på lägenhetsnivå. Indata på byggnadsnivå behandlar ortspecifik data, byggnadselement, köldbryggor, luftläckage, värmeproducerande enhet, luftbehandlingsaggregat och övrig energi och förluster. På

lägenhetsnivå studeras en lägenhet vilken ses som en referenslägenhet som anses representera stora delar av byggnaden. På lägenhetsnivå studeras indata gällande rumsgeometri, ventilation, rumsenheter och internvärmelaster. Totalt sett studeras 333 identifierade indata i 48 olika versioner av beräkningar.

#### **Resultat och analys:**

Av 333 identifierade indata är det 234 indata som har använts i minst en version och resterande 99 indata har aldrig tilldelats ett värde eller beskrivning. 129 av de 234 använda indata har varit konstanta från första till sista versionen. När modelleringen av byggnaden ökat i komplexitet har antalet använd indata ökat.

Exempel på indata som har använts och som har ändrats mellan versionerna är indata för köldbryggor på byggnadsnivå där tolv indata har identifierats. Dessa indata har behandlat värmeflöden för elva specifika typer av köldbryggor och ett schablonvärde för samtliga köldbryggor. I de först upprättade versionerna i systemhandlingsskedet har antingen schablonvärdet använts eller indata för fyra specifika köldbryggor. Antalet använda indata för de specifika köldbryggorna har sedan ökat, där det i den sista studerade versionen i bygghandlingsskedet har använts indata för tio specifika typer av köldbryggor. Att de specifika köldbryggorna inte har använts i vissa av de första versionerna i systemhandlingsskedet skulle kunna bero på att de byggnadsdetaljer som ger upphov till köldbryggor inte varit projekterade tillräckligt detaljerat för att möjliggöra en beräkning av köldbryggorna.

Några av de indata som varit konstanta genom samtliga versioner är sådana som varit kända från första början och där ingen anledning funnits att ändra dessa då de beskrivit gällande förutsättningar. Under ortspecifika data har bland annat den geografiska placeringen av byggnaden angetts, vilken är ett exempel på indata som varit konstant. Exempel på andra indata som har varit konstanta är vissa indata i luftbehandlingsaggregaten så som verkningsgraden på fläktarna.

För att kunna analysera hur ändrad indata mellan versionerna har relaterat till ställda krav på byggnaden har vissa ställda krav undersökts för referenslägenheten. Kontroll av kravet på byggnadens specifika energianvändning enligt FEBY 12 om 50 kWh/m<sup>2</sup> har visat sig ha uppfyllts i flera av de studerade versionerna. I tidiga versioner under systemhandlingsskedet har dock energianvändningen ökat, och kravet inte uppfyllts, i samband med att antalet använd indata har ökat. I versionerna upprättade under senare del av systemhandlingsskedet och under hela bygghandlingsskedet har den specifika energianvändningen stabiliserats i kring av kravet på 50 kWh/m<sup>2</sup>. Detta kan vara en konsekvens av att det gjorts byggnads- och installationstekniska förbättringar vilket medför förändrad indata baserade på erfarenheter från tidigare versioner där den specifika energianvändningen visat sig vara för hög.

Exempelvis har U-värdet på flera av byggnadselementen minskats i anknytning till att den specifika energianvändningen stabiliserats kring kravet.

**Slutsatser:**

Resultaten i studien visar på att alla delar i den specifika energianvändningen i Greenhouse inte har varit en del av beräkningarna i IDA. Delar som transmissionsförluster, luftläckage, ventilation och återvunnen värme har varit en del av de studerade versionerna. Det finns också delar av den specifika energianvändningen som delvis funnits med i versionerna; distributions- och reglerförluster, värmestillskott och värmestillskott via solstrålning, samt fastighetsel. Tappvarmvattenanvändning har endast funnits med i en version.

Undersökningen av relationen mellan indata och ställda krav kan inte användas som underlag för slutsatser om hur den verkliga byggnaden kommer att förhålla sig till respektive krav. Det beror på avgränsningar, förenklingar och antaganden gjorda i studien. Detta medför att kontrollen av indata i förhållande till kraven endast skall ses som ett sätt att analysera indata i de studerade versionerna. Undersökningen av indata i relation till kraven visar på att det finns krav som inte har uppfyllts i vissa av versionerna.

Möjligheten att genomföra en tredjepartsgranskning av energiberäkningar utförda i IDA anses vara begränsad. Studien har visat på att förenklingar och antagande har gjorts vid utförandet av beräkningarna som blir svåra för en tredje part att tolka i efterhand.

**Nyckelord:**

Energiberäkning, energibalans, IDA ICE, indata, Greenhouse Augustenborg,

# Abstract

- Title:** A study of input in energy calculations performed in a system and project documentation phase
- Author:** *Joel Nilsson and Sven Lundgren*, Civil Engineering program at the Faculty of Engineering, Lund University
- Supervisors:** *Hans Bagge*, Division of Building Physics, Department of Building and environmental Technology at the Faculty of Engineering, Lund University  
*Hans Söderling*, NCC Construction Malmö
- Examiner:** *Dennis Johansson*, Division of Building Services, Department of Building and environmental Technology at the Faculty of Engineering, Lund University
- Purpose:** The purpose of this thesis is to study the input of data in energy calculations performed during system and construction document phase, at the conduction of the construction project Greenhouse in Malmo. The study focuses on how the input data has changed between different versions of the calculations and how a third-party audit could be carried out. Specifically studied:
- What type of input data that have been used in the program used for the energy calculations performed within the framework of the project.
  - Changes of input data between calculation versions.
  - Which parts of the total energy use that has been calculated with help of the energy calculation program.
  - How the input data relate to the requirements set for Greenhouse.
- Method:** The number of conducted energy calculations is big and a selection of these calculations, called versions in the report, are made. It also requires a tool created to ensure that all inputs, in all the versions, is studied in an equal and systematic way. The tool, called the checklist, was created partly by a theoretical description of a building's total energy use, the energy requirements at Greenhouse and a review of the energy calculation software IDA ICE which the studied versions have been calculated with. In addition to the statutory requirements of the Swedish National Board of Housing, Building and Planning, Greenhouse should also meet passive house requirements according to FEBY 12, achieve rating Gold in Miljöbyggnad and Environmental class A in Miljöbyggprogram SYD.

The checklist is divided into two main parts; one at building level and one at apartment level. Input at the building level is divided into the sub sections geographical specific data, building elements, thermal bridges, air leakage, heat-producing unit, air handling units and other energy and losses. In the apartment level an apartment which is seen as a reference apartment which is considered to represent a large part of the building are studied. At the apartment level input regarding room geometry, ventilation, room units and internal heat loads are studied. Overall 333 identified inputs in 48 different versions of the calculations are studied.

### **Results and analysis:**

Of the 333 identified inputs 234 inputs that have been used in at least one version and the remaining 99 inputs has never been assigned a value or description. 129 of the 234 used inputs has been constant from the first to the last version. When the model of the building increased in complexity so did the number of input data in the model.

Examples of inputs that has been used and changed between the versions is the inputs of thermal bridges at the building level where twelve inputs have been identified. These inputs have shown heat flows for eleven specific types of thermal bridges and the last is a standard value for all thermal bridges. In the first versions of the system documentation phase have either the standard value been used, or input for four specific thermal bridges. The number of used input for the specific thermal bridges have then increased. In the last studied version of the project documentation phase input for ten specific types of thermal bridges have been used. Why the specific thermal bridges have not been used in some of the first versions of the system documentation phase could be due to that the construction details that are the source to the thermal bridges not had been designed to the extent that a calculation is possible to conduct.

Some of the input that has been constant through all versions are the kind of input that have been known from the beginning and where no reason exists to change them when they described the predetermined conditions. Geographical specific data, including the geographical location of the building set, is an example of inputs that has been constant. Examples of other input that has remained constant parts of the input describing the air handling units, like the efficiency of the fans.

In order to analyze how input data relates to the fulfilment of the requirements set for the building in the different versions the reference apartment have been used. Comparison of the calculated specific energy use and the requirement of the building's specific energy use according to FEBY 12 of 50 kWh/m<sup>2</sup> has shown that in several of the studied versions the calculated specific energy use is lower then the levels of the requirement. In early versions of the system documentation phase, however, energy use increased, and the requirement is not met, when the number of used inputs increased. In the versions drawn up in the later part of the project documentation



phase and throughout the construction documentation phase, the specific energy consumption has stabilized in the surrounding of the requirement of 50 kWh/m<sup>2</sup>. This may be a consequence of improvements due to building- and or services technical changes based on the experience of previous versions where the specific energy requirements has not been met. For example, the U-value on a number of building elements is reduced in affiliation to when the specific energy consumption stabilized around the requirement.

**Conclusions:**

The results of the study show that all parts of the specific energy consumption in Greenhouse has not been a part of the calculations conducted with IDA. The parts transmission losses, air leakage, ventilation and heat recovered are a part of the studied versions. There are also parts of the total energy that is partly been included in the versions; distribution and control losses, heat gain and heat gain through solar radiation, as well as property electricity. The part which, except in one version, never have been included is domestic hot water use.

The examination of how the input data relates to the requirements can't be seen as a basis for any conclusions about whether the actual building will meet the requirements or not. Depending on the limitations, simplifications and assumptions made in the study. This means that the control of input data relative to the requirements should only be seen as a way to analyze the input data in the studied versions. The examination of how input data relates to the requirements shows that there are requirements that have not been met in some versions.

The ability to conduct a third party review of energy calculations performed in IDA is considered to be limited. The study has shown that simplification and assumptions have been made in the calculations that makes it difficult for a third party to interpret the data in hindsight.

**Keywords:**

Energy calculation, energy balance, IDA ICE, input, Greenhouse Augustenborg

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	4
1.2	Avgränsningar.....	4
2	Metod och material.....	5
2.1	Övergripande metod .....	5
2.2	Objektsbeskrivning Greenhouse .....	6
3	Teoretisk bakgrund.....	9
3.1	Energianvändning i byggnader .....	9
3.2	Kravställningar .....	15
3.3	Energiberäkningsprogrammet IDA ICE .....	26
4	Urval och sammanställning av versioner .....	29
5	Skapande av checklista.....	31
5.1	Den geometriska modellen av byggnaden .....	31
5.2	Indata på byggnadsnivå.....	33
5.3	Indata på zonnivå - referensplanet .....	51
5.4	Sammanställning av identifierad indata i checklistan .....	57
5.5	Utdata från versionerna för studie av indatas relation till krav .....	57
6	Resultat och diskussion .....	59
6.1	Antal använd indata – en generell översikt.....	59
6.2	Ortspecifik data .....	61
6.3	Byggnadselement .....	62
6.4	Köldbryggor .....	67
6.5	Luftläckage.....	72
6.6	Värmeproducerande enhet – fjärrvärmväxlare .....	72
6.7	Luftbehandlingsaggregat.....	74
6.8	Övrig energi och förluster .....	81
6.9	Indata på zonnivå - referensplanet .....	82
6.10	Indata i relation till ställda krav.....	84
7	Slutsats .....	97
8	Referenser .....	99

# 1 Inledning

Den svenska regeringen har antagit klimatmål där det övergripande målet är att minska utsläppen av växthusgaser med 40 % till 2020 i förhållande till nivån 1990 (Miljö- och energidepartementet, 2015). Som en del i detta arbete ingår bland annat att använda minst 50 % förnybar energi och en effektivisering av energianvändningen med 20 % (Miljö- och energidepartementet, 2015).

Byggnader står i dag för ca 40 % av energianvändningen i Sverige (Energimyndigheten, 2012). För att uppnå de miljömål som regeringen har formulerat så har de delat ut uppdrag till olika myndigheter däribland Boverket. Man ålägger Boverket att bland annat *”verka för att det generationsmål för miljöarbetet och de miljö kvalitetsmål som riksdagen har fastställt nås”* (Attefall, 2012).

Boverket har möjlighet att genom sina byggregler (BBR) ställa olika typer av krav på det som skall byggas (Boverket, 2014b). Man har valt att bland annat ställa krav på energianvändning och skiljer på vilken typ av energi som används för uppvärmning (Boverket, 2014a). Hårdare krav ställs på byggnader som är eluppvärmda än byggnader som har ett annat uppvärmningssätt (Boverket, 2014a).

Utvecklingen inom byggbranschen går mot att större vikt läggs på att ställa skarpare krav på byggnadernas miljöpåverkan. Ett exempel på detta är bildandet av Sweden Green Building Council (SGBC) 2009, vars mål är ett grönt byggande (SGBC, 2014d). SGBC är en ideell förening grundad av tretton svenska företag som idag är öppen för alla aktörer på den svenska bygg- och fastighetsmarknaden (SGBC, 2014d). Med utvecklingen av energieffektivisering och miljöprofilering som bakgrund har SGBC upprättat miljöcertifieringen Miljöbyggnad vars fokus är att en certifierad byggnad ska ha hög kvalitet gällande tre områden; energi, inomhusmiljö och material (SGBC, 2014c). Områdena i sin tur delas in i totalt sexton indikatorer som ligger till grund för bedömning av och betygsättning på en byggnad. Betygen i Miljöbyggnad är graderat i fyra nivåer; Klassad, Brons, Silver och Guld (SGBC, 2014b).

Det finns flera andra miljöcertifieringssystem som ytterligare stärker bilden av att miljöcertifieringar av olika slag ligger i tiden. Vissa av dessa system har sitt ursprung utanför Sverige så som BREEAM som kommer från Storbritannien (SGBC, 2015a). En BREEAM-bedömning innebär att uppmätta värden är jämförda med kravställningar på en rad olika områden så som energi- och vattenanvändning, inomhusmiljö, miljöförstöring, transport, material, avfall, ekologi och ledningsprocesser (BRE Global Limited, 2015). Då BREEAM har sitt ursprung i Storbritannien har en anpassning till de svenska byggreglerna gjorts som gör det möjligt att certifiera byggnader i Sverige (SGBC, 2015a). Det vanligaste miljöcertifieringssystemet är idag den amerikanska certifieringen LEED som funnits sedan 2000 (U.S. Green Building Council, 2015). Även vid certifiering enligt LEED tas hänsyn till flertalet aspekter så som närmiljö, energi- och vattenanvändning, material, inomhusmiljö och en byggnad kan även erhålla bonuspoäng vid ett regionalt hänsynstagande eller innovation (SGBC, 2015b).

En annan utveckling i byggbranschen till följd av globala klimatmål är implementeringen av begreppet passivhus. Ett passivhus är en byggnad som i huvudsak värms upp av den spillvärme som alstras i byggnaden där grundidén är att byggnaden inte skall behöva ett konventionellt värmesystem (Passive House Institute, 2015). Den exakta definitionen av vad ett svenskt passivhus är definieras av organisationen Sveriges centrum för nollenergihus (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013b).

Dessa definitioner sammanställs i dokumentet FEBY 12 (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). I dokumentet redovisas de krav som en byggnad ska uppfylla för att enligt dem klassas som ett passivhus.

Vid köp av mark för nybyggnation i Malmö Stad och Lunds kommun skall man bygga enligt miljöprogrammet Miljöbyggprogram SYD. Programmet är utformat i samarbete mellan Malmö Stad, Lunds kommun och Lunds Universitet med syftet att verka för ett hållbart byggande. Programmet är indelat i sex olika kärnområden; energi, fuktsäkerhet, inommiljö, urban biologisk mångfald, byggnadsakustik och trafikbuller. I varje kärnområde finns tre olika ambitionsnivåer att sträva efter; Miljöklass C, B och A där den sistnämnda har högst krav. (Miljöbyggprogram SYD, 2012)

Vid utvecklingen av byggnaden Greenhouse i Malmö har flera certifieringar och program tillämpats som kravställningar i projektet. MKB Fastighets AB (MKB), beställare av Greenhouse, framhåller byggnaden som ett spjutspetsprojekt inom energieffektivisering och innovativ miljöteknik. Utöver de lagstadgade krav som ställs i Boverkets byggregler (BBR) som åligger alla som avser att genomföra en renovering eller nybyggnation, ställs ytterligare krav på Greenhouse. Detta görs genom att uppföra delar av byggnaden med passivhusstandard enligt FEBY 12 samtidigt som den skall miljöcertifieras som Miljöbyggnad Guld, målet är också att uppnå Miljöklass A i Miljöbyggprogram SYD (NCC, 2015).

MKB har anlitat NCC att för deras räkning uppföra en bostadsbyggnad med 12 etagelägenheter av radhustyp och 34 lägenheter i ett fjortonvåningshus som även inrymmer två studentkollektiv. Utöver bostäderna finns också fyra förskoleavdelningar, en teater, ett storkök och ett café (NCC, 2015). Fastigheten är belägen i Augustenborg i Malmö som är ett bostadsområde från 50-talet som sedan 1998 varit under utveckling som konceptet "*Ekostaden Augustenborg*" vilket innebär en varsam klimatanpassning (MKB Fastighets AB, 2015b). Augustenborg har sedan dess varit det område som MKB valt att använda som sitt testområde för nya miljölösningar (MKB Fastighets AB, 2015b).

För att möjliggöra uppförandet av byggnader som uppfyller högt ställda krav ökar också kraven på de utredningar och utvärderingar som måste göras för att garantera att de mål som ställs verkligen kommer att uppfyllas i de verkliga byggnaderna under drift. Hur kan man med säkerhet säga att en ännu inte uppförd byggnad kommer att använda ett visst antal kilowattimmar för sin uppvärmning årligen? För att modellera verkligheten och byggnadens framtida miljöpåverkan genomförs beräkningar och simuleringar för att förutspå en byggnads energianvändning, inommiljö och miljöpåverkan. Beräkningarna genomförs för att förutsäga hur en färdigställd byggnad kommer att prestera. Det ställs också krav på att sådana beräkningar skall genomföras för att uppfylla Boverkets byggregler och att en byggnad skall kunna certifieras enligt eventuella miljö- och energicertifieringssystem.

En ny metod har tagits fram för att verifiera uppfyllandet av energikrav vid nybyggnation och ge möjlighet för en byggherre att teckna avtal med en entreprenör eller konsult med energikrav som blir bindande i praktiken (Lundberg, 2014). Med bindande krav ökar behovet av riktighet i beräkningarna. Vid eventuella skillnader mellan uppmätt och beräknad energianvändning skulle det kunna vara av intresse att ta reda på vilken indata som använts och vem som är ansvarig för den. Vid en sådan utredning är det inte helt orimligt att denna bedömning måste göras av en oberoende tredje part.

En studie från 2007, där mätningar utförda på 200 lägenheter i Västra hamnen i Malmö i byggnader som var uppförda med skärpta krav på energianvändning, visar på att den genomsnittliga energianvändningen var 50 % högre än beräknat (Bagge, 2007). Ytterligare en studie från 2005 visar att den uppmätta totala energianvändningen är 3-50 % högre än beräknat för fyra studerade flerbostadshus i Stockholm (Stenberg & Hagenren, 2005).

2010 genomfördes en uppföljning av ett tiotal fastigheter i kvarteret Flagghusen i Malmö som visar att den uppmätta energianvändningen är betydligt högre än den på förhand projekterade energianvändningen i samtliga byggnader (Kjellman, 2010). En egentlig slutsats om vad som orsakat avvikelserna är inte dragen men möjliga felkällor förklaras bland annat vara för höga innetemperaturer, brukarnas boendevanor och felaktigt anpassat styrsystem för värme (Kjellman, 2010). Dessutom förs resonemang om att delar av fastighetselen i vissa fall inte tagits med i den beräknade energianvändningen och att all spillvärme från el antagits tillgodogöra byggnaderna som värme (Kjellman, 2010).

2011 genomförde LÅGAN en sammanställning av uppförda lågenergibygnader i en rapport, där man bland annat redovisar energianvändningen för 24 flerbostadshus med både projekterade och uppmätta värden på energianvändningen. Resultaten i rapporten visar att ett medeltal för alla husen ger ett värde på den uppmätta energianvändningen som stämmer bra överens med de projekterade värdena på energianvändningen (Wahlström, 2011). De projekterade värdena visade sig ligga i genomsnitt 2 kWh/m<sup>2</sup> lägre än de uppmätta värdena. Dock var avvikelserna stora för individuella hus, där uppmätt energianvändning varierade från 28 kWh/m<sup>2</sup> lägre än projekterad energianvändning och 16 kWh/m<sup>2</sup> högre än projekterad energianvändning (Wahlström, 2011).

Med bakgrund av att byggnader många gånger använder mer energi än beräknat genomfördes ett examensarbete under 2013 med syftet att, genom intervjuer och enkätundersökningar, ge en nulägesrapport över hur förfarandet av energiuppföljningar hos fastighetsförvaltare ser ut (Gottlieb & Magnusson, 2013). En tredjedel av fastighetsförvaltarna som svarat på enkätundersökningen har gjort uppföljningar som visat att de hus de byggt under de senaste fem åren använder mer energi än beräknat. En tredjedel säger sig ha gjort uppföljningar som visat att de hus de byggt under de senaste fem åren använder samma mängd energi som beräknat.

Det finns ett flertal rapporter och studier som visar på avvikelser mellan uppmätt och beräknad energianvändning. Vid en eventuell avvikelse har den ofta förklarats bero antingen på felaktig indata i beräkningarna eller att de färdiga byggnaderna inte använts som avsett. Den beräkning som uppmätt energianvändning jämförs med är den sista beräkningen i projekteringen då den bäst beskriver byggnaden. En beräkning av en byggnads energianvändning bygger på en stor mängd indata som används för att beskriva byggnaden och dess ingående delar och system. I tidigare studier har den sista beräkningen i projekteringen många gånger granskats men ingen av dessa har undersökt hur indata har ändrats under processen som slutligen lett fram till det beräknade värdet av byggnadernas totala energianvändning. En studie av hur indata förändras under projekteringen av ett projekt skulle kunna bidra till en ökad förståelse för vilken indata som ligger till grund för energiberäkningarna, hur mängden tillgänglig information i de olika projektskedena speglas i mängden indata i energiberäkningarna och vilka värden som då använts på indata. En ökad förståelse för hur indata har utvecklats under en energiberäkningsprocess skulle kunna vara av stort intresse vid en tredjepartsgranskning där en granskning mellan uppmätt och beräknad energianvändning skall göras. Granskningen behöver inte nödvändigtvis göras med bakgrund av att det visat sig vara en skillnad mellan uppmätt och beräknad energianvändning, utan den skulle lika gärna kunna genomföras med syftet att föra vidare goda erfarenheter från ett projekt där den uppmätta och den beräknade energianvändningen visat sig stämma väl överens.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att studera indata i energiberäkningar utförda under system- och bygghandlingsskedet av byggnaden Greenhouse i Malmö. Studien fokuserar på hur indata har ändrats mellan olika versioner av beräkningarna och hur en tredjepartsgranskning skulle kunna utföras. Specifikt studeras:

- Vilka indata som använts i programmet vid energiberäkningarna utförda inom ramen för projektet.
- Hur indata har ändrats mellan de olika versionerna av beräkningar.
- Vilka delar av den totala energianvändningen som har beräknats med hjälp av energiberäkningsprogrammet.
- Hur indata relaterar till de krav som ställts på Greenhouse.

## 1.2 Avgränsningar

Studien kommer endast att utgå från de energiberäkningar som är utförda på objektets höghusdel. Avgränsningen medför att rapporten endast kommer att fokusera på den del av byggnaden som utgörs av bostäder med krav på passivhusstandard enligt FEBY 12 och miljöcertifiering Miljöbyggnad Guld.

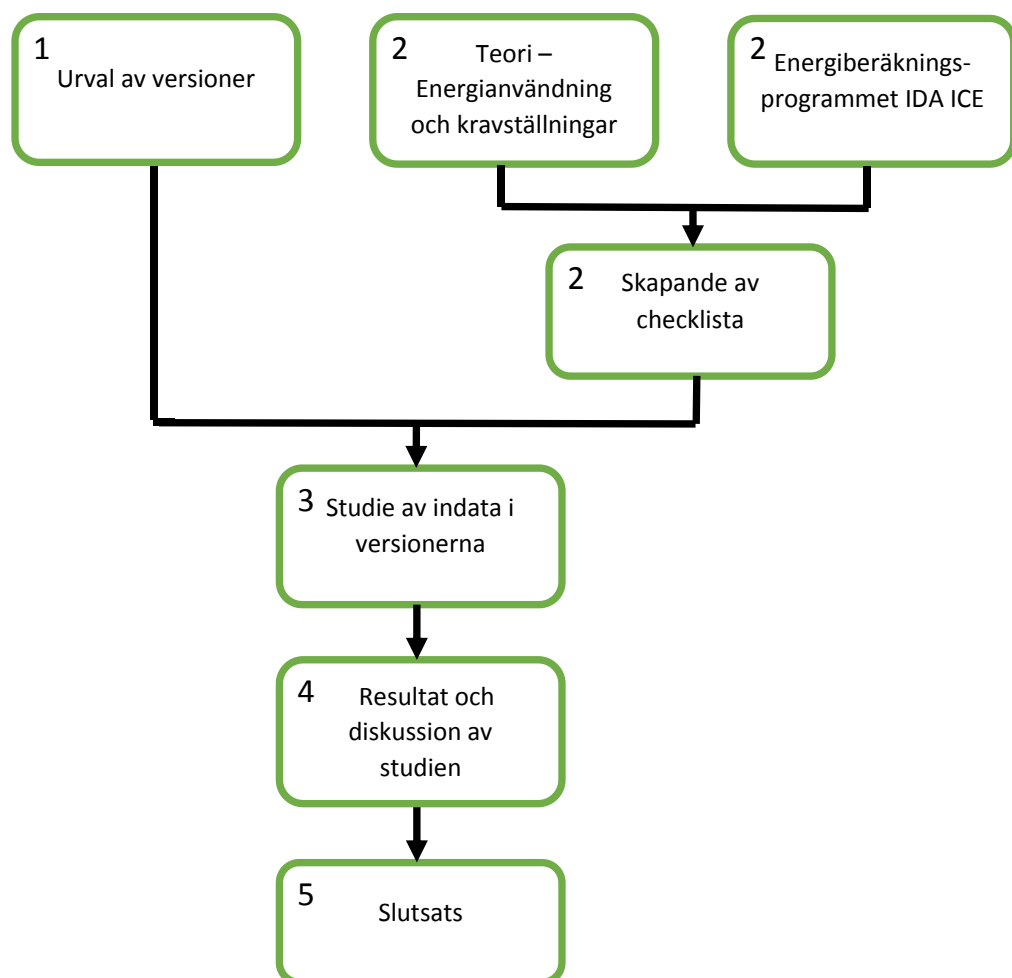
Studien av indata omfattar endast versioner av energiberäkningar i energiberäkningsprogrammet IDA som är utförda under projektets system- och bygghandlingsskede. Tidigare energiberäkningar är inte kända och dess indata är därför inte möjlig att studera. Projektet Greenhouse är inte färdigställt vilket medför att den sista energiberäkningen i projekteringen inte finns vid utförandet av denna studie. Det utförs heller inga nya beräkningar under studien utan den baseras på de versioner av beräkningar som tillhandahållits av NCC.

När entreprenören undersökt energianvändningen i byggnaden har man gjort beräkningar utanför IDA. Även om denna studie utgår endast från de energiberäkningar som är gjorda i IDA så anses den ändå kunna visa på vilken typ av resultat en tredjepartsgranskning av energiberäkningarna skulle kunna ge.

# 2 Metod och material

## 2.1 Övergripande metod

Den övergripande metoden har som mål att studera hur indata har ändrats mellan de olika versionerna av energiberäkningar gjorda i IDA. Det utförs som en fallstudie av projektet Greenhouse och de IDA-beräkningar som är utförda i projektets system- och bygghandlingsskede. I Figur 1 visas en schematisk struktur över genomförandet och i anslutning till denna följer en kortfattad beskrivning av de olika delarna i genomförandet.



Figur 1 - Schematisk struktur över genomförandet av studien.

- 1) Alla versionerna av beräkningar utförda i projektet Greenhouse sammanställs och sorteras efter när i tiden de är utförda. Eftersom antalet versioner av energiberäkningar är stort, versionerna är utförda på olika delar av byggnaden och varje version innehåller en omfattande mängd med indata, krävs det en urvalsprocess för att kunna identifiera vilka

versioner som skall ingå i studien. Urvalet av versioner görs i kapitel fyra; Urval och sammanställning av versioner

- 2) För att säkerställa att samtliga versioner kommer att studeras på ett likvärdigt sätt så att skillnader mellan versionerna kan identifieras behövs ett verktyg som möjliggör att detta kan göras systematiskt. Verktöget för att säkerställa detta utformas som en checklista så att alla versioner undersöks på samma sätt. De områden som skall ingå i checklistan bestäms med utgångspunkt i en teoretisk genomgång av de delar som ingår i en byggnads energianvändning, de energikrav som ställs på Greenhouse och hur en byggnad modelleras och hur dess energianvändning beräknas i IDA. Skapandet av checklistan sker i kapitel fem; Skapande av checklista
- 3) Efter urval av versioner och skapande av checklistan registreras all indata i respektive version och dokumenteras med hjälp av checklistan.
- 4) Checklistan ligger som grund till resultatsammanställning och diskussion över vilka indata som använts i respektive version, hur indata har ändrats mellan versionerna och hur indata relaterar till ställda krav i respektive version. Vilket återfinns i kapitel sex; Resultat och diskussion.
- 5) I kapitel sju dras ett antal slutsatser till följd av studien.

## 2.2 Objektsbeskrivning Greenhouse

Greenhouse är för MKB Fastighets AB ett spjutspetsprojekt i utvecklingen av en hållbar och tät stad där Greenhouse ska vara regionens mest klimatsmarta byggnad (MKB Fastighets AB, 2015a). Med byggnadens innovativa lösningar i energi och miljöteknik och unika utformning som inbjuder till odling och social gemenskap är Greenhouse en fortsatt utveckling av Malmös stadsdel "Ekostaden Augustenborg". Innovativa och gröna lösningar som kommer att utmärka Greenhouse är tak med solceller och växthus, intelligent teknik i form av närvarostyrd ventilation och lägenhetsseparat mätning av varmvatten- och elanvändning (MKB Fastighets AB, 2015a). Byggnaden tar sin form i en befintlig tvätteribyggnad som skall innehålla lokaler för bland annat förskola och teater. I anslutning till den befintliga byggnaden byggs två nya byggnader för bostäder; ett höghus med stora odlingsbalkonger och en radhusbyggnad (NCC, 2015).

2008 fick Jaenecke Arkitekter AB i uppdrag av MKB att genomföra de första skisserna av Greenhouse. Skisserna skulle präglas av "Ekostaden Augustenborgs" visioner om hållbarhet och miljöprofilering. Att Greenhouse skulle uppföras som en byggnad med passivhusstandard bestämdes inom MKB under 2011 (Jansson, 2015). Efter avklarad upphandling, i inledningen av 2013, tilldelades NCC projektet att som totalentreprenör i samverkan med MKB genomföra projektet. Efter tilldelningsbeslutet inleddes planeringen och byggnationen av Greenhouse sattes igång sensommaren 2014.

Av intresse för denna rapport är de två första stegen i byggprocessen, planering och projektering, då den efterföljande produktionen ännu inte är slutförd och material från denna därför inte finns tillgänglig. Det material som kommer att studeras är de energiberäkningar i IDA som utförts under system- och bygghandlingsskedet. Projektet gick från systemhandlingskedet till bygghandlingskedet under hösten 2013.



Vid upphandlingen av Greenhouse innehöll förfrågningsunderlaget ett Miljö- och gestaltningsprogram, upprättat av MKB, där beställarens visioner och mål med Greenhouse beskrivits. I gestaltningsprogrammet beskriver MKB bland annat att *"Greenhouse ska vara vår regions mest klimatsmarta byggnad"* och att *"Greenhouse ska vara en spjutspets i energieffektivt byggande som optimeras utifrån att det i vår region är elproduktionens storlek som avgör klimatbelastningen från energiförsörjningen"* (MKB Fastighets AB, 2012a). Greenhouse skall uppnå passivhuskrav enligt FEBY 12 och klassas med betyg Guld enligt Miljöbyggnad. I Miljö- och gestaltningsprogrammet hänvisar MKB till och beskriver att det har genomförts beräkningar för att se hur byggnaden står sig i förhållande till passivhuskraven. Dessa beräkningar har enligt MKB visat att ett typplan i byggnaden kan uppfylla kravet på energianvändning (MKB Fastighets AB, 2012a).

Under projekteringskedet så skall underentreprenörer upphandlas tidigt för att kunna medverka under projekteringen. Projektgruppen skall sedan med utgångspunkt i förslagsritningar lösa miljö- och energikrav genom att välja bygg- och installationssystem (MKB Fastighets AB, 2012b). Som en del av detta arbete har NCC valt att genomföra energiberäkningar i IDA (NCC, 2014).

# 3 Teoretisk bakgrund

I det här kapitlet beskrivs en byggnads energianvändning, kraven som är ställda på Greenhouse och energiberäkningsprogrammet IDA. De krav som beskrivs är Boverkets byggregler, Miljöbyggnad för betyg Guld, passivhuskrav FEBY 12 och Miljöbyggprogram SYD för Miljöklass A. Vid ansökan av bygglov för Greenhouse var BBR 21 den gällande versionen av Boverkets byggregler. Med stöd i dessa beskrivningar skapas checklisten som används i studien.

## 3.1 Energianvändning i byggnader

I en byggnad behövs energi i olika utsträckning och form för att möjliggöra att byggnaden kan användas på avsett vis. Vilken typ av energi som behövs för de olika ändamålen är olika, till vissa ändamål så som hushållsel krävs just el vilket är en mycket högvärdig energi. Till andra ändamål som exempelvis uppvärmning finns det ingen anledning att använda en så högvärdig energikälla som el utan energi i form av värme kan istället användas. Oavsett vilken energikälla som används och hur energin har producerats är den en del av byggnadens energibalans som beskriver energianvändningen i byggnaden enligt uttrycket i Ekvation (1) (Abel & Elmroth, 2013). Denna framställning används för att åskådliggöra de olika delarna i byggnaden som är avgörande för den totala energiprestandan.

$$Q_{energi} = Q_{Värme} + W = Q_t + Q_i + Q_v + Q_{tvv} + Q_{dr} + W_f + W_h - Q_{vå} - Q_{tillskott} - Q_{sol} \quad kWh \quad (1)$$

Ekvationen består av följande poster:

$Q_{energi}$	Energibehov vid normal och avsedd användning av huset.
$Q_{Värme}$	Värmebehov vid normal och avsedd användning av huset.
$W$	Elbehov vid normal och avsedd användning av huset.
$Q_t$	Värmeförluster p.g.a. transmission.
$Q_i$	Värmeförluster p.g.a. luftläckning genom otätheter i klimatskärmen och/eller fönstervädring.
$Q_v$	Värmebehov för ventilation som krävs för uppvärmning av uteluft till innetemperatur.
$Q_{tvv}$	Värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten.
$Q_{dr}$	Distributions- och reglerförluster inne i byggnaden.
$W_f$	Fastighetsel.
$W_h$	Hushållselanvändning.

$Q_{vå}$	Återvunnen värme via t.ex. ventilationsvärmepåväxlare som kan tillgodoräknas byggnaden.
$Q_{tillskott}$	Värmetillskott från personer, elapparater och tappvarmvatten, d.v.s. intern värmelast.
$Q_{sol}$	Värmetillskott via solstrålning genom fönster som byggnaden kan tillgodoräkna.

### 3.1.1 Transmissionsförluster, $Q_t$

Transmissionsförluster är de värmeförluster som sker genom en byggnads klimatskal. Transmissionsförluster beror på att det är en temperaturdifferens,  $\Delta T$ , över klimatskalet. Hur stora dessa förluster blir beror på hur stor  $\Delta T$  är och på värmemotståndet som materialet i klimatskalet har. Hur stor temperaturdifferensen är varierar kraftigt till följd av vilken årstid som råder, tid på dygnet och byggnadens geografiska placering. Denna temperaturdifferens ger upphov till olika stora transmissionsförluster beroende på olika temperaturer på den omgivande utomhusluften. Därför delar man i BBR 21 in landet i tre klimatzoner (Boverket, 2014a). Det geografiska läget och klimatet i kombination med de geologiska förhållandena som definierar temperaturen i marken runt byggnaden påverkar transmissionsförlusterna i de delar av byggnaden som ansluter mot mark. Värmemotståndet beräknas med hjälp av värmekonduktiviteten för materialet och tjockleken av detsamma och betecknas med  $R$  enligt Ekvation (2). Avgörande för hur god isolerande förmåga en byggnadsdel har är värmekonduktiviteten och tjockleken på materialet, om man låter en av dessa vara konstant och ökar den andra så leder det till ett ökat värmemotstånd. Genom att välja ett material med högre värmekonduktivitet kan tjockleken minskas men värmemotståndet bibehållas. Med hjälp av värmemotståndet kan värmegenomgångskoefficienten beräknas, som är vanligt förekommande i byggtekniska sammanhang, vilket är kallat  $U$ -värde. Vilket beräknas enligt Ekvation (3).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (m^2 \cdot K)/W \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (3)$$

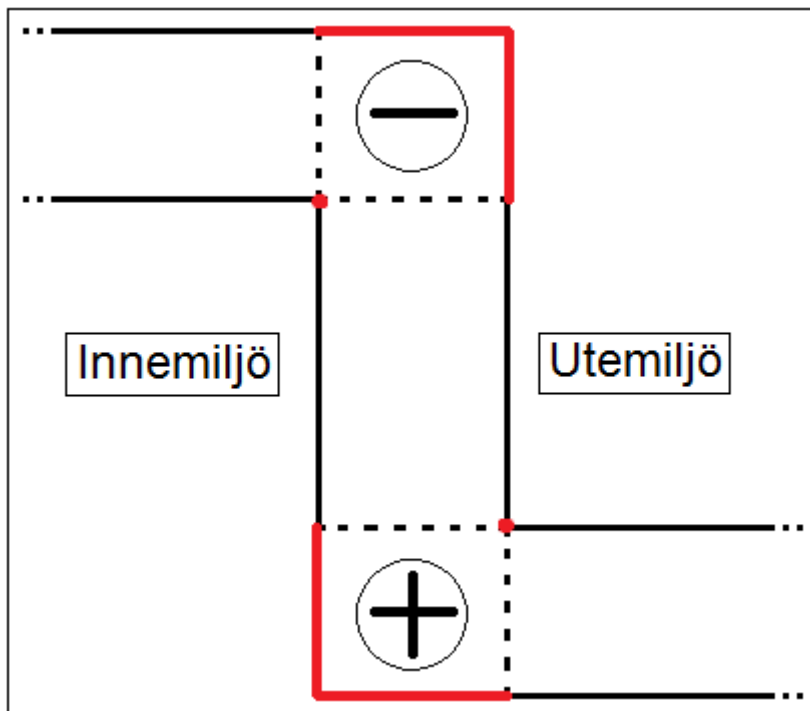
Där

$d$	Tjocklek i m.
$\lambda$	Värmekonduktivitet i $W/(m \cdot K)$ .

(Sandin, 2010)

För att kunna göra en beräkning av de totala transmissionsförlusterna gäller det att identifiera alla ingående delar av klimatskalet och deras respektive värmegenomgångskoefficient. Utöver det värmeflöde som sker genom de olika delarna av klimatskalet uppstår även värmeflöden där de olika delarna ansluter till varandra, till exempel i övergången mellan vägg och fönster. Sådana ställen, där värmeflödet ökar i förhållande till sin omgivning, benämns som köldbryggor. Där geometrin av en byggnad föranleder en anslutning av två ytterväggar bildar ett hörn som ger en ökad värmetransport. Ett hörn kan ses som antingen positiv eller negativ beroende på om hörnets "spets" är vänd mot den uppvärmda inommiljön eller mot utemiljön. I Figur 2 visas en skiss på respektive hörn. Arean på den sida av väggen med "spetsen" är väsentligt större än arean på motstående sida av väggen. En positiv

köldbrygga, med spetsen mot innemiljö, kommer följaktligen ha en större area mot uppvärmd inneluft än area mot uteluft. Det omvända gäller för ett negativt hörn. Det positiva hörnet kommer således ha mindre värmeförluster mot uteklimatet än det negativa hörnet.



Figur 2 - Negativt respektive positivt hörn där den rödmarkerade delen av hörnet motsvarar arean av respektive hörn.

Ytterligare anslutningar som ger upphov till köldbryggor är kompletterande konstruktionsdelar vilka ansluter till klimatskalet så som en balkonginfästning, mellanbjälklag eller en innervägg som ansluter till yttervägg. Balkonginfästningar är en anslutning som ofta leder till stora köldbryggor då man på grund av hållfasthetsskäl blir tvungen att begränsa kantisoleringen (Abel & Elmroth, 2013). Det som måste identifieras då köldbryggor undersöks blir antingen längden av dessa och den värmegenomgångskoefficient som råder för de linjära köldbryggorna alternativt antalet punktformiga köldbryggor och deras värmegenomgångskoefficienter.

När transmissionsförlusterna beräknas är det endast transmission genom klimatskalet som det tas hänsyn till då det är denna transmission som direkt påverkar transmissionsförlusterna från byggnaden. Det sker dock transmissioner inne i byggnaden där värme transporteras mellan delar i byggnaden med olika temperaturer vilket ger upphov till  $\Delta T$ . Dessa är inte förluster i den mening att de lämnar byggnaden men det kan öka uppvärmningsbehovet i en viss del om värmetransport sker från denna del till någon annan del i byggnaden.

### 3.1.2 Luftläckage, $Q_i$

För att minska den totala energianvändningen är det viktigt att arbeta med lufttätheten i klimatskalet. Den luft som passerar ut ur otätheter har man ingen möjlighet att värmväxla i ventilationssystemet och på så sätt tillgodogöra sig den energi som finns i den uppvärmda inneluften. Den luft som passerar ut genom ett otätt klimatskal leder därför till ökat värmebehov. Om uteluft istället tar sig in i byggnaden genom otätheter sker ett ökat uppvärmningsbehov under uppvärmningssäsongen. Med en byggnad som innehåller otätheter finns också en risk för att den fuktproduktion som sker i byggnaden, istället för att forslas bort av ventilationen, läcker ut via

klimatskalet. Det gäller att ventilationen är utformade på ett sådant sätt att den fukt som finns i byggnaden kan ventileras bort så att den inte blir kvar i inneluften (Boverket, 2014a). Ventileras inte den fuktiga luften kan den tränga ut genom otätheter i klimatskalet och orsaka fuktproblem. För att minska risken för problem av detta slag är det viktigt att utforma ventilationssystemet så att det genereras ett undertryck i byggnaden. Vid eventuella otätheter kommer då luften att få en rörelseriktning från högre tryck mot lägre (Elmarsson & Nevander, 2011). Med ett lägre tryck inomhus i förhållande till utomhus erhålls en transport av uteluft in i byggnaden. Ett flöde i motsatt riktning, under exempelvis den kalla delen av året, kan leda till att fuktig inneluft transporteras längre ut i konstruktionen och i takt med att temperaturen faller så ökar den relativa fuktigheten vilket i sin tur skulle kunna leda till fuktproblem (Elmarsson & Nevander, 2011).

Vid ett okontrollerat luftflöde in i byggnaden finns inte någon möjlighet att kontrollera luftkvaliteten. Reningen av tilluften, som normalt sker i ventilationssystemet, kan inte utföras på den uteluft som flödar in i byggnaden genom otätheter och det finns då risk för att oönskade föroreningar kommer in i byggnaden.

En byggnads placering och omgivning är faktorer som kan påverka luftläckaget. Till följd av vind uppstår tryck på lovartsidan och sug på läsidan. Eventuell bebyggelse i anslutning till byggnaden, terrängens utformning i kombination med vindens riktning och styrka påverkar hur stort trycket och eller suget blir. Även höjden av byggnaden har stor betydelse för hur stort trycket blir då vindstyrkan varierar med höjden över marken.

När en dörr öppnas eller ett fönster öppnas för vädring sker ett luftflöde som, i likhet med luftläckaget genom klimatskalet, varken kan värmeväxlas eller kontrolleras. Hur ofta och hur mycket det finns ett behov av vädring kan bero på flera orsaker, så som hur stora värmelasterna är i byggnaden eller hur väl ventilationsanläggningen fungerar (Abel & Elmroth, 2013). Dessa okontrollerade flöden kan vara till en fördel under sommartid då risken för övertemperaturer minskar eller till en nackdel under uppvärmningssäsongen då det kan leda till ett ökat behov av energi för uppvärmning (Abel & Elmroth, 2013).

### 3.1.3 Ventilation, $Q_v$

För att öka en byggnads livslängd, minska risken för att människors hälsa påverkas negativt eller att det uppstår olägenheter då man vistas i byggnaden skall byggnaden och dess installationer utformas på ett sådant sätt att de kan ge förutsättningar för detta (Boverket, 2014a). Ventilationen har en avgörande roll för att detta skall uppnås i byggnaden. Hur stort ventilationsflödet skall vara och hur ventilationssystemet skall utformas beror till stor del på vilka krav som ställs på innemiljön i det specifika fallet. Det råder olika krav vid uppförandet av olika typer av byggnader, en operationssal kräver en högre renhet på luften än ett varulager. Det är också skillnad på uppehållandetsidorna som leder till ändrade krav, det ställs lägre krav på utrymmen där människor bara skall vistas tillfälligt (Boverket, 2014a). Ventilationssystem kan utformas på många olika sätt för att uppfylla olika önskemål. Temperaturen på uteluften är avgörande för behovet av uppvärmning av uteluften innan den tillförs byggnaden som tilluft. Utöver hur stor temperaturstegring som krävs är volymen den faktor som bestämmer hur mycket värme som kommer att krävas (Abel & Elmroth, 2013). En stor luftvolym innehåller en större mängd värme än en liten. Att se till att rätt luftflöden är beräknade och att systemen som sköter distributionen av dessa är väl reglerade är viktigt ur värmebehovssynpunkt (Abel & Elmroth, 2013).

### 3.1.4 Tappvarmvatten, $Q_{tvv}$

Hur stort tappvarmvattenbehov som finns i en byggnad beror på vad byggnaden skall används till. En kontorsbyggnad har i normalfallet ofta betydligt lägre varmvattenanvändning än ett bostadshus. Det som alltså avgör tappvarmvattenanvändningen är vilken typ av brukare som kommer att vistas i byggnaden och hur dennes brukarvanor och beteende ser ut (Abel & Elmroth, 2013). Om brukaren använder sig av maskiner och apparater i byggnaden som kräver stora mängder varmvatten ökar behovet av tappvarmvatten ytterligare. Distributionssystemet av tappvarmvatten kan kompletteras med varmvattencirkulation (VVC), i kretsen mellan varmvattenberedaren och byggnadens tappställen, för att säkerställa att acceptabel temperatur på varmvattnet erhålls när det skall användas vid ett tappställe utan onödig väntetid. Ett sådant system leder till ett ökat energibehov för tappvarmvattenvärmning.

### 3.1.5 Distributions- och reglerförluster, $Q_{dr}$

För att förse en byggnad med den värme som krävs till följd av förluster som sker måste värmen på något sätt distribueras i byggnaden. Hur distributionen är utformad och vad som styr den är avgörande för hur stora distributionsförlusterna blir. Omfattningen av distributionsförlusterna är starkt kopplat till hur stort distributionsområdet är, där långa ledningssträckor exempelvis leder till större förluster än korta ledningssträckor. Ledningarnas placering och eventuell isolering och mängd isolering påverkar förlusterna (Abel & Elmroth, 2013). Dessa typer av förluster uppstår i varmvattenkretsar men även i ventilationssystemet. Om en byggnad har varmvattencirkulation så är detta en stor källa till distributionsförluster (Abel & Elmroth, 2013). Under vissa delar av året, när ett uppvärmningsbehov finns, är dessa förluster inte bara av ondo eftersom de kan hjälpa till att värma byggnaden. Samma fenomen kan istället ge, under delen av året då inget värmebehov finns, ökade värmelaster som kan komma att leda till övertemperaturer i inomhusmiljön som behöver ventileras bort. Därför blir dessa förluster särskilt viktiga att ta hänsyn till vid uppförande av byggnader med hög energiprestanda, där förlusterna kan vara en betydande faktor till ökad energianvändning (Abel & Elmroth, 2013). Reglerförluster i en byggnads värmesystem sker till följd av att systemet inte är justerat som avsett vilket ger upphov till en skillnad mellan önskad och aktuell temperatur i byggnaden.

### 3.1.6 Fastighetsel, $W_f$

Fastighetsenergi är den del av den totala energianvändningen som krävs för drift av de installationer som behövs för att en byggnad skall fungera som avsett. Den inkluderar sådant som drift av ventilationsfläktar, belysning i gemensamma utrymmen och teknikrum, drift av pumpar i värme- och varmvattensystem och drift av hissar (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Mängden fastighetsenergi och andelen av den totala energianvändningen har en tendens att öka i nya mer energieffektiva byggnader till följd av att mer belysning och installationsutrustning används (Abel & Elmroth, 2013). Vissa delar av denna energianvändning kommer, utöver den direkta energi som krävs för att driva dessa, påverka byggnaden i form av värmelaster. Beroende på hur och var denna energi används så skapas värme som tillförs byggnaden i olika omfattning. Likt distributionsförlusterna kan detta i vissa sammanhang vara en fördel och i andra sammanhang vara en nackdel beroende på om det finns ett uppvärmningsbehov eller inte.

### 3.1.7 Hushållsel, $W_h$

Hushållsel är den el som används av brukarna och har ingen direkt anknytning till driften av en byggnad. Den är istället en följd av den verksamhet som bedrivs i byggnaden. I bostäder används hushållselen på ett sätt och i kontor på ett annat. Hur stor användningen blir och när den äger rum är i bostäder starkt beroende av brukaren (Abel & Elmroth, 2013). Omfattningen av hushållsel kan begränsas med hjälp av mer energieffektiv utrustning och ändrade beteendevanor. Denna post är givetvis av intresse vid beräkning av den levererade årsenergin till en byggnad men den ingår inte som en parameter då man beräknar energibehovet i enlighet med Boverkets byggregler. Även om den inte ingår vid dessa beräkningar är den av intresse då den liksom fastighetsel och distributionsförluster leder till värmelaster och påverkar därmed det termiska inneklimatet.

### 3.1.8 Återvunnen värme, $Q_{vå}$

För att minska den totala energianvändningen är det viktigt att ta till vara på den uppvärmning som en gång har skett i byggnaden och inte låta energin gå till spillo. Alla flöden som sker ut ur byggnaden så som avluft i ventilationssystemet och spillvattnet som lämnar avloppssystemet är mer eller mindre energirik. För att ta till vara på så mycket som möjligt av denna energi används värmeåtervinning på olika sätt. I ett fläktstyrt från- och tilluftsventilationssystem kan med fördel en värmeväxlare användas som har till uppgift att överföra värme från avluften till tilluften. Vilken typ av värmeväxlare som används och hur hög verkningsgrad denna har kan variera mycket men det går att återvinna i storleksordningen 80 % av värmen (Abel & Elmroth, 2013). Hur hög verkningsgrad en viss värmeväxlare kan åstadkomma är en kombination av värmeväxlarens tekniska egenskaper och vilket klimat som råder i byggnadens omgivning. Ett mycket kallt uteklimat kan tvinga värmeväxlaren att minska värmeåtervinningen för att minska risken för påfrysning av värmeväxlaren (Abel & Elmroth, 2013). Även om det är tekniskt möjligt att återvinna 80 % av värmen är detta inte alltid praktiskt möjligt. Det måste finnas ett värmebehov i byggnaden för att någon återvinning skall vara aktuell. För att ventilationssystemet skall ge önskad effekt kan inte tilluftstemperaturen tillåtas bli hur hög som helst. Vid återvinning av värme ur spillvatten är vattenflödet, som värmen skall tas ur, betydligt mer ojämnt än luftflödet i ventilationssystemet vilket medför en begränsning i värmeväxlingen. Det ojämba flödet beror på att mängden spillvatten i exempelvis bostäder är små och flödet uppstår oregelbundet och detta leder till att energimängderna inte är särskilt stora och värmeväxlingen blir ineffektiv (Abel & Elmroth, 2013).

### 3.1.9 Värmetillskott, $Q_{tillskott}$

Givet att det finns ett uppvärmningsbehov går det att tillgodoräkna sig vissa förluster, som sker från olika system i en byggnad, för att minska uppvärmningsbehovet. Under de delar av året då ingen värme behöver tillföras byggnaden bidrar detta tillskott till ett överskott av värme som måste föras bort (Abel & Elmroth, 2013). Omfattningen av värmetillskottet beror på hur många personer som vistas i byggnaden och hur mycket belysning och hushållsapparater som finns i byggnaden (Abel & Elmroth, 2013). Personbelastningen och mängden belysning och apparater är svår att uppskatta på förhand vilket gör att detta blir svårt att beräkna för det specifika fallet.

### 3.1.10 Värmetillskott via solstrålning, $Q_{sol}$

Beroende på en byggnads utformning och geografiska läge kommer den att utsättas för olika mycket solstrålning med olika intensitet och infallsvinkel. Intensiteten och infallsvinkeln varierar med årstid

och påverkar därmed hur mycket solstrålning som når byggnaden. Framförallt är det den solstrålning som strålar in genom fönstren som är av vikt för energibalansen (Abel & Elmroth, 2013). Energin i solstrålningen avges till rummet då den passerat in genom ett fönster. Likt övriga tillskott så är detta av godo då det finns ett uppvärmningsbehov men mängden energi i solstrålarna gör att i välisolerade byggnader leder detta ofta till att värmebehovet snart är uppfyllt och risk för övertemperaturer istället föreligger (Abel & Elmroth, 2013). För att kontrollera dessa energiflöden kan fönster med solskyddsglas användas och eller solavskärmning monteras som utformas så att tillskott av solvärme erhålls när värmebehov finns eller undviks när värmebehov inte finns. För att mäta hur effektivt ett solskyddsglas avskärmar solstrålningen används g-värde som är kvoten mellan hur mycket solstrålning som kommer in genom fönstret och hur mycket solstrålning som träffar fönstrets utsida (Abel & Elmroth, 2013).

## 3.2 Kravställningar

### 3.2.1 Boverkets byggregler, BBR 21

#### 3.2.1.1 Total energianvändning

I BBR är landet uppdelat i tre klimatzoner (zon I, II, och III) på grund av att yttre omständigheter påverkar en byggnad på olika vis beroende på det geografiska läget. I klimatzonerna ställs olika krav på en byggnads specifika energianvändning. Skillnad görs också på om byggnaden är eluppvärmd eller inte (Boverket, 2014a). Den maximalt tillåtna specifika energianvändningen, beroende på klimatzon för en byggnad med annat uppvärmningssätt än elvärme, redovisas i Tabell 1. Malmö ligger i klimatzon III och en byggnad i denna zon får maximalt ha en specifik energianvändning av 90 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> (Boverket, 2014a). Den specifika energianvändningen definieras som byggnadens energianvändning fördelad över A<sub>temp</sub> vilken är den area som begränsas av klimatskalets insida och som skall värmas till mer än 10 °C (Boverket, 2014b). Byggnadens energianvändning är den energi som behövs vid normalt användande under ett normalår för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsenergi och eventuell komfortkyla. För att få en byggnad som verkligen presterar i enlighet med de kravnivåer som finns bör beräkningar av energianvändningen utföras med lämpliga säkerhetsmarginaler (Boverket, 2014a).

Tabell 1 - Specifik energianvändning och genomsnittlig värmegenomgångskoefficient i bostäder som har annat uppvärmningssätt än elvärme. (Boverket, 2014a)

Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning/(kWh/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> · år))	130	110	90
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient/(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0,4	0,4	0,4

#### 3.2.1.2 Transmissionsförluster

Vid beräkning av en byggnads transmissionsförluster genom klimatskalet måste arean av klimatskalets olika delar summeras. Det finns inga direkta krav eller riktlinjer i BBR som reglerar hur stor area de olika delarna av klimatskalet skall ha. Dock kan det ställas krav på klimatskalets utformning till följd av rådande detaljplan. Det finns däremot regler i BBR som indirekt behandlar arean i form av exempelvis fönsterarea till följd av ställda krav på klimatskalets genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U<sub>m</sub>), vilken beräknas enligt Ekvation (4), och på tillgång till direkt dagsljus (Boverket, 2014a). Fönsterarean påverkar en byggnads inneklimat och komfort i en byggnad och är också avgörande vid beräkning av transmissionsförluster då fönster i allmänhet har ett



väsentligt högre U-värde än en vägg. Detta påverkar de totala transmissionsförlusterna. Som en del av den U-medelvärdesberäkning som skall göras för att uppfylla kravet enligt Tabell 1 ingår utöver bygnadsdelarna som utgör klimatskalet också de köldbryggor som finns i konstruktionen.

I BBR regleras transmissionsförlusterna i form av ställda krav på maximal genomsnittlig värmeegenomgångskoefficient  $U_m$  och krav på att den skall beräknas.  $U_m$  är ett genomsnitt av förlusterna genom klimatskalet där hänsyn skall tas till de förluster som sker genom klimatskalets olika delar och tillägg för byggnadens köldbryggor som fördelas jämnt över den omslutande arean,  $A_{om}$ . För att beräkna  $U_m$  används beräkningen enligt Ekvation (4). (Boverket, 2014a)

$$U_m = \frac{\left( \sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \Psi_k \sum_{j=1}^p \chi_j \right)}{A_{om}} \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (4)$$

Där

$U_i$	Värmeegenomgångskoefficient för bygnadsdel i $W/(m^2 \cdot K)$ .
$A_i$	Arean för bygnadsdelen i:s yta mot uppvärmd inneluft i $m^2$ . För fönster, dörrar, portar och dylikt beräknas $A_i$ med karmyttermått.
$\Psi_k$	Värmeegenomgångskoefficienten för den linjära köldbryggan k i $W/(m \cdot K)$ .
$l_k$	Längden mot uppvärmd inneluft av den linjära köldbryggan k i m.
$\chi_j$	Värmeegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan i $W/K$ .
$A_{om}$	Sammanlagd area för omslutande bygnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft i $m^2$ . Med omslutande bygnadsdelar avses sådana bygnadsdelar som begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen.

(Boverket, 2014a)

### 3.2.1.3 Luftläckage

För att en byggnads energianvändning och installerade eleffekt för uppvärmning inte skall överskrida kravnivåerna måste klimatskalet uppnå tillräcklig täthet (Boverket, 2014a). För att mäta läckaget i en byggnad skapas en konstruerad tryckskillnad över byggnadens klimatskal på 50 Pa. Det ställs inget direkt krav på maximal storlek på detta läckage för byggnader större än  $50 m^2_{Atemp}$ .

### 3.2.1.4 Ventilation

För att klara de hygieniska kraven på inneluften bör inte luftomsättning understiga 0,5 rumsvolymer per timme i bostäder (Folkhälsomyndigheten, 2014). Uteluftsflödet bör heller inte vara mindre än 0,35 l/s och  $m^2$  golvarea alternativt ett flöde på 4 l/s och person (Folkhälsomyndigheten, 2014). Vid byggnation av bostäder där varje enskild bostads ventilation kan styras separat kan kravet på 0,35 l/s och  $m^2$  golvarea frångås om det istället installeras behovs- eller närvarostyrd ventilation. Flödet får då sänkas till 0,1 l/s och  $m^2$  golvarea när ingen personbelastning råder i bostaden (Boverket, 2014b). Vid närvaro i bostaden gäller dock fortfarande kravet på minst 0,35 l/s och  $m^2$  golvarea. Vid en sänkning av ventilationsflödet finns dock risk att andra problem uppstår i form av fukt och hälsoskadliga ämnen. Kravet på en god luftkvalitet får inte förbises till följd av denna skrivelse (Boverket, 2014b). För att förse byggnaden med de luftflöden som krävs i byggnadens olika

utrymmen behövs fläktar i ventilationssystemet som förflyttar luftmassorna. Summan av eleffekten av alla fläktar i ventilationssystemet dividerat på det största flödet av till- eller frånluftsflödet kallas specifik fläkteffekt eller SFP-tal. För byggnader med större luftflöden än 0,2 m<sup>3</sup>/s eller en drifttid på mer än 800 h/år ställs det krav på hur stor SFP-talet får lov att vara, enligt Tabell 2 (Boverket, 2014a).

Tabell 2 - Maximalt tillåtna SFP-tal enligt BBR. (Boverket, 2014a)

	SFP-tal/(kW/(m <sup>3</sup> /s))
Från- och tilluft med värmeåtervinning	2,0
Från- och tilluft utan värmeåtervinning	1,5
Frånluft med återvinning	1,0
Frånluft	0,6

För att lyckas skapa en bra luftkvalitet inomhus börjar arbetet med att se till att den luft som tillförs ventilationssystemet utifrån är av god kvalitet. Förorenad uteluft som tas in i byggnaden via ventilationssystemet leder direkt till en försämrad luftkvalitet inomhus. För att minimera risken att föroreningar från exempelvis fordonstrafik följer med uteluften in i byggnaden finns krav på hur uteluftsintag och frånluftsuttag skall placeras (Boverket, 2014b). Höjd över mark, väderstreck och avstånd från närliggande utsläppskällor regleras (Boverket, 2014b).

Uteluft som tas in via ventilationssystemet skall sedan tillföras bostäderna och detta skall företrädesvis göras till rum avsedda för sömn och samvaro (Boverket, 2014a). Frånluften tas från utrymmen med lägre krav på luftkvalitet (Boverket, 2014a). I bostäder innebär detta i praktiken badrum. För att det praktiskt skall fungera att ha från- och tilluft på olika delar av bostaden krävs att det finns möjlighet för luften att transporteras mellan dessa utrymmen vilket ordnas med hjälp av överluft från utrymmen med högre krav på luftkvalitet till områden med lägre krav (Boverket, 2014a).

### 3.2.1.5 Tappvarmvatten

Den energi som åtgår för att värma inkommande kallvatten till önskad temperatur för tappvarmvatten under ett normalår är en del av en byggnads energianvändning. Hur stora tappvarmvattenflöden och till vilken temperatur det skall värmas beror på användningsområdet för byggnaden. Vid beräkning av den energi som krävs för att säkerställa att byggnaden uppfyller kraven som ställs på tappvarmvattnet skall lämpliga säkerhetsmarginaler tillämpas. (Boverket, 2014a)

### 3.2.1.6 Distributions- och reglerförluster

De installationer som används för värmedistribution i en byggnad ska utformas och trimmas in så att energieffektiviteten blir så hög som möjligt förutsatt att de övriga kraven som ställs på dem fortfarande uppfylls. (Boverket, 2014a)

### 3.2.1.7 Fastighetsel

För att minska den totala energianvändningen ska de installationer som finns inom ramen för fastighetsel utformas på ett sådant sätt att energin används så effektivt som möjligt och att effektbehovet begränsas. Genom att låta pumpar och övriga maskiner, utöver de som används för cirkulation av tappvarmvatten, stå stilla när det inte finns något behov kan mängden fastighetsel minskas. (Boverket, 2014a)

## 3.2.2 Miljöbyggnad

Miljöbyggnad är ett miljöcertifieringssystem som har sin grund i betygsättning av 16 olika indikatorer inom tre olika områden; energi, inomhusmiljö och material (SGBC, 2014b). Inom ramen för denna rapport, med avseende på energi och inomhusmiljö, är åtta av indikatorerna intressanta för vidare beskrivning av vad som skall uppfyllas för att erhålla betyg Guld.

### 3.2.2.1 Total energianvändning

Vid beräkning av årlig energianvändning, enligt Miljöbyggnad, ingår till byggnaden levererad energi för fyra områden; uppvärmning, varmvatten, komfortkyla och fastighetsel. Samma delar som ingår vid beräkningen enligt BBR. I byggnader där exempelvis badrum kompletteras med elgolvvärme beräknas detta som fastighetsenergi och skall alltså ingå i kravet (SGBC, 2014a). Betygsättningen av totala energianvändningen har sin grund i BBR:s definition och krav på en byggnads årliga specifika energianvändning. För att uppnå betyg Guld skall den årliga energianvändningen vara  $\leq 65\%$  av BBR-kravet (SGBC, 2014a). För en byggnad i klimatzon III skulle detta krav innebära en årlig energianvändning på  $58,5 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ .

### 3.2.2.2 Transmissionsförluster

Värmeeffektbehov definieras i Miljöbyggnad som de totala värmeförlusterna orsakat av värmetransmission, luftläckage och ventilation vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) fördelade på byggnadens  $A_{temp}$  (SGBC, 2014a). Värmeeffektbehovet beräknas enligt Ekvation (5).

$$\text{Värmeeffektbehov} = \frac{P_{total}}{A_{temp}} \quad \text{W/m}^2_{A_{temp}} \quad \text{vid DVUT} \quad (5)$$

Där  $P_{total}$  beskrivs som summan enligt:

$$P_{total} = P_{transmission} + P_{luftläckage} + P_{ventilation} \quad \text{W} \quad (6)$$

Definitionen gäller för de delar av byggnaden som är uppvärmda till minst  $10^\circ\text{C}$  och som omsluts av ytterväggar. För betyg Guld gäller att värmeeffektbehovet skall vara  $\leq 25 \text{ W/m}^2_{A_{temp}}$ . Vid beräkning av byggnadens transmissionsförluster ( $P_{transmission}$ ) skall beräkning av transmission genom köldbryggor utföras och redovisas för erhållande av betyg Guld (SGBC, 2014a). För att uppnå lägre betyg räcker det med att ett påslag av 20 % görs på transmissionsförlusterna genom köldbryggor (SGBC, 2014b).

### 3.2.2.3 Luftläckage

Vid beräkning av hur stor del av luftläckageflödet,  $P_{luftläckage}$ , som bör räknas med i Ekvation (6) så kan hänsyn tas till att en så stor tryckdifferens som 50 Pa inte föreligger i normalfallet. I ett FTX-system så ska 5 % av värdet vid 50 Pa räknas med som luftläckage (SGBC, 2014a). Hur stort luftläckaget maximalt får vara vid 50 Pa beskrivs inte i Miljöbyggnad.

### 3.2.2.4 Ventilation

Ventilationsstandard bedöms utifrån hur ventilationssystemet är utformat för att byggnaden skall erhålla en god luftkvalitet. För betyg Guld skall uteluftsflödet i byggnaden vara  $\geq 0,35 \text{ l/s}$  och  $\text{m}^2$  golvarea och möjlighet till forcering av frånluftsflödet i kök och våtutrymmen skall finnas och vara enligt BFS 1998:38 (SGBC, 2014a). Denna föreskrift säger att forceringen i köket skall kunna ske med minst 75 % uppfångningsförmåga för luftföroreningar och att flödet skall vara  $10 \text{ l/s}$ . I våtutrymmen skall flödet vara minst  $10 \text{ l/s}$  med möjlighet till forcering till antingen 30 eller  $15 \text{ l/s}$ . Det lägre flödet

kan användas om rummet har ett öppningsbart fönster (Boverket, 1998). För betyg Guld skall dessutom en enkätundersökning visa på att minst 80 % av de svarande brukarna upplever luftkvaliteten som acceptabel, bra eller mycket bra (SGBC, 2014a).

### 3.2.2.5 Hushållsel

Den totala årliga energianvändningen som skall beräknas i enlighet med BBR innehåller inte någon post för hushållsel vilket den följaktligen inte gör i Miljöbyggnad heller. Men för att ta hänsyn till värmestillskottet, som under uppvärmningssäsongen leder till ett minskat uppvärmningsbehov och när uppvärmningsbehov inte finns leder till överskottsvärme med eventuellt kylbehov som följd, så skall den ingå som en del av energibalansberäkningen (SGBC, 2014a).

### 3.2.2.6 Värmestillskott

Vid beräkning av den årliga energianvändningen skall en internvärmelast medräknas av samma anledning som hushållselen. Som värde på värmestillskottet som sker på grund av internvärmelaster kan användas  $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{Atemp}}$  (SGBC, 2014a).

### 3.2.2.7 Värmestillskott via solstrålning

Solvärmelast (SVL), bedöms i enheten  $\text{W/m}^2$  golvarea i ett vistelserum, definieras som ett värmestillskott som tillförs vistelserummet på grund av solinstrålning genom fönster (SGBC, 2014a). Vid bedömning av SVL utförs beräkningar med utgångspunkt i att maximal solstrålning mellan vår- och höstdagjämning mot en vertikal yta är omkring  $800 \text{ W/m}^2$ . SVL skall bedömas i ett vistelserum vars fönster vetter mot öster till väster via söder. För att uppnå betyg Guld krävs det att solvärmelasten är lägre än  $18 \text{ W/m}^2$  golvarea i det undersökta vistelserummet. Värdet på SVL beräknas enligt Ekvation (7) och Ekvation (8) där det största värdet av de två skall väljas (SGBC, 2014a). I Ekvation (7) beräknas SVL för rum med fönster mot öster till väster via söder och i Ekvation (8) beräknas SVL för rum med fönster åt två väderstreck.

$$SVL = 800 \cdot g_{\text{syst}} \cdot \frac{A_{\text{glas}}}{A_{\text{rum}}} \quad \text{W/m}^2 \quad (7)$$

$$SVL = 560 \cdot g_{\text{syst}} \cdot \frac{A_{\text{glas S el Ö el V}}}{A_{\text{rum}}} + 560 \cdot g_{\text{syst}} \cdot \frac{A_{\text{glas S el Ö el V}}}{A_{\text{rum}}} \quad \text{W/m}^2 \quad (8)$$

Där

$g_{\text{syst}}$	Sammanvägt g-värde för fönsterglas och solskydd. (-)
$A_{\text{glas}}$	Glasad del av fönster, dörrar och glaspartier alltså ej karm, bågar och profiler i $\text{m}^2$ .
$A_{\text{rum}}$	Golvarea i det bedömda rummet, inklusive yta under till exempel köksinredning och garderober i $\text{m}^2$ .

(SGBC, 2014a)

### 3.2.2.8 Övriga krav i Miljöbyggnad

I Miljöbyggnad finns indikatorer som inte direkt anknyter till energibalansen men som påverkar en byggnads inneklimat. Dessa indikatorer påverkar i sin tur parametrar som direkt eller indirekt ingår i energibalansen.

Indikatorn Termiskt klimat vinter skall undersökas, vilken definierar hur inneklimatet i ett vistelserum upplevs av brukarna vintertid. Bedömningen görs med stöd i datorsimuleringar av inneklimatet som genererar ett PPD-index (SGBC, 2014a). PPD-index, Predicted Percentage Dissatisfied, beskriver hur stor andel personer i en grupp som kan förväntas vara missnöjda med det termiska klimatet (Abel & Elmroth, 2013).

För att uppnå betyg Guld skall det termiska klimatet vintertid motsvara ett PPD-index  $\leq 10$  % efter utförda datorsimuleringar. Dessutom krävs det godkända enkätundersökningar eller egenkontroller som visar att minst 80 % av brukarna upplever det termiska klimatet vintertid som bra eller mycket bra. Vid bedömning av denna indikator krävs det att hänsyn tas till yttre omständigheter som skuggning och avskärmning på grund av närliggande byggnader, växtlighet eller anslutande byggnadsdelar. (SGBC, 2014a)

Indikatorn Termiskt klimat sommar undersöks och bedöms på samma vis som Termiskt klimat vinter fast under sommartid. Samma kriterier gäller för att uppnå betyg Guld med tillägget att det skall finnas öppningsbara fönster som ger möjlighet till vädning (SGBC, 2014a). För att erhålla betyg på Termiskt klimat sommar måste även solvärmefaktorn (SVF), som är ett mått på påverkan av solvärme genom fönster, undersökas. För att uppnå betyg Guld måste  $SVF < 0,025$  vilken beräknas enligt Ekvation (9).

$$SVF = g_{syst} \cdot \frac{A_{glas}}{A_{golv}} \quad - \quad (9)$$

Där

$g_{syst}$	Sammanvägt g-värde för fönsterglas och solskydd. (-)
$A_{glas}$	Glasarea i fönster dörrar och glaspartier i m <sup>2</sup> .
$A_{rum}$	Golvarea inklusive yta under till exempel köksinredning och garderober i m <sup>2</sup> .

Indikatorn Dagsljus tar hänsyn till tre parametrar; dagsljusfaktor, fönsterglasarea (AF) och utblick med syftet att premiera byggnader som har god tillgång till dagsljus. Bedömning av denna indikator bör med fördel göras i det vistelserum som har minst glasarea i förhållande till vistelserummets golvarea. Vid bedömningen krävs det att hänsyn tas till yttre omständigheter så som skuggning och avskärmning på grund av närliggande byggnader, växtlighet eller anslutande byggnadsdelar. (SGBC, 2014b)

Dagsljusfaktorn beskriver förhållandet mellan ljusstyrkan utomhus och inomhus vid samma tidpunkt en mulen dag. Värdet på dagsljusfaktorn är beroende av fönsterarea, mätpunkt i rummet, golvarea, horisontalavskärmning, ljustransmission genom fönsterglas och reflexionsegenskaperna på rummets ytor. Parametern AF är förhållandet mellan fönstrets glasarea och rummets golvarea. Utblick definieras som att på 1,5 meters höjd inomhus ha möjlighet att kunna se ut genom ett fönster 5 grader eller mer både horisontellt och vertikalt. För att uppnå betyg Guld krävs det att datorsimuleringar påvisar att dagsljusfaktorn är  $\geq 1,2$  % och att minst 80 % av brukarna som svarat på en enkätundersökning anser att dagsljuskvaliteten är bra eller mycket bra. (SGBC, 2014a)

### 3.2.3 Passivhuskrav FEBY 12

För att en byggnad ska få stämpeln passivhus skall byggnaden uppfylla de krav som ställs i FEBY 12 (Sveriges Centrum för nollenergihus, 2012). I FEBY 12 ställs krav på flera typer av lågenergibyggnader men de som beskrivs i denna del är endast de krav som ställs på ett passivhus.

#### 3.2.3.1 Total energianvändning

I FEBY 12 definieras levererad årsenergi som den energi som används för uppvärmning av varmvatten, värme och fastighetsenergi (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013b). I definitionen utelämnas komfortkylbehov i årsenergianvändningen. Dock finns den med vid beräkning av energianvändningen för ej renodlade system vilket avser de system som antingen är helt icke elvärmdda och de som är elvärmdda (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Hur stor energianvändningen får lov att vara beror på byggnadens typ av värmesystem. Skillnad görs mellan om byggnaden är eluppvärmd eller inte. Det görs även en indelning av landet i klimatzoner, vilka följer samma indelning som i BBR, och i klimatzonerna ställs det olika krav på energianvändningen. Kravet på mängden levererad energi för en icke eluppvärmd byggnad är satt till  $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{Atemp}}$  för klimatzon III (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Energianvändningen skall enligt passivhuskravet beräknas. För att uppfylla kravet på denna beräkning så krävs det att ett energiberäkningsprogram används som minst uppfyller kraven i standarden ISO EN 13790, "Byggnaders energiprestanda – Beräkning av energianvändning för uppvärmning och kylning" (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a).

En stor del i processen att bygga mer energieffektiva byggnader är kravet på uppföljning. För att kunna verifiera att en byggnad uppfyller de krav som ställts måste det finnas möjlighet att mäta den förbrukade energin. På månadsbasis skall ett passivhus hushållselförbrukning, fastighetsenergi och värmeenergi separat kunna visas (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Det enda som skiljer denna kravställning mot vad som krävs i BBR är kylbehovet som här inte medräknas (Boverket, 2014a). Om det i anslutning till en byggnad finns större energiförbrukare som inte används innanför klimatskärmen bör även dessa registreras (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Den volym vatten som passerar varmvattenberedningen skall även den mätas (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a).

#### 3.2.3.2 Transmissionsförluster

För att uppnå kraven på passivhus gällande fönster och glaspartier ställs inga krav på dess andel av klimatskalet area. Det som är avgörande i detta fall är det genomsnittliga U-värdet på fönstren vilket inte får överstiga  $0,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ . Beräkning av det genomsnittliga U-värdet för fönster görs enligt Ekvation (10) (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a).

$$\text{Genomsnittligt } U - \text{värde} = \sum \frac{(U \cdot A)}{\sum A} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (10)$$

Där

- |     |   |
|-----|---|
| $U$ | U-värde på respektive fönster i $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ . |
| $A$ | Area på respektive fönster i $\text{m}^2$ .                       |

### 3.2.3.3 Luftläckage

I kraven på passivhus görs, precis som i BBR, skillnad på små och stora byggnader då luftläckaget undersöks. För att uppfylla kraven på passivhus så är kravet på en stor byggnad att lufttäthet vid en tryckskillnad om 50 Pa att den maximalt får uppgå till 0,3 l/s och m<sup>2</sup> omslutande area (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Hur stort luftläckaget blir vid normala förhållanden, det vill säga då tryckskillnaden är en annan än 50 Pa, skall beräknas utifrån byggnadens läge och om det är balans i ventilationsflödena. Detta flöde betecknas  $q_{läck}$  och beräknas enligt Ekvation (11). För att uppfylla kraven på passivhus skall  $q_{läck}$  beräknas.

$$q_{läck} = q_{50} \cdot A_{omsl} \cdot \frac{e}{1 + \frac{f}{e \left( \frac{q_{sup} - q_{ex}}{q_{50} \cdot A_{omsl}} \right)^2}} \quad l/s \quad (11)$$

Där

$q_{sup} - q_{ex}$  Luftöverskottet mellan tilluft  $q_{sup}$ , och frånluft  $q_{ex}$  i l/s.

$q_{50}$  Läckaget vid 50 Pa tryckskillnad mellan inne och ute i l/s.

$e$  och  $f$  Vindkoefficienter enligt Tabell 3.

Tabell 3 - Vindskyddskoefficienter för beräkning av  $q_{läck}$ . (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a)

<b>Vindskyddskoefficienter e och f</b>	<b>Flera sidor exponerade</b>	<b>En sida exponerad</b>
<i>Koefficient e för avskärmningsklass</i>		
Ingen avskärmning. Öppet landskap eller höga byggnader i staden.	0,10	0,03
Måttlig avskärmning. Förortsmiljö, landskap med träd och andra byggnader.	0,07	0,02
Kraftig avskärmning. Byggnad i skog eller med genomsnittshöjd i city.	0,04	0,01
<i>Koefficient f</i>	15	20

### 3.2.3.4 Tappvarmvatten

Uppvärmningen av tappvarmvatten som är en del av den totala energianvändningen benämns i FEBY 12 som  $E_{vv}$ . Storleken på varmvattenanvändningen, som hämtas ur Svebys anvisningar om brukarindata, uppgår för flerbostadshus till 25 kWh/m<sup>2</sup><sub>Atemp</sub> och år. Om det i anslutning till en byggnad finns ett produktionssystem för varmvattenproduktion i form av exempelvis solvärme eller uteluftsvärmepump kan varmvattenanvändningen fördelas över året enligt Tabell 4. (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a)

Tabell 4 - Månadsvis fördelning av tappvarmvatten. (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a)

jan	feb	mars	april	maj	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1,13	1,16	1,13	1,09	0,89	0,84	0,71	0,74	0,94	1,09	1,13	1,15

### 3.2.3.5 Distributions- och reglerförluster

Värmesystemet kommer alltid att ge förluster då det inte kan utformas idealt (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a). Reglersystemet kommer att ge upphov till förluster och övertemperaturer som måste vädras bort. Ett påslag av minst 5 % på värmesystemet kan göras för att täcka dessa förluster alternativt att verkningsgraden väljs utifrån ett schablonvärde utifrån det värmesystem som

förser byggnaden med värme är överdimensionerat och det kan täcka värmebehovet till följd av dessa förluster, se Tabell 5 (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013a).

Tabell 5 - Verkningsgrader på värmesystem till följd av olika typer av reglersystem. (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013a)

Värmesystem	Verkningsgrad
Ej samordnad värmestyrning	0,80
Golvvärmesystem	0,88
Enbart utetemperaturstyrning	0,82
Innetemperaturstyrd mekanisk regulator	0,89
Innetemperaturstyrd elektronisk regulatur	0,93

### 3.2.3.6 Värmetillskott

Värmetillskottet från personer och hushållsapparater baseras på Svebys anvisningar om brukarindata och dessa används om antagande om ett standardiserat brukande görs. Svebys anvisningar är sammanställda i Tabell 6. Om det finns annan indata om den tänkta brukaren i ett specifikt fall är det viktigt att dessa används i stället för Svebys anvisningar om brukarindata eftersom att de indata som väljs är direkt avgörande för en energiberäknings resultat. Utöver tillskott från brukaren och dennes utnyttjande av byggnaden tillkommer också energianvändning i installerad utrustning i byggnaden. Hänsyn till detta skall tas genom att utnyttja tilläggen enligt Tabell 7. Fastighetsenergin skall sammanställas och redovisas i ett underlag för årsenergikalkylen. Sammanställningen skall också innehålla relevant data för respektive post samt hur en reduktion av drifttider gjorts om någon sådan åtgärd vidtagits. (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013a)

Tabell 6 - Schablonvärden för värmetillskott från personer och hushållsapparater enligt Svebys anvisningar om brukarindata. (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013a)

Personvärme	47 W/person i dygnsgenomsnitt.
Persontäthet	Är enligt Svebys anvisningar beroende på lägenhetens storlek. När lägenhetsstorlek inte är känd kan ett värde på $1 \text{ W/m}^2_{\text{Atemp}}$ användas.
Personnärvaro	14 timmar/dygn och person
Hushållsel	$30 \text{ kWh/m}^2_{\text{Atemp}}$
Spillvärme	70 % möjlig att tillgodogöra när värmebehov finns.

Tabell 7 - Fastighetsenergi. (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013a)

Pumpar	100%
Fläktar i tilluften	100%
Fläktar i frånluften	80 % om motor före växlare, annars 0 %
Belysning inne i byggnaden	100%

### 3.2.3.7 Värmetillskott via solstrålning

För att kontrollera att solvärmefaktorn (SVF) inte blir för stort skall solvärmefaktorn (SVF) beräknas. Detta värde beräknas för byggnadens mest solutsatta lägenhet (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013b). Detta måste kontrolleras då risk finns för övertemperaturer sommardag (Andrén & Tirén, 2010). För att undvika problem med övertemperaturer under sommarmånaderna, april till september, finns krav på att beräkna och redovisa innetemperaturen för denna period (Sveriges Centrum för Nollenergi, 2013a). Vid genomförande av dessa beräkningar kan alltså byggnadens



solvärmefaktor beräknas. Solvärmefaktorn skall vara  $\leq 0,036$  och beräknas enligt Ekvation (9) i Miljöbyggnad (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a).

### 3.2.3.8 Övriga krav i FEBY 12

Värmeförlusttalet definieras i FEBY 12 som byggnadens värmeförluster då innetemperaturen antas till  $21\text{ }^\circ\text{C}$  samtidigt som utetemperaturen antas vara den för orten specifikt kallaste temperaturen, DVUT. Detta värde skall beräknas och klara det krav som ställs på  $VFT_{DVUT}$  som inte får vara större än  $15\text{ W/m}^2_{A_{temp}}$  vilken beräknas enligt Ekvation (12). (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a)

$$VFT_{DVUT} = H_T \cdot \frac{21 - DVUT}{A_{temp}} \quad \text{W/m}^2_{A_{temp}} \quad (12)$$

Där  $H_T$  är byggnadens värmeförlustkoefficient (W/K) som beräknas enligt standarden EN ISO 13789:2008, eller enligt Ekvation (13).

$$H_T = U_m \cdot A_{omsl} + \rho \cdot c \cdot q_{läck} + \rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot (1 - v) \quad \text{W/K} \quad (13)$$

Där

$U_m$	Klimatskärmens genomsnittliga U-värde i $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ och inkluderar värmeförlusterna via mark vilket beräknas enligt EN ISO 13370:2007 och ska ändå redovisas enligt BBR.
$A_{omsl}$	Klimatskärmens omslutande area, invändigt mått, i $\text{m}^2$ .
$\rho \cdot c \cdot q_{läck}$	Värmeeffektörluster på grund av luftläckning $q_{läck}$ i l/s, luftens densitet $\rho$ i $\text{kg}/\text{m}^3$ och specifik värmekapacitet $c$ i $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .
$\rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot (1 - v)$	Värmeeffektörluster på grund av ventilation med hänsyn till systemets verkningsgrad $v$ , densitet $\rho$ , specifik värmekapacitet $c$ och relativ driftstid $d$ .

### 3.2.4 Miljöbyggprogram SYD

Miljöbyggprogram SYD ska fungera som ett verktyg för att byggnationer på kommunal mark i Malmö Stad och Lunds kommun ska byggas utifrån en ekologiskt hållbar utveckling som riktlinje med färdigställda byggnader som har minskad resursanvändning och klimat- och miljöpåverkan (Miljöbyggprogram SYD, 2012). Programmet bygger i stor utsträckning på krav som är formulerade i FEBY 12.

Av de sex olika kärnområden som beskrivs i Miljöbyggprogram SYD är det kraven för att uppnå Miljöklass A i de två kärnområdena Energi och Innemiljö som beskrivs.

För att uppnå Miljöklass A så skall samtliga krav som ställs i FEBY 12 uppfyllas vid formulering av byggnadens energikrav (Miljöbyggprogram SYD, 2012). Utöver dessa krav tillkommer några ett antal krav gällande en byggnads ventilation.

#### 3.2.4.1 Ventilation

Kraven på byggnadens ventilation innehåller, utöver kraven i FEBY 12, krav på att ventilationen ska säkerställa en god innemiljö med bra luftkvalitet och godkända radonvärden. För Miljöklass A finns också krav på hur uteluftintag ska placeras för att minsta möjliga mängd föroreningar ska tillföras en byggnad och undvika kortslutning med avluftningen. Vidare ställs krav på att ventilationskanaler ska

utformas på ett sådant vis att det underlättar inspektion och rensning. Den tillförda uteluften skall renas från föroreningar som motsvarar nivå ODA 2 enligt SIS-standard SS-EN 13779 (Miljöbyggprogram SYD, 2012). Filter för denna rening skall ha en livslängd sådan att funktionen upprätthålls under minst sex månader och filtren ska uppfylla europeisk standard enligt EN 779 (Miljöbyggprogram SYD, 2012).

För att uppfylla Miljöklass A krävs det också att byggherren skall låta de boende genomföra en enkätundersökning där deras upplevelse av inomhusmiljön kan utvärderas. Dessutom skall byggherren ansvara för att mätning av innekvaliteten genomförs för verifiering av de gränsvärden som är ställda för gaser och emissioner i inomhusluften. (Miljöbyggprogram SYD, 2012)

### 3.2.5 Kravsammanställning

De krav som beskrivits i denna del sammanställs i Tabell 8. Inom de områden där regelverken och certifieringarna ställer olika krav har endast det hårdaste kravet sammanställts. De krav som inte går att kvantifiera eller utvärdera inom ramen för rapporten har utelämnats från sammanställningen.

Tabell 8 - Sammanställning av kravställningar.

Område	Krav	Kravets ursprung
Total energianvändning	Max 50 kWh/m <sup>2</sup>	Passivhuskrav FEBY 12
Transmissionsförluster		
U-medelvärde	0,4 W/(m <sup>2</sup> ·K)	BBR
U-värde fönster	0,8 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Passivhuskrav FEBY 12
Luftläckage	0,3 l/(s·m <sup>2</sup> ) vid 50 Pa tryckskillnad	Passivhuskrav FEBY 12
	5 % ska vara med	Miljöbyggnad Guld
	Beräkna q <sub>läck</sub>	Passivhuskrav FEBY 12
Ventilation	≥ 0,35 l/(s·m <sup>2</sup> )	Miljöbyggnad Guld
	Möjlighet till forcering	Miljöbyggnad Guld
	Frånluftsflöde WC 10 l/s	Miljöbyggnad Guld
	Badrummet 15 l/s och +1 l/s om arean > 5 m <sup>2</sup>	Miljöbyggnad Guld
Tappvarmvatten	25 kWh/m <sup>2</sup>	Passivhuskrav FEBY 12
Distributions- och reglerförluster	0,89 verkningsgrad värmesystem	Passivhuskrav FEBY 12
Fastighetsel		
SFP-tal	2,0 kW/(m <sup>3</sup> /s)	BBR
Övrigt		
Värmeeffektbehov	15 W/m <sup>2</sup>	Passivhuskrav FEBY 12
Solvärmelast	18 W/m <sup>2</sup>	Miljöbyggnad Guld
SVF, solvärmefaktor	< 0,025	Miljöbyggnad Guld
PPD-index	≤ 10 %	Miljöbyggnad Guld
Dagsljusfaktor	≥ 1,2 %	Miljöbyggnad Guld
Värmetillskott	47 W/person	Passivhuskrav FEBY 12
	30 kWh/m <sup>2</sup> <sub>Atemp</sub> från hushållsel	Passivhuskrav FEBY 12

### 3.3 Energiberäkningsprogrammet IDA ICE

För att på förhand kunna beräkna en byggnads energianvändning och kontrollera om ställda energi- och inomhusmiljökrav uppfylls är det idag vanligt att använda sig av ett energiberäkningsprogram. Energiberäkningsprogram har funnits i olika utförande under lång tid men har med den allt mer ökande andelen elektroniska hjälpmedel ökat i användande och spridning. Ett exempel på ett sådant energiberäkningsprogram är IDA Indoor Climate and Energy, benämnt som IDA ICE eller IDA, som är utvecklat av det svenska mjukvaruföretaget EQUA. För en mer djupgående beskrivning av hur programmet fungerar och ökad förståelse för hur indata påverkar beräkningarna i programmet hänvisas till EQUA:s manualer enligt referenslistan (EQUA Simulation AB, 2013b) (EQUA Simulation AB, 2013a).

I IDA kan en geometrisk modell av en byggnad modelleras utifrån byggnadens specifika förutsättningar och utformning. Med hjälp av modellen kan byggnadens effekt- och energibehov

beräknas och dess inneklimat simuleras. De förutsättningar som används för att bygga upp modellen i programmet kommer i den här rapporten att kallas indata.

Inom vissa områden i IDA kan indata hämtas från olika databaser och standarder, där ibland ASHRAE som är en global sammanslutning som arbetar för människors välbefinnande genom hållbar teknik i den bebyggda miljön (ASHRAE, u.d.). Även EQUA står bakom en databas som det i programmet ges möjlighet att hämta och välja viss indata ifrån.

För att kunna jämföra hur väl de olika versionerna av beräkningar har uppfyllt de ställda kraven finns möjlighet att hämta en del av de värden som behövs ur IDA. Vissa av de krav som sammanställs i Tabell 8 går inte att studera med endast hjälp av beräkningarna utförda i IDA. Därför har vissa av kraven i Tabell 8 tagits bort och de krav som går att jämföra mellan de olika versionerna sammanställs i Tabell 9.

Tabell 9 - De krav som jämförs mellan de olika utförda versionerna av beräkningar.

Område	Krav	Kravets ursprung
Total energianvändning	Max 50 kWh/m <sup>2</sup>	Passivhuskrav FEBY 12
Transmissionsförluster		
U-medelvärde	0,4 W/(m <sup>2</sup> ·K)	BBR
U-värde fönster	0,8 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Passivhuskrav FEBY 12
Luftläckage	0,3 l/(s·m <sup>2</sup> ) vid 50 Pa tryckskillnad	Passivhuskrav FEBY 12
	5 % ska vara med	Miljöbyggnad Guld
	Beräkna q <sub>läck</sub>	Passivhuskrav FEBY 12
Ventilation	≥ 0,35 l/(s·m <sup>2</sup> )	Miljöbyggnad Guld
	Frånluftsflöde WC 10 l/s	Miljöbyggnad Guld
	Badrummet 15 l/s och +1 l/s om arean > 5 m <sup>2</sup>	Miljöbyggnad Guld
Tappvarmvatten	25 kWh/m <sup>2</sup>	Passivhuskrav FEBY 12
Distributions- och reglerförluster	0,89 verkningsgrad värmesystem	Passivhuskrav FEBY 12
Fastighetsel		
SFP-tal	2,0 kW/(m <sup>3</sup> /s)	BBR
Övrigt		
Värmeeffektbehov	15 W/m <sup>2</sup>	Passivhuskrav FEBY 12
Solvärmelast	18 W/m <sup>2</sup>	Miljöbyggnad Guld
SVF, solvärmefaktor	< 0,025	Miljöbyggnad Guld

## 4 Urval och sammanställning av versioner

En genomgång av alla erhållna versioner görs för att kunna genomföra ett urval av vilka versioner som skall studeras. Materialet som erhöles från NCC innehåller versioner av beräkningar från system- och bygghandlingskedet på Greenhouse alla tre delbyggnader; höghuset, radhuset och byggnaden med förskola och samlingslokaler. De olika versionerna av beräkningar kommer fortsättningsvis att omnämnas som "version".

Materialet från NCC består totalt av 32 olika versioner, av dessa finns ett antal versioner som innehåller ett flertal versioner av beräkningar. Det inledande urvalet av versionerna baseras på vilken delbyggnad av Greenhouse de är beräknade på. De versioner som är utförda på höghuset är de versioner som är en del av första urvalet. Versionerna är mer eller mindre namngivna så urvalet efter delbyggnad är möjlig utan att studera varje versions innehåll i detalj. Namngivningen av versionerna ger också en beskrivning av vad respektive version innehåller. Det första urvalet medför att det återstår 20 versioner på höghuset, sammanställs i Tabell 10, för vidare urval. Av dessa är det 5 versioner som innehåller flera versioner av beräkningar. Det finns således totalt 53 versioner av höghuset. Beteckningen av och information om respektive version framgår i Tabell 10.

*Tabell 10 - Sammanställning av alla versioner på höghuset. Efter första urvalet återstår totalt 53 versioner. Efter andra urvalet tas versionerna 5, 9, 17, 18 och 8.5 bort. Studien kommer att utföras på resterande 48 versioner.*

Beteckning	Datum	System- eller bygghandlingskede	Antal versioner	Geometrisk modellens utformning
Version 1	2013-04-19	Systemhandling	1	Plan 5, enkel utformning
Version 2	2013-05-15		15	Plan 5, enkel utformning
Version 3	2013-05-16		1	Plan 5, enkel utformning
Version 4	2013-06-18		7	Plan 5, enkel utformning
Version 5	2013-06-19		1	Plan 5 och 6, utformning enligt verklig byggnad
Version 6	2013-06-25		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 7	2013-06-28		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 8	2013-06-28		(6) 5	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 9	2013-06-30		1	-
Version 10	2013-06-30		4	Plan 6, utformning enligt verklig byggnad
Version 11	2013-07-02		6	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 12	2014-01-15	Bygghandling	1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 13	2014-01-31		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 14	2014-01-31		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 15	2014-02-14		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 16	2014-03-18		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 17	2014-03-18		1	Plan 2 och 3, utformning enligt verklig byggnad
Version 18	2014-11-17		1	Plan 2 och 13, utformning enligt verklig byggnad
Version 19	2014-11-25		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad
Version 20	2015-02-11		1	Alla plan, utformning enligt verklig byggnad

Vidare undersökning av de återstående versionernas innehåll medför att ytterligare fyra versioner tas bort, Version 5, 9, 17 och 18, från studien. Versionerna 5, 17 och 18 tas bort med anledning av att modellerna är ofullständiga där versionens modellerade våningsplan antingen inte är sammanhängande eller där våningsplanen i sig inte är helt och hållet modellerade. Version 9 är borttagen på grund av att beräkningen inte är utförd och således finns det inget resultat i den

nämnda versionen. Utöver dessa versioner tas Version 8.5 bort på grund av att den inte går att öppna i programmet. De resterande 48 versionerna, sorteras sedan i kronologisk ordning efter när de är utförda. Den kronologiska ordningen möjliggör en identifiering huruvida filerna har sitt ursprung i system- eller bygghandlingsskedet. Således kan en jämförelse och analys göras av hur indata i versionerna har ändrats genom system- och bygghandlingsskedet. I Version 1 till Version 4 används plan 5 som referensplan då plan 6 inte är modellerad.

Därmed är det indata i totalt 48 versioner som kommer att studeras enligt Tabell 10. Version 20 benämns som den sista versionen i rapporten med anledning av att det är den senast tillgängliga under rapportens utförande. 41 av de 48 versionerna är upprättade under systemhandlingskedet och resterande sju versioner är upprättade under bygghandlingsskedet.

# 5 Skapande av checklista

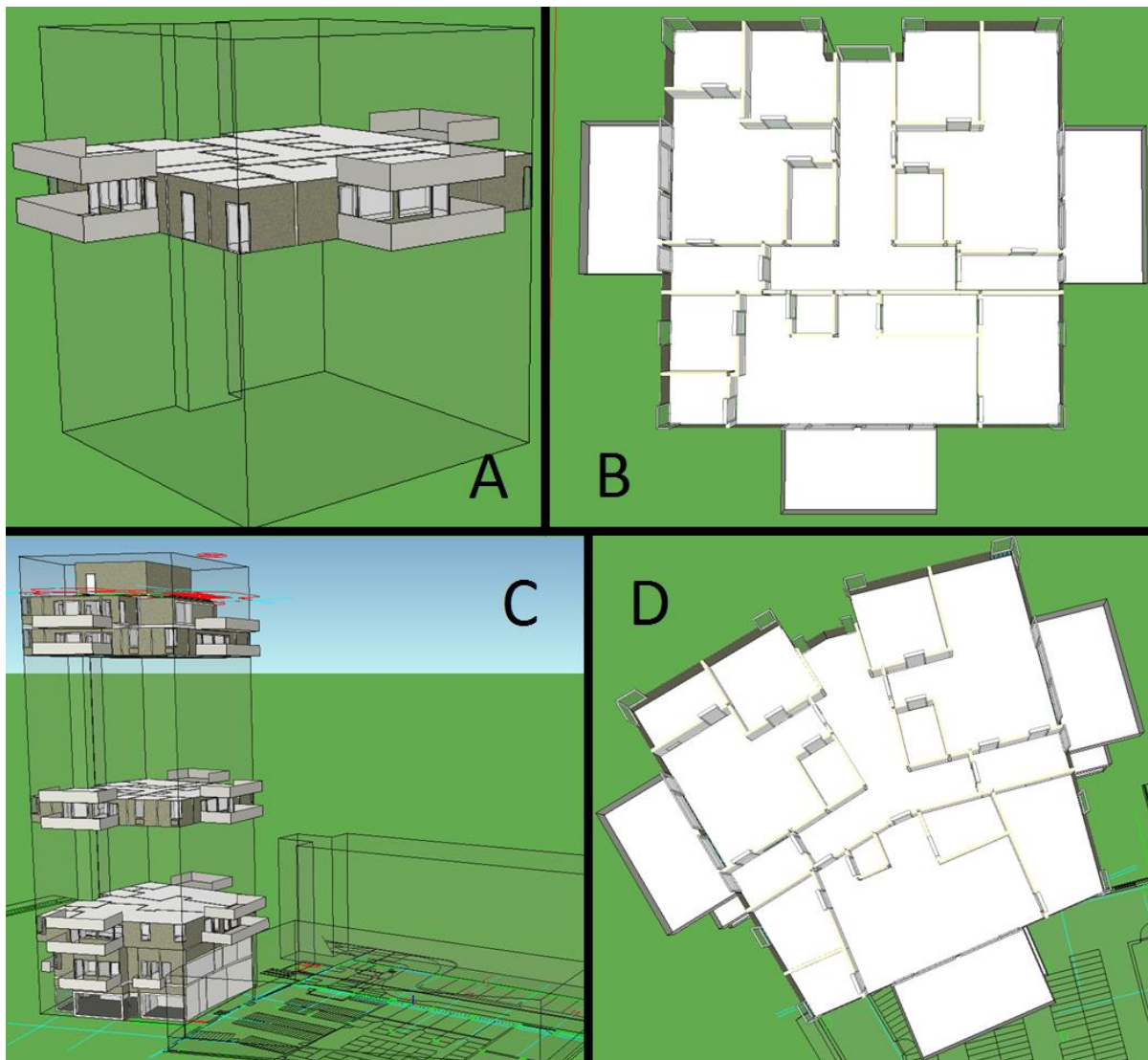
Genom att använda sig av IDA vid beräkning av en byggnads energianvändning ges omfattande möjligheter att importera eller skapa geometriska modeller, importera geografiska data och förändra utformning och egenskaper på byggnadens installationer och byggnadstekniska komponenter. Varje version av beräkning innehåller således mängder med indata vilket kräver ett systematiskt arbetssätt under studien för att säkerställa att samma typ av indata i alla versionerna studeras. Detta medför också att det blir möjligt att slutligen skapa en liktydig och strukturerad sammanställning av all indata i respektive version.

För att möjliggöra denna sammanställning skapas en checklista som ger förutsättningar att dokumentera samma typ av indata i versionerna och jämförelse mellan versionerna. Skapandet av checklistan görs med hjälp av den teoretiska bakgrunden av en byggnads energianvändning, kravställningarna på Greenhouse och en genomgång i IDA för att undersöka vilka indata som är möjliga att justera i programmet och därmed borde vara en del av checklistan.

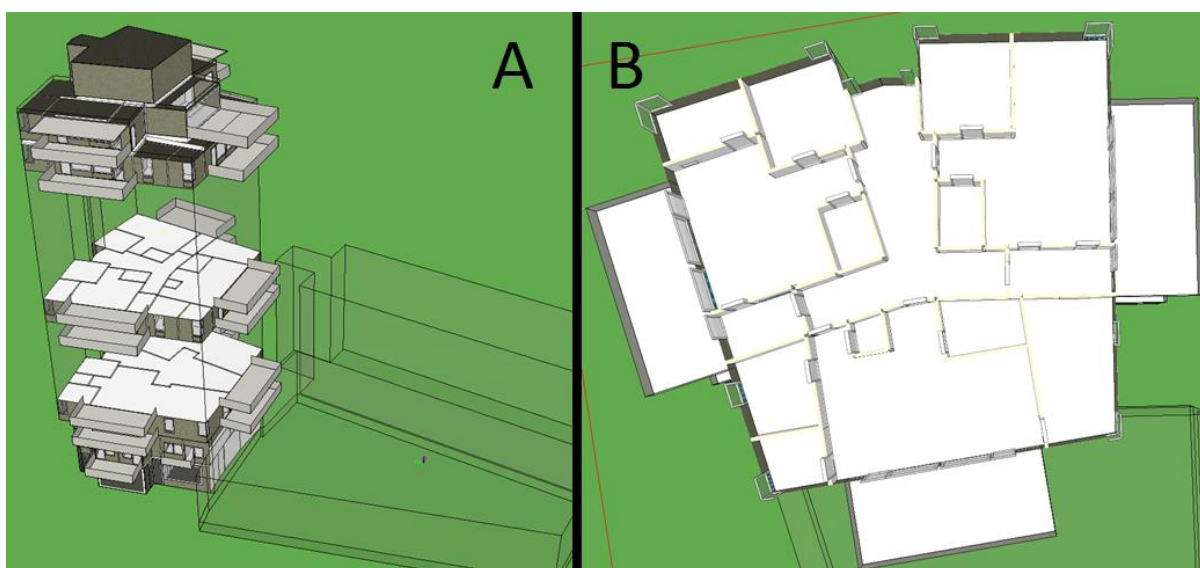
Checklistan skapas i två huvuddelar, där den ena behandlar indata på övergripande system- och byggnadsdelsnivå i byggnaden och den andra behandlar indata i specifika zoner i byggnaden. Varje huvuddel i sin tur är indelad i ett flertal områden med flertalet indata. Strukturen på checklistan utformas på ett sådant sätt att den skall följa en logisk ordning efter hur de olika områdena förekommer i IDA. Under de närmast tre följande rubrikerna (5.1-0) i detta kapitel presenteras först kortfattat hur den geometriska modellen av Greenhouse har förändrats i IDA och sedan beskrivs de två huvuddelarna av checklistan; indata på byggnadsnivå och indata på zonnivå. Under de två sista rubrikerna (5.4-5.5) i kapitlet sammanställs först de identifierade indata i checklistans två huvuddelar och sedan beskrivs vilka utdata som är av intresse i versionerna för att kunna studera hur ändrad indata i versionerna relaterar till ställda krav.

## 5.1 Den geometriska modellen av byggnaden

I Version 1 består modellen endast av ett typplan vars geometriska utformning skiljer sig något från den verkliga byggnadens utformning. Det är endast detta plan som är modellerat från Version 1 till Version 4. Planets yttre utformning har vinkelräta hörn som gör att till att planet antar en kvadratisk form, enligt Figur 3 bild A och B. I senare upprättade versioner, där modellen getts fler plan, antar modellen en utformning som stämmer bättre överens med den verkliga byggnadens utformning. Den yttre utformningen är inte längre kvadratisk till följd av färre vinkelräta hörn, enligt Figur 3 bild C och D. Modellen av byggnaden i den sista versionen, Version 20, är utformad enligt Figur 4.



Figur 3 - A: Modellen i de första versionerna. B: Planskiss över typplan i modellen i de första versionerna. C: Modell av byggnaden i versioner med flera plan. D: Planskiss över typplan i modellen av byggnaden med flera plan.

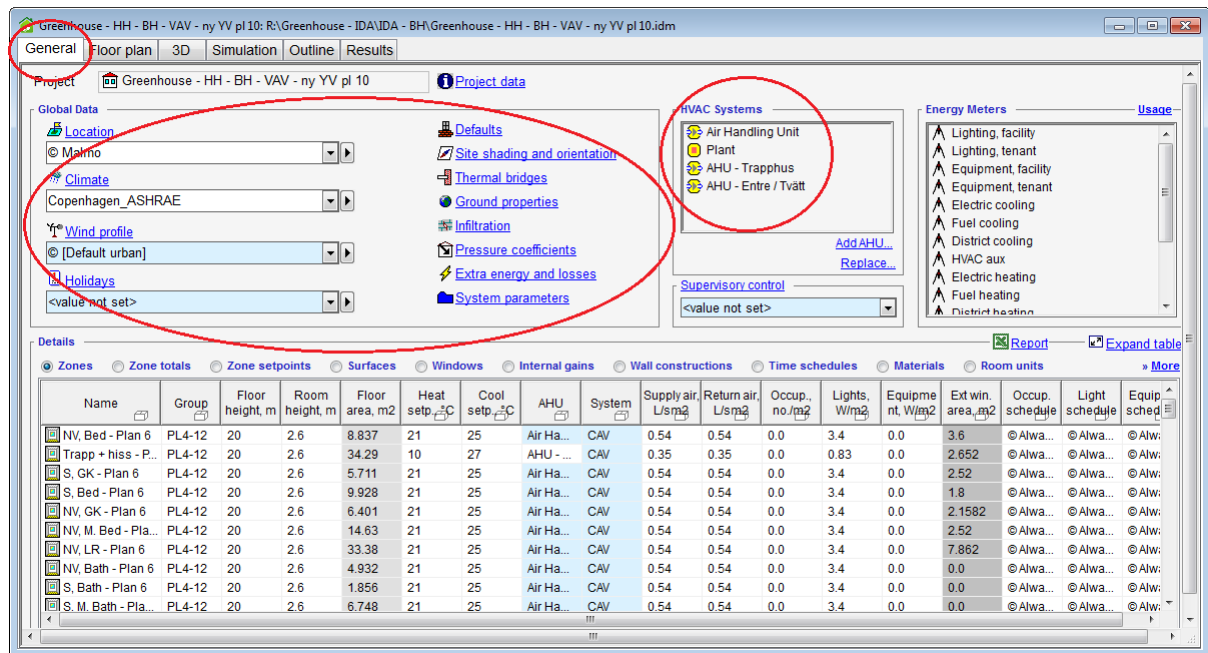


Figur 4 - A: Modellen i Version 20. B: Planskiss över typplan i Version 20.



## 5.2 Indata på byggnadsnivå

Den första huvuddelen av checklisten behandlar indata för byggnads- och installationstekniska system som påverkar eller styr byggnaden på en övergripande nivå. Exempel på detta är byggnadens yttre omständigheter, uppbyggnaden av klimatskalet och undercentralen till byggnadens uppvärmningssystem. Indata på byggnadsnivå är fördelad på sju områden där varje område innehåller olika många indata. Indata på dessa områden beskrivs i närmast följande rubriker (5.2.1 till 5.2.7). I Figur 5 visas den första fliken "General" som öppnas när IDA startas och härifrån nås all indata som studeras på en övergripande byggnadsnivå.



Figur 5 - Indata på övergripande nivå i byggnaden.

### 5.2.1 Ortspecifik data

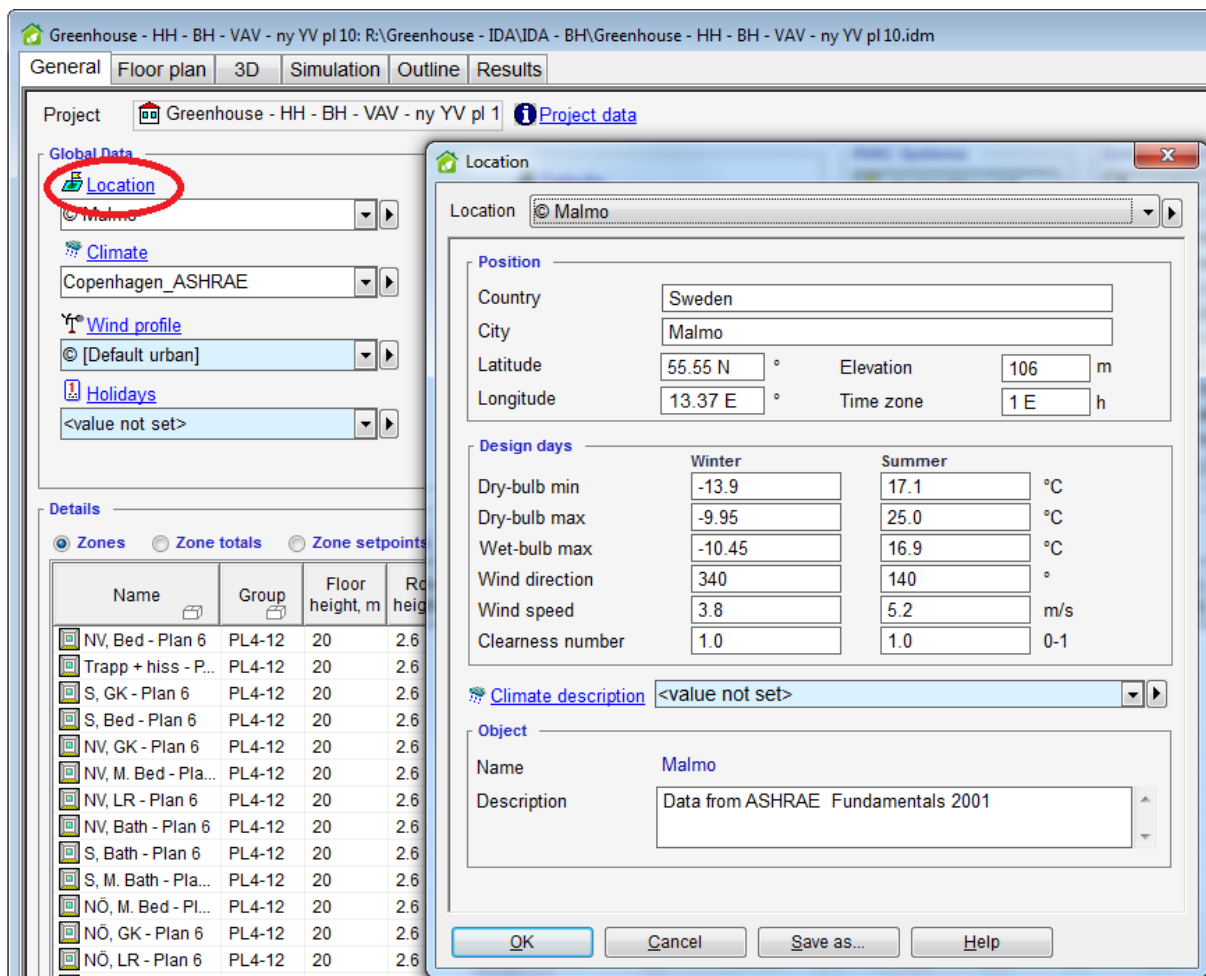
De indata för ortspecifik data som är utvalda att utgöra en del av checklisten påverkar stora delar i byggnadens energibalans. Transmissionsförlusterna är starkt kopplad till klimatet på platsen och markförhållandena som byggnaden är belägen på till följd av att temperaturdifferensen,  $\Delta T$ , över klimatskalet kommer att vara olika stort på grund av ortens varierande utomhustemperatur och marktemperatur under året. Ortens varierande utomhustemperatur är också avgörande för hur stor del av värmebehovet som kan täckas av värmeväxlaren. Vid för låga utetemperaturer kan det krävas att värmeväxlaren stängs av eftersom det annars föreligger risk för påfrysning i värmeväxlaren. Dessutom är utetemperatur avgörande för hur mycket uteluften behöver värmas innan den tillförs byggnaden som tilluft med avsedd tilluftstemperatur. Beroende på byggnadens utformning och var byggnaden är belägen och hur dess närmaste omgivning ser ut kommer byggnaden vara olika utsatt för vind vilket påverkar luftläckagets storlek genom klimatskalet.

Fastighetselens storlek kan potentiellt ändras till följd av ortspecifik indata eftersom att varierande klimat påverkar i vilken utsträckning exempelvis pumpar och fläktar är i drift. Detta till följd av varierande behov av värmeförsörjning och ventilation i byggnaden. Värmeförsörjning i byggnaden via solstrålning varierar som en följd av hur stor solintensiteten är och solens upp- och nedgång till följd

av byggnadens geografiska läge. Solvärmelastens storlek påverkas också av skuggning på platsen och orienteringen av byggnaden.

### 5.2.1.1 Plats

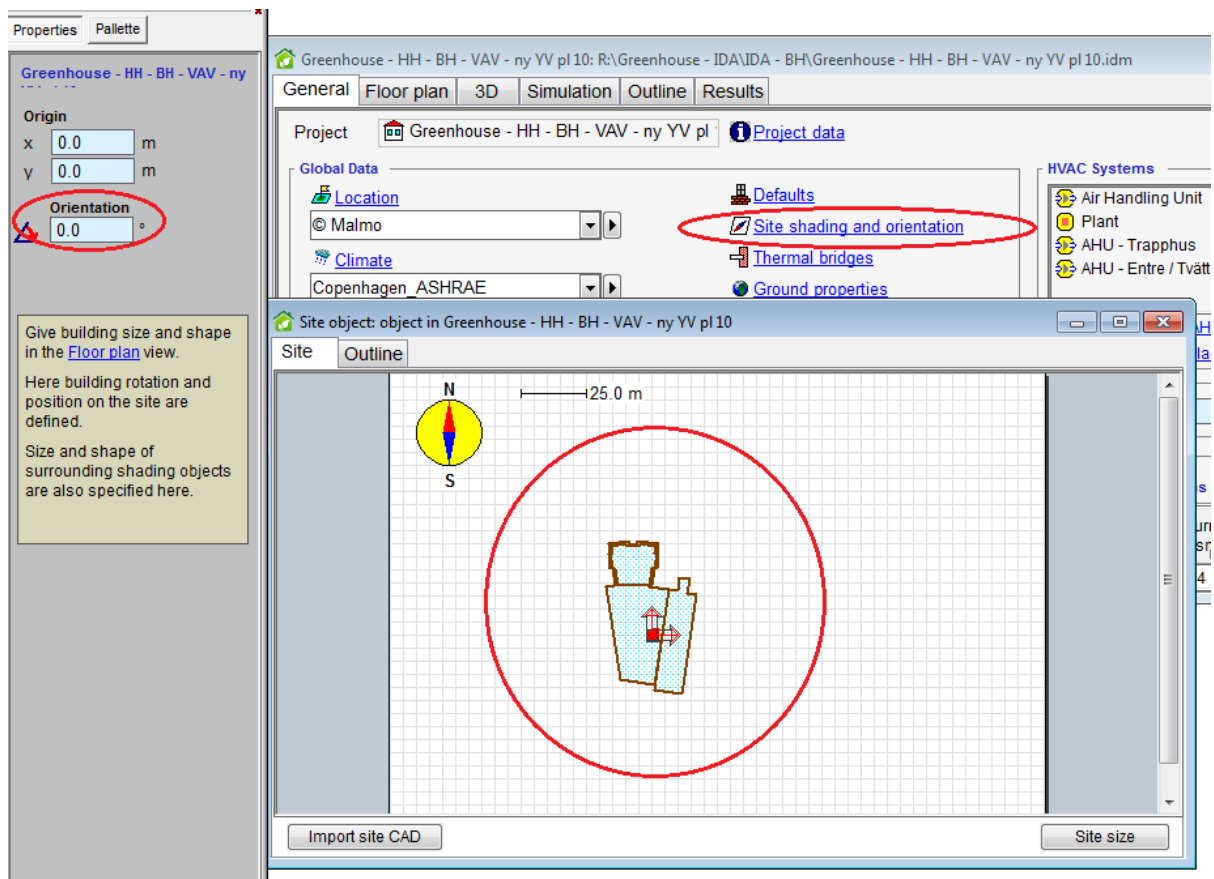
Indata består av en datafil, vilken hämtas från EQUA:s databas, som beskriver de yttre omständigheterna på den ort där byggnaden är belägen. Datafilen innehåller data om platsens koordinater, höjd över havet, dimensionerande utetemperaturer, dimensionerande vinddata och grad av molnighet. Utetemperaturerna, vinddata och molnigheten är i det här fallet statistiska dygnsvärden som kompletteras med klimatdata för simuleringar över en längre period. Gällande platsen studeras endast indata gällande vilken datafil som hämtats för att representera den aktuella plats byggnaden är belägen på. Se Figur 6.



Figur 6 - Indata gällande platsen som byggnaden är belägen på.

### 5.2.1.2 Skuggning och orientering

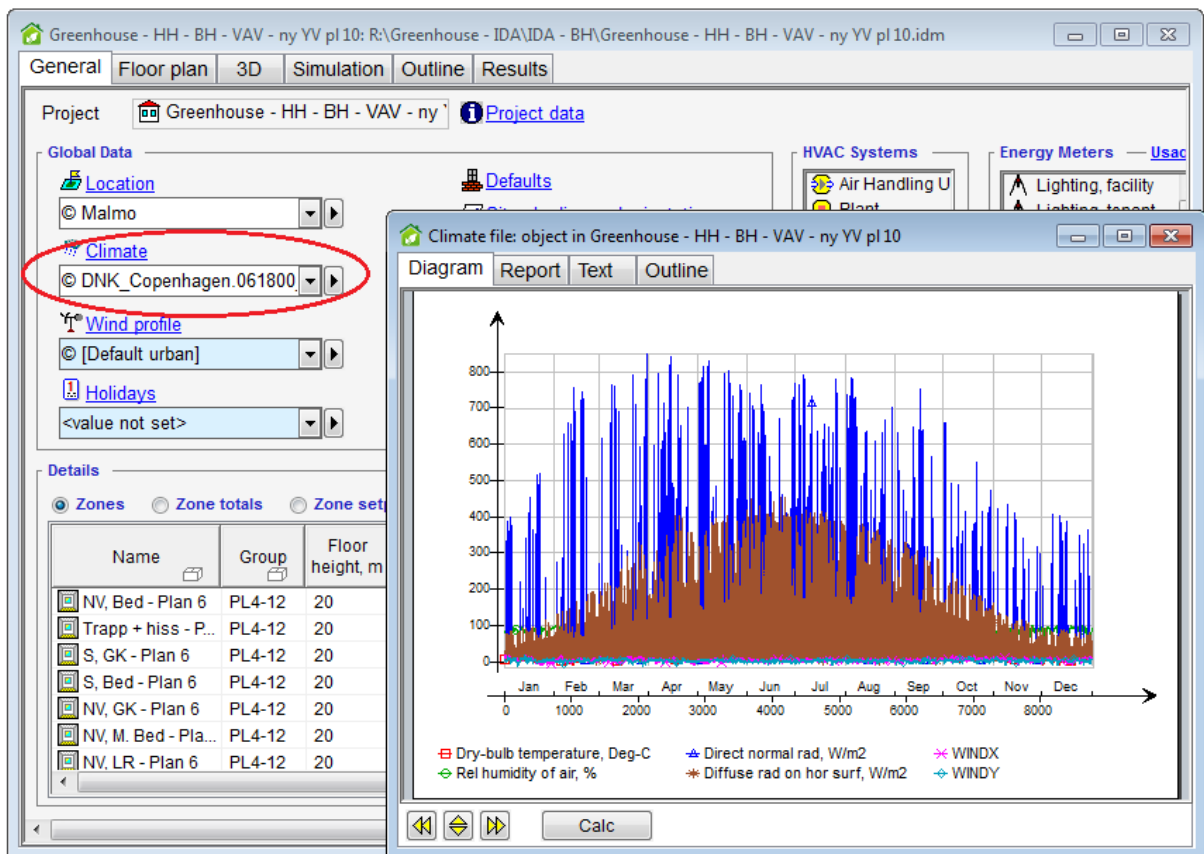
Här ges möjlighet att lägga till exempelvis grannbyggnader eller växtlighet som kan ge upphov till skuggning av byggnaden. Detta regleras genom att rita ut och definiera dimensionerna på de skuggande objekten i byggnadens omgivning i dialogrutan enligt Figur 7. I samband med denna indata kan även byggnadens orientering till sin omgivning definieras genom att bestämma en vinkel mellan byggnaden och en axel i nord/sydlig riktning. Indata som studeras är i vilken omfattning det råder skuggning och hur byggnaden är orienterad.



Figur 7 - Indata gällande skuggning och orientering av byggnaden.

### 5.2.1.3 Klimat

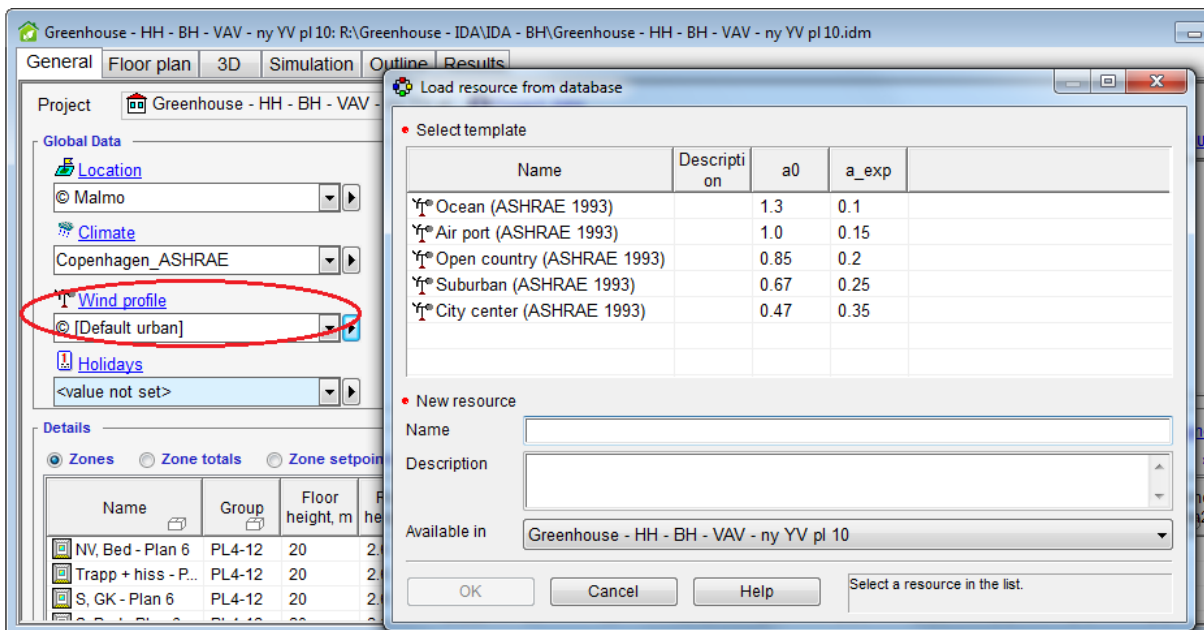
Indata erhålls i en klimatdatafil skapad av ASHRAE som hämtas från EQUA:s databas, där det finns klimatdata applicerat på ett begränsat antal orter. Klimatdatafilen innehåller information om den specifika ortens utetemperatur, relativ luftfuktighet, solintensitet och vindförhållanden enligt Figur 8. Klimatdatafilen innehåller dessa värden variation över ett år. Detta medför att en simulering av byggnadens årliga energibehov är möjlig. Indata som studeras är vilken klimatdatafil som valts.



Figur 8 - Indata klimatdata.

#### 5.2.1.4 Vindprofil

Indata för vindprofilen hämtas i form av en fil skapad av ASHRAE. De olika filerna är utformade efter vilken typ av omgivning som byggnaden avser att upprättas i så som stadskärna, förort eller öppet landskap. Filerna genererar olika värden för vindprofilerna, se Figur 9. Här studeras indata i form av vilken av de förutbestämda vindprofilerna som valts.



Figur 9 - Indata vindprofil.

### 5.2.1.5 Tryckkoefficient

Denna indata beräknar vindtrycket som påverkar byggnadens yttre ytor i förhållande till vindhastigheten i takhöjd. Tryckkoefficienten är beroende av byggnadens form, placering och omgivning. Med hjälp av kommandot "Auto fill", enligt Figur 10, kan tre grundinställningar väljas beroende på hur vindutsatt byggnaden är; utsatt, delvis utsatt eller skyddad. De indata som studeras är hur koefficienterna ser ut för respektive byggnadsdel, om de är ifyllda genom "Auto fill" eller antar några andra värden.

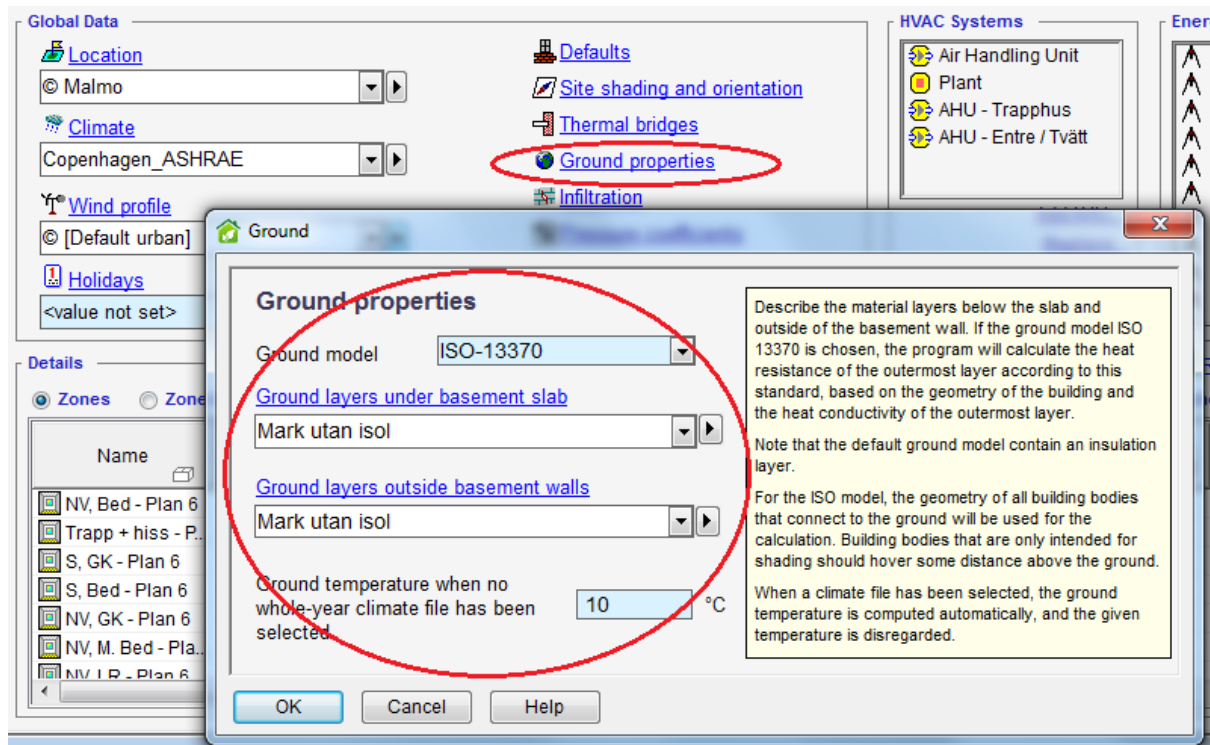
The screenshot shows the software interface for setting pressure coefficients. The 'Pressure coefficients' menu item is circled in red. A table displays values for various body parts and angles. The 'Auto fill' button is also circled in red, with a dropdown menu showing 'AIVC Exposed', 'AIVC Semi-exposed', and 'AIVC Sheltered'.

Face \ Angle	0	45	90	135	180	225	270	315	Face azi...
Body part 2									
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
f1a	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	351.5978...
f1d	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	81.53516...
f1g	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	351.5828...
f1i	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	8.104258...
f1l	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	276.3513...
f1m	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	8.662394...
f2	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	98.68908...
f3	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	180.0
f4a	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	261.4362...
Body part 3									
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roof	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
f1a	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	352.5036...

Figur 10 - Indata tryckkoefficient.

### 5.2.1.6 Markförhållanden

Här regleras markens egenskaper under bottenbjälklaget och utanför källarväggen. Grundläggande modeller kan hämtas från EQUA:s databas. I dialogrutan för markförhållanden kan dessutom en standardmodell, ISO 13370, väljas som automatiskt kalkylerar förhållandena i marken utifrån denna standard. Utöver detta undersöks indata för markförhållandena utanför bottenbjälklaget och på utsidan av eventuella källarväggar. Se Figur 11.



Figur 11 - Indata markförhållanden.

Tabell 11 - Sammanställning av identifierad indata för Ortspecifik data i checklisten.

<b>Ortspecifik data</b>
<b>Identifierad indata</b>
Plats
Skuggning
Orientering
Klimat
Vindprofil
Tryckkoefficient
Markmodell
Marklager under källarbjälklag
Marklager utanför källarvägg

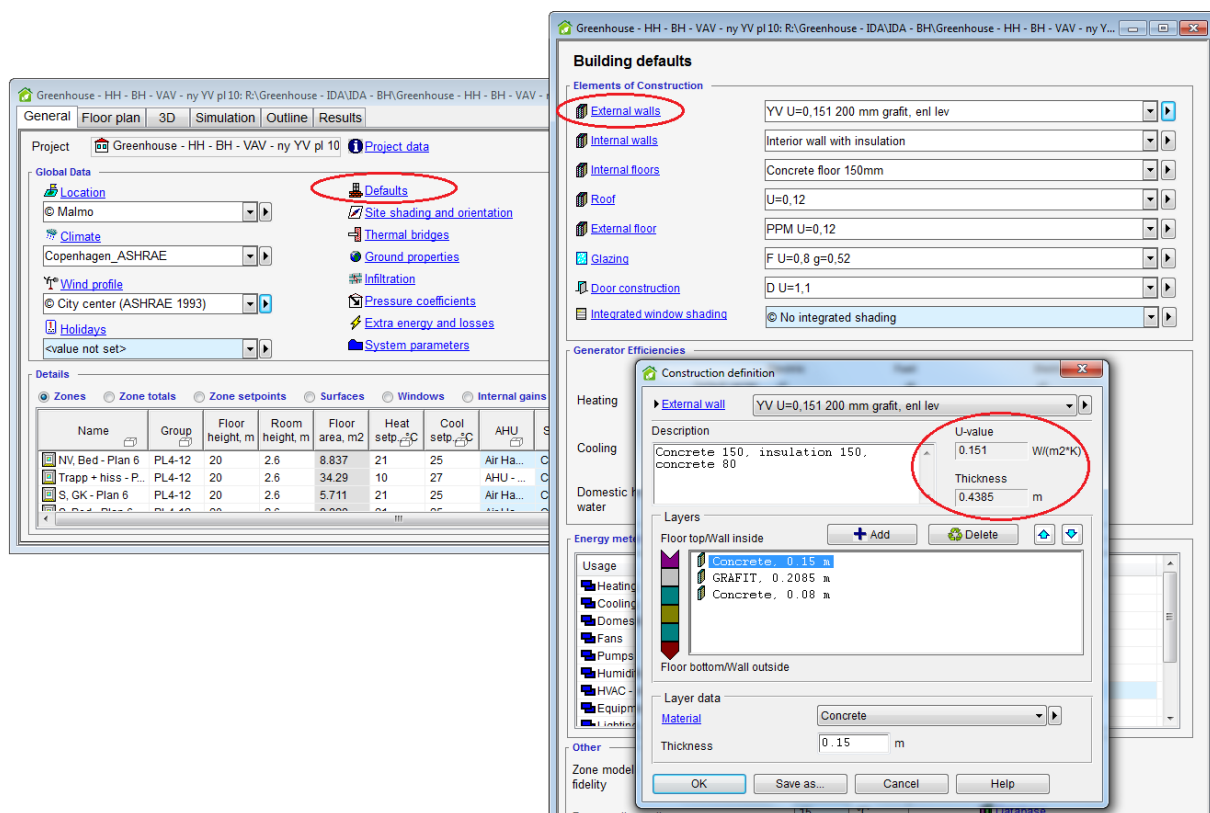
### 5.2.2 Byggnadselement

Ändrad indata på byggnadselementen kan leda till förändringar under flera punkter i byggnadens energibalans. Ändringar kan påverka transmissionsförlusterna i stor utsträckning då dessa är

beroende av just de indata som regleras här. Storleken och omfattningen av det värmetilskott som sker via solstrålning är till stor del ett resultat av indata för fönstren.

### 5.2.2.1 Klimatskal och innerväggar

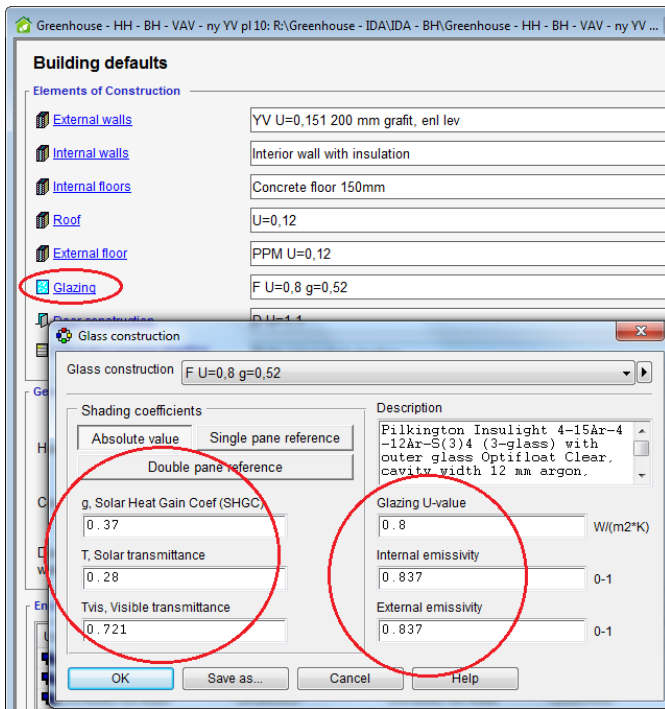
Nästa område under fliken "General" där indata kan ändras är i dialogrutan "Defaults" där byggnadselement och kompletteringar i dessa beskrivs. Byggnadselementen är ytterväggar, tak, bottenbjälklag, innerväggar och mellanbjälklag. Alla de här delarna modelleras på samma sätt, exempelvis kan ytterväggen byggas upp av olika lager av material där lagrens egenskaper kan definieras; tjocklek, värmekonduktivitet, densitet och specifik värmekapacitet. På samma sätt definieras dörrarnas egenskaper. När egenskaperna på lagren är definierade beräknas automatiskt byggnadsdelens totala U-värde och tjocklek, enligt Figur 12. Det är dessa två indata som utgör indata i checklistan. Alltså görs ingen djupare studie av hur exempelvis ytterväggens uppbyggnad av olika material har ändrats mellan olika versioner.



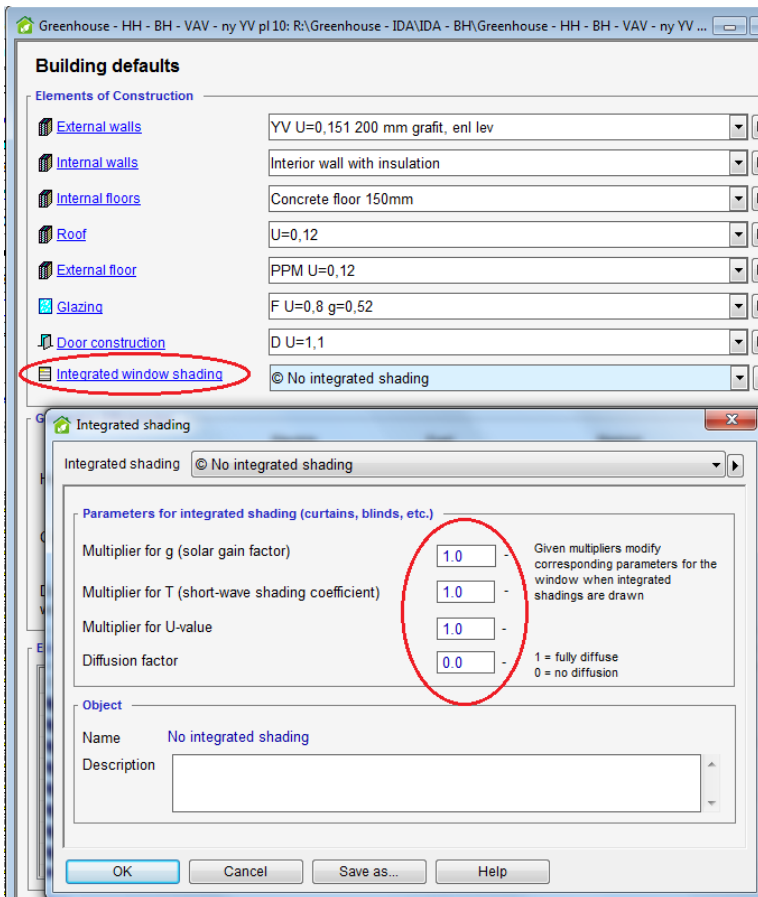
Figur 12 - Indata byggnadselement.

### 5.2.2.2 Fönster

För glaset i fönstren kan flera indata ändras; U-värde, g-värde, transmittans och emissivitet som alla kommer att föras in i checklistan, enligt Figur 13. Totalt är det sju indata som tagits med i checklistan. Antingen kan standardfönster hämtas från EQUA:s databas och då erhålls dessa indata automatiskt eller kan enstaka indata ändras genom manuell inmatning. I anslutning till fönstren kan integrerad solavskärmning läggas till vars indata också kan erhållas genom att anta en standardutförning hämtad från databasen. Beroende på vilken typ av solavskärmningen som väljs kommer det valda fönstrets indata att justeras automatiskt med en faktor mellan 0 och 1, där 1 innebär att aktuell indata antingen inte påverkas av solavskärmningen eller att ingen solavskärmning är vald, se Figur 14. Utöver indata för fönstren är även U-värde på ytterdörr en del av checklistan.



Figur 13 - Indata fönster.



Figur 14 - Indata solavskärmning, integrerad i fönster.

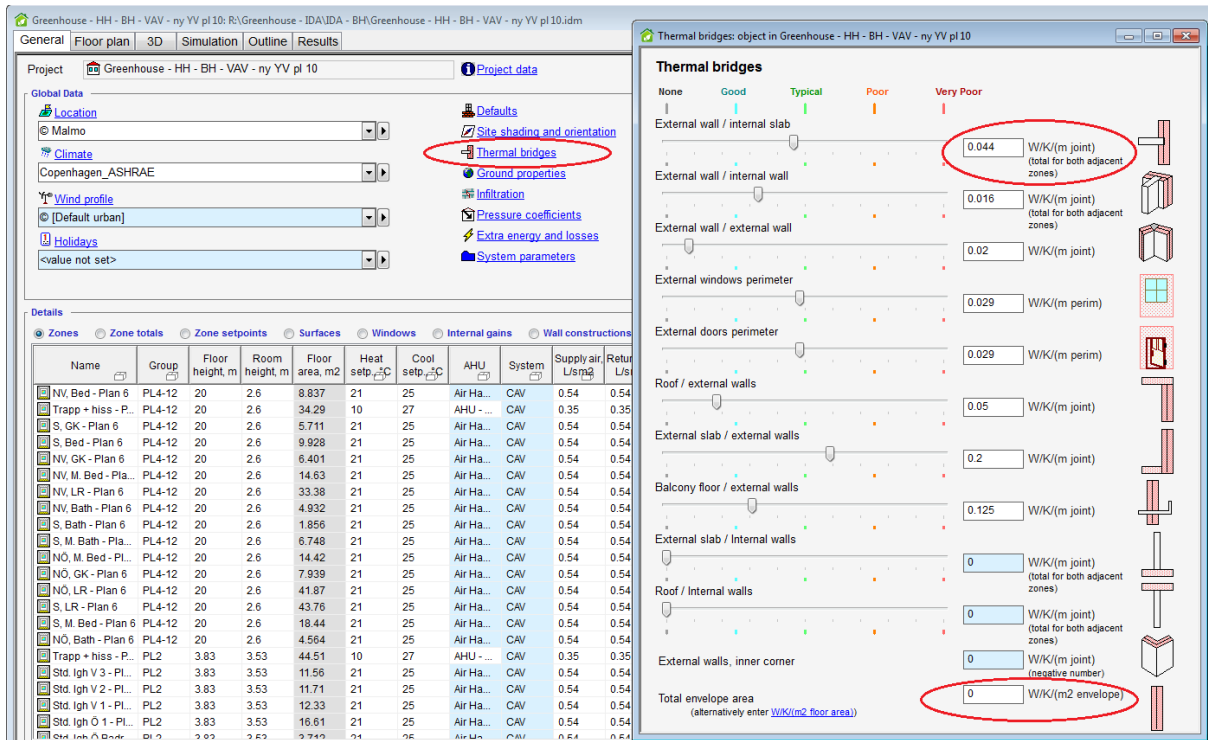


Tabell 12 - Sammanställning av identifierad indata för Byggnadselement i checklisten.

<b>Byggnadselement</b>	
	<b>Identifierad indata</b>
<i>Ytterväggar</i>	
	Tjocklek/m
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))
<i>Innerväggar</i>	
	Tjocklek/m
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))
<i>Mellanbjälklag</i>	
	Tjocklek/m
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))
<i>Tak</i>	
	Tjocklek/m
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))
<i>Bottenbjälklag</i>	
	Tjocklek/m
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))
<i>Fönster</i>	
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))
	g-värde, (SHGC)
	T-värde, soltransmittans/-
	Tvis, synlig transmittans/-
	Inre emittans/(W/m <sup>2</sup> )
	Yttre emittans/(W/m <sup>2</sup> )
	Integrerad fönsteravskärmning
<i>Ytterdörrar</i>	
	U-värde/(W/(m <sup>2</sup> · K))

### 5.2.3 Köldbryggor

Under fliken "General" kan indata för klimatskalets köldbryggor ändras. Programmet ger möjlighet, i dialogrutan för köldbryggor, att definiera 11 olika typer av köldbryggor och ange ett värmefflöde genom respektive köldbrygga. Antingen anges ett värmefflöde för varje köldbrygga eller kan ett generellt värmefflöde på de totala köldbryggornas andel av byggnadens omslutande area anges. Se Figur 15. Indata för detta område är således värmefflödet genom respektive köldbrygga. Ändring av indata av köldbryggornas värmefflöde påverkar omfattningen av transmissionsförluster i byggnaden.



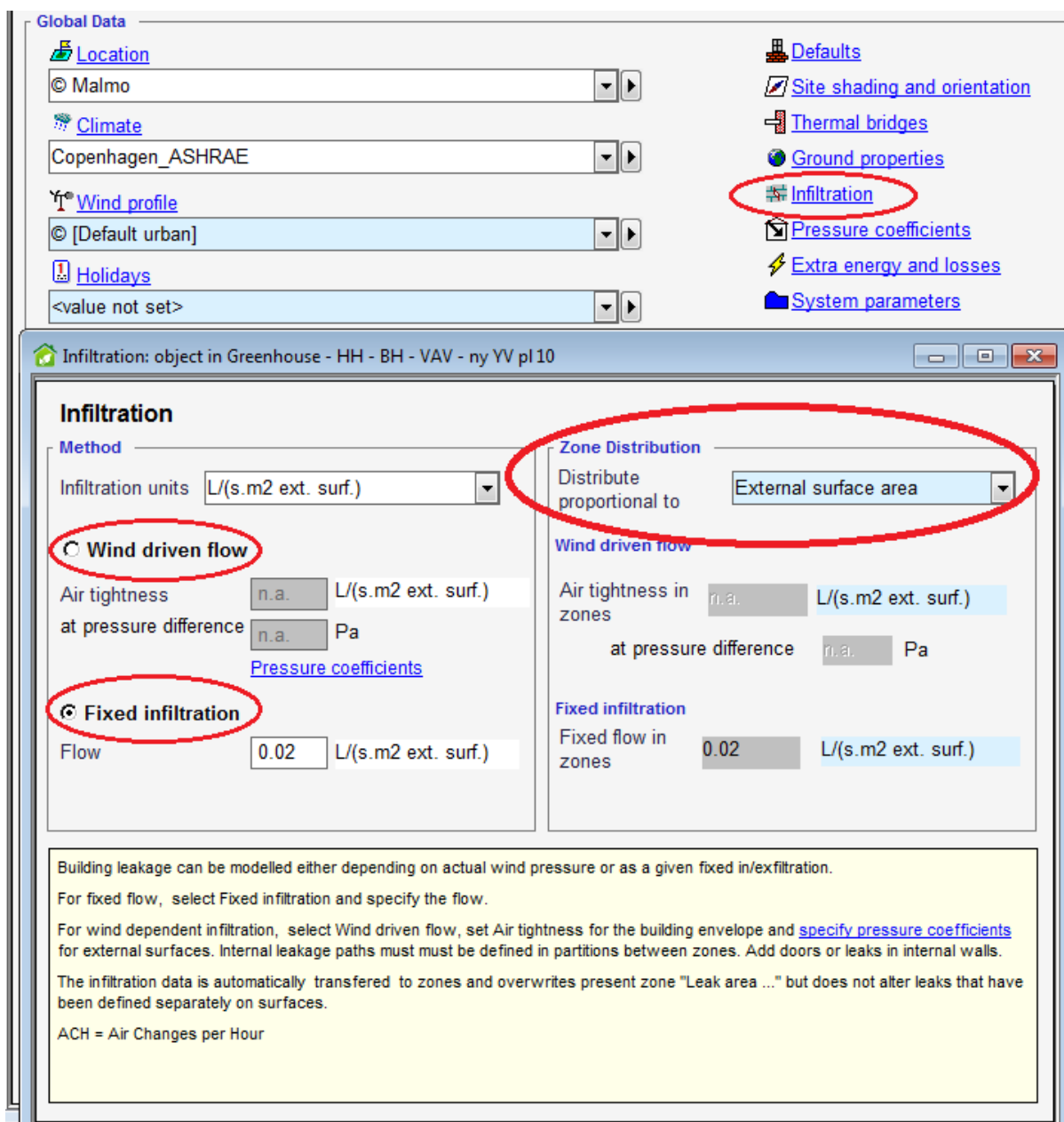
Figur 15 - Indata köldbryggor.

Tabell 13 - Sammanställning av identifierad indata för Köldbryggor i checklisten.

<b>Köldbryggor</b>	
	<b>Identifierad indata</b>
<i>Mellanbjälklag</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Anslutning innervägg/yttervägg</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Hörn (negativt)</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Hörn (positivt)</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Fönsterinfästning</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Dörrinfästning</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Anslutning takbjälklag/yttervägg</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Anslutning bottenplatta/yttervägg</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Balkong</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Anslutning bottenplatta/innervägg</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Anslutning takbjälklag/innervägg</i>	
	$\Psi/(W/(m \cdot K))$
<i>Schablonvärde, total omslutande area</i>	
	U-värde/ $(W/(m^2 \cdot K))$

#### 5.2.4 Luftläckage

Otättheter i klimatskalet ger upphov till ett luftläckage och detta regleras i dialogrutan "Infiltration" under fliken "General". I dialogrutan finns två alternativ att välja mellan för modellering av luftläckaget. Antingen kan läckaget vara beroende av vinden som verkar på byggnadens klimatskal eller så kan den vara fixerad till ett konstant flöde oberoende av vinden. Se Figur 16. Utöver detta anses också luftläckagets fördelning vara intressant att studera och förs in i checklisten, där fördelningen i förhållande till olika parametrar kan definieras så som luftvolym, golvarea eller som en jämn fördelning över byggnadens omslutande area. Luftläckaget utgör i sig en av delarna i byggnadens energibalans.



Figur 16 - Indata luftläckage.

Tabell 14 - Sammanställning av identifierad indata för Luftläckage i checklisten.

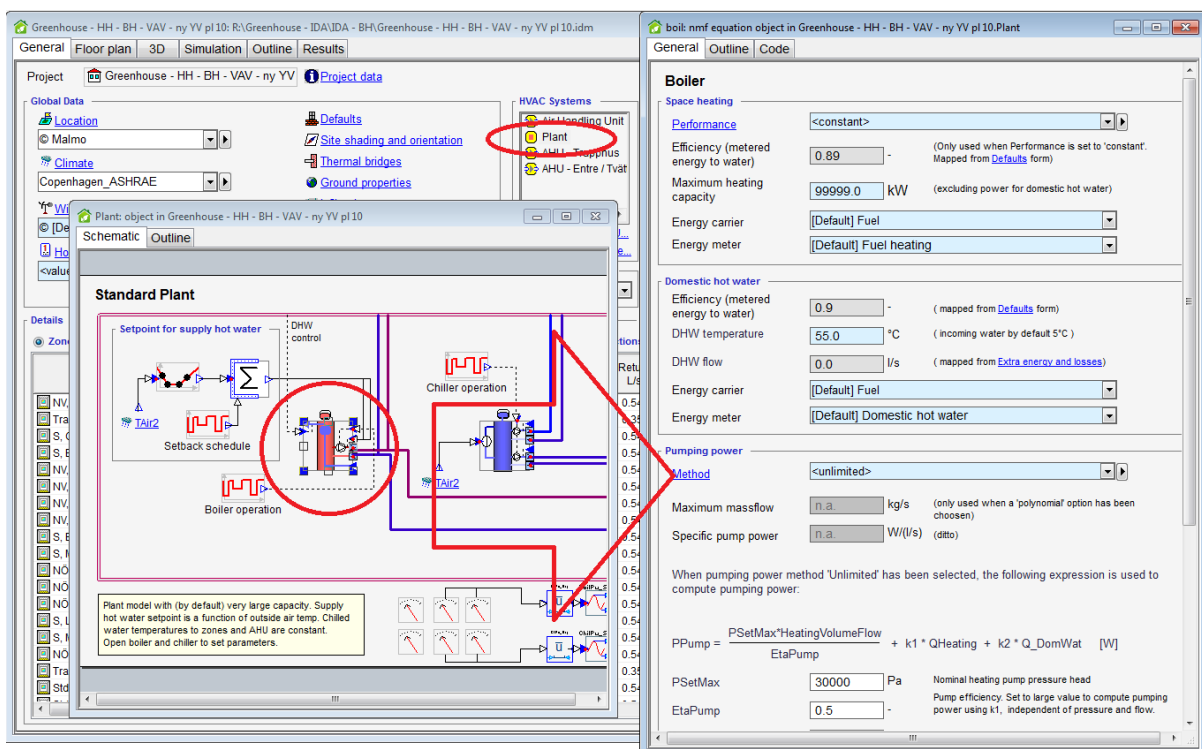
Luftläckage
<b>Identifierad indata</b>
Vinddriven eller fixerad infiltration
Fördelning av luftläckage
Flöde/(l/(s·m <sup>2</sup> ))

### 5.2.5 Värmeproducerande enhet – fjärrvärmeväxlare

Under fliken "General" finnas ett antal olika system som kategoriseras som "HVAC systems" (Heating, Ventilating, Air conditioning). Dialogrutan "Plant" öppnas här vilken innehåller byggnadens värmeproducerande panna och kylmaskin. De två enheterna är kopplade till skilda tidsscheman från

vilka unika scheman för enheternas driftstider kan skapas. Eventuellt ändrade driftstider är av intresse och kommer tas med som indata i checklisten. I Greenhouse motsvarar pannan en fjärrvärmeväxlare som förser byggnaden med värme och tappvarmvatten. Från fjärrvärmeväxlaren distribueras värme till luftbehandlingsaggregatets eftervärmningsbatteri för att spetsa tilluften till önskad temperatur som sedan tillförs zonerna i byggnaden. Fjärrvärmeväxlaren värmer också vatten som via distributionskanaler förs till zonerna där värme tillförs med hjälp av rumsenheter i form av till exempel radiatorer. Fjärrvärmeväxlaren förser dessutom byggnaden med tappvarmvatten. I dialogrutan "Boiler", enligt Figur 17, finns tre olika grupper av indata för fjärrvärmeväxlaren; uppvärmning, tappvarmvatten och pumpprestanda. Totalt tas 13 olika indata på fjärrvärmepumpen med i checklisten för studien gällande exempelvis verkningsgrader, maximal värmeeffekt, flöden och pumpdata.

Indata för kylmaskinen i dialogrutan "Plant" kommer inte att tas med i checklisten eftersom att byggnaden inte kommer att ha något system för kylning. Kylmaskinen finns trots detta med i modellen men det kylaggregat som kylmaskinen är kopplad till kommer att vara avstängd genom att dess verkningsgrad har satts till noll.



Figur 17 - Indata fjärrvärmeväxlare.

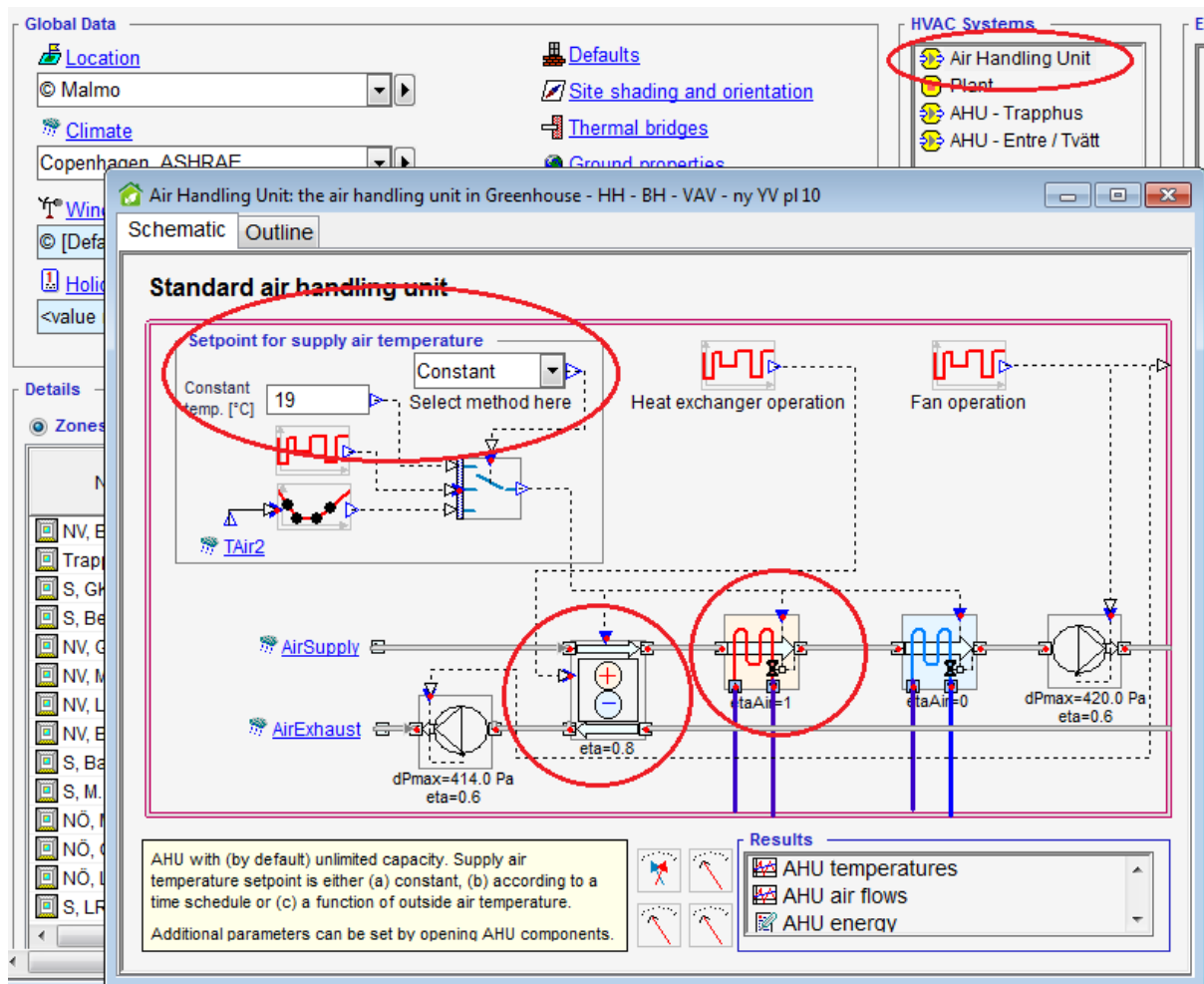
Ändringar av indata för fjärrvärmeväxlaren påverkar flera av delarna i energibalansen; ventilation, tappvarmvatten och fastighetselen. Då denna enhet producerar alla den värme som används dels i ventilationens eftervärmningsbatteri och det vatten som skall värmas för att sedan användas som tappvarmvatten. Hur denna anläggning ser ut och vilka komponenter som ingår och vilken energianvändning dessa har är sådant som skall ingå i fastighetselen.

Tabell 15 - Sammanställning av identifierad indata för Värmeproducerande enhet i checklisten.

<b>Värmeproducerande enhet</b>	
	<i>Identifierad indata</i>
<i>Uppvärmning</i>	
	Prestanda (konstant drift eller ex. schema)
	Verkningsgrad
	Maximal värmeeffekt/kW
<i>Tappvarmvatten</i>	
	Verkningsgrad
	Tappvarmvattentemperatur/°C
<i>Pumpprestanda</i>	
	Metod
	Maximalt massflöde/(kg/s)
	Specifik pumpeffekt/(W/(l/s))
	Pset max/Pa
	EtaPump
	k1
	k2
	Styrning av enhet

### 5.2.6 Luftbehandlingsaggregat

I "HVAC systems", utöver "Plant", kan ventilationssystemets luftbehandlingsaggregat modelleras bestående av delarna värmväxlare, eftervärmningsbatteri, kylbatteri, fläktar och styrsystem. Modellen av luftbehandlingsaggregatet framgår i Figur 18. Beroende på hur den verkliga byggnadens ventilationssystem utformas kan flera olika luftbehandlingsaggregat läggas till som var och en förser olika delar av byggnaden med ventilation. I enlighet med tidigare resonemang om att byggnaden inte skall förse med något kylsystem är inte kylbatteriets indata intressant för studien och förs inte in i checklisten.



Figur 18 - Indata luftbehandlingsaggregat.

För värmeväxlaren anges indata för dess verkningsgrad, flödeskapacitet och gräns för lägsta frånluftstemperatur. Efter värmeväxlaren sitter eftervärmningsbatteriet, som har möjlighet att värma tilluften ytterligare med hjälp av värme tillförd från fjärrvärmväxlaren. Indata i eftervärmningsbatteriet är dess verkningsgrad och den temperatur som potentiellt går att överföra till luften ur värmen från fjärrvärmväxlaren. I luftbehandlingsaggregatet definieras sedan den tilluftstemperatur som ska levereras in i byggnadens zoner. Detta blir avgörande för hur mycket frånluften som skall växlas i värmeväxlaren och hur mycket tilluften ska värmas ytterligare i eftervärmningsbatteriet för att åstadkomma rätt tilluftstemperatur.

I luftbehandlingsaggregatet finns två olika fläktar, en tilluftsfläkt och en frånluftsfläkt, som båda är kopplade till ett gemensamt tidsschema som styr fläktarnas driftstid. Indata för fläktarna behandlar både prestanda på fläkten och potentiell tillskottstemperatur över fläktarna.

Indata och utformning av luftbehandlingsaggregatet påverkar byggnadens energibalans gällande ventilation, distributions- och reglerförluster, fastighetsel och återvunnen värme. Beroende på ventilationssystemets utformning och ändring av indata på de ingående delarnas verkningsgrader påverkas distributions- och reglerförlusterna i byggnaden. Ändrad indata på värmeväxlarens verkningsgrad kommer att påverka hur effektivt värmeväxlaren återvinner värme i den uppvärmda frånluften. Beroende på indata på exempelvis fläktarna kommer fastighetselens omfattning att variera.

Tabell 16 - Sammanställning av identifierad indata för Luftbehandlingsaggregat i checklisten.

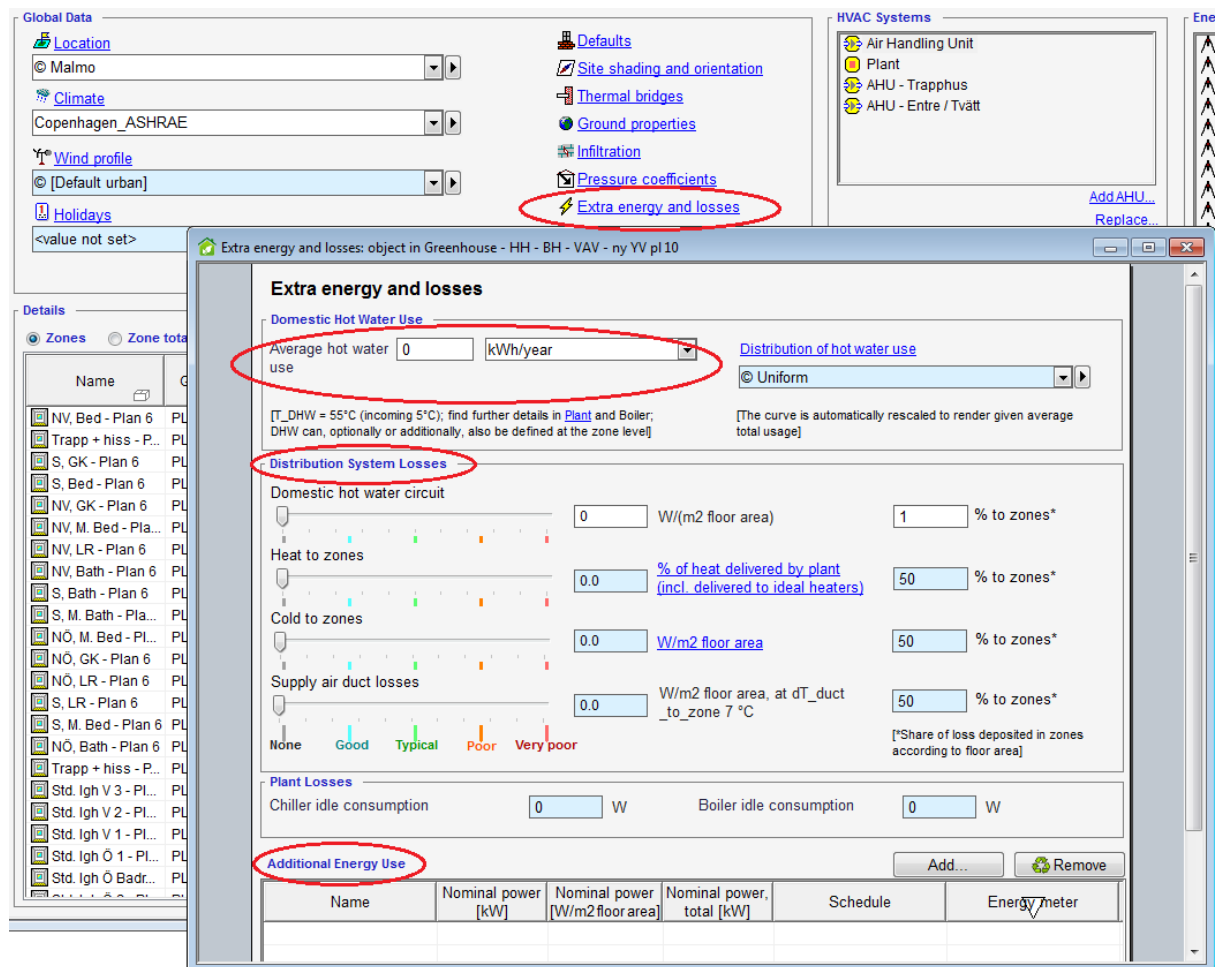
<b>Luftbehandlingsaggregat</b>	
	<b>Identifierad indata</b>
<i>Värmeväxlare</i>	
	Verkningsgrad
	Kapacitet/(m <sup>3</sup> /s)
	Minsta tillåtna frånluftstemperatur/°C
	Styrning
<i>Eftervärningsbatteri</i>	
	Verkningsgrad
	Vätskesidans temperaturfall/°C
<i>Styrning av tilluftstemperatur</i>	
	Styrparameter och värde
<i>Fläkt i tilluft</i>	
<i>Fläktprestanda</i>	
	Tryckstegring/Pa
	Verkningsgrad
	SFP-tal/(kW/(m <sup>3</sup> /s))
<i>Lufttemperaturökning</i>	
	Temperatur/°C
	Motor i luftflöde/%
<i>"VAV part load performance"</i>	
	Prestanda
	Nominellt flöde
<i>Styrning av fläkt</i>	
	Driftsschema
<i>Fläkt i frånluft</i>	
<i>Fläktprestanda</i>	
	Tryckstegring/Pa
	Verkningsgrad
	SFP-tal/(kW/(m <sup>3</sup> /s))
<i>Lufttemperaturökning</i>	
	Konstant
	Motor i luftflöde/%
<i>"VAV part load performance"</i>	
	Prestanda
	Nominellt flöde
<i>Styrning av fläkt</i>	
	Driftsschema

### 5.2.7 Övrig energi och förluster

Här regleras indata gällande övrig energi som kan tillgodoräknas i byggnaden och övriga förluster, enligt Figur 19. Här ges också möjlighet att definiera hur stor tappvarmvattenanvändningen i byggnaden är. Indata för förlusterna som kan matas in är distributionsförluster i



varmvattencirkulationskretsen, ventilationskanalerna och värmesystemet. Här anges också i vilken omfattning förlusterna kan tillgodoräknas som extra värme tillförd i byggnadens zoner. Dessutom finns möjligheten i den här dialogrutan att addera indata för ytterligare system som kan generera extra energi till byggnaden, till exempel solfångare, solceller och vindkraft.



Figur 19 - Indata övrig energi och förluster.

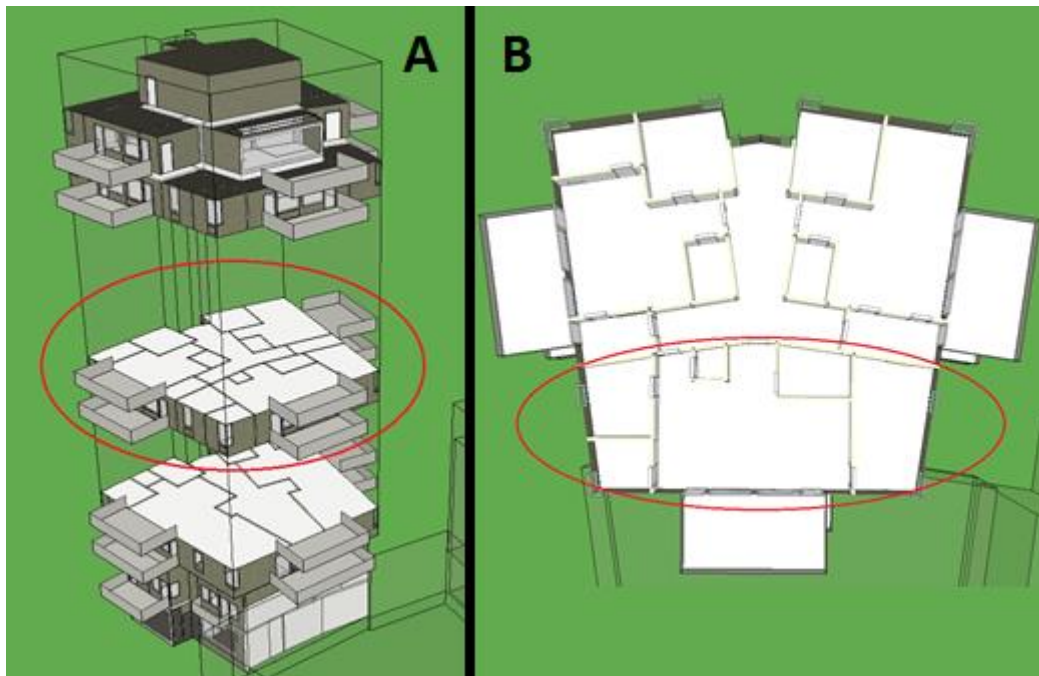
Förluster i byggnadens distributionssystem och övriga installationer bidrar till energibalansens distributions- och reglerförluster. Förlusterna kan ses som ett värmetillskott om det finns ett uppvärmningsbehov eller som en värmelast som riskerar att bidra till övertemperaturer om det inte finns ett uppvärmningsbehov. Om system, som kan generera extra energi, adderas kan behovet av tillförd energi från exempelvis fjärrvärmväxlaren minskas.

Tabell 17 - Sammanställning av identifierad indata för Övrig energi och förluster i checklistan.

<b>Övrig energi och förluster</b>	
	<i>Identifierad indata</i>
<i>Tappvarmvattenanvändning</i>	
	Genomsnittlig tappvarmvattenanvändning
	Distribution
<i>Förluster i distributionssystem</i>	
	Varmvattencirkulationskrets/(W/m <sup>2</sup> <sub>golv</sub> )
	Varav tillförd zonen i %
	Värme till zon i %
	Varav tillförd zonen
	Förluster i tilluftskanal/(W/m <sup>2</sup> <sub>golv</sub> vid tempdiff 7 °C)
	Varav tillförd zonen i %
<i>Förluster i värmeproducerande enhet</i>	
	Tomgångsförbrukning/W
<i>Ytterligare energianvändning</i>	
	Övriga tillägg för extra energi, ex. hissar, solceller.

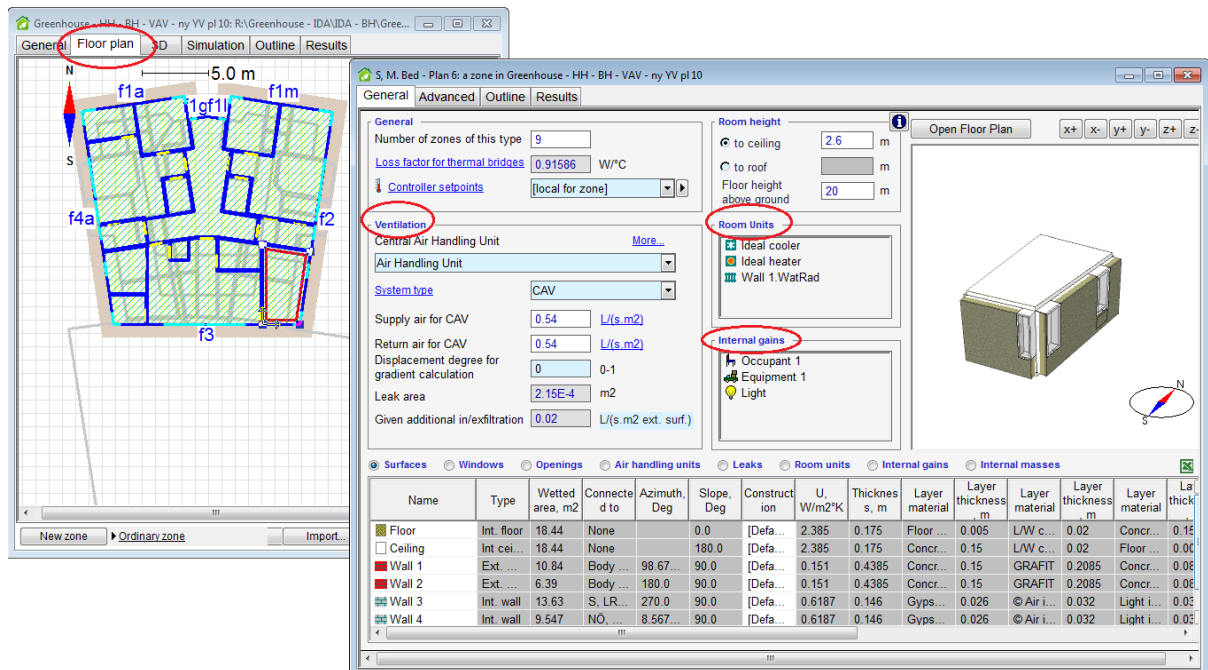
### 5.3 Indata på zonnivå - referensplanet

Den andra huvuddelen i checklisten behandlar indata i byggnadens olika zoner som är indelade efter hur den verkliga byggnaden avses att indelas i olika rum. Ett plan i modellen består generellt av tre lägenheter. Beroende på hur många olika plan en version är uppbyggd av kan antalet zoner var stort i modellen. För studien väljs en lägenhet på ett våningsplan som återkommer i majoriteten av versionerna. I tolv av versionerna studeras en lägenhet på plan 6 och i de resterande fyra versionerna studeras motsvarande lägenhet på plan 5 på grund av att plan 6 inte har modellerats i dessa versioner. De här planen väljs eftersom de anses kunna representera en betydande del av byggnaden. Av de totalt 14 våningsplanen är det nio stycken som har samma utformning som plan 5 och 6. På detta plan, benämns vidare som "referensplanet", studeras indata i lägenheten, benämns vidare som "referenslägenheten", som är belägen mot söder. Referensplanets och referenslägenhetens orientering i byggnaden visas i Figur 20. Den antas vara representativ för våningsplanet och i förlängningen även byggnaden.



Figur 20 - A: Plan 5 alternativt plan 6 utgör referensplanet. B: Referenslägenhet i söder.

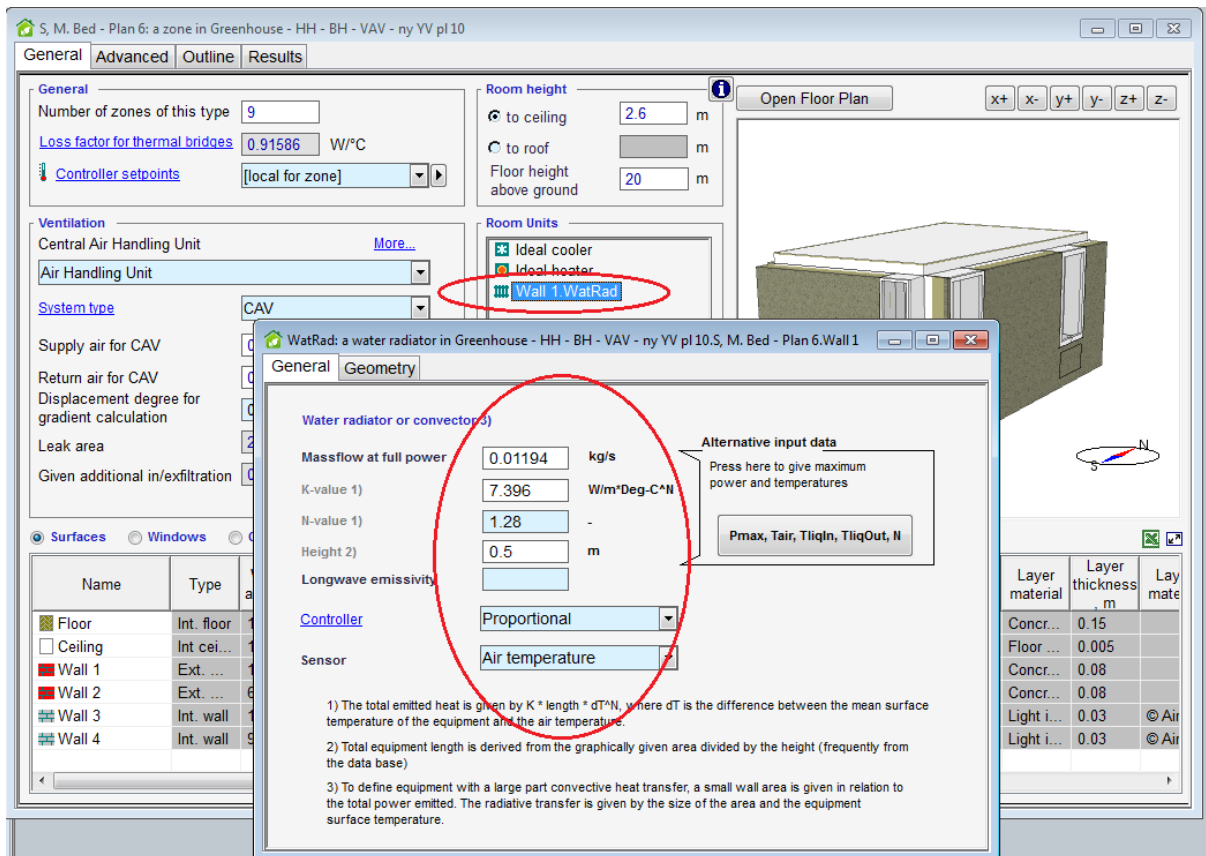
Referenslägenheten består av totalt sex olika zoner fördelade på WC, badrum, två sovrum, vardagsrum och grovkök. Fyra olika områden av indata kommer att föras in i checklisten och studeras i respektive zon; zonen geometriska utformning, ventilation, rumsenheter och internvärmelaster. Referenslägenhetens geometriska utformning kan definieras i andra delar av programmet men redovisas under denna rubrik, till vänster i Figur 21. En zons geometri är av intresse eftersom att exempelvis golvarea i zonen påverkar vilket ventilationsflöde som krävs i zonen och fönsterarean påverkar hur mycket tillskottsvärme som erhålls i zonen via solinstrålning.



Figur 21 - Indata på zonnivå.

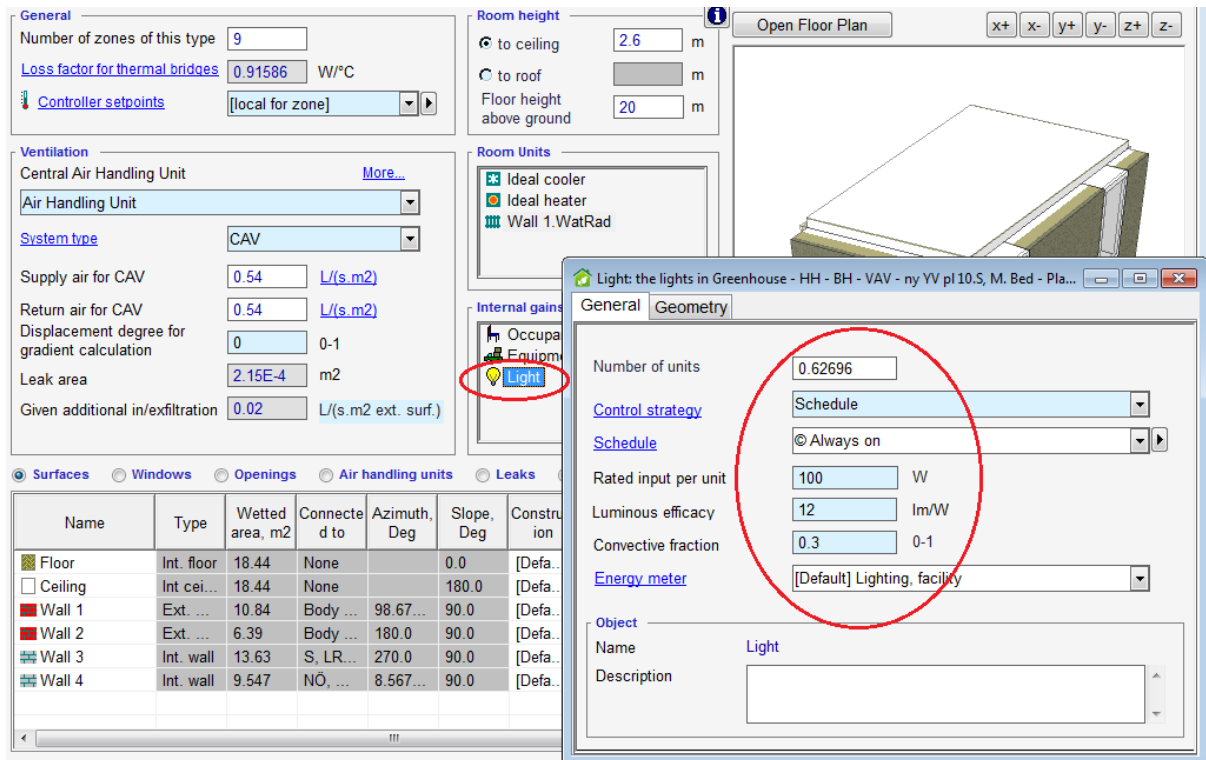
I den övergripande byggnadsnivån kan flera luftbehandlingsaggregat modelleras som kan förse olika delar av byggnaden med ventilation. Således är val av vilket luftbehandlingsaggregat som skall förse respektive zon med ventilation en indata på zonnivå. Utöver detta definieras vilket till- och frånluftsflöde som skall gälla i zonen.

I dialogrutan för zonen kompletteras zonen också med olika enheter under "Rooms units" för exempelvis uppvärmning av zonen. Om uppvärmning av en zon skall ske med vattenradiatorer så läggs indata till genom att öppna enheten under "Room units" enligt Figur 22. Indata här behandlar vilket flöde som ska gå genom radiatorn och radiatorns prestanda så som geometri och värmeavgivande effekt.

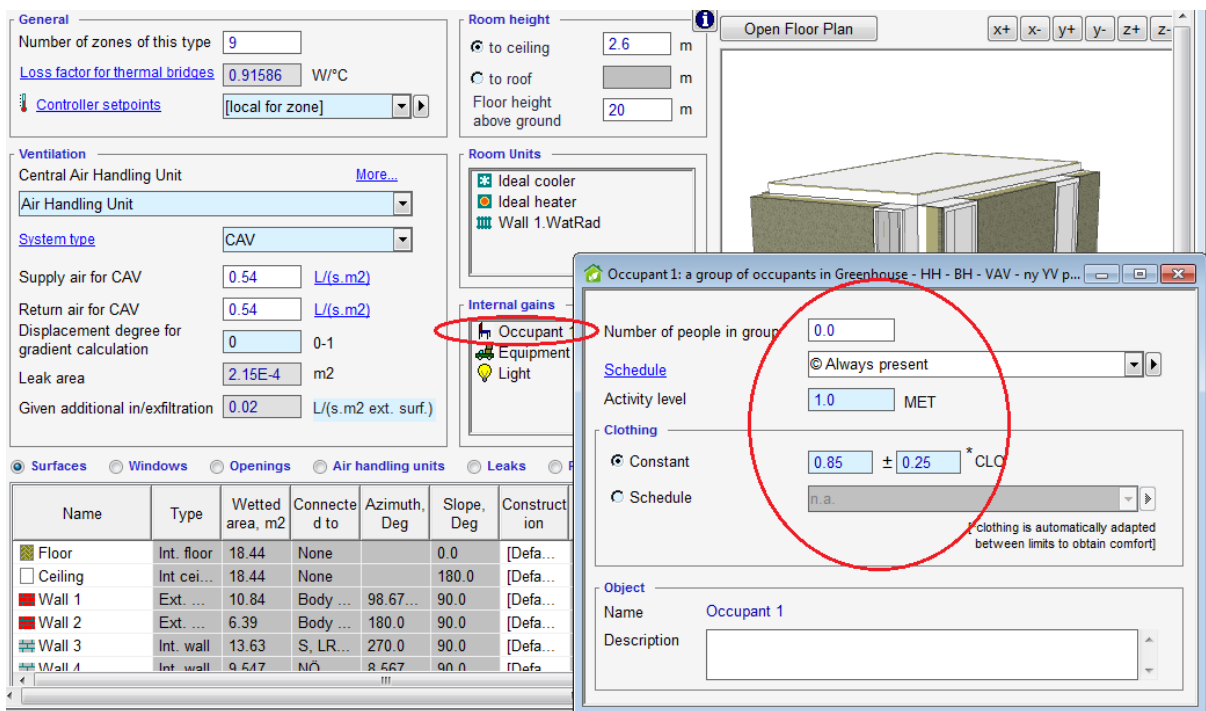


Figur 22 - Indata vattenradiator.

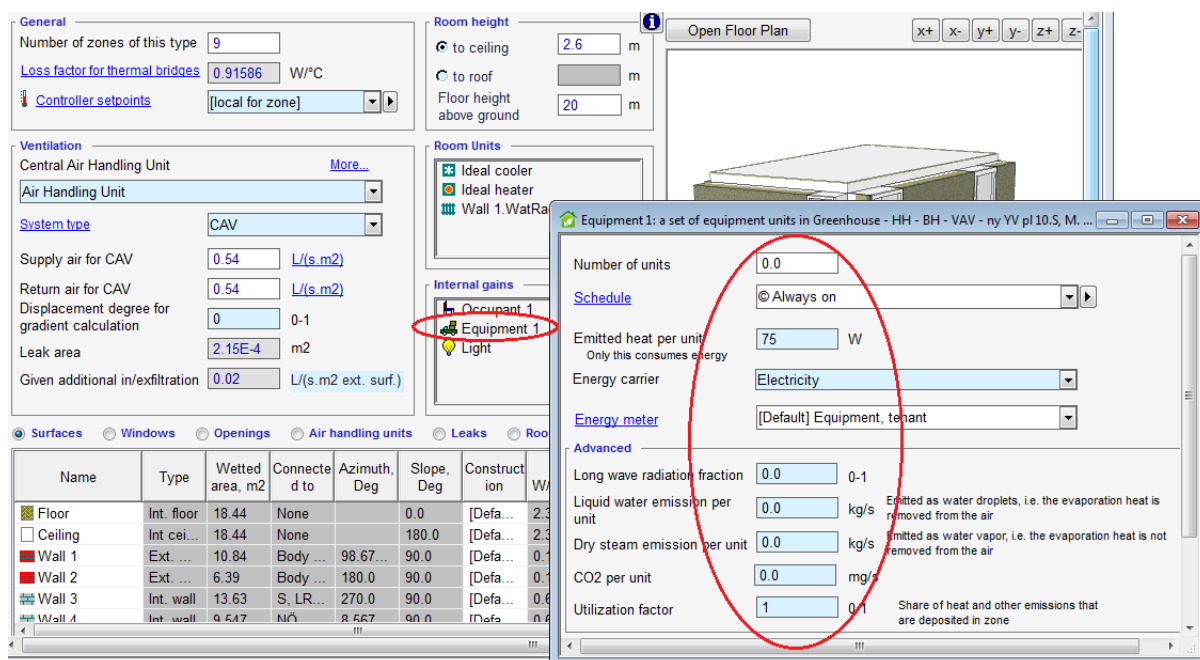
De internvärmelaster som finns att ta hänsyn till i en zon är värmelaster på grund av personnärvaro, hushållsapparater och belysning. I dialogrutan för belysningen kan indata ändras på belysningens effekt, antal belysningsenheter i zonen, hur styrning av den sker och dess driftstid enligt Figur 23. Värmelasten från personer grundar sig på hur många personer som finns i zonen och vilken tid de närvarar. Hur aktiva de närvarande personerna är kommer också att påverka värmelasten i zonen enligt Figur 24. Den avgivna värmen från hushållsapparaterna är beroende på hur många dessa är, vilken effekt tillförs dem och när dessa används enligt Figur 25.



Figur 23 - Indata för belysning i zonen.

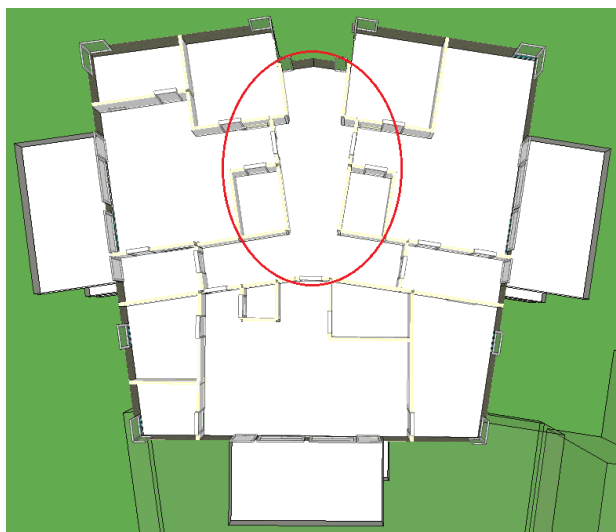


Figur 24 - Indata för personbelastning i zonen.



Figur 25 - Indata för hushållsapparater i zonen.

Centrerat i byggnaden, se Figur 26, ligger hiss- och trapphuset modellerat som en zon med liknande struktur som zonerna i referenslägenheten. Indata för trapphuset är; geometrisk utformning, ventilation, rumsenheter och internvärmelaster.



Figur 26 - Hiss- och trapphus på referensplanet.

I Tabell 18 visas en begränsad del av checklisten för indata på zonnivå. Överst i tabellen visas indata som summeras för alla zoner i referenslägenheten. Dessa indata kommer att tas in i checklisten för respektive zon men det är summeringen av dem som kommer att vara en del av den senare resultatsammanställningen av studerad indata. Anledningen till att summeringen görs är att den skall vara till hjälp vid senare jämförelse av kravuppfyllande i referenslägenheten i respektive version. I Tabell 18 visas också ett exempel på vilka indata som är identifierade och utgör en del av checklisten för det lilla sovrummet i referenslägenheten. Resterande zoner i referenslägenheten och trapphuset som tagits med i checklisten innehåller samma indata som exemplet i tabellen.

Tabell 18 - Del av checklistan som behandlar identifierad indata för referenslägenheten och ett exempel på hur checklistan ser ut för lilla sovrummet som är en av zonerna i referenslägenheten.

<b>Referensplan</b>	
	<b>Identifierad indata</b>
<b>Referenslägenhet</b>	
	Omslutande area(yttervägg)/m <sup>2</sup>
	Golvarea/m <sup>2</sup>
	Fönsterarea/m <sup>2</sup>
	Tilluft totalt/(l/s)
	Frånluft totalt/(l/s)
<b>Lilla sovrummet</b>	
<i>Ventilation</i>	
	Luftbehandlingsaggregat
	Systemtyp (ex. VAV eller CAV)
<i>Rumsenheter</i>	
<i>Radiator</i>	
	Massflöde vid full effekt/(kg/s)
	K-värde/(W/(m·°C·N))
	N-värde
	Höjd/m
	Långvågig emissivitet
	Regulator
	Sensor
	Area/m <sup>2</sup>
<i>Internvärmelaster</i>	
<i>Belysning</i>	
	Antal enheter/-
	Kontrollstrategi
	Tidsshema
	Effekt per enhet/W
	Ljusutbyte/(lm/W)
	Konvektiv fraktion/(0-1)
<i>Personnärvaro</i>	
	Antal personer/-
	Närvaroschema
	Aktivitetsnivå/met
	Klädsel/clo
<i>Hushållsapparater</i>	
	Antal enheter/-
	Schema
	Avgiven värme per enhet/W
	Vätskeemission per enhet/(kg/s)
	Ångemission per enhet/(kg/s)
	CO <sub>2</sub> per enhet/(mg/s)
	Utnyttjandefaktor/%



## 5.4 Sammanställning av identifierad indata i checklistan

På övergripande byggnadsnivå identifieras 134 indata och på zonnivå, med referenslägenheten och trapphuset, identifieras 199 indata som bygger upp checklistan. Totalt sett innehåller checklistan 333 identifierade indata som skall ingå i studien av de 48 versionerna. Uppdelning av de identifierade indata på byggnads- och zonnivå framgår av Tabell 19. Sammanlagt sammanställs cirka sextontusen indata.

Tabell 19 - Sammanställning av antal identifierade indata i checklistan som skall studeras i respektive version.

	Antal identifierad indata
<b>Byggnadsnivå</b>	
Ortspecifik data	9
Byggnadselement	18
Köldbryggor	12
Luftläckage	3
Värmeproducerande enhet	13
Luftbehandlingsaggregat	69
Övrig energi och förluster	10
<b>Zonnivå - referensplanet</b>	
Geometrisk data	6
Ventilation	18
Rumsheter	56
Internvärmelaster	119
<b>Totalt antal identifierad indata</b>	<b>333</b>

## 5.5 Utdata från versionerna för studie av indatas relation till krav

För varje version ges möjlighet att, i en resultatsammanställning i IDA, avläsa flera resultat som skapats när en version har beräknats. De resultat som kommer att plockas ut ur respektive version är byggnadens energianvändning för drift av fläktar och pumpar, uppvärmningsenergi och solvärmelast. Dessa tre utdata kommer att användas och vara en del i studien av hur indata i versionerna förhåller sig till de energikrav som ställts på byggnaden.

# 6 Resultat och diskussion

## 6.1 Antal använd indata – en generell översikt

Innehållet i en beräkningsversion utförd med hjälp av IDA beror på de indata som har använts för att skapa den. Genom att ha studerat versionerna från urvalet med hjälp av checklisten har det framgått att det vid energiberäkningar i IDA finns möjlighet att varieras en stor mängd indata. Programmet ger möjlighet att beräkna energianvändningen även om versionen inte innehåller alla de indata som kan användas i programmet. De indata som inte ändrats av den som utfört beräkningen har då haft kvar sitt i programmet förprogrammerade värde. Utdata i programmet på bland annat den totala energianvändningen är en följd av de indata som använts i versionerna. Utöver de faktiska värden på indata är även antalet indata av intresse för att visa hur modellen av byggnaden har utvecklats mellan versionerna. Av de 333 indata som identifierats, vid framtagandet av checklisten för studien, är det 234 stycken eller 70 % som har använts i minst en version. 99 indata som finns med i checklisten har alltså aldrig tilldelats ett värde eller beskrivning i IDA. En indata som någon gång har utnyttjats betyder att den aktivt har tilldelats ett värde eller en beskrivning som medfört att den aktiverats. 129 av de 234 använda indata har varit konstanta från första till sista versionen.

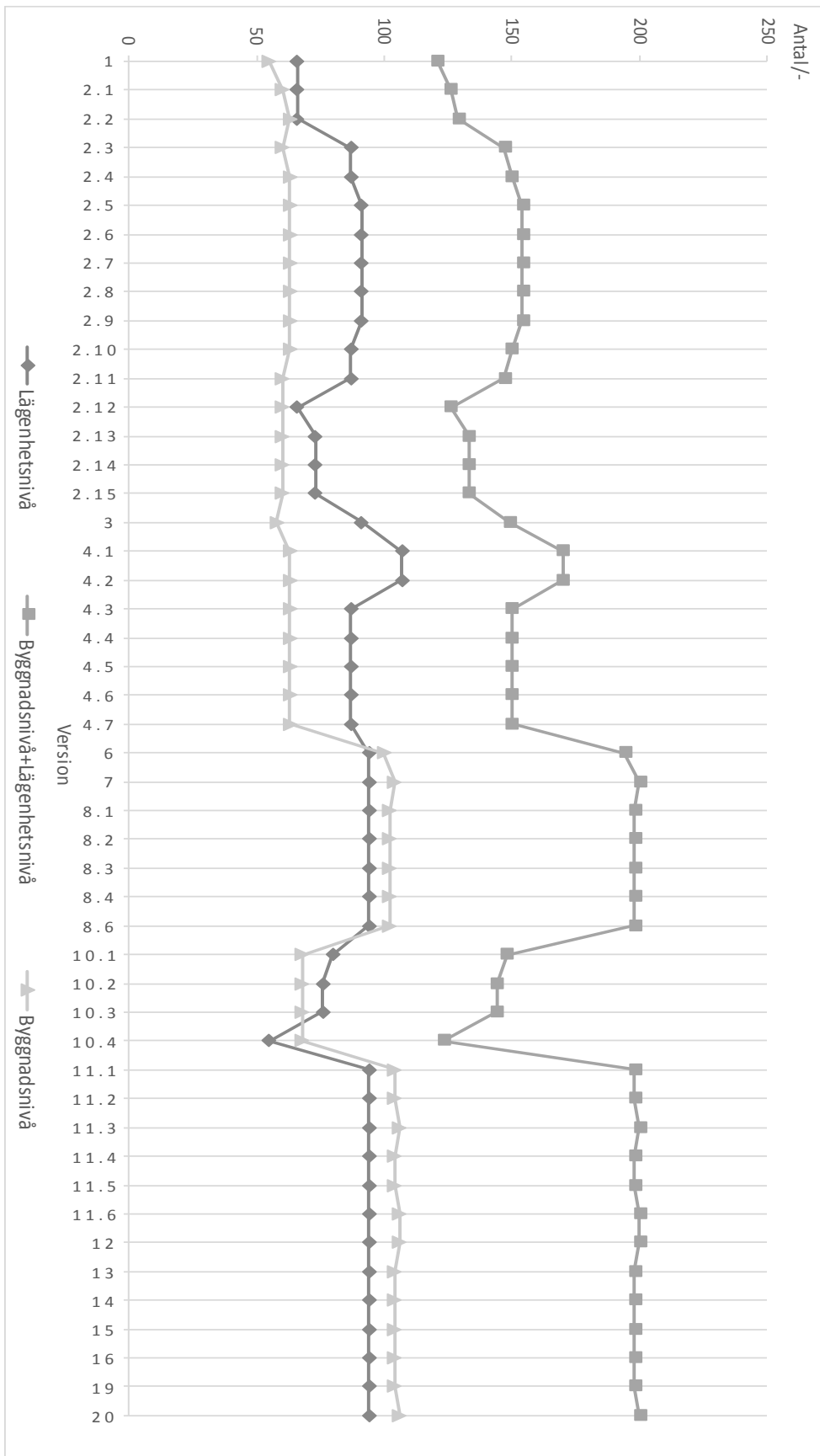
De versioner som har innehållit underversioner, Version 2, 4, 8, 10 och 11, har utförts i systemhandlingsskedet. Tidigt i systemhandlingsskedet har Version 2 upprättats och består av 15 olika underversioner. Antalet använd indata har varierat mellan dessa underversioner, där det minsta antalet använd indata varit 126 och det största antalet varit 154. Antal indata i Version 4, bestående av sju underversioner, har antingen varit 150 eller 170 stycken. Alla underversioner i Version 8 har innehållit 196 indata. De fyra underversionerna i Version 10 har som minst innehållit 123 indata och som mest 148 indata. I Version 11 har antalet använda indata varit antingen 198 eller 200 stycken i underversionerna.

I systemhandlingsskedet har antalet indata ökat från 121 stycken i Version 1 till 200 i den sista, Version 11.6, som också har varit det högsta antalet använd indata under detta skede. I systemhandlingsskedet har det i genomsnitt använts 162 av de 234 totalt använd indata.

Antalet indata i versionerna i bygghandlingsskedet har varit mer konstant. Det här skedets första och sista version, Version 12 respektive Version 20, har båda innehållit 200 indata. De övriga fem studerade versionerna, mellan Version 12 och Version 20, har alla innehållit 198 indata. Det genomsnittliga antalet använda indata har i detta skede varit 85 % av de 234 totalt använda indata.

Andelen använd indata av de totalt använda, från den först utförda versionen i systemhandlingsskedet till den sista i bygghandlingsskedet, har ökat från 121 till 200.

Ingen av versionerna har innehållit samtliga 234 indata som någon gång använts, utan det maximala antalet använd indata i en enskild version har varit 200. De totalt 234 använda indata är sådana som någon gång använts, om det till exempel i en version funnits en radiator i en zon har denna indata noterats tillsammans med alla de indata som följer radiatoren. Om radiatoren sedan plockas bort i efterföljande versioner så finns dock dessa indata kvar som någon gång använda och är med i de totala antalet 234 använda indata. I Figur 27 visas hur antalet använda indata, på lägenhetsnivå, byggnadsnivå och summering av dessa, sett ut i respektive version.



Figur 27 - Antal använd indata i respektive version, fördelade på lägenhets- och byggnadsnivå. Dessutom visas en summering av dessa.

Att antalet använd indata har ökat från 121 till 200 stycken från systemhandlingsskedets första version till den sista i bygghandlingsskedet har huvudsakligen berott på att modelleringen av byggnaden ökat i detaljeringsgrad under processens gång. Det konstanta antalet indata i versionerna under bygghandlingsskedet, från Version 12 till Version 20, har troligtvis att göra med att projektet har kommit så pass långt i processen att byggnadens utformning och vilka installationer som skall finnas i byggnaden har fastslagits. Detta kan ha medfört att antalet indata inte varierat betydligt. Att antalet indata inte förändrats skulle kunna tyda på att det ansetts att den skapade modellen varit fullständig och innehållit alla de indata som anses behövas för att modellera byggnaden. Versionerna efter Version 12 har inte innehållit fler indata, utan skillnaderna mellan dessa versioner beror på ändringar av dessa indatas värde eller beskrivning.

Om skillnaderna mellan Version 4.7 och den närmast efterföljande Version 6 studeras framgår det att antalet indata har ökat från 150 till 194. Förklaringen till detta är att i just Version 6 har modellen av byggnaden utökats från ett enda våningsplan till en mer fullständig utformning där alla plan har representerats i modellen. Det framgår i Figur 27 att denna ändring av antalet indata från Version 4.7 till 6 framförallt berott på ökat antal indata på byggnadsnivå. På samma sätt har det skett en omfattande ändring av antalet indata i Version 10 och dess underversioner som berott på att i dessa versioner har modellen återgått till att endast innehålla ett våningsplan.

## 6.2 Ortspecifik data

Av de nio identifierade indata för ortspecifik data har fem indata varit samma i alla versioner. Dessa indata behandlar byggnadens fysiska placering och dess omgivning. Platsen har angetts som Malmö genom val av en datafil från EQUA:s databas. Ingen version har innehållit indata som beskrivit hur byggnaden skulle vara utsatt för någon skuggning på grund av närliggande byggnader eller vegetation. I alla versioner har byggnadens orientering varit i nord/sydlig riktning. Klimatdata har i alla versioner angetts i form av ASHRAE:s klimatdatafil för Köpenhamn, "Copenhagen\_ASHRAE,061800\_IWC.PRN". Vindprofilen har valts till "Default urban".

I Version 1 och Version 3 har inga indata angetts för beskrivning av markförhållandena. I Version 2 och Version 4-20 har de tre indata för markförhållandena beskrivits med en markmodell enligt en standard ISO-13370. De övriga två indata, marklager under källarvägg och utanför källarvägg, har angivits som "mark utan isolering". I de versioner där modellen av byggnaden har utformats sådant att ett plan anslutit mot mark har just dessa beskrivningar av markförhållandena använts.

Version 1, Version 3 och Version 6-20 har tryckkoefficienten varit automatiskt i fyllt som "Auto fill exposed" med hjälp av kommandot "Auto fill". I dessa versioner har tryckkoefficienten alltså definierats som att byggnaden är i en vindutsatt miljö. I de resterande versionerna, Version 2 och Version 4, har inte tryckkoefficienten angetts som någon av de automatiska valen i "Auto fill".

Byggnadens geografiska placering har varit fastslagen redan innan systemhandlingsskedet vilket medför att indata för byggnadens orientering och omgivning aldrig har ändrats. Med samma resonemang verkar det rimligt att vindprofilen och markförhållandena har haft samma indata i de versioner de har använts. Att indata för tryckkoefficienten i Version 2 och Version 4 har angetts med andra värden än med "Auto fill" skulle kunna bero på att denna indata istället baserats på data från en vindstudie. Å andra sidan är det inte särskilt troligt att en utförd vindstudie endast skulle ha utnyttjats i två versioner i systemhandlingsskedet för att sedan använda det automatiska kommandot i resterande versioner. Att det använts en vindutsatt miljö i de resterande versionerna anses rimligt

med tanke på det geografiska läget nära kusten och att byggnaden är mycket hög i förhållande till omgivande bebyggelse.

Då byggnadens geografiska placering varit fastslagen blir också valet av indata för klimatdata logiskt då ASHRAE inte har klimatdata för alla städer. Klimatdata har istället använts för den närmast belägna orten Köpenhamn som ligger inte mer än ett par mil ifrån Malmö och har liknande kustklimat och borde kunna vara en bra approximation av väder och temperaturer även i Malmö. Klimatdatas påverkan på energiberäkningar har undersökts och nya klimatdatafiler jämfördes med gamla vilket visade att olika klimatfiler ger upphov till relativt stora skillnader i beräkningsresultat för samma ort (Levin, 2015). Beräkningar med de nya framtagna klimatdatafilerna resulterar i upp till ca 8 % lägre specifik energianvändning än beräkningar med äldre klimatdatafiler (Levin, 2015). Den nya klimatdatafilen för Malmö har inte varit tillgänglig när beräkningarna i detta projekt utförts men att använda sig av en klimatdatafil baserad på en annan ort skulle kunna bidra till en felaktigt uppskattad energianvändning i byggnaden.

Varför man inte valt att ta hänsyn till någon eventuell skuggning torde bero på att höghuset är den i särklass högsta byggnaden i Augustenborg. Även om byggnadens omgivande bebyggelse endast skulle bidra till skuggning på en begränsad del av byggnaden är det anmärkningsvärt att ingen skuggning har lagts till i någon version.

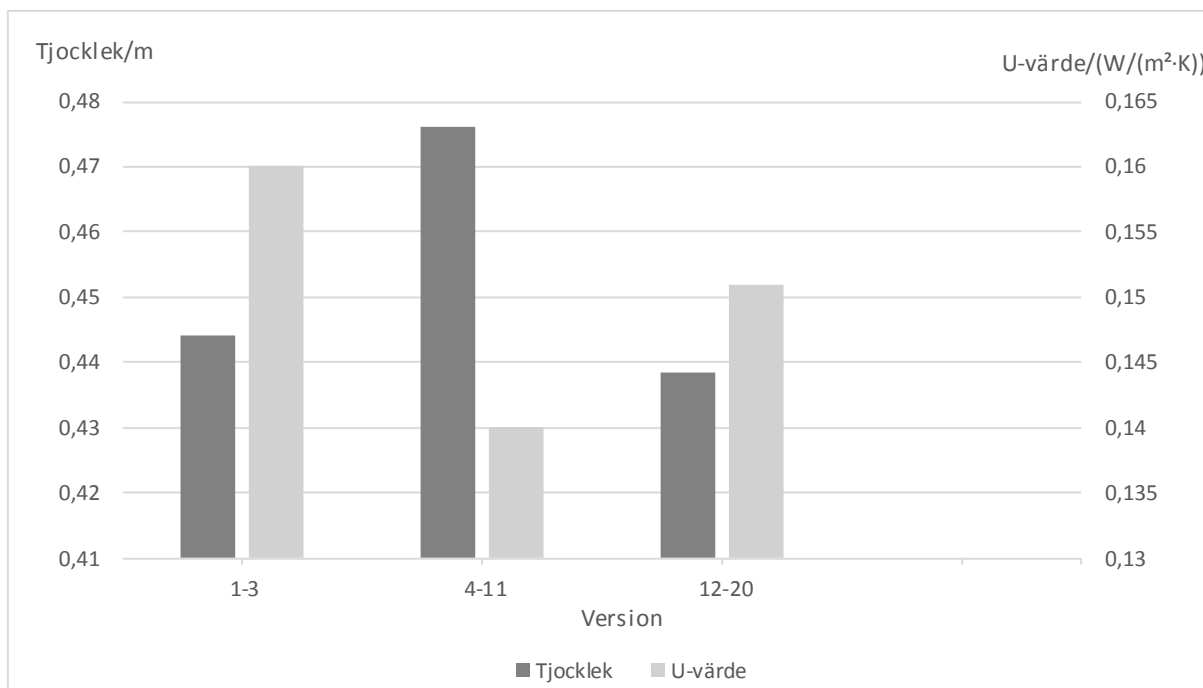
Att orienteringen av byggnaden inte har ändrats kan bero på att de CAD-filer som importerats till IDA, och som legat till grund för uppbyggnaden av den geometriska modellen av byggnaden, har varit ritade längs en nordsydlig axel.

## 6.3 Byggnadselement

### 6.3.1 Yttervägg

Ytterväggarnas två indata, tjocklek och U-värde, har haft tre olika värden genom versionerna. Mellan Version 3 och Version 4 har ytterväggstjockleken ökat med 7 % samtidigt som U-värdet har sjunkit med 12,5 %, enligt Figur 28. Mellan Version 3 och Version 12 är skillnaden att tjockleken har minskat med 1,2 % samtidigt som U-värdet har sjunkit med 5,7 %.

Ytterväggens U-värde är av betydelse vid beräkning av transmissionsförlusterna och ingår som en del vid beräkning av U-medelvärdet. Ytterväggstjockleken är även av betydelse för energiberäkningarna då många av de krav som ställts är beroende av den uppvärmda golvarean. Om ytterväggstjockleken ökas så minskas golvarean i lägenheterna eftersom en fastslagen detaljplan omöjliggör en ökning av yttermåtten på byggnaden. Om golvarean i lägenheterna minskas, minskar den uthyrningsbara ytan som medför en minskning av hyresintäkter. Om antagande görs att varje våningsplan innehåller tre referenslägenheter och ett trapphus blir den totala ytterväggslängden 1178 m för hela byggnaden. Den ändring av ytterväggstjockleken som har skett mellan Version 3 och Version 4 ger en minskning av golvarean på 37,7 m<sup>2</sup>. Mellan Version 11 och Version 12 ökar sedan arean igen med 44,2 m<sup>2</sup>.



Figur 28 - Ändring av indata på ytterväggens tjocklek och U-värde.

Ytterväggens tjocklek är något som bestäms i ett tidigt skede i projekteringen eftersom att väggens utformning är avgörande vid ansökan om bygglov. Tjockleken av ytterväggen påverkar även den uthyrningsbara ytan som är avgörande för lönsamheten i ett bostadsprojekt, det leder till ett begränsat utrymme för variation av tjockleken på ytterväggen. Ursprungsvärdet på ytterväggstjockleken har minskats med endast 1,2 % eller 5,5 mm från det värde som har använts i Version 1. Detta skulle kunna bero på att måtten av ytterväggens tjocklek är relativt låst efter beviljat bygglov och att det krävs en viss area på den uthyrningsbara ytan i byggnaden för att erhålla lönsamhet i projektet. Dessutom påverkar en ändrad golvarea uppfyllandet av vissa krav på byggnaden som skall slås ut över byggnadens totala golvarea ( $A_{temp}$ ). Den ändring som har skett av indata från Version 4 till och med Version 11 blir utifrån denna iakttagelse svår att förklara.

Att bara U-värde och tjocklek studeras är en brist då det bland annat framgår att ytterväggens uppbyggnad, av material och eller fördelningen mellan dessa, har ändrats mellan versionerna. En jämförelse mellan Version 1 och Version 20 visar att både U-värdet och tjockleken har minskat till Version 20. Detta är inte möjligt utan att en ändring av förhållandet mellan de ingående materialen har gjorts eller att ett eller flera material har bytts ut till material med lägre värmekonduktivitet.

### 6.3.2 Innervägg och mellanbjälklag

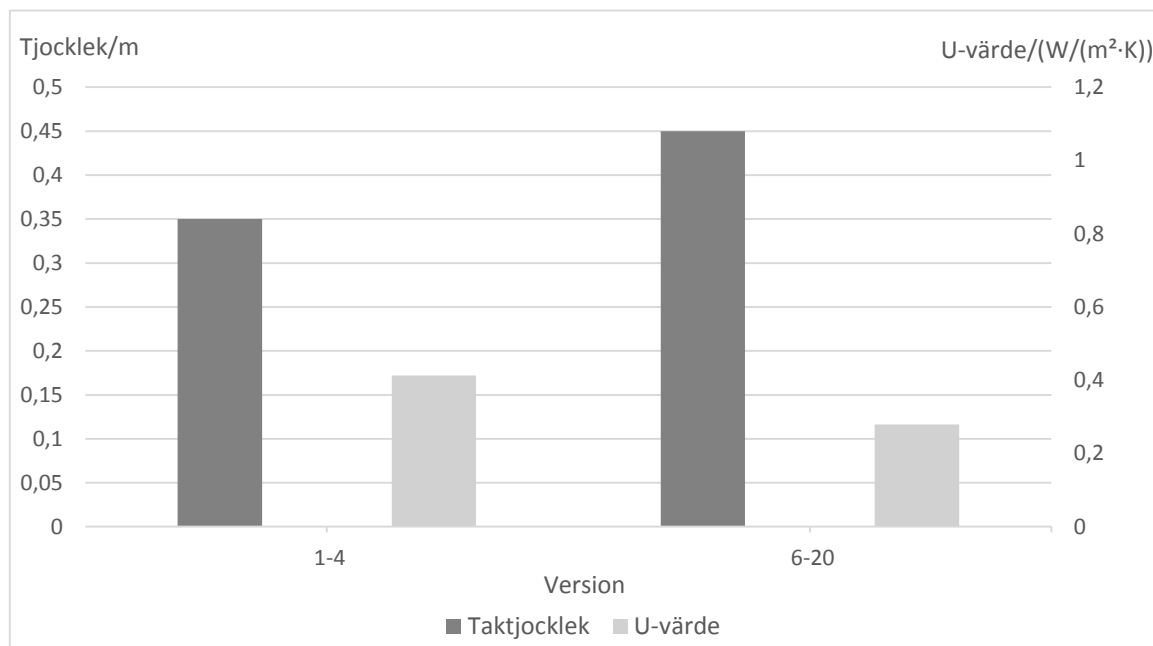
Varken innerväggarnas eller mellanbjälklagens tjocklek och U-värde har ändrats i någon av versionerna utan dessa har varit konstanta i alla versioner. Innerväggen har haft en tjocklek av 0,146 m och ett U-värde av 0,1687 W/(m²·K). Mellanbjälklagets tjocklek har varit 0,175 m och dess U-värde 2,835 W/(m²·K).

Att alla innerväggar i den verkliga byggnaden skulle vara av samma utförande och därför ha samma värde på tjocklek och U-värde i versionerna i IDA tros inte beskriva verkligheten på ett tillfredställande sätt. Att lägenhetsskiljande innerväggar skulle vara av samma utförande som en rumsskiljande innervägg i en lägenhet eller en vägg i anslutning till ett hisschakt är osannolikt. Det kan vara så att den modellerade innerväggen är en kompromiss mellan dessa typer av innerväggar

och därför ändå kan anses vara representativ för byggnadens samtliga innerväggar. Om så inte är fallet upplevs detta som en brist i programmet att det inte ges möjlighet att modellera flera typer av innerväggar och mellanbjälklag. Det kan vara detta som är anledningen till att indata för dessa byggnadselement inte har ändrats.

### 6.3.3 Tak

Indata för tjocklek och U-värde på taket har endast ändrats en gång mellan versionerna. Detta har skett från Version 4 till Version 6, enligt Figur 29. Den ändring som har skett är en ökning av tjockleken och en minskning av U-värdet.



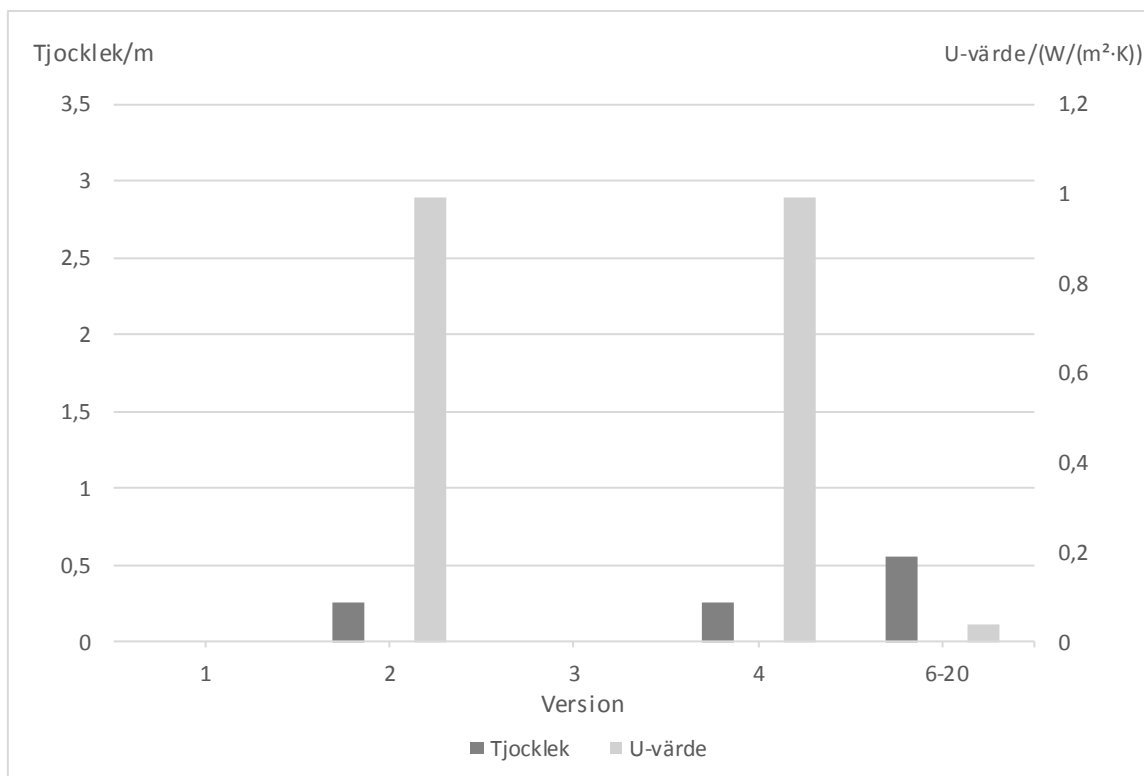
Figur 29 - Ändring av indata på takets tjocklek och U-värde.

Att inte lika stora ändringar har skett med indata för taket, i förhållande till exempelvis ytterväggen, skulle kunna förklaras med att andelen tak i förhållande till uppvärmd golvarea är betydligt mindre än arean yttervägg i förhållande till samma uppvärmda golvarea. Att större fokus läggs på att optimera konstruktioner som har större betydelse för de totala transmissionsförlusterna verkar rimligt.

Utän att ha studerat mer än indata för U-värdet och tjockleken på taket är det svårt att dra några slutsatser om eventuella ändringar av de ingående materialens värmekonduktivitet. Eftersom att en minskning av U-värdet mycket väl skulle kunna vara en följd av enbart ökad tjocklek av något eller flera av materialen i konstruktionen. En skillnad är dock tydlig i jämförelse mellan ytterväggen och taket då ändringar av indata inte har inträffat i samma versioner. Den ändring som har skett av indata för ytterväggen när systemhandlingskedde övergått till bygghandlingskedde, mellan Version 11 och Version 12, förväntades även ske för taket. Dock görs antagande att ändringar av indata för taket kan ha en mindre påverkan på den totala energianvändningen än ytterväggen och att en ändring av tjockleken på taket inte ger upphov till en ändring av golvarean i lägenheterna. Möjligen kan det ha tagits beslut tidigare i processen om takets utformning än ytterväggens utformning då dess tjocklek och U-värde inte är av samma betydelse som ytterväggens utformning för byggnaden som helhet.

### 6.3.4 Bottenbjälklag

Indata för bottenbjälklaget har använts för första gången i Version 2 men byggnadens entréplan har varit en del av modellen först i Version 6. I Version 3 var återigen bottenbjälklaget inte en del i modellen av byggnaden. I Version 6, i samband med att entréplanet modellerats, var U-värdet betydligt lägre än i de tidigare utförda versionerna. Värdet på denna indata har sedan använts i de efterföljande versionerna, enligt Figur 30.



Figur 30 - Ändring av indata på bottenbjälklagets tjocklek och U-värde.

Varför indata för bottenbjälklaget matats in när det i modellen inte finns något modellerat bottenbjälklag är oklart. Det är möjligt att det har tagits med för att inte glömma det i senare versioner. Att tilldela en indata ett värde när den inte är en del av modellen antas inte påverka beräkningarna i versionerna. Att ingen ändring har skett när systemhandlingsskede övergått till bygghandlingsskede skulle kunna ha samma anledningar som för taket då även arean av bottenbjälklaget är relativt liten i förhållande till den totala uppvärmda golvarean. Alternativt att det inte funnits mer ingående data för bottenbjälklaget att använda sig av eller att källarvåningen inte räknats som uppvärmd area och alltså inte ansetts vara en del av  $A_{temp}$ . Därför har det kanske inte lagts mer fokus på indata för bottenbjälklaget. Bjälklaget i byggnaden som gränsar mot marken är bottenbjälklaget i modellen oavsett om utrymmet direkt ovanför är uppvärmt eller inte. Resonemanget som tidigare förts gällande innerväggar och mellanbjälklag blir återigen intressant då bjälklaget som skiljer entréplanet från källaren troligen inte har samma utformning som övriga bjälklag om källaren är uppvärmd.

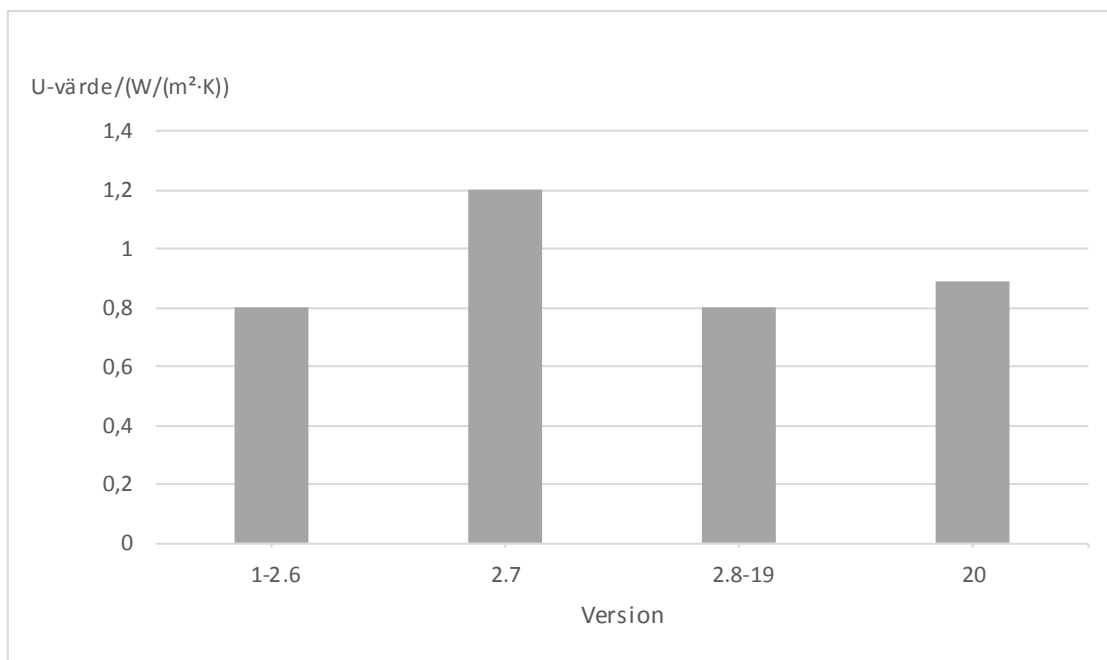


### 6.3.5 Fönster och dörrar

Av de sju indata som definierar fönsteregenskaper har fyra indata varit konstanta i alla versioner; synlig transmittans, inre emissivitet, yttre emissivitet och solavskärmning. Solavskärmningen i anslutning till fönstren har inte förekommit i någon av versionerna.

De tre indata som har förändrats är U-värde, g-värde och soltransmittansen. U-värdet har varierat mellan tre värden. U-värdet har varit  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  i 46 versioner av det totalt 48 studerade versionerna, vilka framgår av Figur 31. I samma figur syns i vilka två versioner som U-värdet har avvikit från  $0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  och vilken indata som då istället använts. Både g-värdet och soltransmittansen har ändrats mellan ett större antal värden.

Indata på U-värdet för ytterdörrar har satts till  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  i samtliga versioner som haft ett bottenplan modellerat. I de versioner som detta inte funnits har inte någon indata för dörren angivits. Indata för ytterdörren har för första gången använts i Version 6 och finns sedan använts i alla efterföljande versioner.



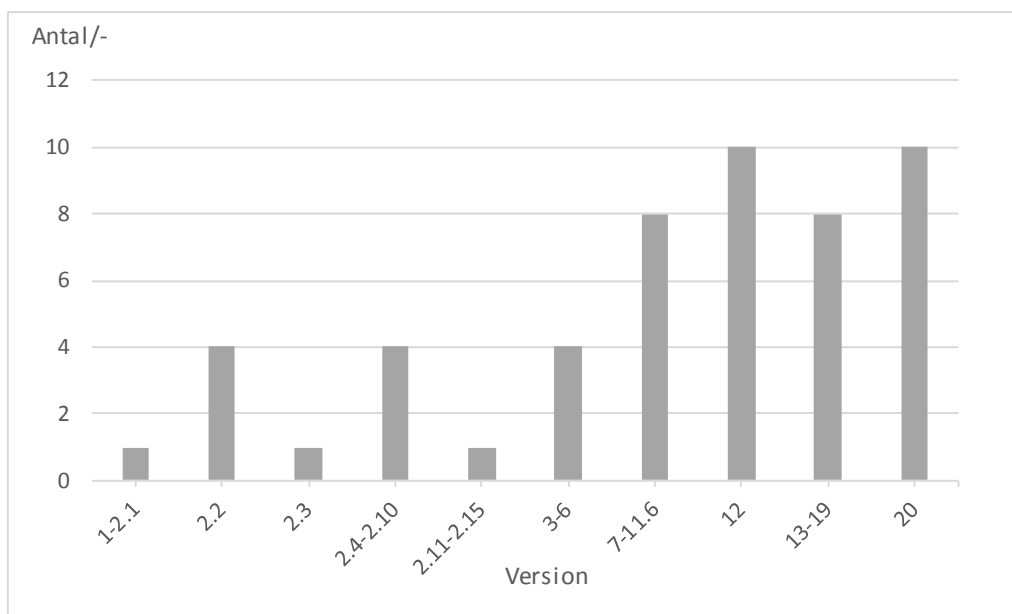
Figur 31 - U-värde för fönstren i de olika versionerna.

I passivhuskraven enligt FEBY 12 ställs det krav på att fönstrens U-värde inte får överstiga  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Med bakgrund av att byggnaden skall uppföras som ett passivhus är det förväntat att detta värde återfinns i versionerna. Att ett högre värde har använts i Version 2.7 och Version 20 skulle kunna bero på att det har kontrollerats vilken effekt detta gett på den totala energianvändningen eller någon av de andra kravställningarna. Att ingen solavskärmning har använts i någon version kan bero på att det värsta fallet har undersökts för solvärmelast och solvärmefaktor. Det har skett desto fler ändringar av g-värdet och T-värdet för fönstren men ingen av dessa ändringar har ägt rum efter det att bygghandlingsskedet tagits vid. Detta skulle kunna bero på kännedom om vilka fönster som slutligen kommer att användas i byggnaden. De ändringar som skett i systemhandlingskedet kan bero på att det undersökts hur inneklimatet påverkats vid de olika förutsättningarna och hur ändringarna påverkar relationen till de ställda kraven gällande solvärmelast, solvärmefaktorer och uppvärmningsbehovet.

Om balkongdörrarna i lägenheterna har modellerats som fönster eller ytterdörrar har inte studerats. Om de modellerats som fönster blir kravet på dem ett U-värde av  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Skulle de istället vara ytterdörrar blir kravet på maximalt U-värde  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  enligt FEBY 12. Då dörrarna innehåller en stor mängd glas verkar det troligt att dessa antas vara fönster eller fönsterpartier och hamnar då inom ramen för kraven på fönster i FEBY 12. Bortsett från balkongdörrarna finns det endast en entrédörr, i bottenplan i trapphuset som inte har uppvärmd golvarea. Betydelsen av transmissionerna genom entrédörren blir en mycket liten del av byggnadens totala transmissionsförluster. Kravet på dörrar har uppfyllts i samtliga versioner även om det först i Version 6 angetts som en indata men i versionerna innan Version 6 har inte bottenplanet modellerats och således inte heller någon dörr.

## 6.4 Köldbryggor

Tolv indata gällande köldbryggor har studerats, varav elva av dem har varit indata för de specifika köldbryggorna. Den tolfte indata har varit ett tillägg som ersatt de specifika köldbryggorna med ett schablonvärde som multiplicerats med den totala omslutande arean. Köldbryggan för positiva hörn har inte använts i någon version. I Figur 32 visas hur många olika typer av köldbryggor som har använts i respektive version. I de versioner där det framgår att endast en köldbrygga har använts så har detta varit schablonvärdet. I Version 12 och Version 20 har indata för alla köldbryggor, förutom positiva hörn och schablonvärdet, använts.



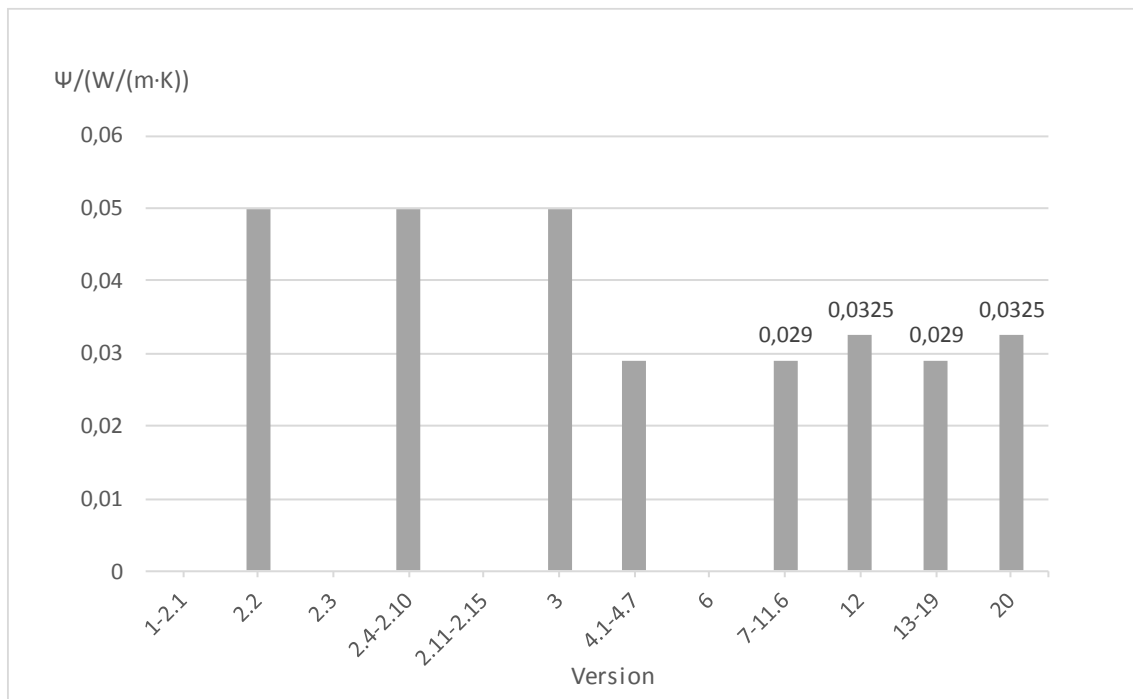
Figur 32 - Antalet använda köldbryggor i respektive version.

För fem av de elva specifika köldbryggorna har indata varit oförändrad i samtliga versioner de använts. De fem köldbryggorna är anslutningarna mellan; innervägg/yttervägg, takbjälklag/yttervägg, bottenplatta/yttervägg, bottenplatta/innervägg och takbjälklag/innervägg. Anslutningen mellan innervägg/yttervägg har använts i Version 2.2, Version 2.4-2.10 och Version 3-20 med indata  $0,016 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Indata för anslutningarna mellan takbjälklag/yttervägg och mellan bottenplatta/yttervägg har varit  $0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  respektive  $0,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  och har använts från Version 7 till Version 20. Indata för anslutningarna mellan bottenplatta/innervägg och mellan takbjälklag/innervägg har varit  $0,02 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  och båda köldbryggorna har använts i Version 12 och Version 20.

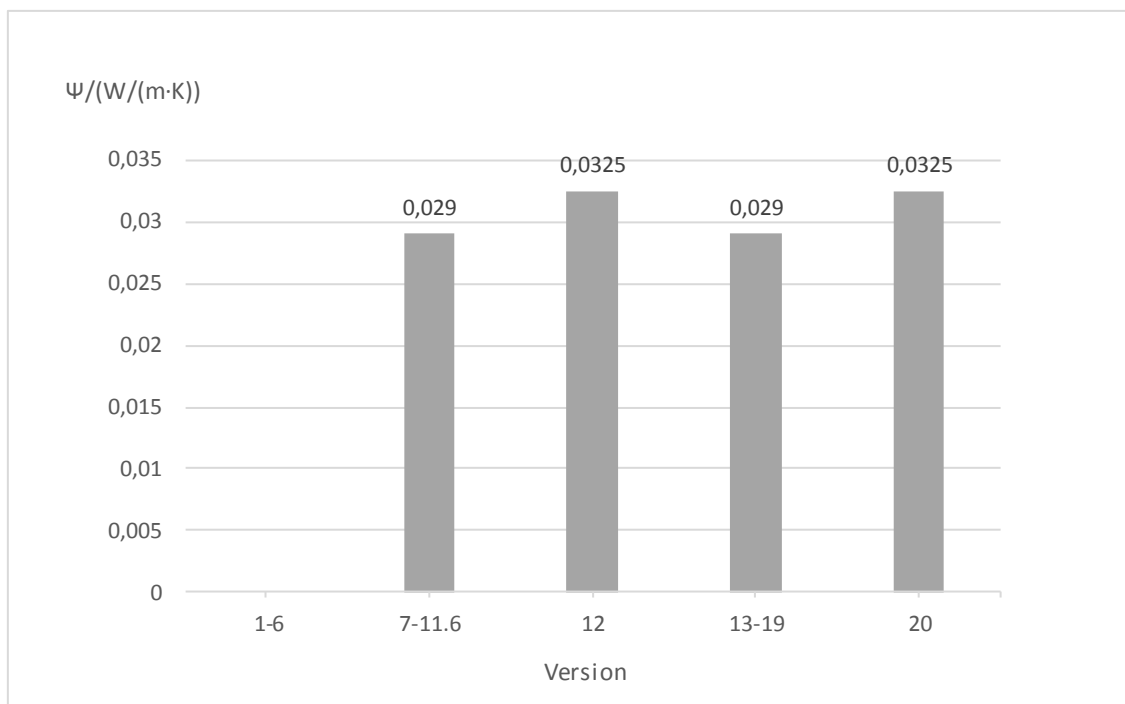
Indata för köldbryggor där mellanbjälklaget ansluter till ytterväggen har haft två värden; 0,022 W/(m·K) och 0,044 W/(m·K). 0,022 W/(m·K) har använts i Version 12 och Version 20. 0,044 W/(m·K) har använts i Version 2.2, Version 2.4-2.10, Version 3-11.6 och Version 13-19.

Indata för negativa hörn har haft två värden; 0,02 W/(m·K) och 0,022 W/(m·K). 0,02 W/(m·K) har använts i Version 6-11.6 och Version 13-19. 0,022 W/(m·K) har använts i Version 12 och Version 20.

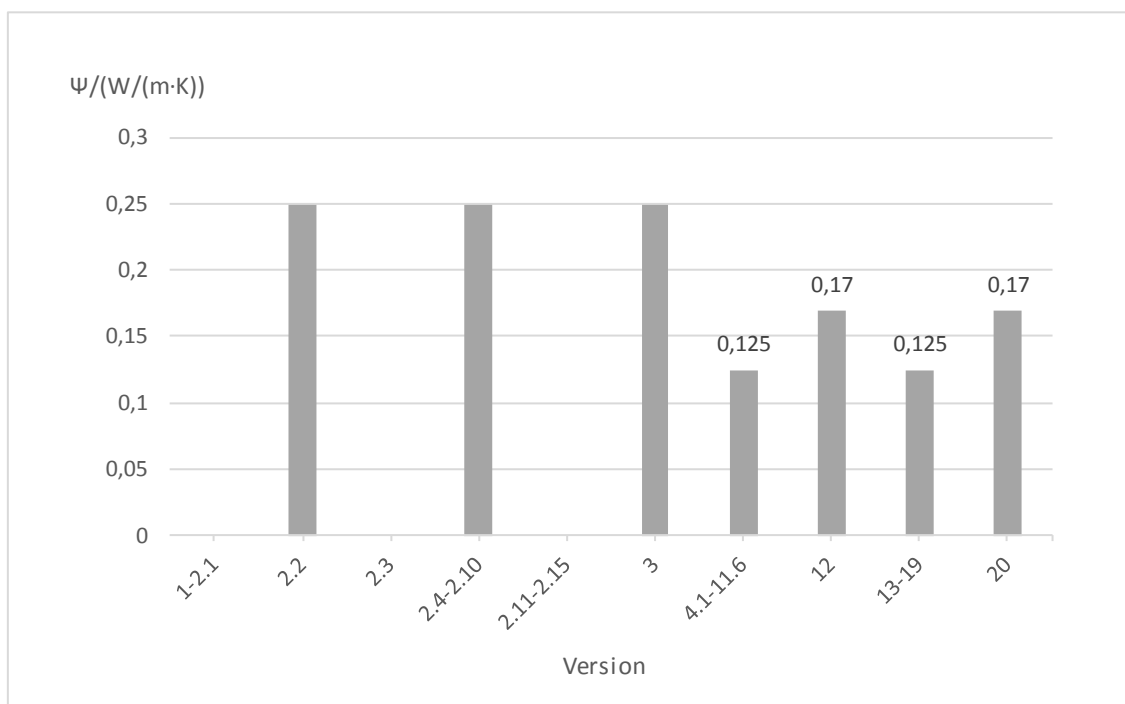
I Figur 33 till och med Figur 35 visas indata i respektive version för köldbryggorna fönsterinfästning, dörrinfästning och infästning av balkong.



Figur 33 - Indata i respektive version för köldbrygga fönsterinfästning.



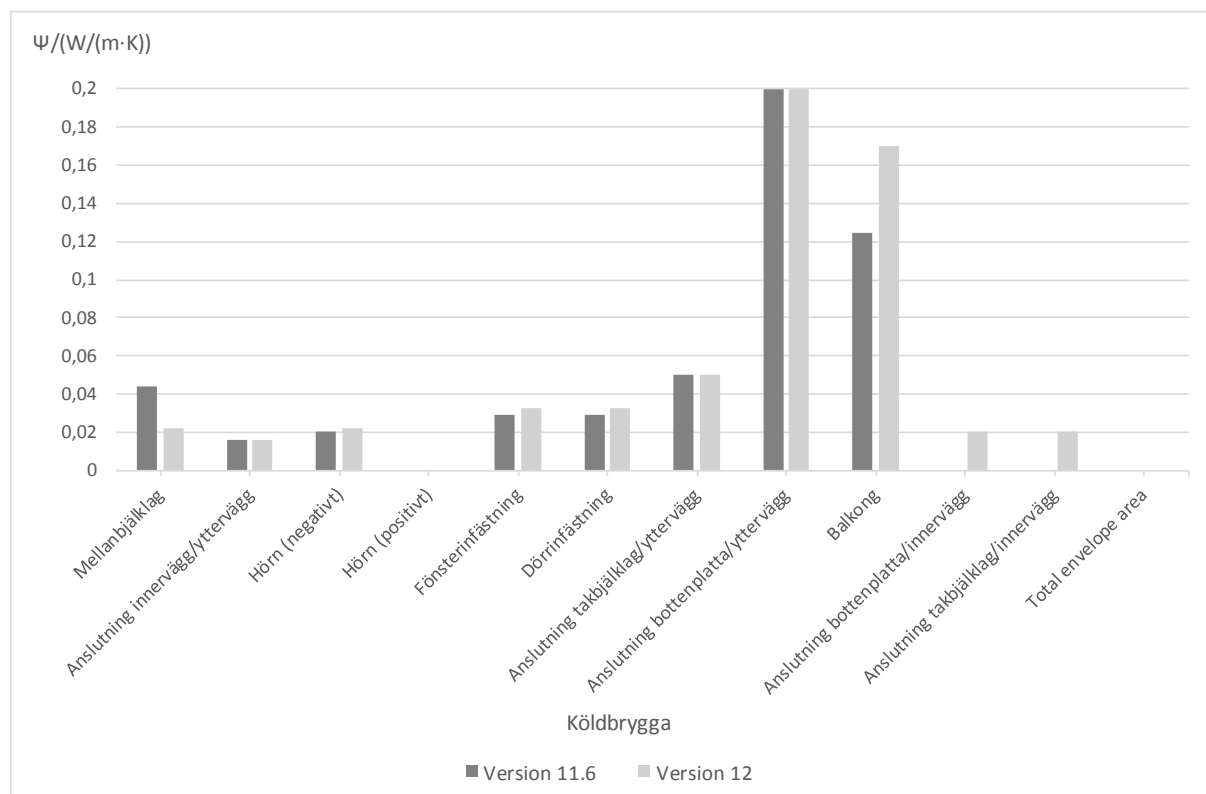
Figur 34 - Indata i respektive version för köldbrygga dörrinfästning.



Figur 35 - Indata i respektive version för köldbrygga infästning av balkong.

I Figur 36 visas indata för alla tolv köldbryggor i Version 11.6 respektive Version 12 vilka motsvarar sista versionen i systemhandlingskedet respektive första versionen i bygghandlingskedet. Positivt hörn och totalt schablonvärde har inte använts i någon av de två versionerna. I Version 12 har köldbryggorna anslutning bottenplatta/innervägg och anslutning takbjälklag/innervägg tillkommit.

Det är åtta köldbryggor som har använts i båda versionerna och av dessa är det fem köldbryggor vars indata har ändrats mellan versionerna.



Figur 36 - Indata för respektive köldbrygga i systemhandlingsskedets sista version (Version 11.6) och bygghandlingsskedets första version (Version 12).

Från Version 1 till Version 6, enligt Figur 32, har antingen indata för schablonvärdet eller indata för fyra av de specifika köldbryggorna använts. I Version 7 har sedan antalet indata på köldbryggorna ökat till åtta stycken indata, enligt Figur 32. Den här versionen är den närmast efterföljande versionen efter Version 6. I Version 6 har det totala antalet använd indata ökat till 194 indata från 150 indata i Version 4.7, enligt Figur 27. I samband med att komplexitet har ökat hos modellen av byggnaden har antalet indata för köldbryggorna också ökat. Att inte de specifika köldbryggorna har använts i vissa av de första versionerna i systemhandlingsskedet skulle kunna bero på att de byggnadsdetaljer som ger upphov till köldbryggor inte varit projekterad tillräckligt detaljerat så att köldbryggornas värde varit möjligt att beräkna. Ett schablonvärde bör endast användas om det inte finns möjlighet att beräkna köldbryggorna eftersom att användning av ett schablonvärde är en metod som medför stora osäkerheter (Ekström & Danebjer, 2012). Denna osäkerhet verkar ha undvikits eftersom att ett schablonvärde för köldbryggorna endast har använts i ett fåtal versioner under projektets systemhandlingsskede enligt Figur 32.

För mellanbjälklaget har det skett en minskning av köldbryggans indata, från 0,044 W/(m·K) till 0,022 W/(m·K), när systemhandlingsskedet övergått till bygghandlingsskede, från Version 11.6 till Version 12. I de efterföljande versionerna, Version 13-19, har återigen värdet ökat till 0,044 W/(m·K). Indata för mellanbjälklaget är den enda köldbrygga vars indata har ökat från Version 12 till Version 13. Sex av de tio använda indata för de specifika köldbryggorna har istället minskat mellan dessa versioner och tre köldbryggor har inte ändrats. I Version 20 har återigen det lägre värdet, 0,022 W/(m·K), använt för mellanbjälklaget, vilket var samma som i Version 12. Alla de specifika köldbryggorna har återgått till samma indata i Version 20 som i Version 12. Att indata för mellanbjälklaget är den enda köldbrygga vars indata har minskat skulle kunna bero på ett misstag när beräkningarna i versionerna

utfördes. Det högre värdet kan inte ha berott på att mellanbjälklaget har angetts en större tjocklek eftersom dess tjocklek inte ändrats i någon version.

Indata för de köldbryggor som uppstår till följd av innerväggarnas anslutning med ytterväggarna har inte ändrats i någon av de versioner som köldbryggan använts i. De versioner där köldbryggan inte använts är i de versioner där schablonvärdet för de totala köldbryggorna istället har använts. Att indata på denna köldbrygga inte ändrats skulle kunna bero på att ett antaget schablonvärde för innerväggarna har använts som skall gälla för alla typer av innerväggar i byggnaden även om de är av olika utformning. Det har nämligen endast modellerats en typ av innerväggar trots att lägenhetsskiljande och rumsskiljande innerväggar vanligtvis är olika utformade. Olika tjocklek på innerväggar som ansluter till en yttervägg skulle leda till olika stora köldbryggor.

Med tanke på att indata på innerväggarnas köldbrygga inte har ändrats i de versioner köldbryggan använts skulle man kunna ställa sig frågande till om denna indata är beräknad eller endast är antagen baserad på tidigare erfarenheter. Det samma gäller för ytterligare fyra köldbryggor i anslutningarna; takbjälklag/yttervägg, bottenplatta/yttervägg, bottenplatta/innervägg och takbjälklag/innervägg. Indata för dessa fyra köldbryggorna har inte heller ändrats mellan de version som de använts i. För att erhålla betyg Guld i Miljöbyggnad så skall en byggnads köldbryggor beräknas.

I Figur 33 till och med Figur 35 där indata i respektive version för köldbryggorna fönsterinfästning, dörrinfästning och infästning av balkong visas framgår det att de tre köldbryggorna har liknande ändringar av indata från Version 7 till Version 20. Version 7 till Version 20 framgår som de fyra sista staplarna i respektive figur, med enda skillnaden att förändringen av indata för infästning av balkong redan uppkommit i Version 4.1. Här har en ökning och minskning av indata för de tre köldbryggorna skett i samma versioner. Värdena på indata i Version 12 har ökat i förhållande till föregående Version 11.6. I Version 13 till Version 19 har värdena minskat och i Version 20 har de återigen ökat. Indata på köldbryggorna fönsterinfästning och infästning av balkonger har använts med tre olika värde, till skillnad från två olika värden på de övriga köldbryggorna. Balkongernas utformning med möjlighet till odling skulle kunna bidra till att det är svårt att beräkna denna köldbrygga innan utformning och infästningen av balkongen projekterats.

Fönster- och dörrinfästningarna har haft samma värden på köldbryggornas indata. Detta beror troligtvis på att antagande gjorts att infästning av fönster och ytterväggar kommer att utformas på liknande sätt i byggnaden vilket medför att köldbryggorna skulle bli lika stora. Skillnaden mellan indata för fönster- och dörrinfästningarna har varit att dörrinfästningen inte använts förrän modellen av byggnaden har utformats med entréplan med ytterdörrar.

När systemhandlingsskede övergått till bygghandlingsskede, från Version 11.6 till Version 12, har det skett ändringar av flera köldbryggor. Det är endast tre av de tio indata på köldbryggorna som inte har ändrats mellan dessa versioner. En indata har minskat i Version 12 samtidigt som sex indata har ökat. Att det har skett ändringar av indata för de flesta köldbryggorna, sju av tio indata, kan antyda på att det först då har getts möjlighet att noggrannare kunna beräkna och definiera dessa köldbryggor. Noggrannare beräkningar har troligtvis inte varit möjligt att göra förrän i inledningen av bygghandlingsskedet när utformningen av konstruktionslösningarna, som ger upphov till köldbryggor, förmodligen varit mer utförliga än under systemhandlingsskedet.

## 6.5 Luftläckage

De tre indata som styr byggnadens luftläckage har inte ändrats i någon av de studerade versionerna. I Version 1 har läckaget modellerats som fixerat till ett konstant flöde jämnt fördelat över byggnadens omslutande area. Det konstanta luftläckaget har sedan specificerats med ett flöde på  $0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  omslutande area.

Att infiltrationen har definierats som konstant över hela klimatskalet och att denna indata inte har ändrats under processen tros vara en direkt följd av de krav som ställs i Miljöbyggnad för betyg Guld och i FEBY 12. Flödet på  $0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  omslutande area antas vara en avrundning av det flöde på 5 % av luftflödet vid 50 Pa som Miljöbyggnad anser att man bör använda vid beräkningar. De  $0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  omslutande area som är konstant angivna motsvarar ungefär 5 % av kravet i FEBY 12, som säger att luftläckaget vid 50 Pa tryckskillnad maximalt får vara  $0,3 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  omslutande area. 5 % av  $0,3 \text{ l}/\text{s}\cdot\text{m}^2$  motsvarar  $0,015 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ , så använd indata på  $0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  för luftläckaget anses ha uppfyllt ställda krav. Då man på befintliga byggnader med tunga klimatskal visat att luftläckaget kan vara väsentligt mycket lägre än  $0,1 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  (Sikander & Ruud, 2013) är det troligt att man skulle kunna uppnå denna täthet.

Utöver kravet på maximalt luftläckage ställs det också krav i FEBY 12 på att  $q_{\text{läck}}$  skall beräknas. Detta krav uppfylls genom att beräkna  $q_{\text{läck}}$  enligt Ekvation (11) i kapitel 3. Den information som krävs för att kunna utföra beräkningen erhålls i Tabell 3 och övrig information, gällande omslutande area ( $A_{\text{omsl}}$ ), tilluftsflöde ( $q_{\text{sup}}$ ) och frånluftsflöde ( $q_{\text{ex}}$ ), har varit indata i respektive version i IDA. Det finns med andra ord möjlighet att beräkna  $q_{\text{läck}}$  och göra en jämförelse mellan indata i relation till det krav som ställs gällande luftläckage i FEBY 12.

## 6.6 Värmeproducerande enhet – fjärrvärmväxlare

Av de tre olika delarna (uppvärmning, tappvarmvatten och pumpprestanda) som har studerats med hjälp av checklisten gällande byggnadens värmeproducerande enhet har endast ändring av indata skett gällande uppvärmning av byggnaden. Indata gällande tappvarmvatten och pumpprestanda har varit konstanta från Version 1. Den enda indata i uppvärmningen som har ändrats mellan versionerna är verkningsgraden på fjärrvärmväxlaren. De övriga två indata för uppvärmningen har i likhet med indata för tappvarmvatten och pumpprestanda genomgående varit konstanta. Styrningen av fjärrvärmväxlaren har i alla versioner varit "Always on".

Tabell 20 - Indata för värmeproducerande enhet, där all indata varit oförändrad förutom verkningsgraden på fjärrvärmeväxlaren.

<b>Värmeproducerande enhet</b>		
	<b>Identifierad indata</b>	<b>Värde/beskrivning</b>
<i>Uppvärmning</i>		
	Prestanda (konstant drift eller ex. schema)	Konstant drift
	Verkningsgrad	0,9 eller 0,89
	Maximal värmeeffekt/kW	99999
<i>Tappvarmvatten</i>		
	Verkningsgrad	0,9
	Tappvarmvattentemperatur/°C	55
<i>Pumpprestanda</i>		
	Metod	Unlimited
	Maximalt massflöde/(kg/s)	-
	Specifik pumpeffekt/(W/(l/s))	-
	Pset max/Pa	30000
	EtaPump	0,5
	k1	0,02
	k2	0
	Styrning av enhet	Always on

Det har i en enda version utförts beräkningar där hänsyn tagits till tappvarmvattenanvändning vilket kan anges i programmet där övrig energi och förluster definieras. När ett flöde på tappvarmvattnet har angetts har det automatiskt definierats ett flöde som indata på tappvarmvattnet i fjärrvärmeväxlaren. Resultat av ändringen av indata för tappvarmvatten beskrivs istället under rubriken Övrig energi och förluster (rubrik 6.8). Tappvarmvattentemperaturen och verkningsgraden på enheten som producerar tappvarmvattnet har varit konstanta i samtliga versioner.

I pumpprestanda har två indata, maximalt massflöde och specifik pumpprestanda, aldrig definierats. Dessa indata har således inte sammanställts som använd indata men varit en del av checklistan. De övriga fem indata finns med som en del av checklistan och är med i sammanställningen av indata.

Fjärrvärmeväxlarens verkningsgrad har endast ändrats en gång, mellan Version 3 och Version 4.1. Från Version 1 till Version 3 har verkningsgraden varit 0,9 och i resterande versioner har den varit 0,89.

Den ändring som har gjorts av fjärrvärmeväxlarens verkningsgrad mellan Version 3 och Version 4.1 har troligtvis genomförts för att möta kraven i FEBY 12. Där beskrivs att verkningsgraden på den värmeproducerande enheten då byggnaden är utrustad med innetemperaturstyrd mekanisk regulator skall vara just 0,89 för att i beräkningarna ta hänsyn till värmesystemets distributions- och reglerförluster.

Tappvarmvatten har endast i en version i systemhandlingskedet varit en del av beräkningarna. Detta tyder på att tappvarmvattnet är ett område som har beräknats utanför IDA. Eftersom att det i IDA generellt inte har utfört beräkningar med tappvattenanvändning innebär det att driftelen som krävs för att driva pumparna i tappvarmvattensystemet inte har inkluderats. Hänsyn till detta kan istället ha tagits när tappvarmvattenanvändningen beräknats utanför IDA. Om man valt att använda sig av Svebys schablonvärden så ingår utöver uppvärmningen av vattnet även driftelen för exempelvis



pumparna i systemet. Vidare analys av ändring av indata gällande tappvarmvatten behandlas under Övrig energi och förluster (rubrik 6.8).

Styrningen av fjärrvärmväxlaren har genomgående i versionerna varit sådan att fjärrvärmväxlaren konstant varit i drift. Eftersom fjärrvärmväxlaren skall förse distributionssystemet med uppvärmt vatten både för uppvärmning av byggnaden och tappvarmvattenanvändning är det rimligt att fjärrvärmväxlaren är i konstant drift. Även om det inte finns ett behov av uppvärmning av byggnaden utanför uppvärmningssäsongen krävs det att uppvärmt vatten fortfarande distribueras i byggnaden för att förse den med tappvarmvatten.

## 6.7 Luftbehandlingsaggregat

### 6.7.1 Tre luftbehandlingsaggregat – antal indata

Modelleringen av byggnadens luftbehandlingsaggregat har varierat i omfattning och utförande i versionerna. I Version 1 till Version 6 har endast ett centralt luftbehandlingsaggregat för hela byggnaden använts. Efter det har byggnaden modellerats med tre luftbehandlingsaggregat bortsett från i Version 10 och dess underversjoner där det återigen endast använts ett aggregat. De tre aggregaten har fördelats så att respektive aggregat varit kopplade till olika delar av byggnaden; lägenheter, trapphus och entré/tvättstuga.

I Tabell 21 visas en sammanställning över antalet versioner som respektive aggregat har använts i. Det aggregat som har kopplats till byggnadens lägenheter har ingått i alla versioner. Samma aggregat har dessutom, i de första versionerna i systemhandlingskedet, kopplats till trapphuset. De andra två aggregaten var första gången en del av beräkningarna i Version 6. Den ökning av antalet indata som har skett i Version 6 kan ses tydligt i Figur 27. Av ökningen med 44 använda indata som skett till Version 6 har luftbehandlingsaggregaten för trapphus och entré/tvättstuga stått för 36 av dessa indata.

Tabell 21 - Antal versioner de olika luftbehandlingsaggregaten förekommit i.

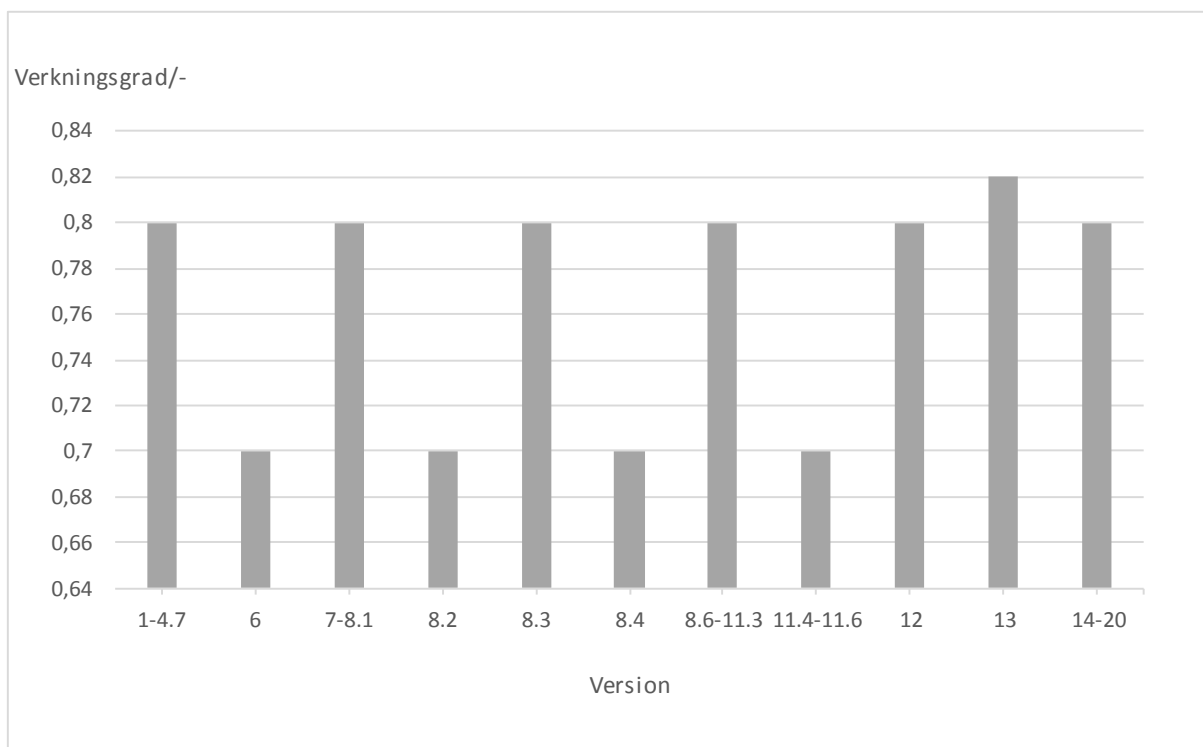
Luftbehandlingsaggregat	Antal versioner	Förekomst	Antal indata vid förekomst
Lägenheter	48	Version 1-20	20
Trapphus	20	Version 6-8.6 och 11.1-20	18
Entré/Tvättstuga	20	Version 6-8.6 och 11.1-20	18

Antalet indata som identifierats och utgör delen för luftbehandlingsaggregat i checklistan omfattar totalt 69 indata eller 23 indata per aggregat. Av dessa har 56 indata någon gång har använts. Fördelningen av indata mellan de olika aggregaten framgår av Tabell 21. Utformningen av de tre aggregaten har skilt sig åt genom att antalet indata har varit olika och att värdet eller beskrivningen av dessa har ändrats i olika omfattning.

### 6.7.2 Indata – luftbehandlingsaggregat till lägenheter

Av de 20 indata som någon gång har använts har 12 stycken varit konstanta från Version 1 till Version 20. Resterande åtta indata har ändrats. De indata som har ändrats på lägenhetsaggregatet berör värmväxlarens verkningsgrad, tilluftstemperatur, tryckstegring och SFP-talet på till- och frånluftsfläktarna och driftschemat på fläktarna.

Verkningsgraden på lägenhetsaggregatet har ändrats mellan 0,7, 0,8 och 0,82. Vilka versioner som dessa värden är fördelats på framgår i Figur 37.



Figur 37 - Lägenhetsaggregatets verkningsgrad i olika versioner.

Styrningen av temperaturen på tilluften har i alla versioner definierats som att tilluften alltid ska tillföras byggnaden med en konstant temperatur. Temperaturen har ändrats mellan tre värden; 18, 19 och 21 °C. Tilluftstemperaturen har endast i Version 2.14 angetts till 21 °C. Utöver denna version har Version 1 till och med Version 4.7 antagit 18 °C och i resterande versioner har tilluftstemperaturen varit 19 °C.

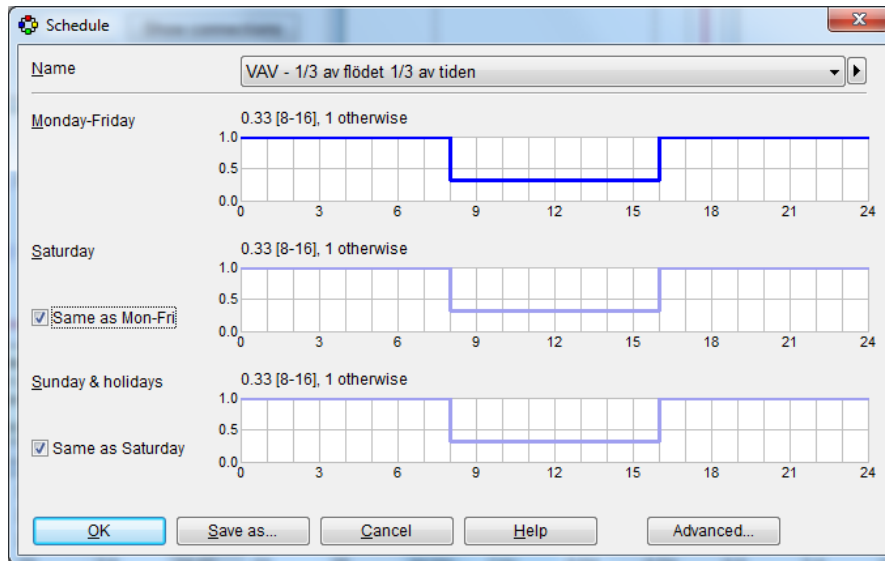
I Tabell 22 redovisas vilka värden som har använts på till- och frånluftsfläktarnas indata för tryckstegring och SFP-tal i respektive version. Tryckstegringen har varit samma i båda fläktarna i 43 av de 48 versionerna. I Version 12 och Version 15-20 har istället tryckstegringen i tilluftsfläkten varit 6 Pa högre än i frånluftsfläkten.

Tabell 22 - Indata som förekommit i lägenhetsaggregatets till- och frånluftsfläktarna gällande tryckstegring och SFP-tal.

Tryckstegring i tilluftsfläkt (Pa)	Tryckstegring i frånluftsfläkt (Pa)	Version
450	450	1-4.7
420	420	6
474	474	7
420	420	8.1-10.4
474	474	11.1-11.6
420	414	12
474	474	13-14
420	414	15-20

Gällande styrningen av aggregatets fläktar har de antingen angivits som alltid i drift eller tilldelats ett driftsschema enligt Figur 38 där flödet gått ner till en tredjedel av maximalt flöde klockan 8-16, alltså

en tredjedel av dygnet, under alla veckodagar. I 36 versioner har fläktdriften definierats som alltid i drift och i resterande versioner har den definierats enligt nämnda driftschemat. Driftschemat har använts i fem av de sju versionerna i bygghandlingsskedet.



Figur 38 - Driftschema för fläktarna i lägenhetsaggregatet.

Resterande indata i lägenhetsaggregatet har aldrig ändrats, dessa har haft samma värde eller beskrivning från Version 1 till Version 20. Dessa indata i kombination med övrig indata på aggregatet visas i Tabell 23. Indata för verkningsgraden på eftervärmningsbatteriet har alltid varit satt till 1 och den temperatur som maximalt går att sänka värmebatteriets medium med har alltid varit satt till 20 °C.

Tabell 23 - Sammanställning av indata för lägenhetsaggregatet. "Streckat" värde/beskrivning är identifierad indata som inte har använts i någon version. "Ändrad" värde/beskrivning är indata som har ändrats mellan olika versioner och de indata med faktiskt värde/beskrivning har antagit detta värde i alla versioner.

<b>Område</b>	<b>Identifierad indata</b>	<b>Värde/beskrivning</b>	
<i>Värmeväxlare</i>			
	Verkningsgrad	Ändrad	
	Kapacitet/(m <sup>3</sup> /s)	-	
	Minsta tillåtna frånluftstemperatur/°C	-15	
	Styrning	Always on	
<i>Eftervärmningsbatteri</i>			
	Verkningsgrad	1	
	Vätskesidans temperaturfall/°C	20	
<i>Styrning av tilluftstemperatur</i>			
	Styrparameter och värde	Ändrad	
<i>Fläktar</i>		<b>Tilluft</b>	<b>Frånluft</b>
<i>Fläktprestanda</i>		<b>Värde/beskrivning</b>	
	Tryckstegring/Pa	Ändrad	Ändrad
	Verkningsgrad	0,6	0,6
	SFP-tal/(kW/(m <sup>3</sup> /s))	Ändrad	Ändrad
<i>Lufttemperaturökning</i>			
	Temperatur/°C	0,5	0,5
	Motor i luftflöde/%	100	100
<i>"VAV part load performance"</i>			
	Prestanda	Unlimited	Unlimited
	Nominellt flöde	-	-
<i>Styrning av fläkt</i>			
	Driftsschema	Ändrad	Ändrad

### 6.7.3 Indata - luftbehandlingsaggregat till trapphus

Av de 18 indata som någon gång har använts har endast en indata ändrats i de versioner som aggregatet har använts i. De indata som har ändrats är verkningsgraden på värmeväxlaren som antingen varit 0,7 i Version 6 och Version 8.4. I de övriga versioner som luftbehandlingsaggregatet har förekommit har verkningsgraden varit 0,8. Detta aggregat har inte i någon version kompletterats med något värmebatteri i tilluften vilken därför genomgående har varit avstängt genom att indata på verkningsgrad varit 0. Indata för luftbehandlingsaggregatet till trapphuset sammanställs i Tabell 24.

Tabell 24 - Sammanställning av indata för trapphusaggregatet. "Streckat" värde/beskrivning är identifierad indata som inte har använts i någon version. "Ändrad" värde/beskrivning är indata som har ändrats mellan olika versioner och de indata med faktiskt värde/beskrivning har antagit detta värde i alla versioner.

<b>Område</b>	<b>Identifierad indata</b>	<b>Värde/beskrivning</b>	
<i>Värmeväxlare</i>			
	Verkningsgrad	Ändrad	
	Kapacitet/(m <sup>3</sup> /s)	-	
	Minsta tillåtna frånluftstemperatur/°C	-15	
	Styrning	Always on	
<i>Eftervärmningsbatteri</i>			
	Verkningsgrad	0	
	Vätskesidans temperaturfall/°C	0	
<i>Styrning av tilluftstemperatur</i>			
	Styrparameter och värde	Utomhustemperatur	
<i>Fläktar</i>		<b>Tilluft</b>	<b>Frånluft</b>
	<i>Fläktprestanda</i>	<b>Värde/beskrivning</b>	
	Tryckstegring/Pa	270	270
	Verkningsgrad	0,6	0,6
	SFP-tal/(kW/(m <sup>3</sup> /s))	0,45	0,45
<i>Lufttemperaturökning</i>			
	Temperatur/°C	0,5	0,5
	Motor i luftflöde/%	100	100
<i>"VAV part load performance"</i>			
	Prestanda	Unlimited	Unlimited
	Nominellt flöde	-	-
<i>Styrning av fläkt</i>			
	Driftsschema	Always on	Always on

Indata för tryckstegringen i till- och frånluftsfläktarna har alltid varit 270 Pa i de versioner som aggregatet varit en del av modellen och SFP-talet har varit 0,45 kW/(m<sup>3</sup>/s). Fläktarna har i dessa versioner alltid varit i drift. Temperaturen på tilluften i trapphuset har alltid angetts att variera med samma temperatur som råder i uteluften.

#### 6.7.4 Indata - luftbehandlingsaggregat till entré och tvättstuga

Av de totalt 18 indata som någon gång har använts har fem indata ändrats mellan versionerna. Indata för luftbehandlingsaggregatet till entré- och tvättstuga sammanställs i Tabell 25. De indata som har ändrats gäller värmeväxlarens verkningsgrad, tryckstegringen och SFP-talet i till- och frånluftsfläktarna. Verkningsgraden på värmeväxlaren har varit 0,8 från Version 6 till Version 11.6. I Version 12 var istället verkningsgraden 0,75. I Version 13 och Version 14 har verkningsgraden ökat och återgått till 0,8 för att från Version 15 och framåt ytterligare en gång minskas till 0,75.

Indata på tryckstegringen och SFP-talet på till- och frånluftsfläktarnas visas i Tabell 26. I Version 12 och Version 15-20 har tryckstegringen i fläktarna varit olika, där frånluftsfläkten har getts en tryckstegring som varit 42 Pa lägre än tryckstegringen i tilluftsfläkten. I övriga versioner, där entré-

och tvättstugeaggregatet har varit en del av modellen, har tryckstegringen i båda fläktarna varit samma. I alla versionerna har fläktarna alltid varit i drift.

Tabell 25 - Sammanställning av indata för entré- och tvättstugeaggregatet. "Streckat" värde/beskrivning är identifierad indata som inte har använts i någon version. "Ändrad" värde/beskrivning är indata som har ändrats mellan olika versioner och de indata med faktiskt värde/beskrivning har antagit detta värde i alla versioner.

<b>Område</b>	<b>Identifierad indata</b>	<b>Värde/beskrivning</b>	
<b>Värmeväxlare</b>			
	Verkningsgrad	Ändrad	
	Kapacitet/(m <sup>3</sup> /s)	-	
	Minsta tillåtna frånluftstemperatur/°C	-15	
	Styrning	Always on	
<b>Eftervärningsbatteri</b>			
	Verkningsgrad	0	
	Vätskesidans temperaturfall/°C	0	
<b>Styrning av tilluftstemperatur</b>			
	Styrparameter och värde	Utomhustemperatur	
<b>Fläktar</b>		<b>Tilluft</b>	<b>Frånluft</b>
<i>Fläktprestanda</i>		<b>Indata</b>	
	Tryckstegring/Pa	Ändrad	Ändrad
	Verkningsgrad	0,6	0,6
	SFP-tal/(kW/(m <sup>3</sup> /s))	Ändrad	Ändrad
<b>Lufttemperaturökning</b>			
	Temperatur/°C	0,5	0,5
	Motor i luftflöde/%	100	100
<b>"VAV part load performance"</b>			
	Prestanda	Unlimited	Unlimited
	Nominellt flöde	-	-
<b>Styrning av fläkt</b>			
	Driftsschema	Always on	Always on

Tabell 26 - Indata som förekommit i entré- och tvättstugeaggregatets till- och frånluftsfläktarna gällande tryckstegring och SFP-tal.

<b>Tryckstegring i tilluftsfläkt (Pa)</b>	<b>Tryckstegring i frånluftsfläkt (Pa)</b>	<b>Version</b>
420	420	6-8.6
420	420	11.1-14
522	480	15-20

Entré- och tvättstugeaggregatet har aldrig kompletterats med något eftervärmningsbatteri i tilluften vilket åstadkommit genom att indata för eftervärmningsbatteriets verkningsgrad varit 0. Temperaturen på tilluften i entré och trapphus har alltid angetts att variera med samma temperatur som råder i uteluften.

### 6.7.5 Indata som inte ändrats i luftbehandlingsaggregaten

Kapaciteten på värmeväxlaren och nominellt flöde på fläktarna har inte definierats i någon version och har därför inte summerats som använd indata. Den minsta tillåtna avluftstemperaturen från värmeväxlaren har alltid varit  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  och värmeväxlaren har alltid angetts vara i drift.

Verkningsgraden på fläktarna har angetts till 0,6, temperaturhöjningen över fläktarna har konstant angetts till  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  vilken helt tillförs luften som passerar fläktarna. Indata för fläktarnas egenskap gällande "VAV part load performance" har genomgående angetts som obegränsad. "VAV part load performance" är en fläkts systemkurva vilken beskriver fläkstens verkningsgrad vid olika effekter. Dessa indata har i alla studerade versioner varit konstant i alla tre luftbehandlingsaggregat enligt Tabell 24.

Resultaten visar att ändringen av antalet indata helt följer utvecklingen av hur många aggregat som har modellerats i versionerna. När antalet indata på luftbehandlingsaggregaten till exempel har ökat från 20 till 56 mellan Version 4.7 och Version 6 har också byggnadsmodellens omfattning ökat från endast ett våningsplan till en mer fullständig uppbyggnad. När entré och tvättstuga på bottenplan och trapphus tillkommit i modellen har det medfört att det tillkommit utrymmen i byggnaden som det ställs andra krav på i jämförelse med om endast modellen innehåller ett våningsplan med lägenheter. För att möta dessa krav och kunna modellera detta har alltså flera ventilationsaggregat med specifika förutsättningar tillkommit. Exempelvis har en stor skillnad mellan de olika aggregaten varit att det endast i aggregatet till lägenheterna har förekommit extra värmning med hjälp av ett eftervärmningsbatteri. Detta anses som en följd av att det enbart har varit lägenheterna som försetts med en konstant tilluftstemperatur. När styrparametern på tilluften har satts till utomhustemperatur kommer det aldrig finnas behov av att värma tilluften och en värmeväxlars verkningsgrad blir ointressant. Trots det är just verkningsgraden den enda indata för aggregaten i entré/tvättstuga och trapphus som ändrats. Vad dessa ändringar betyder, om tilluftstemperaturen inte har något värmebehov, kan inte förklaras med det underlag som studerats.

Tilluftstemperaturen i lägenhetsaggregatet har i alla versioner förutom i en version varit  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  eller  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . I Version 2.14 har indata för tilluftstemperaturen angetts till  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en så pass hög tilluftstemperatur skulle kunna orsaka en otillräcklig omblandning av luften (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Eftersom värmeväxlarens verkningsgrad i alla tre aggregaten har ändrats 0,1. I två av aggregaten har verkningsgraden varit 0,8 i både första versionen och sista versionen. De fåtal gånger som verkningsgraden har ändrats i versionerna, oftast till en lägre verkningsgrad, kan det ha gjorts för att kontrollera hur mycket uppvärmningsbehovet påverkas om värmeväxlaren skulle prestera sämre än väntat. Detta skulle då vara ett beräkningstekniskt experiment och att troligtvis har inte avsikten varit att använda en värmeväxlare med den lägre verkningsgraden.

Att driften av fläktarna i lägenhetsaggregatet har ändrats mellan versionerna kan bero på att ett närvarostyrt ventilationssystem avses användas i Greenhouse. Driften av fläktarna har gått ner på en tredjedel av maximalt flöde för att modellera att närvaron i lägenheterna troligtvis blir lägre under denna del av dygnet. Detta kan vara en metod som använts för att modellera ett ventilationssystem med variabelt luftflöde även om det i programmet definierats som ett ventilationssystem med konstant luftflöde. Detta verkar vara ett antagande som väl speglar verkligheten då 100 % närvaro vid 66 % av tiden under ett dygn och ingen närvaro vid 33 % av tiden under ett dygn ger ett medel på närvaro av 66 % av dygnet. Det stämmer väl överens med uppmätta värden som indikerar en genomsnittlig närvaro på 68 % (Bagge, et al., 2011).

## 6.8 Övrig energi och förluster

Trots att det finns möjlighet i IDA att komplettera med extra energi som kan tillföras och förluster som kan uppstå i byggnaden har få indata lagts till eller ändrats. Indata i övrig energi och förluster har endast förekommit i tre versioner där indata har berört varmvattenanvändning eller distributionsförluster. I Version 7 har ett varmvattenbehov på 73570 kWh/år lagts till. I Version 11.3 och Version 11.6 har det lagts till en förlust i systemet för varmvattencirkulation på 0,6 W/m<sup>2</sup> golvarea. I båda versionerna har det definierats att hela förlusten tillförs utrymmen i byggnaden som har ett uppvärmningsbehov. Av de tio identifierade indata har endast fyra indata någon gång använts enligt Tabell 27. Utöver detta har inga förluster i den värmeproducerande enheten eller extra tillförd energi kompletterats i versionerna.

Tabell 27 - Utdrag ur checklisten över Indata för övrig energi och förluster i tre versioner där indata har förekommit.

Identifierad indata	Version 7	Version 11.3	Version 11.6
<i>Tappvarmvattenanvändning</i>			
Genomsnittlig tappvarmvattenanvändning	73570 kWh/år	0	0
Distribution	Always on	-	-
<i>Förluster i distributionssystem</i>			
Varmvattencirkulationskrets/(W/m <sup>2</sup> <sub>golv</sub> )	0	0,6	0,6
Varav tillförd zonen i %	-	100	100
Värme till zon i %	0	0	0
Varav tillförd zonen	-	-	-
Förluster i tilluftskanal/(W/m <sup>2</sup> <sub>golv</sub> vid tempdiff 7 °C)	0	0	0
Varav tillförd zonen i %	-	-	-
<i>Förluster i värmeproducerande enhet</i>			
Tomgångsförbrukning/W	0	0	0
<i>Ytterligare energianvändning</i>			
Övriga tillägg för extra energi, ex. hissar, solceller.	-	-	-

För att uppfylla passivhuskravet enligt FEBY 12 kan beräkningar för årlig energianvändning för varmvatten baseras på Svebys brukarindata som säger att den uppgår till 25 kWh/m<sup>2</sup><sub>Atemp</sub>. Med en uppskattning av byggnadens A<sub>temp</sub> till ca 3100 m<sup>2</sup> (36 lägenheter om ca 85 m<sup>2</sup> och allmänna utrymmen på entréplan) visar det sig att indata för genomsnittlig varmvattenanvändning på 73570 kWh/år motsvarar ca 24 kWh/m<sup>2</sup><sub>Atemp</sub>. Den genomsnittliga varmvattenanvändningen som har använts i Version 7 verkar vara rimlig.

Med bakgrund i att tappvarmvattenanvändningen i byggnaden endast har använts i en av de 48 studerade versionerna verkar ingen huvudsaklig hänsyn tagits till detta i IDA. Istället måste beräkningar med inkluderad tappvarmvattenanvändningen ha genomförts utanför programmet.

I Version 11.3 och Version 11.6 har hänsyn tagits till förluster i varmvattencirkulationen som dessutom tillförts till uppvärmda rum i byggnaden. När förluster i varmvattencirkulationen tillförs uppvärmda rum bör behovet av uppvärmningsenergi minska. Vid jämförelse med andra versioner där indata för denna förlust inte använts, men som i övrigt haft identiska indata, framgår det att uppvärmningsenergin har minskat. Jämförs Version 11.3 med Version 11.2 framgår det att uppvärmningsenergin minskat med 15 % från 18,3 kWh/m<sup>2</sup> i Version 11.2 till 15,5 kWh/m<sup>2</sup> i Version 11.3. Jämförs Version 11.6 med Version 11.5 framgår det att uppvärmningsenergin minskat med 13 % från 21,7 kWh/m<sup>2</sup> i Version 11.5 till 18,8 kWh/m<sup>2</sup> i Version 11.6. Trots minskningen av



uppvärmningsenergin har inga senare versioner innehållit indata för förluster i varmvattencirkulationen. Det kan bero på att det har ansetts att det inte finns möjlighet att tillgodoräkna sig förlusterna från varmvattencirkulationen, under verkliga förhållanden, i form av värme tillförd utrymmen i byggnaden som har ett uppvärmningsbehov. Om rörledningarna till varmvattencirkulationen dras i ett schakt som inte är i anslutning till utrymmen med uppvärmningsbehov kan dessa utrymmen inte tillgodoräkna sig förlusterna.

Det har i liten utsträckning tagits hänsyn till förluster och extra energi i byggnaden. Vissa förluster har istället varit inkluderade i andra indata i versionerna så som distributionsförluster som verkar vara inkluderade i verkningsgraden för fjärrvärmeväxlaren. Dessutom har det inte lagts till några ytterligare installationer som kan påverka byggnadens energianvändning, som exempelvis hissar eller solceller. Detta till trots att byggnaden faktiskt skall innehålla hissar och kompletteras med solceller.

## 6.9 Indata på zonnivå - referensplanet

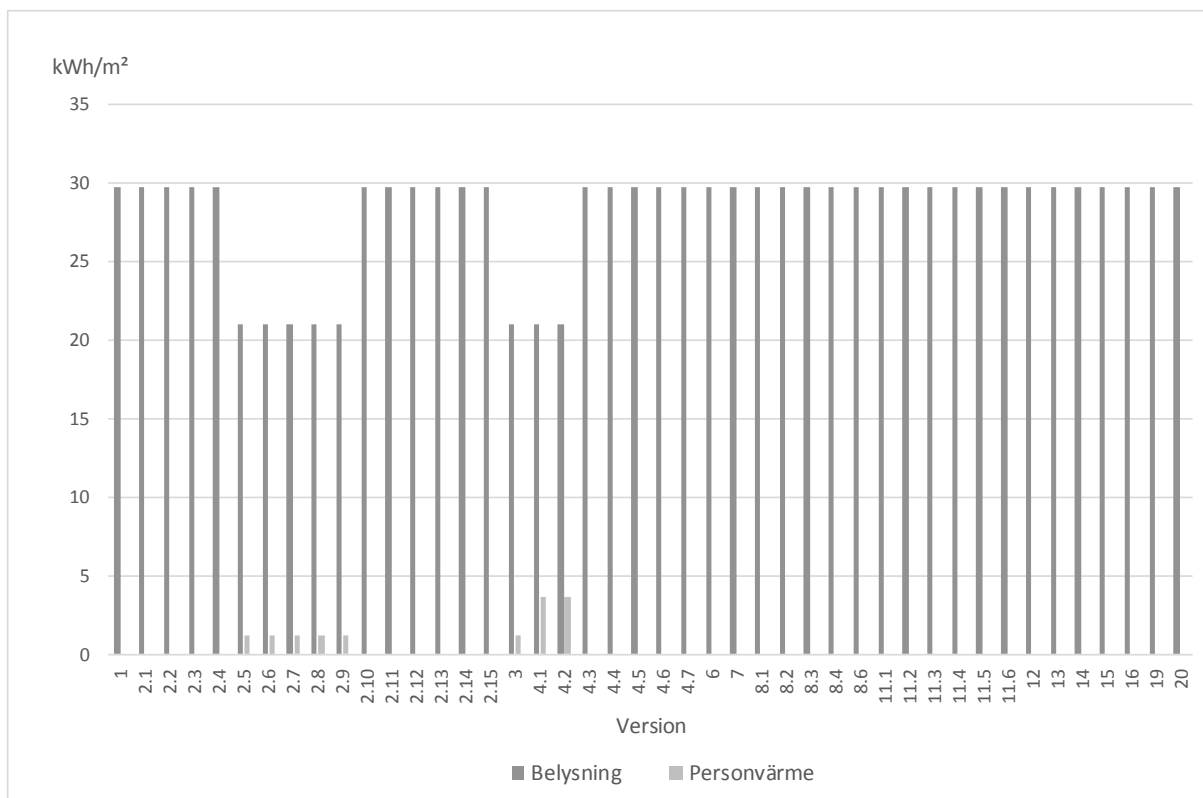
122 indata av de 199 identifierade indata på zonnivå för referensplanet har använts i minst en version. Av de 122 använda indata har värde eller beskrivning på 56 av dem inte ändrats. På zonnivå har en referenslägenhet och trapphuset studerats på referensplanet. Trots att det endast är indata gällande geometri, ventilationsflöden, rumsenheter och intervärmelaster som har studerats på referensplanet har det varit en stor mängd indata. Detta beror på att varje zon har studerats var för sig gällande geometri, ventilationsflöden, rumsenheter och internvärmelaster. Geometri, ventilationsflöden och rumsenheter behandlas i Kravuppfyllande (rubrik 6.10). Referenslägenheten har bestått av sex zoner och trapphuset har i sig varit en zon. Indata för zonerna i referenslägenheten redovisas inte var för sig utan dessa har istället summerats och zonen för trapphuset redovisas skild från referenslägenheten.

Indata för internvärmelaster har varit uppdelad på belysning, personnärvaro och hushållsapparater. I Figur 39 visas indata för belysningen och värme från närvarande personer i respektive version. I figuren visas detta endast för de versioner som har beräknats för ett helt år. Indata i figuren är summerad för referenslägenhetens alla zoner och omräknade till kWh/m<sup>2</sup> och år. Indata för belysningen i respektive version som använts i beräkningen, enligt Ekvation (14), är; antalet belysningsenheter, 100 W/belysningsenhet, golvarea på referenslägenheten och konstant drift (24 timmar och 365 dagar om året). Indata för personnärvaron i respektive version som använts i beräkningen, enligt Ekvation (15), är; antalet närvarande personer, arean på referenslägenheten och en närvarotid på 3 timmar/dygn (365 dagar om året) multiplicerat med anvisningar i FEBY 12 om personvärme på 47 W/person i dygnsgenomsnitt.

$$\frac{\text{Antal belysningsenheter} \cdot 100 \cdot 24 \cdot 365}{1000 \cdot A_{\text{referenslägenhet}}} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år}) \quad (14)$$

$$\frac{\text{Antal närvarande personer} \cdot 47 \cdot 3 \cdot 365}{1000 \cdot A_{\text{referenslägenhet}}} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år}) \quad (15)$$

Indata för personnärvaro har endast använts i åtta versioner och indata för hushållsapparater har inte använts i någon av de studerade versionerna. I Figur 39 framgår det att energianvändningen för belysningen har varit knappt 30 kWh/m<sup>2</sup> och år i de versioner där ingen personnärvaro använts och 21 kWh/m<sup>2</sup> och år i versioner där även personnärvaro använts.



Figur 39 - Internvärme från belysning och personer i referenslägenheten.

Det visar sig att belysningen har använts i alla versioner enligt Figur 39 och haft en energianvändning på knappt 30 kWh/m<sup>2</sup> och år. Att energianvändningen för belysningen har beräknats så högt är anmärkningsvärt. Detta värde motsvarar den anvisning som anges i Svebys brukarindata, enligt Tabell 6, som säger att ett schablonvärde för hushållsel kan antas till 30 kWh/m<sup>2</sup> och år vid beräkningar, varav 70 % av detta kan tillgodoräknas om uppvärmningsbehov finns. I de versioner som personvärme har använts, och satts till antingen 1,2 kWh/m<sup>2</sup> och år eller 3,7 kWh/m<sup>2</sup> och år, har energianvändningen för belysningen minskats till 21 kWh/m<sup>2</sup> och år. Minskningen av belysningen har varit lika stor oavsett hur mycket personvärmen har ökat. Dessutom har det visat sig att de indata som egentligen skall beskriva hushållselen i versionerna, hushållsapparater, inte har använts i någon version. Det höga värdet på belysningen skulle kunna bero på att all internvärme i form av belysning, personvärme och hushållsapparater är sammanförd som en enda internvärmelast och redovisats som belysning. Detta kan vara anledningen till att ingen indata för hushållsapparater har använts och att indata för personvärme har använts endast i ett fåtal versioner.

I alla versioner där den enda internvärmelasten har varit belysning har den definierats som att den skall vara konstant, utan variationer under dygnet eller året. Detta skulle kunna bidra till en felaktig beräkning av uppvärmningsbehovet eftersom exempelvis variationen av hushållselanvändningen inte inkluderas. Timdatamätningar i 200 lägenheter under en flera år lång period visar att användningen av hushållsel kan variera kraftigt under året, med störst användning under vintern (Bagge, 2008). När användningen av hushållselen beräknas som konstant över året missas delar av den spillvärme som hushållselen kan bidra med under vintern då ett uppvärmningsbehov finns och således överskattas uppvärmningsbehovet under denna period (Bagge, 2008).

I de versioner som indata för personvärmen har använts har en närvarotid på 3 timmar/dygn angetts. Samtidigt har det visat sig, i de versioner som indata för ventilationssystemets driftschema har beskrivits, att flödet skall gå ner till en tredjedel av maximalt flöde under en tredjedel av dygnet.

Detta innebär att personnärvaron varar två tredjedelar av dygnet, alltså 16 timmar/dygn. Denna närvarostyrda beskrivning av ventilationssystemets driftstid har inte använts i samma versioner som personnärvaron för internvärmelaster har använts. En närvarotid på 3 timmar/dygn verkar vara lågt i jämförelse med framtagna brukarindata i Svebys anvisningar, enligt Tabell 6, som säger att 14 timmar/dygn och person är en lämplig närvarotid. Det verkar också vara lågt i jämförelse med uppmätta värden som indikerar på en genomsnittlig närvarotid på 68 % av dygnet (Bagge, et al., 2011) eller omkring 16 timmar/dygn.

En jämförelse mellan internvärmelasten och de data som visas i Figur 40 gällande den totala energianvändningen ger inga entydiga resultat. Mellan Version 2.4 och Version 2.5 har en ökning av den totala energianvändningen skett samtidigt som internvärmelasten har minskat. Skillnaden mellan Version 2.7 och Version 2.8 när internvärmelasten varit konstant är att en minskning av den totala energianvändningen har skett. Utan ytterligare undersökning av vad som mer skiljer en specifik version från en annan går det inte göra några vidare analyser.

## 6.10 Indata i relation till ställda krav

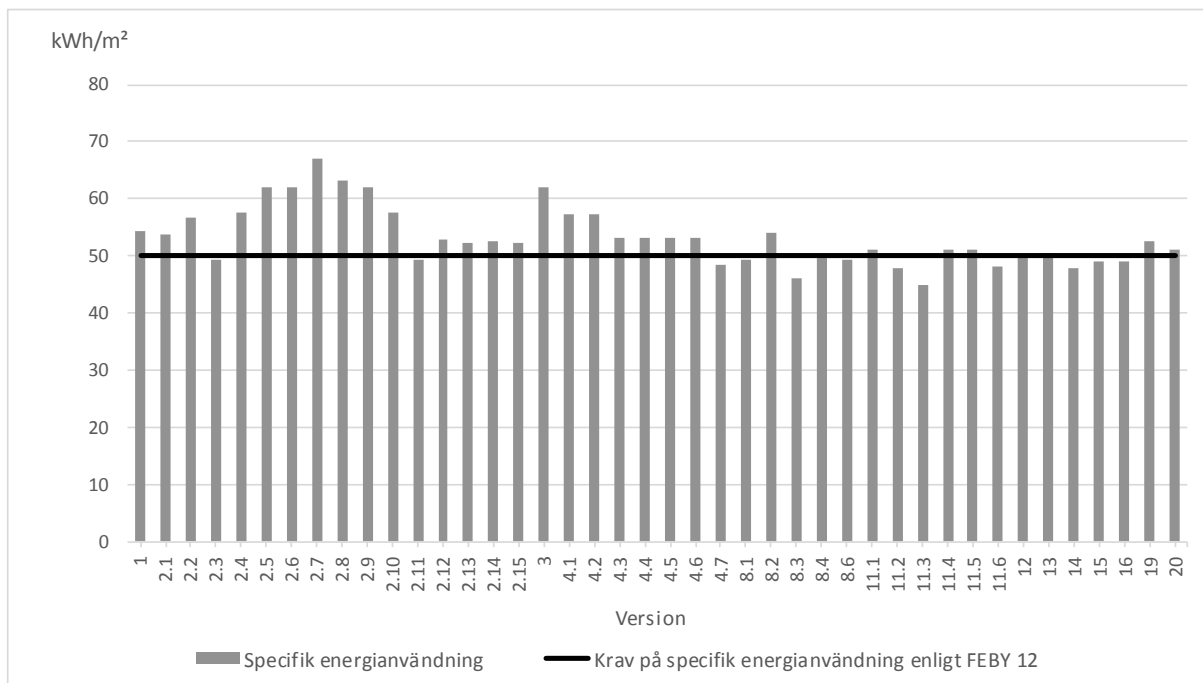
Med hjälp av studerad indata och de utdata som hämtats ur respektive version görs i detta avsnitt en undersökning av relationen mellan in- och utdata och de krav som visas Tabell 9 i respektive version. Vissa av kraven i Tabell 9 har redan undersökts i detta kapitel så som; luftläckage, U-värde för fönster och dörrar och tappvarmvatten. Undersökningen baseras på indata för den studerade referenslägenheten.

### 6.10.1 Total energianvändning

Den specifika energianvändningen som innefattar alla delar vilka påverkar energianvändningen antingen i form av förluster eller tillskott förutom användning av hushållsel i enlighet med definition av specifik energianvändning i FEBY 12. Det är ett av de krav som har varit möjligt att undersöka med hjälp av studerad indata och utdata. Efter att all indata och utdata för respektive version studerats har det visat sig att all information som krävs för att studera den specifika energianvändningen inte har funnits med i versionerna. De delar av den specifika energianvändningen där tillräckligt med information har funnits är transmissionsförluster, luftläckage, ventilation och återvunnen värme. Det finns även delar av den specifika energianvändningen som delvis har funnits med i versionerna; distributions- och reglerförluster, värmertilskott och värmertilskott via solstrålning, samt fastighetsel. Den del som inte funnits med är tappvarmvattenanvändning, förutom i en version.

Kontroll av den specifika energianvändningen kan göras i versionerna om ett tillägg görs för tappvarmvattenanvändning enligt föreskrifter i passivhuskraven i FEBY 12 om ett tillägg på 25 kWh/m<sup>2</sup><sub>Atemp</sub>. En felkälla i denna jämförelse är osäkerheten om vilken area som har legat till grund för uppvärmningsenergin som hämtats som utdata i respektive version. Att studien i huvudsak är genomförd på referenslägenheten och inte hela byggnaden gör att en jämförelse av byggnadens area i versionerna kontra den totala arean som uppvärmningsenergin fördelats på inte är möjlig. Dock skulle de icke uppvärmda areorna, som exempelvis i trapphuset, troligen leda till att uppvärmningsbehovet underskattas då värmeenergin delas på en större area än den som verkligen bör medräknas som A<sub>temp</sub>. Resultaten visar att med tillägg av tappvarmvattenanvändning hamnar den specifika energianvändningen i närheten av det ställda kravet i FEBY 12 på 50 kWh/m<sup>2</sup> och antagande görs då att det är fördelat på den korrekta arean. De övriga delarna som saknas i modellen torde leda

till en underskattning av det verkliga specifika energianvändningen. Det anses dock att en jämförelse ändå skulle kunna ge en uppskattning om hur indata relaterar till kravet i detta avseende i respektive version. I Figur 40 visas den specifika energianvändningen för de versioner som innehållit en beräkning över antingen uppvärmningssäsongen eller ett helt år och information om versionens uppvärmningsenergi.

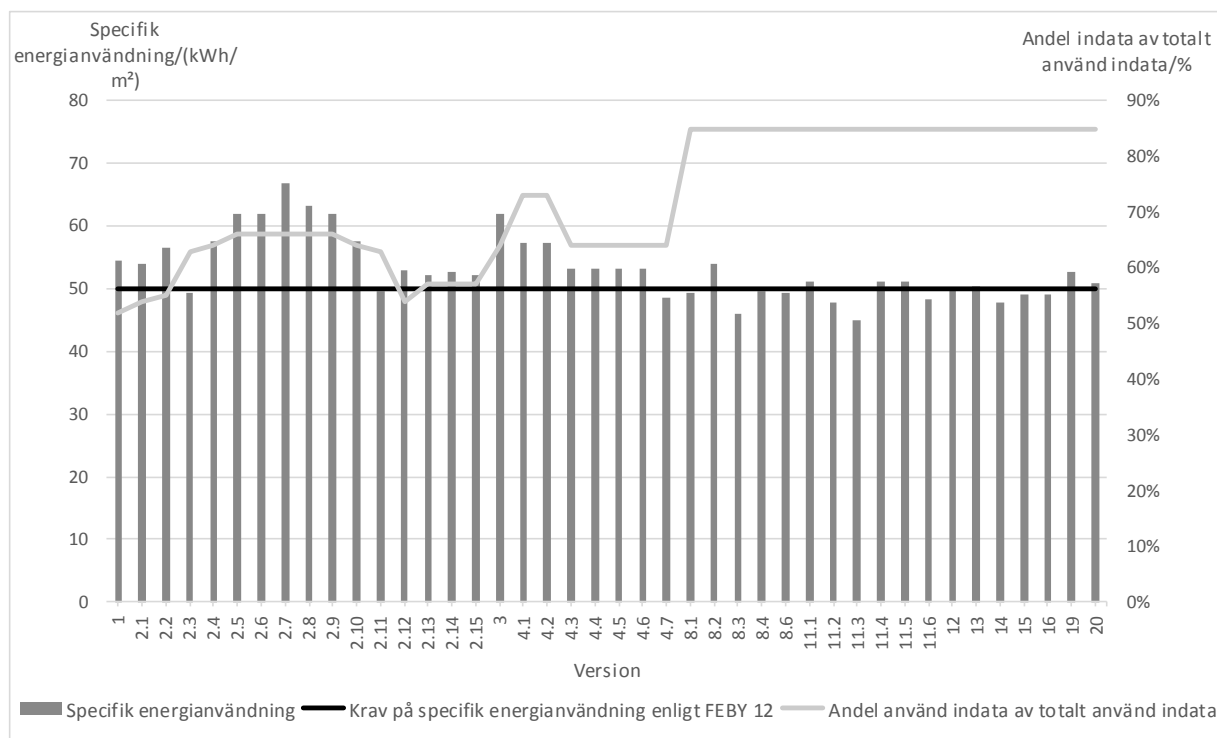


Figur 40 - Kontroll av indatas relation till kravet på maximal specifik energianvändning om 50 kWh/m<sup>2</sup> enligt FEBY 12.

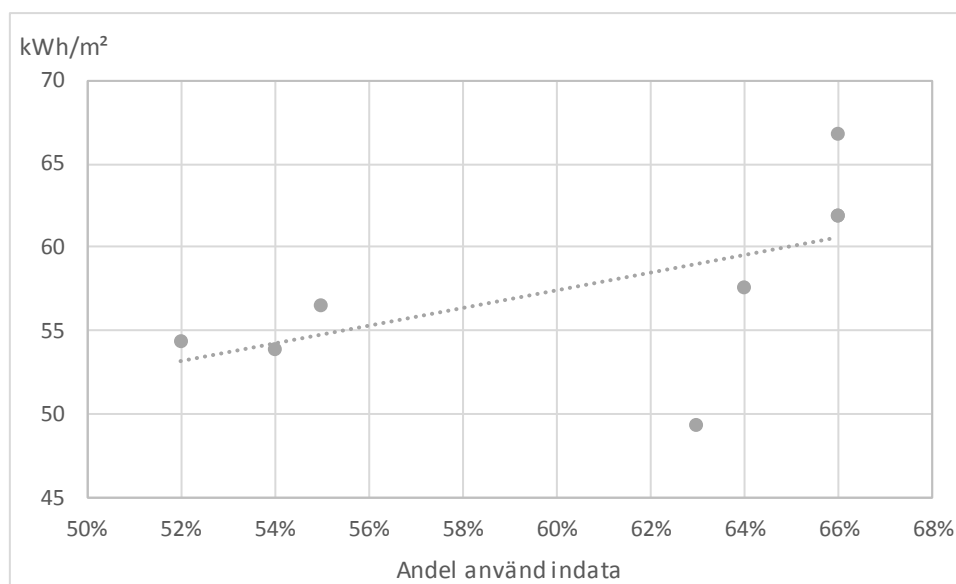
En jämförelse görs mellan tre angränsande versioner, i Figur 40, där den specifika energianvändningen har minskat och gått från att inte ha uppfyllt kravet till att ha uppfyllt det. Från Version 2.2 till Version 2.3 framgår det att den specifika energianvändningen har minskat med 7 kWh/m<sup>2</sup>. Från Version 4.6 till Version 4.7 har den minskat med 5 kWh/m<sup>2</sup> och från Version 8.2 till Version 8.3 har den minskat med 8 kWh/m<sup>2</sup>.

Den specifika energianvändningen visar sig ha varit mycket nära uppfyllt redan i Version 1 enligt Figur 41. Som en tredje part är det svårt att dra några egentliga slutsatser utifrån endast denna version eftersom att osäkerheten är stor gällande huruvida all indata använts i versionen för att det ska verkligen ska motsvara den specifika energianvändningen. Vad som sedan har hänt i efterföljande versioner, med ökat antal indata, är att modellen av byggnaden har ökat i komplexitet. För att jämföra den ökade komplexiteten av modellen, med hur den specifika energianvändningen har ändrats mellan versionerna, visas andel använd indata och specifika energianvändningen i Figur 41. Från Version 1 till Version 2.7 har den specifika energianvändningen ökat samtidigt som andel indata som använts i versionerna också har ökat. Detta syns tydligt i Figur 42 där den specifika energianvändningen och andel använd indata är plottad för just dessa versioner. Den specifika energianvändningen verkar alltså ha ökat i samband med att fler indata har använts. Detta skulle kunna bero på att det fortfarande varit ett tidigt skede av projekteringen och att det därför i dessa versioner har testats nya värden på indata som tidigare inte har använts i någon version. I Version 8.1 till Version 20 har den specifika energianvändningen istället stabiliserats kring kravet på 50 kWh/m<sup>2</sup>, trots att andelen använd indata har ökat i stor omfattning i jämförelse med Version 4.7. Detta kan vara en konsekvens av att det gjorts byggnads- och installationstekniska förbättringar vilket medför förändrad indata baserade på erfarenheter från tidigare versioner där den specifika

energianvändningen visat sig vara för hög. Exempelvis har U-värdet på flera av byggnadselementen minskats i anknnytning till att den specifika energianvändningen stabiliserats kring kravet i Version 4.7.



Figur 41 - Specifik energianvändning och andel använd indata av totalt använd indata i respektive version.



Figur 42 - Specifik energianvändning och andel använd indata från Version 1 till Version 2.7.

I jämförelserna mellan Version 4.6 och Version 4.7 och mellan Version 8.2 och Version 8.3 verkar minskningen av den specifika energianvändningen, i båda fallen, i huvudsak berott på att styrningen av fläktarna i luftbehandlingsaggregatet för lägenheterna har tilldelats driftsschemat enligt Figur 38. Detta har medfört att luftflödet gått ner på en tredjedel av maximalt flöde under en tredjedel av dygnet. Därför bör driftelen till aggregatet minskat och uppvärmd luft inte förts ut från byggnaden i onödan och således har den specifika energianvändningen minskat. Ändringen av fläktarnas driftsschema är den enda ändring som gjorts mellan Version 4.6 och Version 4.7, vilket medfört en

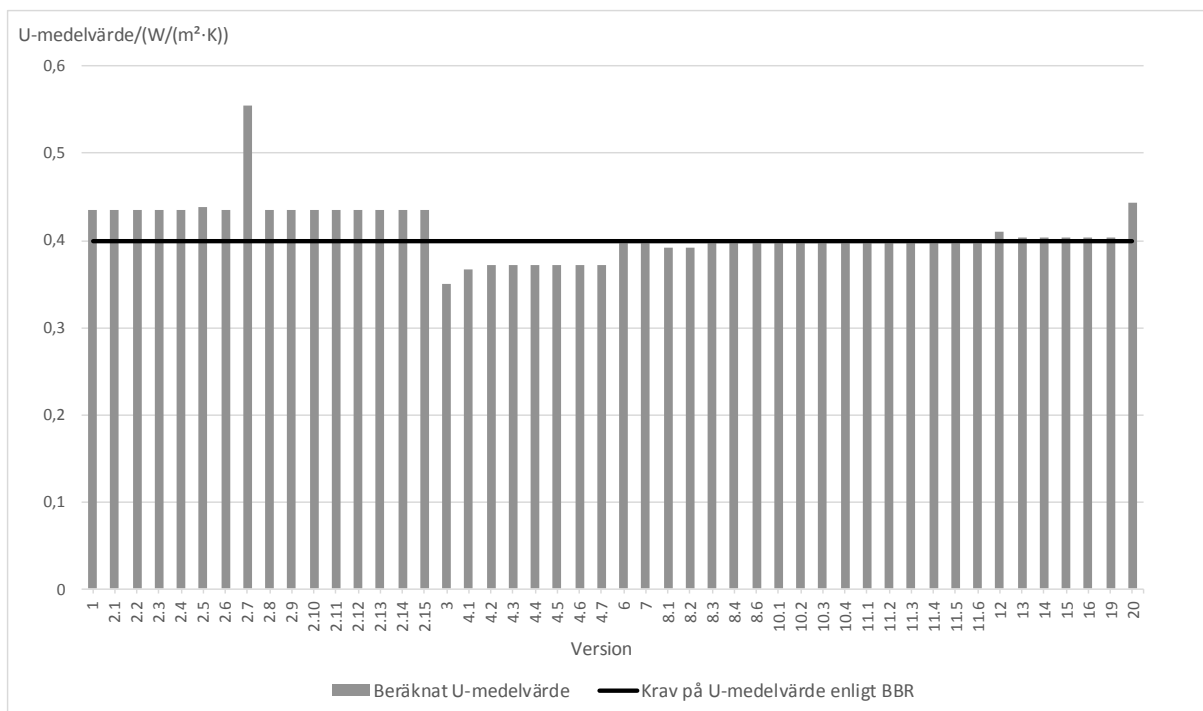
minskning av den specifika energianvändningen med 9 %. Från Version 8.2 till Version 8.3 har dessutom verkningsgraden på samma luftbehandlingsaggregat förbättrats från 0,7 till 0,8. Mellan dessa versioner har den specifika energianvändningen minskat med 15 %. Den närvarostyrda ventilationen verkar kunna bidra till en betydande minskning av den specifika energianvändningen.

Skillnaderna mellan Version 2.2 och Version 2.3, där den specifika energianvändningen minskat med 7 kWh/m<sup>2</sup>, är indata för köldbryggor och radiatorer. I Version 2.2 har indata för fyra olika typer av köldbryggor använts och i Version 2.3 har istället ett schablonvärde för köldbryggorna använts. I Version 2.3 har radiatorer använts i tre av referenslägenhetens zoner. I Version 2.2 har inte radiatorer använts. Att studera orsaken till minskningen av den specifika energianvändningen i denna jämförelse är svårare än i de två tidigare jämförelserna. Uppkomsten av radiatorer i Version 2.3 borde ha bidragit till en ökad specifik energianvändning, därför borde ändringen till schablonvärdet på köldbryggorna bidragit till en betydande minskning av den specifika energianvändningen till följd av minskade transmissionsförluster genom köldbryggorna i referenslägenheten. Referenslägenheten har stora balkonger och fönster vilka bidrar till transmissionsförluster i form av köldbryggor. Frågan är om inte dessa blir underskattade, när schablonvärdet i stället har använts, i Version 2.3 där den specifika energianvändningen har minskat med 13 % i förhållande till Version 2.2.

### 6.10.2 U-medelvärde

För att kontrollera U-medelvärdet,  $U_m$ , i respektive version används den omslutande arean på referenslägenheten och beräkningen görs enligt Ekvation (4) i kapitel tre. Referenslägenhet har varit modellerad i samtliga versioner och de indata som behövs för att kontrollera  $U_m$  är en del av checklistan. Att endast studera referenslägenheten ger ett överskattat  $U_m$  i förhållande till om beräkningen görs på byggnaden i sin helhet då byggnadsdelar som tak och bottenbjälklag inte ansluter till referenslägenheten. Indata för U-värdet på dessa byggnadsdelar har i de flesta versionerna som de använts i haft värden som skulle bidra till ett lägre  $U_m$ .

Beräkningen av  $U_m$  för respektive version visar att  $U_m$  är lägre än BBR:s krav på 0,4 W/(m<sup>2</sup>·K) i 30 av de 48 studerade versionerna. I 16 versioner, från Version 1 till Version 2.15 har  $U_m$  legat omkring 0,44 W/(m<sup>2</sup>·K), ca 0,04 W/(m<sup>2</sup>·K) över kravet. Av de 18 versioner där  $U_m$  inte har uppfyllts är det två versioner som utmärker sig, Version 2.7 och Version 20.



Figur 43 - U-medelvärde i respektive version.

I de 16 första versionerna, Version 1 till Version 2.15, där kravet på  $U_m$  inte har uppfyllts har det i åtta versioner använts ett schablonvärde för indata på köldbryggorna. I de övriga åtta versionerna har endast fyra indata för de specifika köldbryggorna använts. Där schablonvärdet har använts kan det höga  $U_m$  bero på en mindre bra uppskattning av schablonvärdet. Att det i de övriga åtta versionerna endast har använts indata för fyra specifika köldbryggor borde egentligen bidra till ett lägre  $U_m$ , dock har indata för de fyra köldbryggorna varit väsentligt högre i dessa versioner än i senare versioner där kravet på  $U_m$  har uppfyllts. Detta skulle kunna ha bidragit till att kravet inte uppfyllts från Version 1 till Version 2.15. Även U-värdet på ytterväggen har varit betydligt högre i dessa versioner än i senare versioner där kravet har uppfyllts.

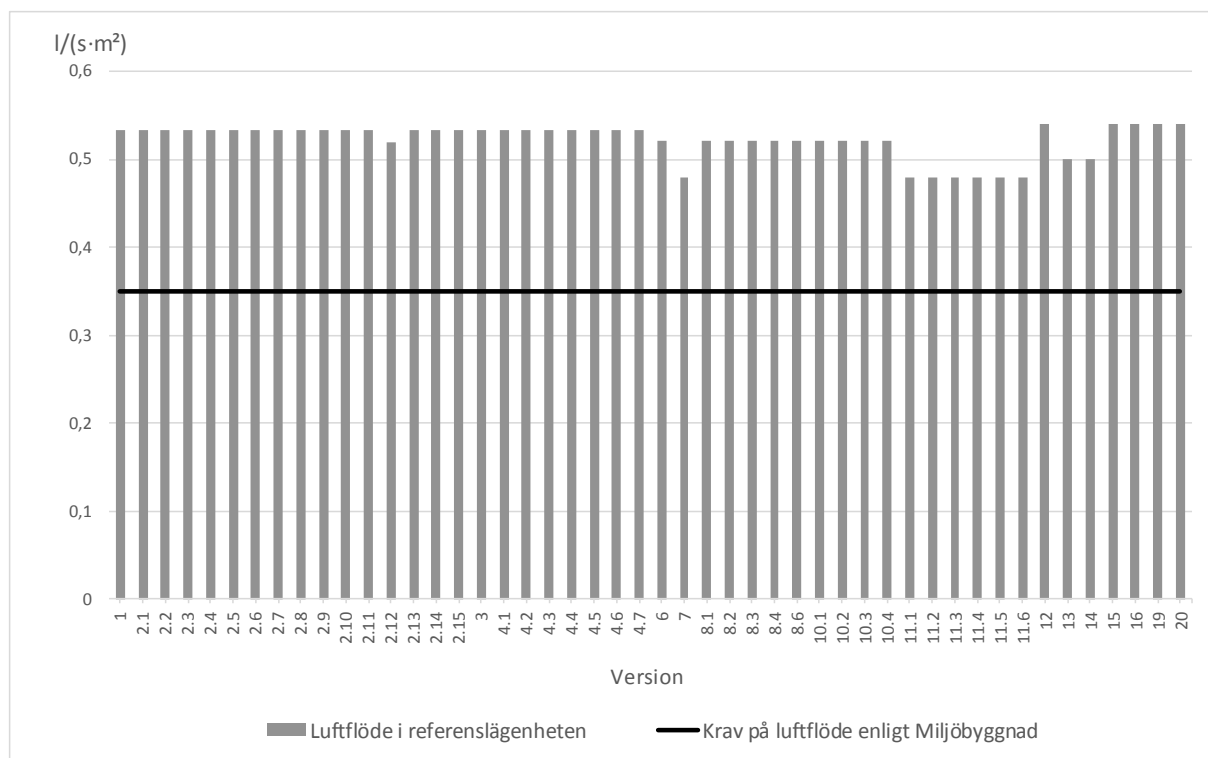
Att  $U_m$  i Version 2.7 är högre än i övriga versioner beror på att ett högre U-värde på fönstren har använts. Värdet på  $U_m$  i Version 20, som också är högre än i övriga version bortsett från  $U_m$  Version 2.7 antas också bero på ett högre U-värde på fönstren. Dock är detta U-värde inte lika högt som i Version 2.7. Eftersom att U-värdena på flera av byggnadselementen har ändrats i Version 20, till både lägre och högre värden, är det svårt att dra någon egentlig slutsats av vad som medfört att kravet på  $U_m$  inte har uppfyllts i Version 20.

Kravet på byggnadens  $U_m$ , om  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , har sitt ursprung i BBR som har ett mer lättuppnåeligt krav på den totala energianvändningen än de andra regelverken som är gällande vid detta projekt. Det är därför intressant att kontrollen av uppfyllandet av  $U_m$ -kravet visar att det har varit problem att uppnå BBR:s krav på  $U_m$ . Det skulle kunna bero på att referenslägenheten har använts för att kontrollera kravet. Om  $U_m$  istället beräknas på hela byggnaden kommer delar av byggnaden som har mindre fönsterpartier och större ytterväggsarea, än referenslägenheten, med i beräkningen som troligtvis skulle bidra till ett lägre  $U_m$ .

### 6.10.3 Ventilation

Det ställs flera krav på ventilationen men om kraven som ställs på ventilation i Miljöbyggnad, uppfylls så uppfylls även de andra kraven som ställs på ventilationen då dessa krav är lägre ställda än kraven i Miljöbyggnad. Det är kraven i Miljöbyggnad som sätts i relation till indata.

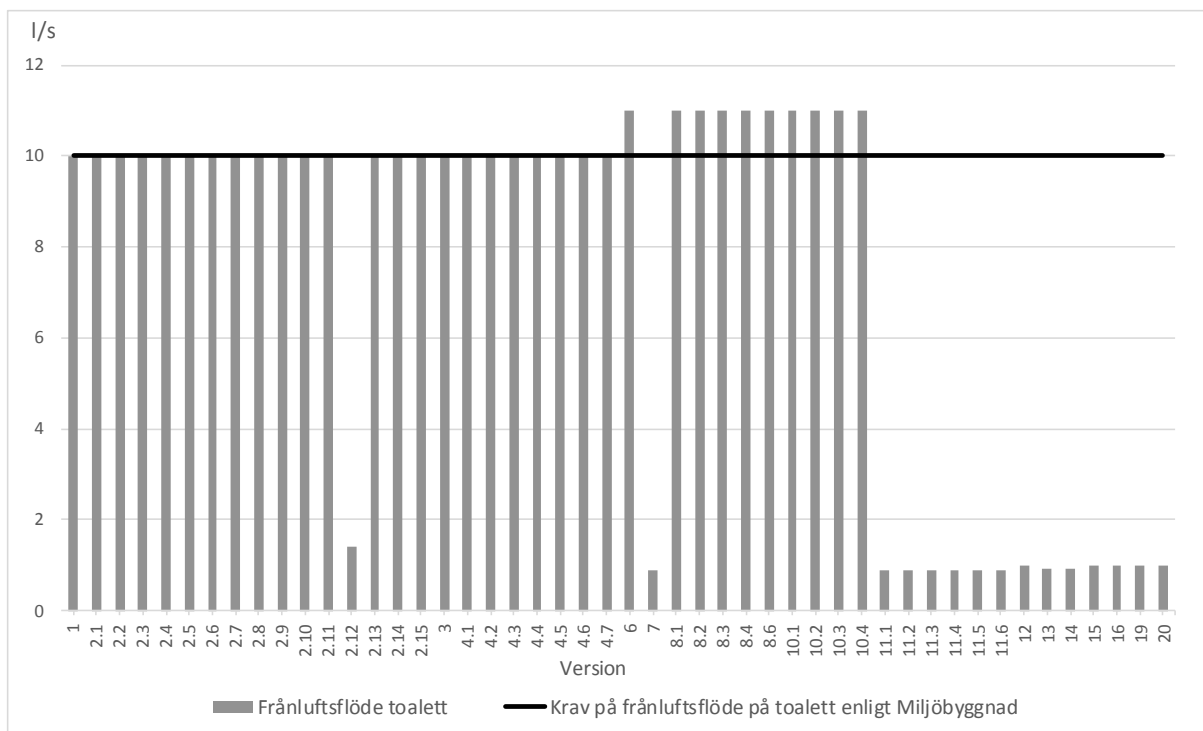
Kravet på totalt luftflöde i Miljöbyggnad är satt till  $0,35 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ . Kontrollen av relationen till detta krav baseras på indata från referenslägenheten och även här görs antagandet att om kravet i referenslägenheten har uppfyllts så gör det även det i övriga delar av byggnaden.



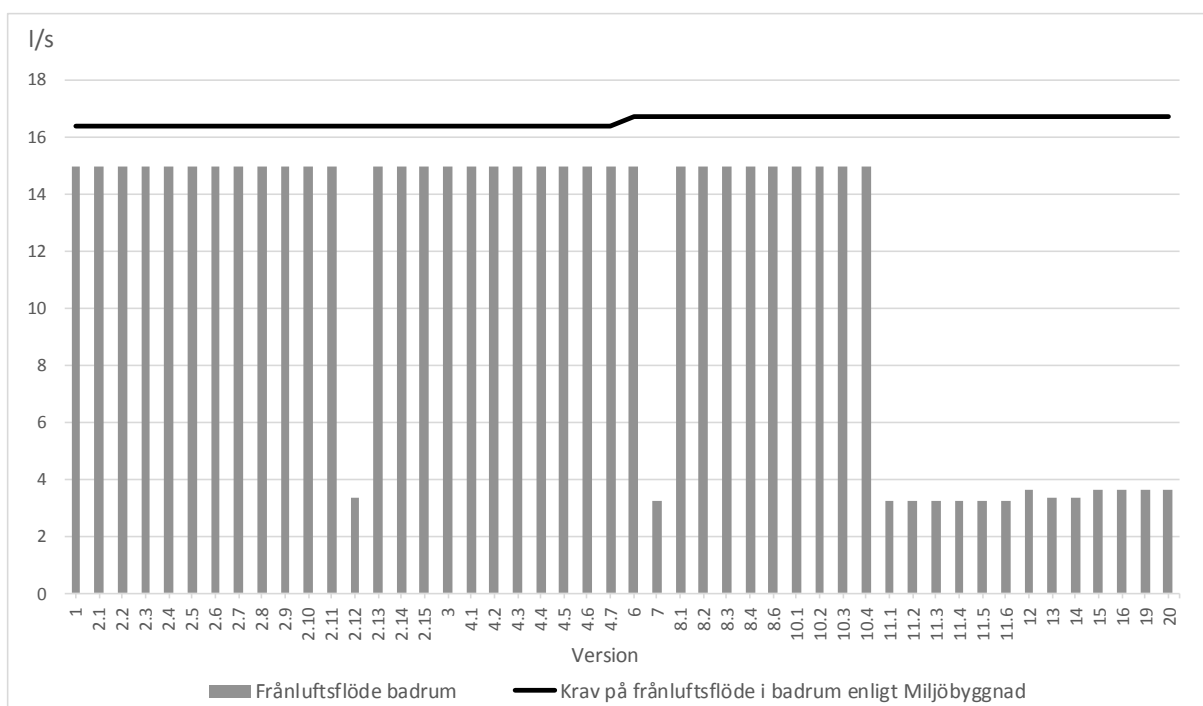
Figur 44 - Totalt luftflöde i referenslägenheten.

Utöver kravet på totalt luftflöde ställs det även i Miljöbyggnad krav på frånluftsflöden på toalett och i badrum. Kravet på ventilation på en toalett säger att frånluftsflödet måste vara minst 10 l/s. Kravet för ett badrum är högre och är också beroende av badrummets area, grundkravet är 15 l/s och till det skall adderas 1 l/s för varje kvadratmeter som arean överstiger 5 m<sup>2</sup>.





Figur 45 - Frånluftsflöde, toalett i referenslägenheten.



Figur 46 - Frånluftsflöde, badrum i referenslägenheten.

Kravet på luftflöde per area i referenslägenheten har uppfyllts i samtliga versioner, enligt Figur 44. Kraven på flöde för toaletten och badrummet har däremot inte uppfyllts i alla versioner. Att kraven i respektive rum inte uppfyllts i alla versioner kan bero på att det har gjorts en annorlunda fördelning av flödena när beräkning av versionerna genomförts. Det har troligtvis varit ett sätt att modellera flödena men förmodligen har inte avsikten varit att uppföra byggnaden med denna fördelning av flöden. Att kravet på totalt luftflöde för hela referenslägenheten har uppfyllts i samtliga versioner ses som stöd för detta antagande. Att kravet på frånluftsflöde i badrummet inte har uppfyllts i någon av

versionerna antas bero på att endast flödet om 15 l/s har angetts som indata, utan tillägget på grund av badrummets area. Kraven på frånluftsflöden i toalett och badrum anses tydliga och med indata från versionerna enkla att relatera till kraven. Kontrollen av dessa frånluftsflöden anses därför ej ha uppfyllts då de understiger de ställda kraven.

#### 6.10.4 Distributions- och reglerförluster

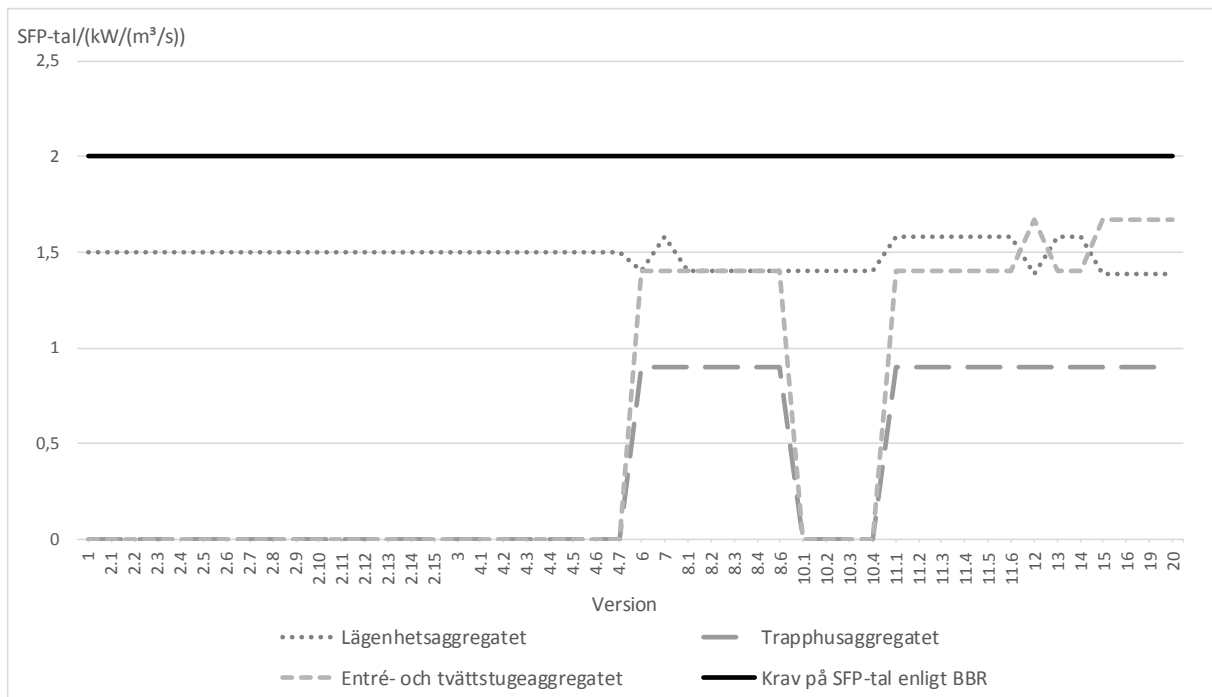
Enligt passivhuskraven i FEBY 12 får verkningsgraden för värmesystemet maximalt uppgå till 0,89 för att hänsyn skall tas till de förluster som sker i värmesystemet. Detta krav har uppfyllts i samtliga versioner efter Version 3.

Distributions- och reglerförluster som kan uppstå i andra system som exempelvis ventilationssystemet anses inte ha funnits med på samma sätt för värmesystemet. Att inga förluster för varmvattencirkulation funnits med, förutom i två versioner, tros vara en direkt följd av att varmvattenanvändningen verkar behandlas utanför IDA. Verkningsgraden på värmeväxlaren i ventilationssystemet antas till skillnad från värmesystemets verkningsgrad inte ha innehållit någon faktor för förluster i distributionssystemet eller i regleringen. Detta är anledningen till att distributions- och reglerförluster endast delvis ha varit medräknat i den specifika energianvändningen.

#### 6.10.5 Fastighetsel

De delar av fastighetselen som har hämtats som utdata ur versionerna är fläkt- och pumpel för drift av fläktarna i ventilationssystemet och pumparna i värmesystemet. Men eftersom varmvattenanvändning generellt inte varit med i versionerna så är inte pumparna i detta system eller varmvattencirkulationen en del av den hämtade utdatan. Hur mycket av energi för drift av pumpar som är inräknad i schablonen för tappvarmvattenanvändning är osäkert. Av denna anledning så anses inte fastighetselen vara fullständig och inte då heller den specifika energianvändningen.

I fastighetselen ingår fläktarna i ventilationssystemet och på dessa ställer BBR kravet att fläktarnas SFP-tal inte får överstiga  $2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Checklistan innehåller indata gällande SFP-talet för samtliga fläktar i respektive version. I Figur 47 visas en summering av SFP-talen för till- och frånluftsfläktarna i respektive aggregat och version.



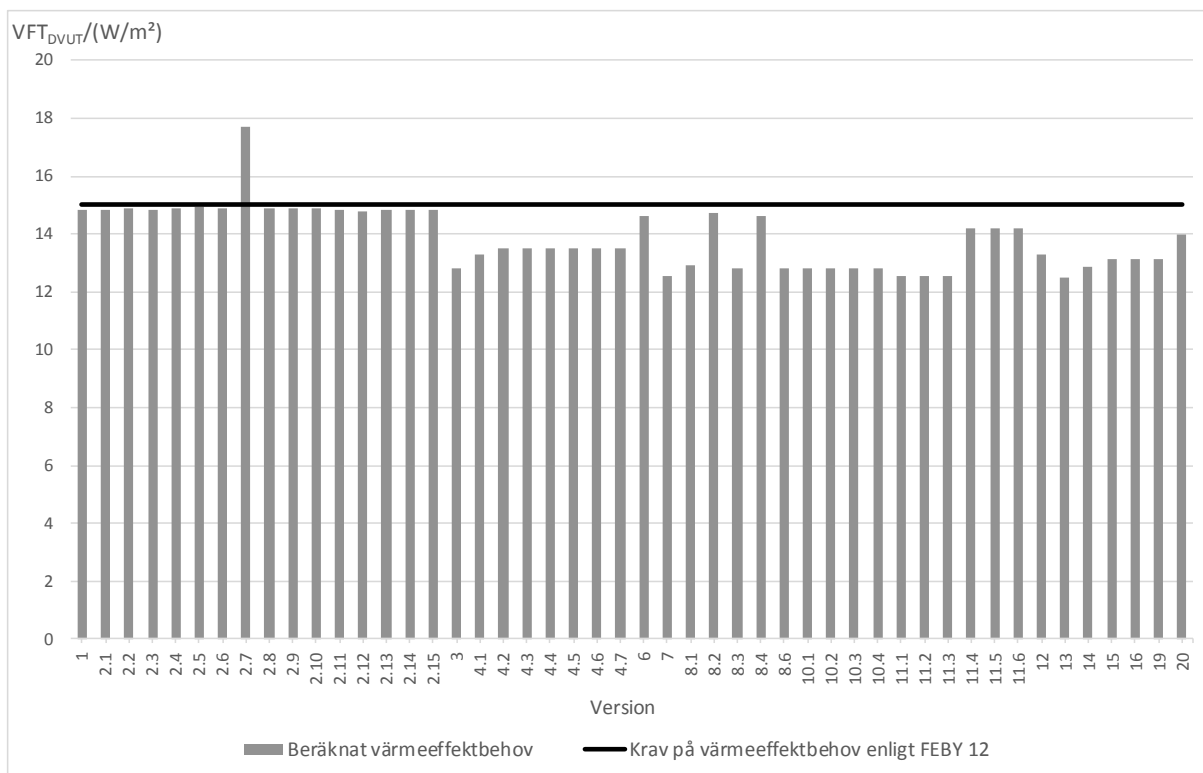
Figur 47 - Det totala SFP-talet för fläktar i respektive ventilationssystem

De fläktar som har använts har varierat i antal och med dem också SFP-talet. En jämförelse mellan förekomsten av aggregaten, enligt Tabell 21, och SFP-talet för samtliga fläktar, enligt Figur 47, visar att kravet på ett SFP-tal om 2 kW/(m<sup>3</sup>/s) har uppfyllts i samtliga versioner. Det uppstår dock en viss förvirring om hur kravet skall tolkas då det finns mer än ett aggregat. Om kravet kan undgåas genom att addera flera aggregats fläktar blir kravet uddlöst. Enligt tidigare resonemang antas trapphus- och entré/tvättstugeaggregatet bara vara modelltekniska. Flödena över dessa aggregat måste med bakgrund av detta antagande i verkligheten passera lägenhetsaggregatet och vad som skulle hända med de totala flödena och SFP-talen för fläktarna i detta fall går inte att svara på.

## 6.10.6 Övrigt

### 6.10.6.1 Värmeeffektbehov

För att relatera indata till passivhuskraven i FEBY 12 med avseende på värmeeffektbehovet (VFT<sub>DVUT</sub>) har beräkningar gjorts med hjälp av Ekvation (12) och Ekvation (13) och nödvändig indata och utdata har hämtats med hjälp av checklisten. Referenslägenheten har även i detta sammanhang använts för att jämföra kravet med indata och referenslägenheten anses kunna representera hela byggnaden.

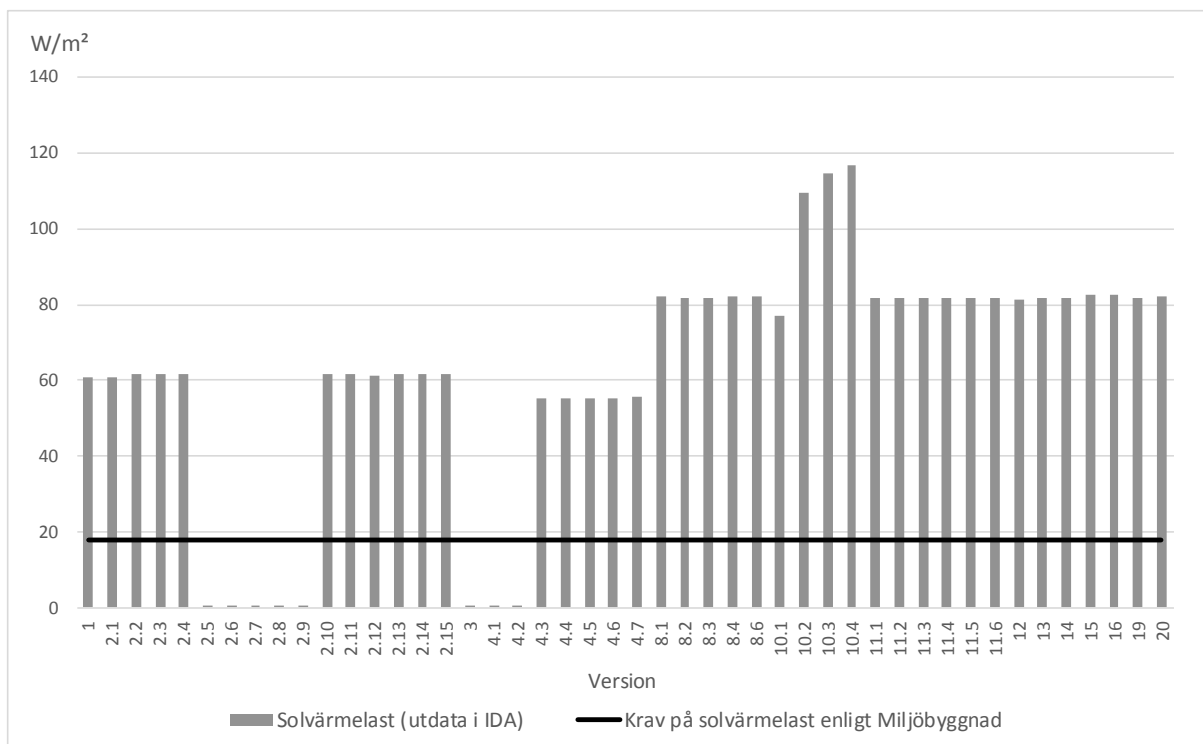


Figur 48 – Värmeeffektbehov ( $VFT_{DVUT}$ ) beräknat för referenslägenheten.

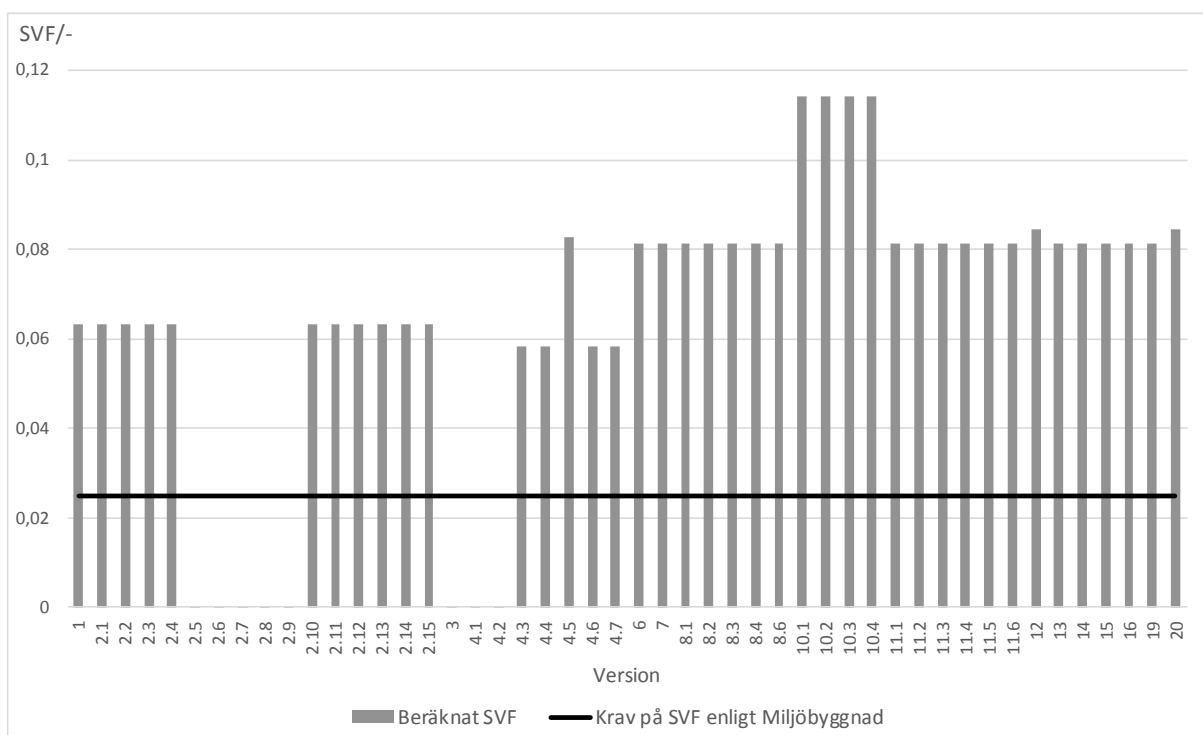
Kravet på värmeeffektbehov har uppfyllts i alla versioner utom Version 2.7, enligt Figur 48. Att kravet inte uppfyllts i Version 2.7 antas vara en följd av ändring som skett i denna version på U-värdet för fönstren. En ändring av U-värdet på fönstren påverkar byggnadens U-medelvärde, enligt Figur 43, som används vid beräkning av värmeeffektbehovet enligt Ekvation (13). Ökningen som har skett i Version 6, Version 8.2, Version 8.4 och Version 11.4-11.6 antas vara en följd av minskad verkningsgrad på värmeväxlaren i luftbehandlingsaggregatet, enligt Figur 37. Minskningen av verkningsgraden och ett förändrat U-värde på fönstren antas även vara anledningen till ökning av värmeförlusttalet som har skett i den sista versionen, Version 20.

#### 6.10.6.2 Solvärmelast och solvärmefaktorn (SVF)

Hur stor solvärmelasten och solvärmefaktorn (SVF) är beror på byggnadens geografiska placering och dess orientering eftersom detta påverkar hur mycket solstrålning som träffar byggnaden. För att klara kraven för betyg Guld i Miljöbyggnad får solvärmelasten inte överstiga  $18 \text{ W/m}^2$  och solvärmefaktorn får inte vara större än 0,025. För undersökning av de två kraven har grovköket i referenslägenheten studerats med anledning av att detta rum har haft störst fönsterarea i förhållande till dess golvarea. Solvärmelasten kan beräknas enligt Ekvation (7) men den går även att hämta som utdata ur respektive studerad version. I Figur 49 visas solvärmelasten i grovköket för respektive version, baserad på utdata från respektive version. Solvärmefaktorn, enligt Figur 50, är beräknad utifrån indata i respektive version med hjälp av Ekvation (9).



Figur 49 - Solvärmelast för grovköket i referenslägenheten.



Figur 50 - Solvärmefaktorn (SVF) för grovköket i referenslägenheten.

Solvärmelasten och solvärmefaktorn, som är beroende av solvärmlasten, har inte uppfyllts i någon version utöver de versioner där g-värdet för fönstren har antagit ett värde nära noll. Det g-värde som har använts vid kontroll av solvärmefaktorn är det g-värde som angivits som indata för fönstren när solavskärmning inte förekommit i någon av versionerna. Att solvärmelasten har varit noll i samma versioner som SVF varit noll antyder att samma g-värde har använts när versionerna i IDA har utförts.

Solvärmelasten och solvärmefaktorn är även intressanta för den totala energianvändningen då ett tillskott av solvärmeenergin, i storleksordningen fyra gånger större än vad det borde vara, borde påverka uppvärmningsbehovet versionerna. Dock är det så att solvärmelasten i grovköket, som använts i kontroll av kravuppfyllandet, är den största last som äger rum under ett år. Att detta sammanfaller med perioden när byggnaden har ett uppvärmningsbehov är inte så sannolikt. Även om solvärmelasten inte antar de höga värden som resultaten visar när uppvärmningsbehov råder, så skulle en överskattning av solvärmelasten med en faktor fyra sommartid indikera att solvärmetillskottet även under uppvärmningssäsong troligtvis är högt. En minskning av solvärmetillskottet under sommartid med en faktor fyra för att klara de ställda kraven leder troligen till en minskning även under uppvärmningssäsongen.

#### 6.10.7 Sammanställning av indata i relation till krav

I Tabell 28 visas en sammanställning av indata i relation till de kontrollerade kraven i respektive version. Inte i någon version visar indata att samtliga kontrollerade krav uppfyllts. Det är endast kravet på tilluftsflödet i referenslägenhetens badrum som inte har uppfyllts i någon version.

Tabell 28 – Indata i relation till ställda krav i respektive version. (x): Krav har uppfyllts. (Tom ruta): Krav har ej uppfyllts. (-): Ingen data har funnits tillgänglig för kontroll av kravet.

	KraV																								
	1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	3	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	
Total energianvändning: max 50 kWh/m <sup>2</sup>	x																								x
U-medelvärde: 0.4 W/(m <sup>2</sup> ·K)				x																					x
U-värde fönster: 0.8 W/(m <sup>2</sup> ·K)	x	x	x	x	x	x	x																	x	x
Lufttäckage: 0.3 l/(s·m <sup>2</sup> ) vid 50 Pa tryckskillnad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lufttäckage: 5 % ska vara med	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lufttäckage: Beräkna q <sub>lak</sub>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ventilation: ≥ 0.35 l/(s·m <sup>2</sup> )	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ventilation: Frånluftsföde WC 10 l/s	x			x																					
Ventilation: Badrummet 15 l/s och + 1 l/s om arean > 5 m <sup>2</sup>																									
Tappvarmvatten: 25 kWh/m <sup>2</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Distributions- och reglerförluster: 0.89 verkningsgrad värmesystem	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
SFP-tal: 2.0 kW/(m <sup>3</sup> /s)																									
Värmeeffektbehov: 15 W/m <sup>2</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Solvärmebelast: 18 W/m <sup>2</sup>																									
SVF, solvärmebelast: < 0,025																									
Antal uppfyllda krav i respektive version	9	9	9	10	9	11	11	11	11	11	11	11	11	9	11	11	11	11	9	10	10	11	11	11	12
<b>Krav</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8.1</b>	<b>8.2</b>	<b>8.3</b>	<b>8.4</b>	<b>8.6</b>	<b>10.1</b>	<b>10.2</b>	<b>10.3</b>	<b>10.4</b>	<b>11.1</b>	<b>11.2</b>	<b>11.3</b>	<b>11.4</b>	<b>11.5</b>	<b>11.6</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	
Total energianvändning: max 50 kWh/m <sup>2</sup>	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
U-medelvärde: 0.4 W/(m <sup>2</sup> ·K)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
U-värde fönster: 0.8 W/(m <sup>2</sup> ·K)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Lufttäckage: 0.3 l/(s·m <sup>2</sup> ) vid 50 Pa tryckskillnad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Lufttäckage: 5 % ska vara med	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Lufttäckage: Beräkna q <sub>lak</sub>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Ventilation: ≥ 0.35 l/(s·m <sup>2</sup> )	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Ventilation: Frånluftsföde WC 10 l/s	x			x																					
Ventilation: Badrummet 15 l/s och + 1 l/s om arean > 5 m <sup>2</sup>																									
Tappvarmvatten: 25 kWh/m <sup>2</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Distributions- och reglerförluster: 0.89 verkningsgrad värmesystem	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
SFP-tal: 2.0 kW/(m <sup>3</sup> /s)																									
Värmeeffektbehov: 15 W/m <sup>2</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
Solvärmebelast: 18 W/m <sup>2</sup>																									
SVF, solvärmebelast: < 0,025																									
Antal uppfyllda krav i respektive version	10	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9	11	11	11	11	9	10	10	11	11	8	

# 7 Slutsats

Att det har skett ändringar i de versioner som funnits tillgängliga vid denna studie anses som ett helt väntat resultat och det stora antalet utförda versioner ses som ett bevis på detta. Ändringarna uppfattas vara en följd av att det i varje version har använts all indata som det vid tidpunkten för versionens upprättande funnits information om och tillgång till. En indikation på detta är att antalet använd indata har ökat efter den första versionen och att värden och beskrivningar av indata har ändrats mellan versionerna.

Undersökningen av relationen mellan indata och ställda krav kan inte användas som underlag för slutsatser om hur den verkliga byggnaden kommer att förhålla sig till respektive krav. Det beror på avgränsningar, förenklingar och antaganden gjorda i studien. Detta medför att kontrollen av indata i förhållande till kraven endast skall ses som ett sätt att analysera indata i de studerade versionerna. Studien har heller inte innehållit projektets slutliga version av energiberäkningar i IDA. Dessutom kommer troligtvis inte indata och utdata i IDA vara det underlag som används för att redovisa byggnadens slutliga kravuppfyllande. Exempelvis kommer ett eventuellt godkännande av kravet på ventilation i badrum antagligen göras med ventilationshandlingar som underlag och inte hämtad indata ur en version i IDA. Undersökningen av hur indata förhåller sig till kraven på byggnaden visar på att det finns krav som inte har uppfyllts i vissa versioner.

Det är svårt att avgöra om ändringar av indata i en version har berott på att en föregående version inte har uppfyllt ett krav eller om ändringen berott på en utveckling inom ett annat område av projekteringen som föranlett ändringen av indata. Även om det redan i den första versionen går att utläsa en specifik energianvändning i byggnaden så är frågan om detta värde överhuvudtaget är jämförbart med den specifika energianvändning som utläses i den sista versionen. Resultaten i studien visar på stora ändringar av antal indata och värde och beskrivning av dessa, det är trots allt samma byggnad som beskrivits i både den första och den sista versionen. Ändringarna som har skett mellan versionerna och ökningen av antalet använd indata gör att tidiga versioner inte antas kunna representera den färdiga byggnaden och dess specifika energianvändning. Även om resultat bara visar på en skillnad i specifik energianvändning på 3,4 kWh/m<sup>2</sup> mellan Version 1 och Version 20.

Under studiens genomförande har det väckts funderingar gällande innebörden av det uttalande som gjorts i förfrågningsunderlagets Miljö- och gestaltningsprogram. I detta dokument sägs det att tidiga beräkningar, innan upphandling, har visat att kraven på energianvändning på ett typplan skall gå att uppfylla. Uppfattningen är att informationen som krävs för att ta fram nödvändig indata till den beräkningen inte kunnat vara mer omfattande än den som funnits tillgänglig vid upprättandet av den första versionen som ingått i denna studie. Senare i förfrågningsunderlaget ställs det krav på att entreprenören skall välja bygg- och installationstekniska lösningar för att uppfylla ställda energi- och miljökrav. Om det redan innan upphandlingen har utförts beräkningar som visar att åtminstone energikraven uppfylls kan man ställa sig frågande till att krav ställs på att entreprenören skall visa detta ytterligare en gång. Att krav ställs på ytterligare beräkningar i kombination med det resultat som framkommit i studien, gällande versionernas utveckling, anses indikera att tidigt utförda beräkningar inte fullständigt kan beskriva energianvändningen i en byggnad.

Som en del av kraven ställda i FEBY 12 framgår det att beräkningar av en byggnads totala energianvändning skall göras med hjälp av ett energiberäkningsprogram som minst uppfyller kraven enligt standarden ISO EN 13790. Vad måste ingå i en sådan beräkning för att uppfylla kravet?



Huruvida IDA uppfyller kraven enligt ISO EN 13790 är inte frågan, utan det gäller istället den del av kravformuleringen som säger att en byggnads totala energianvändning skall beräknas med ett energiberäkningsprogram som uppfyller standarden. Skall samtliga delar av den totala energianvändningen beräknas i programmet som uppfyller kravet eller är det tillräckligt att delar av beräkningarna utförs däri? I studiens resultat framgår det att det finns delar av den totala energianvändningen som inte varit med i de studerade versionerna. De delar av den totala energianvändningen som funnits med i versionerna är transmissionsförluster, luftläckage, ventilation och återvunnen värme. Det finns också delar av den totala energianvändningen som anses delvis funnits med i versionerna; distributions- och reglerförluster, värmestillskott och värmestillskott via solstrålning, samt fastighetsel. Den del som förutom i en version inte funnits med är tappvarmvattenanvändningen. Dessutom visar resultaten för övrig energi eller förluster att det inte i någon version har lagts till extra tillförd energi i form av solceller, men det framgår i objektbeskrivningen att Greenhouse skall kompletteras med solceller.

För att uppnå betyg Guld i Miljöbyggnad skall en byggnads köldbryggor beräknas. Resultaten av indata gällande köldbryggor visar att indata för vissa köldbryggor inte har ändrats i någon av versionerna de förekommit i. Detta gäller exempelvis de köldbryggor där innervägg eller bottenplatta ansluter till yttervägg. Indata för båda köldbryggorna har använts i en version för första gången i systemhandlingskedet och sedan inte ändrats. Med hjälp av endast de studerade versionerna går det inte att dra en egentlig slutsats om hur indata förhåller sig till detta krav.

Om det har gjorts förenklingar eller om all tillgänglig indata inte har använts i IDA som gör att den totala energianvändningens delar inte framgår av IDA-versionerna, är det svårt för en tredje part att i efterhand tolka förenklingarna och granska beräkningarna. Exempel på detta i studien är att all internvärmelast har generaliserats och samlats som belysning och att all fastighetsel troligtvis inte har beräknats i IDA. Möjligheten att genomföra en tredjepartsgranskning av energiberäkningar utförda i IDA anses begränsad.

## 8 Referenser

- Abel, E. & Elmroth, A., 2013. *Byggnaden som system*. 3:2 red. Lund: Studentlitteratur AB.
- Andrén, L. G. & Tirén, L. M.-G., 2010. *Passivhus en handbok om energieffektivt byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- ASHRAE, u.d. *About ASHRAE*. [Online]  
Available at: <https://www.ashrae.org/about-ashrae>  
[Använd 26 05 2015].
- Attefall, S., 2012. *Svensk Författningssamling 2012 (2012:546)*. Västerås: Karnov group.
- Bagge, H., 2007. *Energy Use in Multi-family Dwellings - Measurements and Methods of Analysis*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Bagge, H., 2008. Energianvändning i moderna flerbostadshus - resultat från mätningar i 200 lägenheter. *Bygg & Teknik*, mars, pp. 12-17.
- Bagge, H., Johansson, D. & Lindström, L., 2011. Measurements of occupancy levels in multi-family dwellings-Application to demand controlled ventilation. *Energy and buildings*, 43(9), p. 2449–2455.
- Boverket, 1998. *Boverkets byggregler - BFS 1998:38 BBR 7*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2014a. *Boverkets byggregler - BFS 2014:3 BBR 21*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2014b. *Om Boverkets regler för byggande*. [Online]  
Available at: <http://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/>  
[Använd 11 02 2015].
- BRE Global Limited, 2015. *What is BREEAM?*. [Online]  
Available at: <http://www.breeam.org/about.jsp?id=66>  
[Använd 18 06 2015].
- Ekström, T. & Danebjer, M., 2012. *Köldbryggor i lågenergihus - Byggnadssystemens inverkan på transmissionsförluster*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Elmarsson, B. & Nevander, L. E., 2011. *FUKT Handbok*. 3 red. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Energimyndigheten, 2012. *Energimyndigheten*. [Online]  
Available at: <http://www.energimyndigheten.se/Forskning/Byggforskning/>  
[Använd 11 02 2015].
- EQUA Simulation AB, 2013a. *Getting Started Version 4.5*. [Online]  
Available at: <http://www.equa.se/deliv/ICE45GettingStartedEng.pdf?lic=ICE40:4812>  
[Använd 27 05 2015].
- EQUA Simulation AB, 2013b. *User Manual Version 4.5*. [Online]  
Available at: <http://www.equa.se/deliv/ICE45eng.pdf?lic=ICE40:4812%20>  
[Använd 27 05 2015].

- Folkhälsomyndigheten, 2014. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (FoHMFS 2014:18)*, Solna: Folkhälsomyndigheten.
- Gottlieb, J. & Magnusson, T., 2013. *Förvaltares uppföljning av energianvändning i hyreshus - en nulägesbeskrivning baserad på enkätundersökning*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Jansson, U., 2015. *Miljöstrateg, MKB Fastighets AB* [Intervju] (19 03 2015).
- Kjellman, A., 2010. *Uppföljning Flagghusen - Energi och inneklimat*, Malmö: Malmö Stad.
- Levin, P., 2015. *Nya klimatfiler för energiberäkningar*, Danderyd: Sveby.
- Lundberg, S., 2014. Osäkerhet hämmar ett energieffektivt byggande. *Byggvärlden*, 28 maj, p. 2.
- Miljö- och energidepartementet, 2015. *Regeringen.se*. [Online]  
Available at: <http://www.regeringen.se/sb/d/8756/a/123033>  
[Använd 11 02 2015].
- Miljöbyggprogram SYD, 2012. *Miljöbyggprogram SYD, Version 2*, Malmö: Malmö Stad, Lunds kommun och Lunds universitet.
- MKB Fastighets AB, 2012a. *Miljö- och gestaltningsprogram Greenhouse Augustenborg*, Malmö: MKB Fastighets AB.
- MKB Fastighets AB, 2012b. *Projektidé för totalentreprenad i samverkan*, Malmö: MKB Fastighets AB.
- MKB Fastighets AB, 2015a. *mkbfastighet.se*. [Online]  
Available at:  
[https://www.mkbfastighet.se/contentassets/7afd041b45cf4b168100d16cd36767cb/greenhouse\\_wbb4.pdf](https://www.mkbfastighet.se/contentassets/7afd041b45cf4b168100d16cd36767cb/greenhouse_wbb4.pdf)  
[Använd 28 05 2015].
- MKB Fastighets AB, 2015b. *mkbfastighet.se*. [Online]  
Available at:  
[http://www.mkbfastighet.se/upload/Nybyggnation/Greenhouse/produktblad\\_Greenhouse\\_141128\\_v2.pdf](http://www.mkbfastighet.se/upload/Nybyggnation/Greenhouse/produktblad_Greenhouse_141128_v2.pdf)  
[Använd 10 02 2015].
- NCC, 2014. *Så arbetar NCC med energibalansberäkningar*. [Online]  
Available at:  
<http://www.ncc.se/documents/s%C3%A5%20arbetar%20ncc%20med%20energiber%C3%A4kningar.pdf>  
[Använd 11 03 2015].
- NCC, 2015. *Våra projekt*. [Online]  
Available at: <http://www.ncc.se/vara-projekt/greenhouse-i-malmo/>  
[Använd 11 02 2015].
- Passive House Institute, 2015. *About Passive House - What is a Passive House?*. [Online]  
Available at:  
[http://passiv.de/en/02\\_informations/01\\_what\\_is\\_a\\_passive\\_house/01\\_what\\_is\\_a\\_passive\\_house.htm](http://passiv.de/en/02_informations/01_what_is_a_passive_house/01_what_is_a_passive_house.htm)  
[Använd 18 06 2015].
- Sandin, K., 2010. *Praktisk Byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.

SGBC, 2014a. *Miljöbyggnad - Bedömningskriterier för nyproducerade byggnader*, Stockholm: Sweden Green Building Council.

SGBC, 2014b. *Miljöbyggnad - Metodik nyproducerade och befintliga byggnader*, Stockholm: Sweden Green Building Council.

SGBC, 2014c. *Miljöbyggnad - Miljöcertifiering utifrån svenska förhållanden*. [Online]  
Available at: <https://www.sgbc.se/om-miljoeybyggnad>  
[Använd 24 02 2015].

SGBC, 2014d. *Om Sweden Green Building Council*. [Online]  
Available at: <https://www.sgbc.se/om-oss>  
[Använd 11 02 2015].

SGBC, 2015a. *BREEAM SE*. [Online]  
Available at: <https://www.sgbc.se/var-verksamhet/breeam>  
[Använd 03 03 2015].

SGBC, 2015b. *LEED - Världens mest spridda certifieringssystem*. [Online]  
Available at: <http://www.sgbc.se/docman/om-sweden-gbc-2014/332-infoblad-leed-2014/file?Itemid=446>  
[Använd 18 06 2015].

Sikander, E. & Ruud, S., 2013. *Lätt att bygga rätt. Klimatskal och värmeåtervinning i energieffektiva lågenergihus*, Göteborg: FoU-Väst.

Stenberg, K. & Hagengren, P., 2005. *Orsaker till differenser mellan beräknad och faktisk energianvändning i nyproducerade flerbostadshus*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Sveriges Centrum för nollenergihus, 2012. *Om FEBY 12*. [Online]  
Available at: <http://www.nollhus.se/feby-12/om-feby-12>  
[Använd 12 03 2015].

Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013a. *FEBY 12 - Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus*, u.o.: Sveriges Centrum för Nollenergihus.

Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2013b. *Om föreningen*. [Online]  
Available at: <http://www.nollhus.se/om-foereningen>  
[Använd 12 02 2015].

U.S. Green Building Council, 2015. *About USGBC*. [Online]  
Available at: <http://www.usgbc.org/about>  
[Använd 17 07 2015].

Wahlström, Å., 2011. *Marknadsöversikt av uppförda lågenergibyggnader*, Göteborg: LÅGAN.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. *Projektering av VVS-installationer*. 1:2 red. Lund: Studentlitteratur AB.