

# Energimodellering av naturhus

- en studie av Sundby naturhus



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi / Avdelning Byggnadsfysik**

Examensarbete:  
Olof Persson  
Patrik Wennerstål

© Copyright Olof Persson, Patrik Wennerstål

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

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

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2015

## Sammanfattning

Att bygga hus med glas är ingen nyhet. Det ger fördelar som att kunna se ut och få in dagsljus. Växthus skapar en skyddande miljö för växter, och då solen strålar värms byggnaden upp genom växthuseffekten. Kombineras ett vanligt boende med ett omslutande växthus skapas ett så kallat naturhus. Grundtanken är att kunna leva med minimal miljöpåverkan och maximal livskvalitet. Växthuset ger möjlighet att odla frukter och grönsaker, och skall även minska bostadshusets energianvändning.

Syftet med detta examensarbete är att utföra en avancerad energianalys av ett specifikt naturhus för att undersöka hur energianvändning och klimat påverkas med och utan omslutande växthus. En modell av huset skapas i byggdesign- och konstruktionsprogrammet Revit som sedan analyseras i energisimuleringsprogrammet IDA ICE. Resultaten speglar i synnerhet det specifika huset men kommer även kunna användas för att dra slutsatser kring liknande naturhus i allmänhet.

Resultatet av energisimuleringen visar att det totala uppvärmningsbehovet under ett år för Sundby naturhus minskar med 32,9 % då kärnhuset omsluts av ett växthus. Den specifika energianvändningen blir 35,8 kWh/m<sup>2</sup> år. En ökning av medeltemperatur noteras i kärnhuset, framförallt under april, maj och september, samt risk för övertemperatur under högsommaren.

Parameterstudien visar att vädring är ytterst viktigt för att styra klimatet i både kärnhus och växthus. Solinstrålningen påverkar växthusklimatet vilket resulterar i att temperaturen alltid är högre i växthuset än utomhus, där den största skillnaden observeras i april och maj.

Det kan konstateras att energianvändningen för Sundby naturhus minskar, vilket innebär att andra naturhus som byggs på liknande sätt även får en sänkt energianvändning, jämfört med samma kärnhus utan växthus. Att bygga ett naturhus är följaktligen ett alternativ om en lägre energiförbrukning eftersträvas.

Nyckelord: energimodellering, energianvändning, komfort, naturhus, växthus, IDA ICE



## Abstract

Building houses with glass is not novelty. It provides benefits like being able to look out and shed light inside. Greenhouses create a protective environment for plants, and the sun rays heats up the building due to the greenhouse effect. Combining a standard accommodation with a wraparound greenhouse creates a so-called “nature house”. The basic idea is to be able to live with minimal environmental impact and maximum quality of life. The greenhouse provides the ability to cultivate fruits and vegetables, and will also reduce residential energy use.

The purpose of this thesis is to perform an advanced energy analysis of a specific “nature house” to examine how energy and climate are affected with and without a wraparound greenhouse. A model of the house is created in the building design and construction software Revit which is the analyzed in the energy simulation software IDA ICE. The results reflect in particular the specific house, but will also be used to draw conclusions about similar “nature houses” in general.

The result of the energy simulation shows that the total heat demand in a year for Sundby naturhus is decreased by 32.9 % when the core house is enclosed by a greenhouse. The specific energy consumption is 35.8 kWh/m<sup>2</sup> year. An increase in average temperature is noted in the core house, especially during April, May and September, and a risk of over-temperature during summer. The parameter study shows that ventilation is extremely important to control the climate in both core and greenhouse. Solar radiation affects the greenhouse climate, resulting in an always higher temperature in the greenhouse than outside, where the biggest difference is observed in April and May.

It is clear that the energy consumption for Sundby naturhus is decreasing, which means that other “nature houses” built in a similar way also will get lowered energy consumption, compared to the same core house without a greenhouse. Building a “nature house” is therefore an alternative if lower energy consumption is pursued.

Keywords: energy modeling, energy consumption, comfort, nature house, greenhouse, IDA ICE



## Förord

Detta examensarbete har utförts under vårterminen 2015 som ett sista led i högskoleingenjörsutbildningen i Byggteknik med arkitektur. Examensarbetet har utförts på avdelningen Byggnadsfysik inom institutionen för Bygg- och Miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola i Lund.

Framförallt skulle vi vilja tacka vår handledare Petter Wallentén på LTH för råd och hjälp under arbetets gång. Ett stort tack riktas även till Björn Wallentinus för all information om Sundby naturhus. Tack till Anders Solvarm och Charles Sacilotto för intervjuerna och informationen om naturhus.

Vi vill även ta tillfället i akt att tacka Dan-Eric Archer på Emulsionen som inledningsvis presenterade oss för problemet med energiberäkning av naturhus. Slutligen vill vi tacka Victor Fransson för hjälpen med IDA ICE.

Olof Persson och Patrik Wennerstål  
Helsingborg, maj 2015





# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Syfte</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Frågeställningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Metod</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Avgränsningar</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Nulägesanalys</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Glas i byggnader</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Existerande naturhus</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 Sikhall naturhus .....	7
2.2.2 Solvarms upplevelse av sitt naturhus .....	8
2.2.3 Ingarö naturhus .....	9
2.2.4 Sacilottos upplevelse av sitt naturhus .....	10
<b>3 Teori</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Energi</b> .....	<b>13</b>
3.1.1 Energiberäkning – naturhus .....	13
3.1.2 Energiberäkning – olika metoder.....	14
3.1.3 Valet av IDA ICE .....	15
<b>3.2 Komfort</b> .....	<b>16</b>
3.2.1 Komfort – naturhus.....	17
<b>3.3 Referensobjektet Sundby naturhus</b> .....	<b>17</b>
3.3.1 Byggnadens utformning .....	17
3.3.2 Energi, ventilation och klimat.....	19
<b>4 Metod</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1 Modellen i Revit</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Energiberäkningar utanför IDA ICE</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3 Referensmodellen i IDA ICE</b> .....	<b>23</b>
4.3.1 Plats.....	23
4.3.2 Tryckkoefficienter .....	23
4.3.3 Geometrisk modell .....	24
4.3.4 Konstruktion .....	25
4.3.5 Köldbryggor.....	28
4.3.6 Värme och ventilation.....	28
4.3.7 Vädring .....	29
4.3.8 Internlaster .....	30
4.3.9 Simuleringsinställningar .....	31
<b>4.4 Statisk handräkning</b> .....	<b>32</b>
<b>4.5 Parameterstudie</b> .....	<b>33</b>
4.5.1 Kärnhus med och utan växthus.....	33
4.5.2 Vädringmönster.....	33
4.5.3 Annan ort .....	34
4.5.4 Solavskärmning .....	35

4.5.5 Fasadfärg .....	35
<b>4.6 Känslighetsanalys .....</b>	<b>35</b>
<b>5 Resultat och analys.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Energiberäkningar utanför IDA ICE .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2 Referensmodellen i IDA ICE .....</b>	<b>38</b>
5.2.1 Energi.....	38
5.2.2 Klimat .....	40
<b>5.3 Statisk handräkning.....</b>	<b>47</b>
<b>5.4 Parameterstudie.....</b>	<b>48</b>
5.4.1 Kärnhus utan växthus.....	48
5.4.1.1 Energi .....	48
5.4.1.2 Klimat.....	51
5.4.2 Vädringsmönster .....	53
5.4.2.1 Energi .....	53
5.4.2.2 Klimat.....	54
5.4.3 Annan ort.....	59
5.4.3.1 Energi .....	59
5.4.3.2 Klimat.....	60
5.4.4 Solavskärmning.....	63
5.4.4.1 Energi .....	63
5.4.4.2 Klimat.....	64
5.4.5 Fasadfärg .....	65
5.4.5.1 Energi .....	65
5.4.5.2 Klimat.....	66
<b>5.5 Känslighetsanalys .....</b>	<b>68</b>
<b>6 Diskussion .....</b>	<b>73</b>
<b>7 Slutsats .....</b>	<b>79</b>
<b>Litteraturförteckning .....</b>	<b>83</b>
<b>Bildreferenser .....</b>	<b>87</b>
<b>Bilaga 1 – Intervjufrågor .....</b>	<b>89</b>
<b>Bilaga 2 – Archers energiberäkning.....</b>	<b>91</b>

## Nomenklatur

IFC	Industry Foundation Classes, neutralt och öppet filformat för att fritt byta information mellan CAD-program.
IDA ICE	IDA Indoor Climate and Energy, energisimuleringsprogram.
BBR	Boverkets byggregler, samling föreskrifter och allmänna råd som gäller svenska byggnader.
BTA	Bruttoarea, summan av alla våningsplans area, begränsad av de omslutande byggnadsdelarnas utsida.
BOA	Boarea, yta som är användbar för boende, begränsad av de omslutande byggnadsdelarnas insida.
BIM	Byggnadsinformationsmodell, virtuell modell av verkligheten.
$A_{Temp}$	Den invändiga area för våningsplan, vindsplan och källarplan som värms till mer än 10 °C i byggnaden.
MET	Metabolic unit, ett mått på aktivitetsnivå. 1 MET innebär förbrukning av 1 kcal per kilo kroppsvikt och per timme.
FEBY	Forum för energieffektiva byggnader, svenska kriterier för nollenergihus, passivhus och minienergihus.



# 1 Inledning

Jordens klimat förändras. Detta beror delvis på naturliga krafter men även mänsklig påverkan. Som människan lever och nyttjar vår planet idag påskyndas urlakningen av dess resurser. Jordens befolkning lever över de tillgångar som finns att tillgå (SMHI, 2015). Den globala handeln är positiv ur många aspekter, men inte alltid ur miljösynpunkt. Allt från byggmaterial till livsmedel produceras runt om i världen och fraktas sedan långväga till slutkonsumenten, trots att motsvarande produkt ofta finns att tillgå på närmare håll (Utbildningsdepartementet, 2009).

Även om förnyelsebara energikällor ökar, fortsätter energi från fossilt bränsle att dominera marknaden. Energikonsumtionen har genom åren stigit i takt med att befolkningmängden ökat (Radetzki, 2008). Bostads- och servicesektorn utgör 36 % av den totala energianvändningen i Sverige, varav cirka 2/3 går till uppvärmning av bostäder, lokaler och vatten. Användningen varierar dock beroende på klimatförhållanden, men kan energianvändningen reduceras bidrar det till minskad miljöpåverkan och ekonomisk kostnad (Världsnaturfonden, 2014).

Stora globala kraftansträngningar görs för att ändra det ohållbara levnadssätt som pågår just nu, men varje enskild individ kan också göra skillnad. Är man villig att ändra sin livsstil och tänka nytt finns det alternativa sätt att leva på. Vid nybyggnation av bostäder finns stor möjlighet att påverka framtiden. Genom att planera noggrant inför byggnationen och i detta skede investera lite extra pengar kan man använda sig av smarta energibesparande lösningar. Den summa som investeras i planerings- och utförandefasen är nämligen ofta betydligt mindre än den som läggs på drift och underhåll i framtiden (Energikontoret Skåne, 2010).

Ett exempel på ett alternativt sätt att leva är i ett så kallat naturhus, det vill säga ett hus i ett växthus. Det är ett vanligt bostadshus, kallat kärnhus, omslutet av ett stort växthus. Mellan växthuset och kärnhuset uppstår ett mikroklimat med plats för aktivitet och odling. Det skulle kunna liknas vid ett enormt uterum kring kärnhuset, som skyddas från snö, regn och vind. Här är temperaturen högre än utanför växthuset, framförallt under våren, sommaren och hösten. Den högre temperaturen medför goda förhållanden att odla blommor, frukt och grönsaker i växtbäddar. På så sätt producerar man också en del av sitt eget livsmedel (Greenhouse Living, 2015).

Fasaden på ett vanligt hus fungerar som ett klimatskal. Ökad isoleringsmängd i den minskar energikonsumtionen (Energikontoret Skåne, 2010). På så sätt borde liknande effekt uppnås med ett extra klimatskal i form av ett växthus,

där en buffertzona skapas med ett stabilare klimat över året. En studie har tidigare gjorts på en generell modell av en tvåvåningskontorsbyggnad i nybyggnadsstandard med en total area på 140 m<sup>2</sup>, omsluten av ett växthus, som visade att uppvärmningsbehovet kan minskas med 30 % (Kuldkepp, 2012). Då naturhus framställs som ett miljövänligt boende hade det varit intressant att undersöka hur energianvändningen i en bostad påverkas av ett extra klimatskal i form av ett omslutande växthus.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utföra en avancerad energianalys av ett specifikt naturhus, Sundby naturhus, som byggs utanför Stockholm. En jämförelse har gjorts mellan energianvändningen med ett extra klimatskal och energianvändningen utan extra klimatskal. Då kärnhuset saknar kylsystem finns även ett intresse att undersöka upplevelsen av inomhusklimatet i kärnhuset, främst genom att utvärdera temperaturen och behovet av vädring. Trots att växthuset huvudsakligen inte används som bostad, är det en väsentlig del av den. Därför finns ett intresse att granska klimatet även där.

## 1.2 Frågeställningar

- Hur påverkas energianvändning för Sundby naturhus av ett extra klimatskal bestående av ett växthus, jämfört med inget extra klimatskal?
- Hur påverkas inomhusklimatet i kärnhuset av ett extra klimatskal?
- Hur varierar klimatet i växthuset under året?

## 1.3 Metod

En nulägesanalys genomförs inledningsvis för att öka kunskapen kring hur glas används i byggnader i allmänhet och få bättre förståelse för naturhus i synnerhet. Två telefonintervjuer genomförs med naturhusägarna, Anders Solvarm och Charles Sacilotto, med syfte att få bättre förståelse för hur naturhus fungerar och upplevs. Under examensarbetets gång hålls löpande kontakt med vår handledare Petter Wallentén, civilingenjör Dan-Eric Archer, naturhusrådgivare Anders Solvarm och byggherren Björn Wallentinus.

En 3D-modell av det aktuella bostadshuset med omslutande extra klimatskal ritas i datorprogrammet Revit. Ritningarna som tillhandahållits av byggherren följs noggrant. Ytterligare en modell utan extra klimatskal framställs för att kunna göra en jämförelse. Modellen exporteras till en IFC-fil som öppnas i energiberäkningsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE).

Byggnaden delas in i zoner, material väljs och klimatfiler laddas in för att simuleringsverktyget ska kunna förutse byggnadens energianvändning och undersöka klimatet. Vid beräkningarna används variabler som bland annat temperatur, flöde, fukthalt, lufttryck och solinstrålning (EQUA Simulation AB, 2013).

Resultatet av energisimuleringen för naturhuset tolkas och jämförs med resultatet från energianalysen av samma hus utan extra klimatskal. En parameterstudie och känslighetsanalys genomförs för att utvärdera vilken inverkan olika ändringar har på resultatet. I diskussionen presenteras reflektioner kring den egna studien samt framtida studier, följt av slutsatsen där frågeställningarna besvaras och resultatet förtydligas.

#### **1.4 Avgränsningar**

Fokus i denna studie kommer att ligga på att skapa en så exakt modell som möjligt av Sundby naturhus. För att jämförelsen av energianvändning med respektive utan extra klimatskal ska bli så korrekt som möjligt kommer alla väsentliga parametrar som konstruktion, ventilation, placering och klimat utföras så exakt som möjligt vid modelleringen.

Programmet som valdes för att genomföra energiberäkningarna är IDA ICE. Valet baseras bland annat på möjligheten att importera modeller från andra program, visualisera byggnadens 3D-modell och analysera detaljerade resultat. Programmet används även frekvent på Lunds Tekniska Högskola, vilket gör att studentlicenser är lätt tillgängliga och support från kunniga användare finns att tillgå.

I parameterstudien kommer fokus läggas på att analysera hur ändringar av olika parametrar påverkar resultatet, för att utvärdera modellens känslighet. Intressanta parametrar att undersöka är byggnadsort, fasadfärg, vädringsmönster och solavskärmning. Granskningen kommer inriktas på deras inverkan på naturhusets energianvändning och klimat.

När klimat och komfort utvärderas studeras endast lufttemperatur.

Den ekonomiska aspekten av att bygga ett naturhus har helt utelämnats.





## 2 Nulägesanalys

### 2.1 Glas i byggnader

Fönster och glas har alltid spelat en viktig roll för upplevelsen av byggnader, samtidigt som de ofta kombineras med innovativa tekniska lösningar.

Grundtanken med fönster är att få in ljus i byggnaden och att kunna se ut, utan att bryta avskärmningen mellan ute- och inneklimat. I början begränsade tillverkningsmetoderna fönstrets storlek, men nuförtiden används tekniker som möjliggör framställning av allt större glaspartier. Med tiden kom även andra aspekter att spela en viktig roll kring fönsterna, bland annat öppningsbarhet och värmeisolering (Sandin, 2007).

Glaset egenskaper som att släppa in dagsljus, ge utblick och skydd mot väder har med tiden tagit steget från små gluggar till att täcka hela fasader.

Utvecklingen inom fasadkonstruktioner har gjort det möjligt att täcka hela fasader med glas. En mängd olika lösningar finns för att uppfylla de krav som ställs på en byggnads fasad inom områdena funktion, konstruktion och estetik. Fasaden ska bland annat möjliggöra en flexibel användning av byggnaden, bära upp aktuella laster och ha ett tilltalande utseende (Carlson, 2008). Ett bra exempel på detta är köpcentrat Emporia i Malmö, se Figur 2.1.



Figur 2.1. Glasfasad på köpcentrat Emporia i Malmö (Söderström, 2012).

Att kunna njuta av värmen tidigt på våren eller sent på hösten är livskvalitet för många. Genom att bygga ett uterum, eller glasa in en balkong, kan denna

effekt uppnås i våra hem. Detta ger möjlighet att förlänga sommarsäsongen, genom att släppa in solens strålar men samtidigt undgå vind. Det ger även goda förutsättningar att odla växter i detta lite varmare klimat, vilket ökar känslan av att befinna sig nära naturen (Carlson, 2008).

Boendekonceptet Bovieran, kan liknas vid en vidareutveckling av uterummet, och är seniorboenden som finns på ett tiotal orter i Sverige. Bovieran byggs med samma utformning på alla orter. Det är flerbostadshus formade som ett U, där den gemensamma ytan mellan huskropparna är totalt inglasad. Detta skapar en temperaturstyrd vinterträdgård på 1600 m<sup>2</sup> med stor plats för odlingsbäddar, gemenskap och avkoppling. Vinterträdgården fungerar som en solfångare där överskottsvärmen ackumuleras och senare används till uppvärmning av lägenheterna (Andersson, 2014).

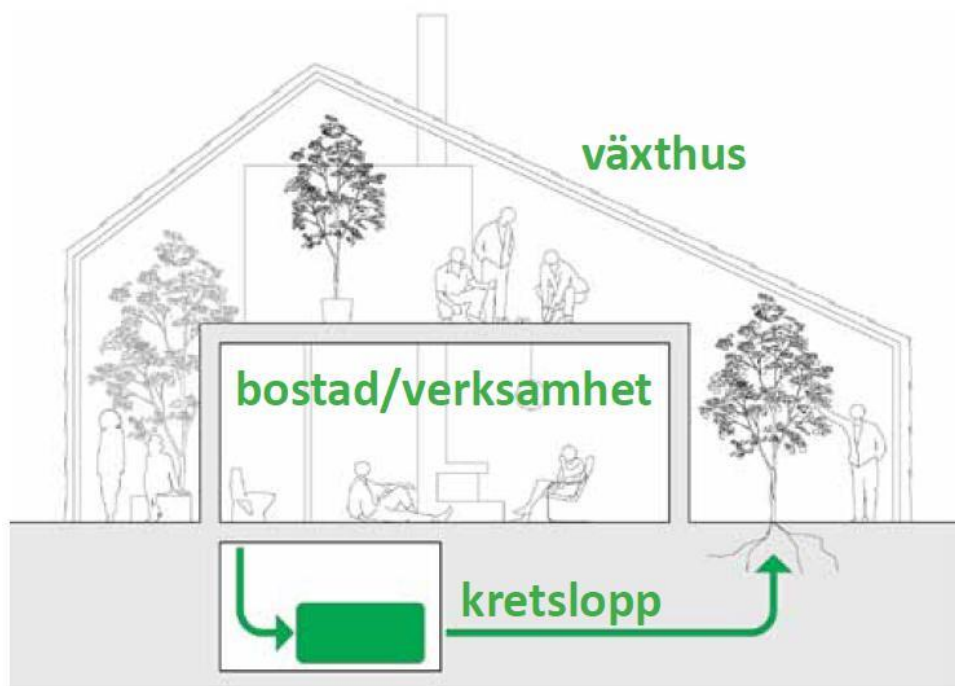
Stora vinterträdgårdar kan även kombineras med vanliga enbostadshus. Ett vanligt hus byggt inuti ett stort växthus kallas naturhus. Grundtanken med naturhus är att leva med minimal miljöpåverkan och maximal livskvalitet. De boende ska leva i samklang med naturen. Effekten av växthuset blir en förlängning av odlingsäsongen i ett klimat som kan liknas vid ett subtropiskt medelhavsklimat. Definitionen av ett naturhus är ”varje byggnad som berikar utan att förstöra, plundra och förgifta”, och myntades av upphovsmannen Bengt Warne. Han var arkitekten som kom på idén att bygga ett hus i ett växthus i Saltsjöbaden, 2 mil öster om Stockholm, i slutet på 70-talet, se Figur 2.2. Warne bodde i just det huset under fem års tid, samtidigt som det var en central punkt för forskning, utveckling och demonstration av humanekologisk teknik. I växthuset odlades bland annat vindruvor, persika, mandel och fikon (Fredriksson & Warne, 1993).



Figur 2.2. Saltsjöbaden naturhus (Block Arkitektkontor, 2012).

Naturhus har ofta ett slutet lokalt kretsloppssystem där grå- och svartvatten först separeras och sedan leds till rötning i tankar i ett teknikrum, placerat i anslutning till huset. Näringen som tas tillvara från vattnet kan användas till att bevattna det som odlas i växtbäddarna i växthuset, se Figur 2.3.

Uppvärmningen sker ofta genom eldning i vattenmantlade kaminer, där det varma vattnet lagras i en ackumulatortank. Kärnhuset byggs av ekologiska och giftfria material för att påverka miljön så lite som möjligt (Fredriksson & Warne, 1993).



Figur 2.3. Principen för naturhus (Greenhouse Living, 2015).

## 2.2 Existerande naturhus

Två intervjuer utfördes i samband med nulägesanalysen för att öka kunskapen om naturhus. Ett antal frågor ställdes, se Bilaga 1, och ett urval av svaren användes för att sammanställa den löpande texten nedan.

### 2.2.1 Sikhall naturhus

Anders Solvarm är naturhusrådgivare och en av profilerna i den naturhusinriktade konsultgruppen Greenhouse Living. Hans egna konsultföretag Ecorelief är specialiserat på just kretsloppssystem, och jobbar med rådgivning om och utveckling av naturhus. Solvarm bor i Sikhall naturhus, ca 2 mil norr om Vänersborg, se Figur 2.4. Han har själv byggt sitt hus, vilket gör att han har god kunskap om hur naturhus fungerar. Solvarm är dessutom ordförande i Naturhusföreningen, en ideell förening vars syfte är att främja spridandet och utvecklingen av naturhus (Greenhouse Living, 2015).

Sikhall naturhus började först som ett timmerhusprojekt, som Solvarm byggde på kvällar och helger. För att väderskydda bygget mellan arbetstillfällena användes presenningar, men det var tidsödande att montera och demontera dessa. Samtidigt som Solvarm intresserade sig för ett mer hållbart väderskydd upptäckte han boken *På akacians villkor*, där det beskrivs hur Bengt Warne skapade sitt naturhus. Solvarm kom då på idén att bygga ett stort växthus omkring sitt halvfärdiga timmerhus som väderskydd, och på så sätt även skapa ett naturhus. Hela konceptet med växthus, bostad, kretslopp och att leva i harmoni med naturen tilltalade honom (Solvarm, 2015).



Figur 2.4. Sikhall naturhus (Ecorelief, 2014).

Solvarm har även varit involverad i projekteringen och byggandet av Sundby naturhus. Under planeringen har han kommit med kommentarer och förbättringsförslag. Via företaget Ecorelief har kretsloppssystemet designats, och han kommer även att vara den som installerar det (Wallentinus, 2015).

### 2.2.2 Solvarms upplevelse av sitt naturhus

Enligt Solvarm är det väldigt skönt med ett omslutande växthus eftersom det ger ett vindstilla mellanrum mellan huset och utemiljön. Det blir som en stor farstu, där man till exempel kan ta av sig ytterkläderna och förvara saker. Solvarm berättar att det är snabba temperaturförändringar i växthuset, och det är helt beroende av solinstrålningen. Om solen plötsligt kommer fram en vårdag med en utomhustemperatur på 3-4 °C och lätt vind, blir det inom loppet av ett par minuter mellan 15 och 25 °C i växthuset, beroende på vilken våning temperaturen mäts. Lika snabbt blir det kallt igen om solen går i moln. Soliga sommardagar kan det bli så varmt som 45 °C på kärnhusets tak. Då anpassar Solvarm sig och hittar en skuggig plats på en lägre nivå. Vid taknocken finns automatiska ventilationsluckor som öppnas vid en förutbestämd temperatur. Dessa tillsammans med ett markrör, som via

tryckdifferenser leder in sval luft till växthuset, och en öppningsbar dörr i växthuset fasad hjälper till att motverka övertemperaturer. Växthuset fungerar som ett stort uterum där det varken blåser, regnar eller snöar berättar Solvarm. De olika sätten att transportera energi, genom ledning, strålning och konvektion, blir väldigt tydliga. Det är ofta strålvärmen som är det största bekymret, inte lufttemperaturen. I skuggan är det behagligt, men i solen blir det svårt att kyla ner sig då det inte blåser. På vintern, när det är omkring minus 10 °C ute, brukar temperaturen i växthuset vara cirka minus 2 °C. Det beror på kärnhusets stora massa, menar Solvarm. Det ger en tröghet. Det tar tid att kyla ner hela kärnhuset.

Det är väldigt sällan Solvarm upplever att det är fuktigt i växthuset. Det sker endast i september, då uteluften är väldigt fuktig i kombination med stor växtlighet under den tiden. Utöver det upplevs klimatet i växthuset generellt som torrt. Givetvis ger växterna ett visst fukttillskott, men det är lite växtlighet i växthuset i förhållande till dess volym.

Det händer att det bildas kondens på insidan av växthusglaset, framförallt på glaset i taket. Detta sker främst vid klara, kalla nätter i september och oktober. På vintern kan fukten på rutorna frysa, då bildas rimfrost. Det har hänt att det har täckt hela växthuset insida.

Solvarm berättar vidare att han inte anser att sikten inifrån kärnhuset och ut påverkas av de olika glasen och avståndet mellan dem. Han menar att han ser det han fokuserar på, oavsett om det är inne i växthuset eller utanför, och glasens distans har ingen inverkan på detta (Solvarm, 2015).

### 2.2.3 Ingarö naturhus

Charles Sacilotto bor också i ett naturhus, nämligen Ingarö naturhus, placerat ca 2,5 mil öster om Stockholm, se Figur 2.5. Han är aktiv i Naturhusföreningen som vice ordförande. Sacilotto läste om Anders Solvarms naturhus i Dagens Nyheter, och blev på så vis inspirerad att själv bygga något liknande. Efter att han läst boken *På akacians villkor*, dröjde det ytterligare några år innan projektet blev verklighet. Ingarö naturhus är inte ett fullständigt nybygge. Kärnhuset består av ett tidigare existerande fritidshus som omsluts av ett nybyggt växthus. Naturhuset är komplett med ett fungerande kretsloppssystem i källaren, men inom en snar framtid ska avloppet anslutas till det kommunala VA-nätet efter påtryckningar från kommunen. Sacilotto är inte inblandad i bygget av Sundby naturhus på något sätt (Sacilotto, 2015).

#### 2.2.4 Sacilottos upplevelse av sitt naturhus

Temperaturen i växthuset varierar väldigt mycket beroende på vilken månad det är, eller snarare hur soligt det är en viss månad, menar Sacilotto. En solig vårdag med lätt vind är temperaturen i växthuset strax över 0 °C på morgonen, och kan senare bli cirka 20 °C runt huset och upp till cirka 30 °C på taket. Sacilotto berättar att de kallare månaderna är temperaturskillnaden i höjdlid i växthuset störst, och på sommaren är temperaturen jämnare.

Sacilotto säger att han inte har upplevt några problem med fukt inne i växthuset, snarare tvärtom. Han anser att det är för torrt på sommaren och har därför anlagt en liten damm inne i växthuset för att öka fuktigheten. Sacilotto har inte lika mycket växtlighet i sitt växthus som exempelvis Anders Solvarm.



Figur 2.5. Ingarö naturhus (Ecosol, 2007).

Även Sacilotto har upplevt kondens på insidan av växthuset, samt frost kalla vinterdagar. Han bekräftar även att temperaturen i växthuset varierar väldigt mycket i höjdlid på grund av solinstrålningen, framförallt i perioden från februari till oktober. Luften i växthuset värms upp snabbt, och kyls ner lika snabbt. Soliga sommardagar kan det bli cirka 40-45 °C varmt i växthuset, men han har aldrig upplevt att det har varit för varmt i kärnhuset. Högsta uppmätta temperaturen inomhus har varit 28 °C.

Utöver dörrar och automatiska ventilationsluckor i taknocken har Sacilotto även möjlighet att skydda sig från solen genom solgardiner som kan täcka hela växthusets takarea. Gardinerna är monterade inuti växthuset och kan dras fram och tillbaka för att täcka större eller mindre delar av taket. På ungefär två tredjedelar av gardinerna finns invävt aluminium för att reflektera solens

strålar. Gardinerna kan även användas omvänt, för att behålla värmen i växthuset, kvällstid på vår och höst.

Sacilotto har inte heller upplevt något problem med sikten genom flera glasytor (Sacilotto, 2015).





## 3 Teori

### 3.1 Energi

Boverket, som är en myndighet för samhällsplanering, byggande och boende, har tagit fram Boverkets byggregler (BBR), en samling av föreskrifter och allmänna råd, som bland annat innehåller krav och råd gällande energihushållning. Senaste versionen benämns BBR 22 och började gälla 1 mars 2015. I BBR 22, under kapitel 9, beskrivs hur byggnader ska vara utformade för att energianvändningen ska begränsas. Det presenteras även krav på maxvärden som byggnadens specifika energianvändning får uppnå. Byggnadens specifika energianvändning beskrivs som den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad, fördelat på arean av samtliga våningsplan. Detta inkluderar fastighetens uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Den specifika energianvändningen bör ej förväxlas med värmebehovet som är byggnadens behov av uppvärmning till inomhustemperatur och uppvärmning av tappvarmvatten. För att ta hänsyn till annorlunda klimatförhållanden på olika platser i Sverige, har landet delats upp i fyra klimatzoner med individuella krav. Valet av uppvärmningssystem i byggnaden påverkar också kravet, vilket blir strängare om elvärme används. Kravet beror även på vilken typ byggnaden i fråga är av, där flerbostadshus och lokaler har strängare krav än småhus. Som exempel kan nämnas att ett småhus med större area än 50 m<sup>2</sup> i Stockholms län ej får överstiga en specifik energianvändning på 90 kWh/m<sup>2</sup> och år, om uppvärmningssystemet är annat än elvärme. BBRs krav gäller bland annat vid uppförandet av nya byggnader och ändring av befintliga byggnader (Boverket, 2015).

För att bygglov för nybyggnation ska utfärdas måste byggnaden uppfylla de krav som presenteras i BBR. Det är stadsbyggnadsnämnden i den aktuella kommunen som kontrollerar om dessa krav uppnås. Därför är energiberäkningen av byggnaden en av många obligatoriska delar som måste bifogas bygglovsansökan.

Byggnadens energiprestanda tas fram genom beräkningar där alla viktiga parametrar vävs in som transmissionsförluster, ventilationsförluster, tappvarmvatten, hushållsel och värmetillskott. Ofta brukar även effektbehovet och den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten presenteras i resultatet för energiberäkningen (Boverket, 2012).

#### 3.1.1 Energiberäkning – naturhus

I vanliga fall är det inga större svårigheter att utföra dessa energiberäkningar om allt underlag i form av ritningar, konstruktioner och installationer finns tillgängligt. När energiberäkningar ska utföras på naturhus blir dock

situationen en annan och förutsättningarna mer komplicerade. Civilingenjör Dan-Eric Archer på Emulsionen utförde en enklare energiberäkning i samband med att bygglov söktes för Sundby naturhus. Denna energiberäkning gjordes endast på kärnhuset, men med en kompletterande kommentar om att det slutliga huset troligtvis kommer få en ännu lägre energianvändning på grund av det extra klimatskalet, se Bilaga 2.

Det absolut största problemet är det mikroklimat som skapas mellan kärnhuset och växthuset. Mikroklimatet beror helt och hållet på vilka väderförutsättningarna är utanför växthuset, och då framförallt solens strålning. Temperaturen sjunker och stiger vilket i sin tur skapar luftrörelser i mikroklimatet. Kärnhusets påverkas indirekt av vädret utanför växthuset, men utsätts aldrig för regn, snö och vind. Dessa förutsättningar försvårar energiberäkningarna avsevärt, vilket gör att mer avancerade beräkningsmetoder måste användas. Därför krävs det att en modell av hela naturhuset skapas i ett energiberäkningsprogrammet som exempelvis IDA ICE, och alla inställningar görs på sådant sätt att de efterliknar verkligheten så korrekt som möjligt.

### 3.1.2 Energiberäkning – olika metoder

Det finns flera sätt att utföra energiberäkningar på, några mer avancerade än andra. Den energiberäkning som Archer utförde inför bygglovsansökan till Sundby naturhus skapades via ett semidynamiskt program på hemsidan [energiberakning.se](http://energiberakning.se). Hemsidan har utvecklats och drivs helt ideellt. Beräkningarna görs efter vedertagna metoder och lutar sig mot gällande svenska regler och standarder (Norrman, 2015). I detta arbete används tre olika metoder eller program: handräkning, Isover Energi och IDA ICE.

Handräkning kan ses som den simplaste metoden. Kända värden används i olika typer av formler för att räkna ut ett resultat. Denna metod kan vara tidsödande, eller till och med orimlig, att använda vid många, stora uträkningar. Risken att skriva eller räkna fel är uppenbar. Däremot ger handräkning ofta en bra helhetssyn på beräkningsprocessen och kontroll över vad som sker på vägen mot resultatet.

Isover Energi är ett datorprogram från Saint-Gobain Isover AB utvecklat för att beräkna U-värden, köldbryggor och den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten. Isover Energi är mer avancerat än handräkning eftersom en rad olika värden anges för de olika byggnadsdelarna, värmesystemet och ventilationen. Datorprogrammet utför alla beräkningar och resultatet presenteras i listor. För att simulera klimatet som byggnaden utsätts för används artificiella klimatfiler baserade på värden genererade från ett annat datorprogram. Ur resultatet kan en uppskattning av byggnadens

förväntade specifika energianvändning utläsas, alltså om byggnaden uppfyller BBRs krav på värmeisolering och energianvändning (Saint-Gobain Isover AB, 2012).

Fördelen med Isover Energi är att alla uträkningar sker automatiskt och att resultatet presenteras på ett ordnat sätt. Detta förutsätter dock att korrekta värden har angetts. En nackdel är att uträkningarna inte kan följas under tiden de sker, vilket medför att orimliga värden kan påverka uträkningarna negativt utan att det upptäcks. Programmet använder sig dessutom av en förenklad solmodell och vid beräkning tas inte hänsyn till de ingående materialens värmekapacitet.

IDA ICE, från EQUA Simulation AB, är ett annat datorprogram som utför energiberäkningar för byggnader. Programmet är ett simuleringsverktyg där hela byggnaden skapas som en 3D-modell och detaljerade inställningar görs för bland annat värmesystem, ventilation, närvarograd och användning. Även här används klimatfiler för att simulera ett helt års klimat på den valda orten, men dessa värden baseras på verklig mätdata under flera års tid (EQUA Simulation AB, 2014). IDA ICE är långt mer avancerat än både Isover Energi och handräkningen. Det finns otroligt många parametrar och värden att ställa in för att efterlikna verkligheten så mycket som möjligt. Resultatet presenteras i en mängd olika tabeller och grafer, där i princip allt kan kontrolleras.

Fördelen med IDA ICE är att precis allt kan ställas in och justeras så att det passar verkligheten, men detta kan lätt bli en nackdel också om fel inställningar görs eller om viktiga inställningar förbises. En annan fördel är just att resultaten är väldigt detaljerade, vilket möjliggör noggrann granskning och analys. Liksom för Isover Energi är det svårt att följa beräkningsprocessen även i detta program, men möjligheten finns, för den kunnige, att granska beräkningarna som ligger bakom resultatet.

### 3.1.3 Valet av IDA ICE

IDA ICE, är ett energiberäkningsprogram utvecklat av EQUA Simulation AB. Med IDA ICE kan inomhusklimat och energianvändning under ett helt år simuleras. Enligt U.S. Department of Energy speglar de fysiska modellerna av IDA ICE den senaste forskningen, och resultaten stämmer väl överens med mätdata (U.S. Department of Energy, 2011). IDA ICE finns på flera språk och kan köras tillsammans med tillägg med inställningar för nationella krav, så som BBR (Carolis, 2013). En modell av den aktuella byggnaden kan skapas direkt i programmet eller importeras från andra program. Byggnadens behov av kyla, värme, ventilation och energi presenteras enkelt, och resultatet kan granskas och jämföras i efterhand.

Styrkan i IDA ICE är att programmet kan skapa fullskaliga energi- och designstudier, där programmets ekvationer och enskilda variabler faktiskt kan studeras. U.S. Department of Energy anser att programmets enda svaghet är att det finns ett maximalt antal på 200 klimatzoner som kan användas per projekt (U.S. Department of Energy, 2011).

Valet att använda IDA ICE som energiberäkningsprogram för detta examensarbete grundar sig till stor del på möjligheten att importera IFC-filer från andra program och visualisera byggnadens 3D-modell. Egen efterforskning tyder också på att programmet ger användaren möjlighet att skapa komplexa projekt i ett användbart gränssnitt, samt att resultaten är verklighetstroga och kan användas för vidare analys. IDA ICE används även frekvent på Lunds Tekniska Högskola, vilket gör att det finns studentlicenser lätt tillgängliga och support från kunniga användare att tillgå. Modelleringen har utförts i IDA ICE version 4.6.2.

### **3.2 Komfort**

”Byggnader ska utformas så att tillfredsställande termiskt klimat kan erhållas” står det i BBR 22 kapitel 6:4. Kraven gäller för hela byggnaden. Dessutom ska installationer utformas så att termisk komfort kan erhållas vid normala driftsförhållanden (Boverket, 2015).

Termisk komfort går att mäta, det är väldigt individuellt, men undersökningar visar att de flesta människor anser att en god termisk komfort uppstår då rumstemperaturen befinner sig mellan 20 °C och 24 °C. Temperaturer över 24 °C vintertid och 26 °C sommartid bör fungera som riktvärden då bedömning av olägenhet för människors hälsa ska göras. Med olägenhet för människors hälsa menas en störning som enligt medicinsk och hygienisk bedömning kan påverka hälsan menligt i fysisk eller psykisk mening. Det termiska klimatet består av flera faktorer, så som lufttemperatur, strålningstemperatur, luftens hastighet och luftens fuktighet. Två andra viktiga faktorer som påverkar upplevelsen av det termiska klimatet är mängden kläder samt aktivitetsnivå (Socialstyrelsen, 2005).

Begreppet temperatur kan delas upp i tre mer specifika typer: strålningstemperatur, lufttemperatur och operativ temperatur. Strålningstemperatur anger strålningsutbytet med omgivande ytor i alla riktningar, lufttemperatur anger temperatur enbart i själva luften och operativ temperatur anger kombinationen av strålnings- och lufttemperatur. Operativ temperatur beskriver hur inomhusklimatet faktiskt upplevs, det vill säga då det inte blåser (Socialstyrelsen, 2005).

Fönstren i en byggnad möjliggör solinstrålning, vilket i sin tur kan bidra till ökad temperatur genom växthuseffekten. Solens strålar består av både kortvågig och långvågig strålning. Den kortvågiga övergår till värmeenergi efter att den passerat fönsterglasat och träffat ytor på insidan. När solstrålarna absorberas av ytorna ändras våglängden till långvågig strålning och kan då inte ta sig ut genom glaset eftersom det endast släpper igenom kortvågig (Socialstyrelsen, 2005).

### 3.2.1 Komfort – naturhus

I och med att kärnhuset i ett naturhus omges av ett stort växthus finns farhågor att temperaturen kan stiga till höga nivåer soliga dagar. Just av denna anledning brukar växthuset utrustas med flera dörrar samt automatiska vädringsluckor. Dock avfärdar både Anders Solvarm och Charles Sacilotto under telefonintervjuer att kärnhusen i deras naturhus blir för varma. Trots det anses det intressant att undersöka det termiska klimatet i kärnhuset med hjälp av beräkningsprogrammet IDA ICE.

## 3.3 Referensobjektet Sundby naturhus

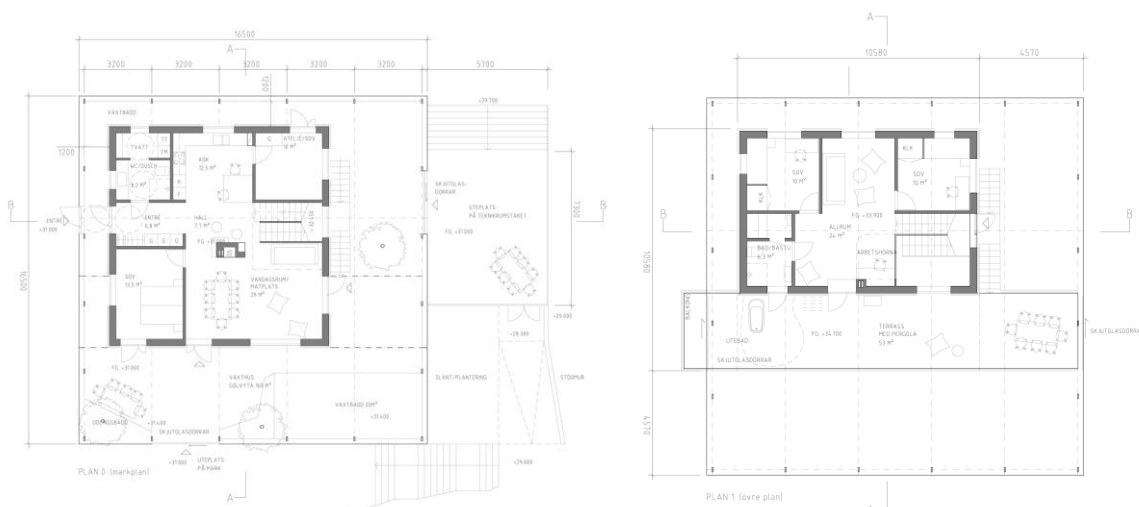
Samtidigt som detta examensarbete skrivs byggs just det naturshus som energianalysen utförs på. Sundby naturhus är ett bostadshus placerat i Sundby, cirka 3 mil norr om Stockholm. Byggherren, Björn Wallentinus, och hans familj blev intresserad av allt som ett naturhus kan erbjuda: ett ekologiskt boende med liten miljöpåverkan, innovativt kretsloppssystem och närproducerade frukter och grönsaker. De vill visa att det finns alternativa sätt att bo och leva på (Wilson, 2014).

### 3.3.1 Byggnadens utformning

Originaldesignen på Sundby naturhus godkändes inte av byggnadsnämnden, men efter omarbetning i form av sänkt, förskjutet taknock på växthuset samt en 90°-vridning av kärnhuset utfärdades bygglov. Den slutliga designen blev ett 9,5 m högt kvadratisk växthus på 274 m<sup>2</sup> med sadeltak därnocken är förskjutet mot norr, se Figur 3.1. Kärnhusets bruttoarea (BTA) är 185 m<sup>2</sup> och dess placering är förskjutet mot den nordvästliga hörnan av växthuset. Boarean (BOA) på 148 m<sup>2</sup> är fördelad på två plan, och utöver det finns två takterasser, se Figur 3.2. Runt kärnhuset är växtbäddar, odlingslådor och uteplatser planerade (Wallentinus, 2014).



Figur 3.1. Renderingar av Sundby naturhus från olika vinklar (Tailor Made Arkitekter, 2014).



Figur 3.2. Planritning av Sundby naturhus. Plan 0 till vänster och plan 1 till höger (Tailor Made Arkitekter, 2014).

Kärnhuset blir ett modernt timmerhus, levererat av den estländska firmen Palmatin. Väggarna är av två olika typer, se Tabell 3.1. En typ av yttervägg täcker större delar av fasaden, men på valda partier ges växter möjlighet att klättra längs en spaljé inbyggd i annan typ av yttervägg (Wallentinus, 2014).

Tabell 3.1. Detaljbeskrivning av två typer av ytterväggar

Yttervägg vanlig		Yttervägg spaljé	
Tjocklek	Material	Tjocklek	Material
134 mm	Laminerat timmer	134 mm	Laminerat timmer
145 + 45 mm	Linisolering och träreglar	145 mm	Linisolering och träreglar
0 mm	Vindduk	22 mm	Träfiberisolering
28 mm	Luftspalt och läkt	6 mm	Fuktsäker skiva
34 mm	Tät träpanel	45 mm	Luftspalt och läkt
		34 mm	Gles träpanel
		34 mm	Tät träpanel

Växthuset levereras av den danska firman Drivadan. Konstruktionen består huvudsakligen av IPE-balkar i storlekarna 330, 300, 220 och 180. Allt glas är 4 mm härdat enkelglas, förutom fem dörrar och tre fönster som är isolerglas. Väggarna till teknikrummet och kantbalkarna till växthuset muras i lecablock, och plintarna för montering av växthuspelarna gjuts i betong (Wallentinus, 2015).

Marken i växthuset kommer täckas med flera material, men främst stenläggning, trädäck och odlingsbäddar med pimpsten. Kärnhusets grund blir en 100 mm gjuten betongplatta ovanpå 300 mm isolering. Gjutformen byggs av vinkelement med extra isolering under kantbalken och köldbryggebrytare, som kan liknas vid ett extra, mindre vinkelement placerat cirka 350 mm in mot plattans mitt (Wallentinus, 2015). Det är en lösning som ska minska köldbryggor och är anpassad för lågenergihus (Leif Tjälldén AB, 2014).

### 3.3.2 Energi, ventilation och klimat

En viktig del av livet i ett naturhus är kretsloppssystemet, där avloppsvattnets näring tas tillvara. I anslutning till naturhuset finns ett teknikhus där tekniska installationer samlas. Husets avloppsvatten leds till teknikhuset där slamavskiljning och aerob nedbrytning sker innan det näringsrika vattnet förs vidare till växtbäddarna. Näringen tas upp av växterna och det rena vattnet samlas upp i botten av bäddarna, förs tillbaka till teknikhuset och syresätts genom en porlande bäck innan det återförs till naturen (Wallentinus, 2014).

Kärnhuset kommer att värmas med hjälp av en frånluftsvärmepump, som ansluts till ett vattenburet system. Varmvattnet kommer dels att användas till golvvärme men även lagras i en ackumulatortank i teknikhuset. Som komplement kommer en vattenmantlad vedeldad kamin med separat ackumulatortank troligtvis att användas. Frånluftsvärmepumpen står även för ventilationen i kärnhuset. Tilluften kommer från växthuset genom fönsterventiler. Ett markrör förser växthuset med tilluft genom tryckdifferenser. Det är 60 m långt, har grävts ner cirka 1 m under markytan och isolerats med 100 mm isolering ovanpå. Tanken är att markröret ska ge aningen värmd tilluft på vintern respektive kyld tilluft på sommaren (Wallentinus, 2015).

Växthuset har naturlig ventilation och kommer att utrustas med temperaturstyrda ventilationsluckor på båda sidor om taknocken. Dessa öppnas automatiskt vid en förbestämmd temperatur för att förhindra övertemperaturer i växthuset soliga dagar. För ytterligare ventilation kan de fem glasdörrarna öppnas manuellt (Wallentinus, 2015).





## 4 Metod

### 4.1 Modellen i Revit

För att spara tid och få en så exakt modell som möjligt användes Revit, ett byggdesign- och konstruktionsprogram utvecklat av Autodesk. Programmet är speciellt framtaget för byggnadsinformationsmodeller (BIM) och låter användaren skapa hela byggnader i 3D via ett modellbaserat tillvägagångssätt. Programmet innehåller funktioner för bland annat design, ventilation, VVS, konstruktion och byggnation (Autodesk Inc., 2015).

Både arkitekturritningar och konstruktionsritningar erhöles från byggherren. Arkitekturritningarna är gjorda av arkitektfirman Tailor Made, konstruktionsritningarna för växthuset av växthustillverkaren Drivadan och resterande konstruktionsritningar av ingenjörfirman Darking. Enligt dessa ritningar skapades en modell av kärnhuset och växthuset i byggdesign- och konstruktionsprogrammet Revit.

Tidigt i modelleringsfasen togs hänsyn till de punkter som presenterades i *Checklista för export från Revit/ArchiCAD till IDA ICE* (BIM Alliance, 2011) för att underlätta exporten av 3D-modellen till en IFC-fil och importen till IDA ICE. IFC är ett öppet neutralt objektorienterat filformat. Syftet med detta filformat är att kunna utbyta intelligent byggnadsdata mellan olika program. Filen innehåller endast den nödvändiga information som energiberäkningsprogrammet behöver, som egenskaper, typ och relationer mellan objekt samt byggnadens komposition och geometri (EQUA Simulation AB, 2011).

Växthusets väggar utgjorde en problemställning då IFC-definitionen av Curtain walls, som vanligtvis används för att skapa stora glaspardier, inte är entydig. Curtain walls saknar centrumlinje, och även om de modelleras i glas importerar de som vanliga väggar, eftersom genomskinliga väggar inte finns i IDA ICE (BIM Alliance, 2011).

För att kunna genomföra en energianalys i IDA ICE måste modellen delas in i zoner beroende på rumsuppdelningen. Dessa brukar vara avgränsade av innerväggar, då inneklimatet är det intressanta att undersöka. I vårt fall är det växthusklimatet som är av intresse. Därför måste växthuset delas in i ett antal zoner, och kärnhuset i ytterligare några. Dessa zoner kan avgränsas redan i modellering, vilket underlättar arbetet senare i IDA ICE, se Figur 4.1 och 4.2. På plan 0 hade det varit optimalt om kärnhuset kunde vara en zon och växthuset en annan omslutande zon. Tyvärr ignorerar IDA ICE zoner med hål i, eller zoner som omsluter varandra. Temperaturskillnader i höjddled förekommer i allra högsta grad i växthuset, men detta fenomen går inte att

återskapa i IDA ICE, då en zon endast anger en temperatur. För att undgå detta problem gjordes två växthuszoner, en rektangulär mot söder och en U-formad mot väst, norr och öst. För att möjliggöra fritt flöde mellan zonerna läggs det i IDA ICE in öppningar som alltid är öppna. Zonerna avgränsas i tre plan i höjddled för att på så sätt kunna erhålla effekten med ökad temperatur högre upp i växthuset. Inomhus valdes en zon per våningsplan, istället för en zon per rum, eftersom kärnhuset antas ha ungefär samma temperatur på varje våningsplan. Totalt ritades sju zoner, varav fem utomhus och två inomhus.

För att exporten till IFC ska passa just IDA ICE ska en exportmall, levererad av EQUA Simulation, laddas in. Exportmallen består av en textfil som specificerar exakt vad som ska följa med i IFC-filen och inte. När detta är klart kan modellen exporteras till IFC.

## 4.2 Energiberäkningar utanför IDA ICE

I följande del av denna rapport används kursiverad stil för att symbolisera ett val i ett beräkningsprogram (framförallt IDA ICE), namn på zoner i IDA ICE eller rubriker/poster från tabeller som refereras i text.

För att kontrollera trovärdigheten i Archers energiberäkning (se Kapitel 3.1.1 och Bilaga 2) av kärnhuset görs en egen energiberäkning i Isover Energi. En verifiering mellan dessa två varianter underlättar de beräkningar som utförs i programmet Isover Energi framöver. Archers värden används inte i Isover Energi, utan inställningar väljs efter de schablonvärden programmet rekommenderar, för att undvika en exakt kopiering av energiberäkningen.

Vid energimodelleringen av referensmodellen i IDA ICE används ingen riktig värmepump, utan istället en *Ideal heater* som ser till att erforderlig mängd energi avges för att tillgodose de båda inomhuszonernas uppvärmningsbehov. För att utreda hur mycket energi som måste köpas för att klara byggnadens energibehov och även mäta energibesparingen som en värmepump bidrar till görs en undersökning i två olika program. Data från Isover Energi och programmet *Beräkna energibesparing av valfri värmepump* på hemsidan [energiberakning.se](http://energiberakning.se) analyseras (Norrman, 2015).

Undersökningen i programmet på [energiberakning.se](http://energiberakning.se) ger möjligheten att själv ange värden vilket gör att uppvärmningsbehovet för byggnaden och tappvarmvatten från energimodelleringen av referensmodellen i IDA ICE kan användas. Indata som bestämmer värmepumpens prestanda hämtas från samma modell och tas fram genom att utföra statistiska mätningar där utomhustemperaturen fixeras vid en bestämd temperatur. Den sammanlagda effekten *Ideal heater* ger för båda våningsplanen vid just det tillfället används

som värmepumpens avgivna effekt. Dessa värden gäller för kärnhuset med omslutande växthus.

### 4.3 Referensmodellen i IDA ICE

Att göra energimodelleringar för hus i IDA ICE är inte enkelt, att göra det samma för naturhus är en utmaning. Ett naturhus är ett ovanligt hus, vilket ibland kräver ovanliga lösningar för att IDA ICE ska förstå hur det är uppbyggt. Här beskrivs hur referensmodellen byggts upp i IDA ICE med förklaringar till speciallösningar och motiveringar till antaganden.

#### 4.3.1 Plats

Första steget i ett nytt projekt är att bestämma var i världen byggnaden är placerad. Sundby naturhus byggs cirka 3 mil norr om Stockholm, därför valdes Stockholm, Arlanda under *Location* då det var den punkt som låg närmast. Under *Climate* finns ett antal olika val att göra. Filer innehållande klimatdata laddades ner från tillverkaren EQUAs hemsida. Mätpunkten som valdes var även här Stockholm, Arlanda. Datan är typiskt väder framtagna från upp till 18 års verklig mätdata. En längre tids väderförhållanden ansågs bäst spegla de påfrestningar huset kommer utsättas för, istället för ett år som kan vara extremt på något sätt.

IDA ICE har fem olika vindprofiler: *Ocean*, *Airport*, *Open country*, *Suburban* och *City centre*. Då landskapet kring Sundby naturhus innehåller en del skog valdes *Suburban*.

Både växthus och kärnhus har ett kvadratisk horisontalsnitt, med en fasad mot varje väderstreck. Växthusets tak är ett sadeltak mednocken aningen förskjutet mot norr. Den södra fasaden är något lägre än den norra, vilket gör att växthuset följer kärnhusets L-formade profil.

#### 4.3.2 Tryckkoefficienter

Under *Pressure coefficients* kan tryckkoefficienter regleras.

Tryckkoefficienterna tillsammans med vindprofilen beräknar vindtrycket på byggnadens fasader. Tryckkoefficienterna kan antingen fyllas i själv eller kan förskrivas alternativ väljas. Som alternativ finns *Exposed*, *Semi-exposed* och *Sheltered*. *Semi-exposed* valdes att användas med värden enligt Tabell 4.1. Noteras bör att dessa tryck endast påverkar växthuset och inte kärnhuset.

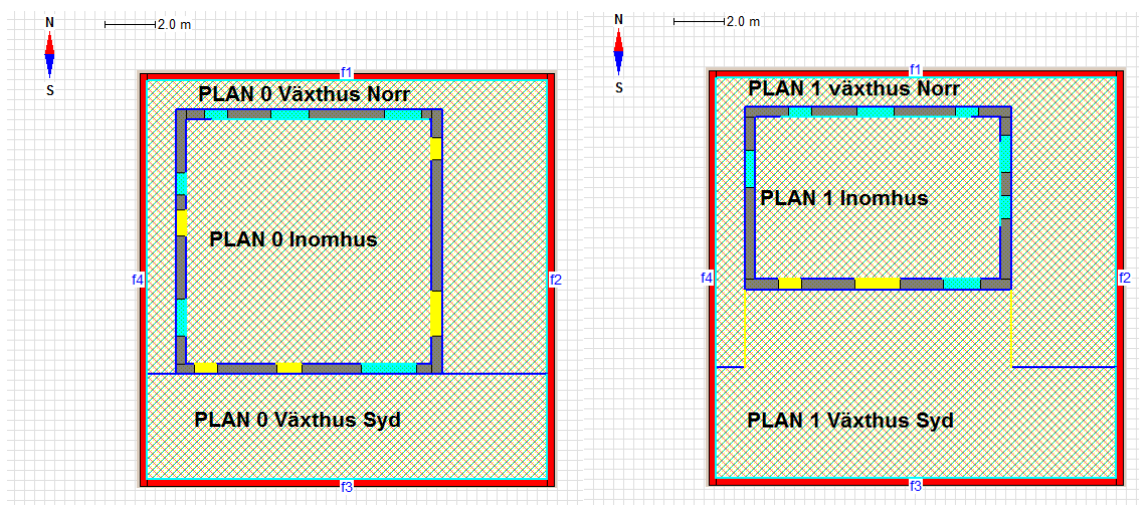
Tabell 4.1. Tryckkoefficienter för olika delar av växthuset. Angle 0° är nordlig vind och 180° är sydlig vind.

Face \ Angle	0	45	90	135	180	225	270	315	Face azimuth
Sundby Naturhus									
Tak Syd	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45	180.0
Tak Norr	-0.6	-0.6	-0.55	-0.55	-0.45	-0.55	-0.55	-0.6	0.0
Vägg Norr	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	0.0
Vägg Öst	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	90.0
Vägg Syd	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	180.0
Vägg Väst	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	270.0
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

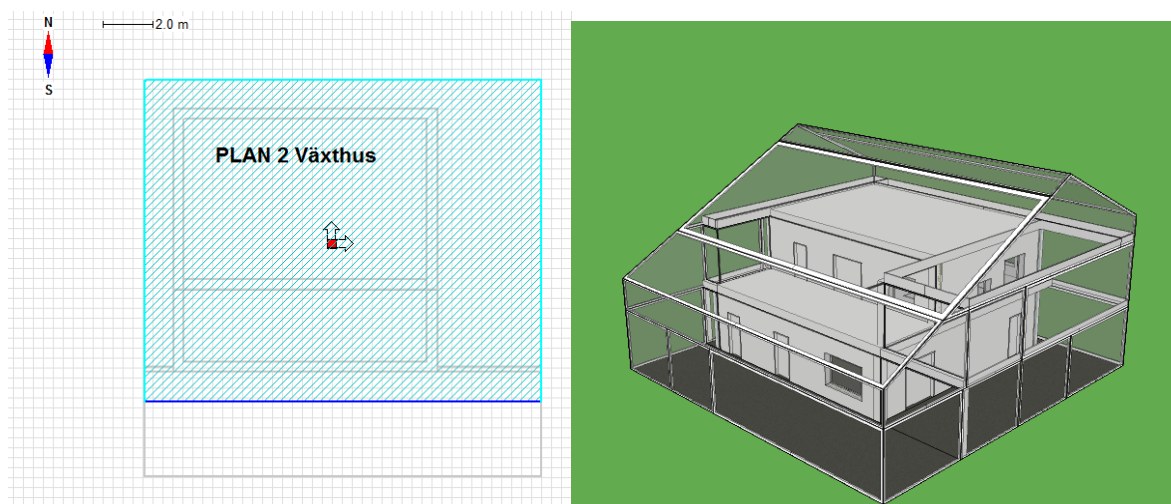
### 4.3.3 Geometrisk modell

Energiberäkningar i IDA ICE bygger på att zoner skapas med varierande inställningar, som ventilation, värmesystem och mängd elektrisk utrustning. Från nulägesanalysen framgår det att temperaturen varierar mycket i höjddled i växthuset. IDA ICE räknar tyvärr inte med luftrörelser inuti zoner, utan bara mellan zoner, samt att temperaturen som anges för varje zon är medeltemperaturen (Fransson, 2015). Därför skapas sju zoner, se Figur 4.1 och 4.2. Dessa varierar både i storlek, form och placering i höjddled. På så sätt erhålls i energiberäkningen data som varierar med zonerna, till exempel sju medellufttemperaturer för olika delar av huset istället för en. Med denna teori skulle det vara optimalt att ha så många zoner som möjligt för att studera temperaturvariationer i höjddled, men då det är praktiskt olämpligt förenklades modellen.

I höjddled har huset delats in i tre delar. En del för varje våningsplan. För plan 0 och plan 1 har zonerna för växthuset delats i en sydlig och nordlig del. Den norra delen inkluderar även sidorna öst och väst. Översta planet, plan 2, täcker hela ytan utan uppdelning i sydlig och nordlig riktning. Två zoner har skapats för kärnhuset, en för plan 0 och en för plan 1.



Figur 4.1. Zonuppdelningen plan 0 (vänster) och plan 1 (höger) i IDA ICE.



Figur 4.2. Zonuppdeleningen plan 2 (vänster) och 3D-modell i IDA ICE.

En zon definieras i IDA ICE som ett rum som begränsas av golv, tak och minst fyra väggar (EQUA Simulation AB, 2013). Detta medför att växthuszonerna måste delas upp av dessa byggnadsdelar för att kunna skapas. För att simulera det fria luftflödet både horisontellt och vertikalt mellan växthuszonerna har öppningar lagts in. Dessa öppningar täcker 100 % av antingen vägg-, tak- eller golvytan. Det tillåter luft att passera fritt mellan zonerna. Då vissa ytor har former som ej är symmetriska har flera öppningar behövt läggas in. Detta gör att öppningen ej täcker 100 % av ytan men skillnaden är marginell. Exempel på detta är i zonerna *Plan 1 växthus norr* och *Plan 1 växthus syd*.

En öppning likt de som finns i växthuszonerna har lagts till mellan *Plan 0 inomhus* och *Plan 1 inomhus*. Denna öppning symboliserar hålet i mellanbjälklaget där trappan går i det verkliga huset. Detta tillåter luftutbyte mellan inomhuszonerna.

För att inte få ett glapp mellan växthuszonerna och kärnhuszonerna behövdes kärnhuszonerna förstoras lite. Detta betyder att boarean blir lika med bruttoarean i IDA ICE, vilket innerbär att simuleringsmodellen har en boarea på 186,1 m<sup>2</sup> till skillnad mot Sundby naturhus som i verkligheten har en boarea på 148 m<sup>2</sup>. Således blir  $A_{Temp}$  i referensmodellen 186,1 m<sup>2</sup> och 148 m<sup>2</sup> i det verkliga Sundby naturhus.  $A_{Temp}$ , summan av den invändiga arean som värms till mer än 10 °C.

#### 4.3.4 Konstruktion

Den bärande konstruktionen i växthusets består av stålbalkar av IPE-typen, med storlekar från 330 till 180. På dessa monteras glaset, som är 4 mm härdat enkelglas. Ett U-värde 5,8 W/m<sup>2</sup> K antogs vara rimligt för glaset, då det var angivet för en snarlik glasruta i IDA ICE. Ett antagande gjordes att 10 % av

fönsterna består av fönsterkarm, med ett eget U-värde på  $2,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . I växthusfasaden finns fem dörrar av isolerglas, som måste klassas som öppningsbara fönster för att erhålla effekten av solinstrålning.

Det finns även tre isolerglasrutor placerade på valda ställen i växthusfasaden för att möjliggöra fri sikt innifrån kärnhuset och ut, även vid tillfällen då kondens bildas på växthusets insida. Dessa ansågs inte påverka energianvändningen nämnvärt och ignorerades vid energimodelleringen.

Växthusets ytterväggar har klassats som *external walls* i IDA ICE, alltså solida väggar av samma typ som kärnhusets väggar. I väggarna placeras fönster över cirka 98 % av arean vilket gör att väggens uppbyggnad spelar mindre roll. Detta tillvägagångssätt valdes eftersom det inte är möjligt att skapa stora glaspartier i IDA ICE. Samma metod används för taket, med den enda skillnaden att materialet är det samma som kärnhusets tak.

I verkligheten består kärnhusets fasad av två olika typer, ojämnt fördelade över huset. Den ena typen är en vanlig vägg med tät träpanel ytterst, den andra typen är med en gles träpanel, likt en spalje, för att möjliggöra klättring för växter. Båda typerna påstås få samma U-värde, därför används endast väggen med tätpanel i referensmodellen, vilket även underlättar arbetet med referensmodellen. Kärnhusets ytterväggar klassas i IDA ICE som *internal walls*, eftersom programet inte kan hantera ytterväggar innanför växthusets ytterväggar. Alla byggnadsdelar och deras uppbyggnad presenteras ingående i Tabell 4.2. De små skillnaderna i U-värde för vissa byggnadsdelar mellan IDA ICE och verkligheten beror på materialens förinställda egenskaper i IDA ICE.

Kärnhusets dörrar är i glas, med ett U-värde på  $0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Eftersom dörrar i glas inte finns i IDA ICE ställdes dessa in som öppningsbara fönster, men med dörrarnas mått.

Tabell 4.2. Byggnadsdelar och deras uppbyggnad i IDA ICE och i verkligheten.

Byggnad	Byggnadsdel	Material (IDA ICE)	Material (Verkligen)	
Kärnhus	Ytterväggar	134 mm trä	134 mm laminerat timmer i furu	
		145 mm träreglar c/c 600 + isolering	145 mm träreglar c/c 600 + linisolering	
		45 mm träreglar c/c 600 + isolering	45 mm träreglar c/c 600 + linisolering	
		-	vindduk	
		28 mm luftspalt	28 mm luftspalt + träläkt	
		34 mm träpanel	34 mm träpanel	
		U-värde: 0,18 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: 0,2 W/m <sup>2</sup> K	
		Fönster	Olika storlekar	Olika storlekar
			Treglasfönster	Treglasfönster
			U-värde: 0,7 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: 0,7 W/m <sup>2</sup> K
Dörrar	Olika storlekar	Olika storlekar		
	Glas	Glas		
	U-värde: 0,7 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: 0,7 W/m <sup>2</sup> K		
Mellanbjälklag och tak	400 mm solitt material	22 mm panel	22 mm panel	
		28 mm luftspalt + läkt	28 mm luftspalt + läkt	
		400 mm linisolering	400 mm linisolering	
		22 mm råspont	22 mm råspont	
		U-värde: 0,089 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: 0,09 W/m <sup>2</sup> K	
Golv och bottenplatta	20 mm golv	20 mm golv	20 mm golv	
		100 mm betong	100 mm betong	
		300 mm isolering	300 mm isolering	
		U-värde: 0,11 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: 0,09 W/m <sup>2</sup> K	
Växthus	Ytterväggar och tak	Väggar täckta med enkelglas	4 mm härdat enkelglas på stålkonstruktion	
		U-värde: 5,8 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: 5,8 W/m <sup>2</sup> K	
		Golv och bottenplatta	100 mm berg	Odlingsbäddar, stenläggning och berg
1000 mm berg	1000 mm berg			
U-värde: 5 W/m <sup>2</sup> K	U-värde: - W/m <sup>2</sup> K			

Konstruktionen på kärnhusets mellanbjälklag är inte helt definierad på ritningarna, därför används samma konstruktion som kärnhusets tak. Detta underlättar även uppbyggnaden av referensmodellen i IDA ICE. För taket var endast några materialskikt samt ett U-värde utmärkta på ritningarna, därför skapades ett påhittat material i IDA ICE med de aktuella egenskaperna. Detta anses inte påverka energimodelleringen då det intressanta vid beräkningarna är specifik värmekapacitet, densitet och U-värde och inte materialskiktens uppbyggnad. De dominerande materialen i konstruktionen är trä och isolering, vilka har samma specifika värmekapacitet. Densiteten skiljer sig för de båda materialen, därför antogs ett genomsnitt vara ett rimligt värde.

Marken i växthuset består av bland annat odlingsbäddar, stenläggning och berg. En förenkling gjordes där marken antogs bestå av 100 mm berg med ett U-värde på  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . I kärnhuset består golvet av 20 mm trä som ligger på en bottenplatta av 100 mm betong och 300 mm isolering med köldbryggebrytare. Under bottenplattan antas marken bestå av 1000 mm berg. Grundmodellen ISO-13370 valdes under *Ground properties*. Den bestämmer vad som finns ännu djupare i marken och innehåller bland annat information om temperaturförhållanden under byggnaden.

#### 4.3.5 Köldbryggor

I IDA ICE kan en mängd köldbryggor för huset ställas in. Varje enskild köldbrygga värderas och ställs in på en skala med stegen: *None*, *Good*, *Typical*, *Poor* och *Very Poor*. Exempel på köldbryggor är *External Wall/External Wall* och *External Wall/Internal Wall*. Först ställdes alla kölbryggor på *Typical*, men efter upptäkten att kärnhusets zoner inte reglerar sina köldbryggor mot växthuszonernas temperatur utan mot utomhustemperaturen ställdes alla köldbryggor på *None*. Den alternativa lösningen blev istället att i växthuszonerna ställa *External windows perimeter* till *Typical*. Då växthusets väggar täcks av 98 % fönster anses denna parameter vara den enda relevanta. I kärnhuszonerna försämrades värmemotståndet i klimatskalet med 20 % för att ta hänsyn till köldbryggor, en metod som redovisas i *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler* (Boverket, 2012).

#### 4.3.6 Värme och ventilation

I växthuset finns inget värme- eller ventilationssystem installerat. Värmen kommer från solinstrålning och ventilationen skapas genom otätheter i växthuskonstruktionen. Därför har ingen *Ideal heater* ställts in i växthuszonerna. Däremot har infiltrationen i växthuset ställts in på  $1,2 \text{ l/s m}^2$  golvarea vid 50 Pa tryckskillnad. Det värdet baseras på en rekommenderad lufttäthet på  $0,6 \text{ l/s m}^2$  vid 50 Pa tryckskillnad från BBRs alternativa krav på byggnadens energianvändning. Det värdet dubblades för att få en någorlunda rimligt lufttäthet för ett växthus. För att ytterligare simulera tillförseln av friskluft till växthuset har två stycken läckor medvetet lagts in. Båda två på norra fasaden, en på plan 0 och en på plan 1. En storleken på  $0,002 \text{ m}^2$  ansågs vara rimlig för var och en av dessa läckor.

I kärnhuset finns en frånluftsvärmepump installerad, den sköter både ventilation, uppvärmning och tappvarmvattenförsörjning. Det finns inget kylsystem, detta sköts istället genom vädring via öppna fönster och dörrar, vilket beskrivs närmare i Kapitel 4.3.7.



Det fanns stora svårigheter att ställa in ett system i IDA ICE som skulle spegla den verkliga frånluftsvärmepumpen. Därför valdes en annan metod där husets totala energibehov mäts, och frånluftsvärmepumpens kapacitet beräknas separat i efterhand. Max-effekten för *Ideal heater* för inomhuszonerna ställdes därför till 10 kW för att med god marginal klara värmebehovet, och dess effektivitet till 100 % för att slippa justera resultatet vid senare kapacitetsberäkning. Ventilationen i kärnhuset simuleras genom ett fast ut-flöde på 0,35 l/s m<sup>2</sup>, i enlighet med BBRs krav. För att simulera intaget av luft från växthus till kärnhus, som behövs för ventilationsflödet, lades två läckor á 0,002 m<sup>2</sup> in i kärnhusets norra fasad, en på plan 0 och en på plan 1.

Varmvattenförbrukning för hela familjen ställdes in på 4600 kWh/år under *Extra energy and losses*. Värdet räknades ut genom ett medelvärde för energiåtgången för uppvärmning av varmvatten i småhus vid sparsam användning och hög användning från Energimyndighetens hemsida (Energimyndigheten, 2011) och sedan multiplicera det med antalet familjemedlemmar.

#### 4.3.7 Vädring

Växthuset i Sundby naturhus är utrustat med temperaturstyrda vädringsluckor. De följer växthusets nock, på båda sidor, och är 1,4 m breda.

Temperaturstyrningen av dessa bestäms i IDA ICE med *PI temperature controle and schedule*. För att fönsterna ska öppnas måste tre kriterier stämma: att temperaturen i växthuszonen är högre än utomhus, att inställt schema är i aktivt läge och att angiven vädringstemperatur i växthuszonen är uppnådd. När schemat ställs in på *Always open* styrs vädringsluckorna endast av temperaturreglering. Under *Controller setpoint* ställs vädringstemperaturen in på 32°C under vinterhalvåret (1/11-30/4) samt 24 °C under sommarhalvåret (1/5-31/10).

I växthuset finns fem glasdörrar, se Tabell 4.3. Dessa dörrar styrs inte automatiskt, utan vädring sker manuellt då de boende finner behov för det. Detta mänskliga beteende är väldigt svårt att efterlikna på ett trovärdigt sätt, därför har valet gjorts att ställa in dörrarna efter samma vädringsschema som vädringsluckorna i nocken. För att ta del av solinstrålningens effekter skapades dörrarna som öppningsbara fönster, då glasdörrar inte finns i IDA ICE. Höjden på dörrarna är i verkligheten två meter, men gjordes högre i IDA ICE. Detta för att det blev mer praktiskt att anpassa dörren till våningshöjden än att fylla upp med flera mindre fönster ovanför dörrarna. För att kompensera för de förstörade dörrarna reglerades öppningsarean. Detta ställs in under varje enskild dörr och är anpassat efter att motsvara 100 % av den verkliga dörrarean. Vädringsluckorna i nocken är inställda med en öppningsarea på 50 %.

Tabell 4.3. Dörrförteckning.

Våning	Riktning	Bredd [m]	Höjd (verklig) [m]	Höjd (IDA ICE) [m]	Area (verklig) [m <sup>2</sup> ]	Area (IDA ICE) [m <sup>2</sup> ]	Andel, Area (Verklig) av Area (IDA ICE)
Plan 0	Öst	3,4	2	2,89	6,8	9,83	69,2%
Plan 0	Syd	3	2	2,89	6	8,68	69,2%
Plan 0	Väst	1	2	2,89	2	2,89	69,2%
Plan 1	Öst	3,4	2	3,04	6,8	10,34	65,7%
Plan 1	Väst	3,4	2	3,04	6,8	10,34	65,7%

Vädningen av kärnhuset är också ett mänskligt beteende, likt vädningen genom dörrarna i växthuset, och sker manuellt genom öppning av fönster och dörrar. För att illustrera detta har valet gjorts att följa Socialstyrelsens bestämmelser för inomhustemperaturer. Socialstyrelsen säger att lufttemperaturer över 24 °C vintertid och 26 °C sommartid bör undvikas för att undgå olägenhet för människors hälsa (Socialstyrelsen, 2005). Fönsterna i kärnhuszonerna har likt dörrarna och vädningssluckorna ställts in med *PI temperature controle and schedule*. Vädningstemperaturen sätts mellan Socialstyrelsens två rikttemperaturer, alltså 25 °C, och gäller för hela året. Öppningsarean har antagits vara 50 %. Dörrarna i kärnhuset är glasdörrar. Då det inte går att skapa i IDA ICE har öppningsbara fönster valts istället, precis som med dörrarna i växthuset. Dörrarna är inställda enligt samma öppningsschema och öppningsgrad som fönstren i kärnhuset.

#### 4.3.8 Internlast

Mänsklig närvaro och elektisk utrustning avger tillskottsvärme till den omgivande rymden, även kallat internlast. Dessa går att reglera i IDA ICE. Den mänskliga närvarograden i en bostad antas vara 14 timmar per dygn (Sveby, 2009). Ett schema skapades för att motsvara denna närvarograd där fyra personer antas närvara med en aktivitetsnivå på 0,8 Metabolic units (MET). En MET innebär förbrukning av 1 kcal per kilo kroppsvikt och per timme. Fyra personer är anpassat efter den familj som ska bo i Sundby naturhus och 0,8 MET är ett riktvärde hämtat från *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder* (Sveby, 2009) och omräknat med hjälp av manualen för IDA ICE (EQUA Simulation AB, 2013). Kärnhuszonerna antas ha personlig närvaro mellan 17:00 och 08:00. I växthuszonerna antas det finns personlig närvaro året runt mellan 07:00 och 08:00 samt mellan 17:00 och 22:00. Närvarograden för växthuset antas vara en kombination av inomhus och utomhus, därför har 8 timmars sömn subtraherats från de ovan nämnda 14 timmarna.

Internlasterna från elektrisk utrustning och belysning ställs in under *Equipment*. En normalstor villa antas ha en förbrukning av hushållsel på 5000 kWh/år (E.ON, 2014) och 70 % av hushållselen kan antas gå till uppvärmning (Sveby, 2009). Med omräkning ger detta en effekt på 400 W som är igång året om. En förenkling gjordes då en enda elektrisk apparat skapades i IDA ICE som antas vara igång dygnet runt med en avgiven effekt på 200 W. Denna elektriska apparat har sedan lags till i båda kärnhuszonerna för att totalt motsvara de 400 W.

Avgiven effekt från belysning kan ställas in under *Light* i IDA ICE, men då denna effekt redan räknats med i *Equipment* stängs parametern av.

Möblemang i zonerna kan läggas in för att skapa ytterligare tillägg till den termiska massan, utöver det bidrag som ges av kärnhusets och växthusets konstruktion. Med underlag från arkitekturritningarna räknades möblemanget ut till 20 % av golvytan och det angivna värdet i IDA ICE på 25 kg/m<sup>2</sup> möblerad area antogs. Dessa inställningar används i kärnhuszonerna.

I växthuszonerna antas det inte finns någon elektrisk utrustning, belysning eller möblemang. Växternas termiska massa antas vara så pass liten att den är försumbar. Alla dessa parametrar har därför stängts av.

#### 4.3.9 Simuleringsinställningar

Energisimuleringar i IDA ICE fungerar genom att programmet skapar system av ett stort antal differentialekvationer för energitransporten i huset. Varje extra zon eller objekt medför väldigt många nya variabler som måste tas hänsyn till vid beräkningen, därför rekommenderas det att inte modellera några onödiga detaljer. En helårssimulering med många parametrar tar lång tid att genomföra. Ändras inställningarna under *Simulation data* kan processen snabbas upp, dock ökar samtidigt risken att resultat påverkas. I *User Manual IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5* rekommenderas det att öka *Tolerance* från 0,02 till 0,2. Detta innebär att beräkningen tar större tidssteg. En sådan ändring leder till en acceptabel brist på nogrannhet i resultatet (EQUA Simulation AB, 2013). Även *Time step for output* kan ändras från 0 till 2 h, vilket betyder att genomsnittsvärden för 2-timmarsintervaller används vid simuleringen (Kuldkepp, 2012).

För att få korrekta resultat som stämmer överens med kärnhusets area måste *Reference floor area for reports* ändras till 186,1 m<sup>2</sup>. Det värde som angavs ursprungligen var arean inom det som klassats som ytterväggar, alltså växthusets area.

Det står även att läsa i *User Manual IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5* att vissa modeller oftare leder till problem än andra. Som exempel ges modeller med övervägande naturlig ventilation genom stora öppningar och beräkningar av vertikala temperaturgradienter (EQUA Simulation AB, 2013). Båda dessa situationer förekommer i simuleringsmodellen för Sundby naturhus.

#### 4.4 Statisk handräkning

För att kontrollera att simuleringsmodellen fungerar korrekt görs en statisk räkning. Flera parametrar stängs av i simuleringsmodellen för att förhållandena ska vara så nära statiska som möjligt, varpå en energisimulering görs. Därefter plockas alla värden från klimatskalet (area och U-värde) och en manuell handräkning görs på samma sätt. Resultatet från energisimuleringen i IDA ICE jämförs med det från handräkningen.

Första steget är att ta bort poster som påverkar kärnhusets energitillförsel och -förluster. Under *Internal gains* tas *Occupant* bort i alla zoner för att nollställa tillförd energi från mänsklig närvaro. Även *Equipment* tas bort för att avlägsna tillförd energi från elektriska apparater. Under *Internal masses* tas även *Furniture* bort för zonerna *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus*. Detta för att minska mängden termisk massa som bevarar energi. Frånluftsfläkten stängs av för kärnhuszonerna samt tilluften till kärnhuszonerna och växthuszonerna som kommer från *Leaks*. *Ideal heater* behålls för kärnhuszonerna för att en konstant inomhustemperatur ska kunna hållas. Under *Extra energy and losses* sätts varmvattentillförseln till noll. Infiltration samt vindkoefficienten sätts till noll generellt för byggnaden. Trapphålet mellan plan 0 och plan 1 i kärnhuset plockas bort för att stoppa luftflödet mellan våningsplanen.

Vid energisimuleringen används *Synthetic weather* för att skapa ett statiskt förhållande. Utomhustemperaturen sätts till noll, likaså solstrålningen. Under *Ground properties* sätts marktemperaturen till konstant 10 °C. Tidsperioden för energisimuleringen sätts till en dag.

För att göra den statiska handräkningen tas zontemperatur, area och värmemotstånd från IDA ICE. Zontemperaturerna tas vid klockan 12:00. En sammanslagen värmetransportberäkning görs för väggdelarna och ingen värmetransport antas ske mellan våningsplanen.

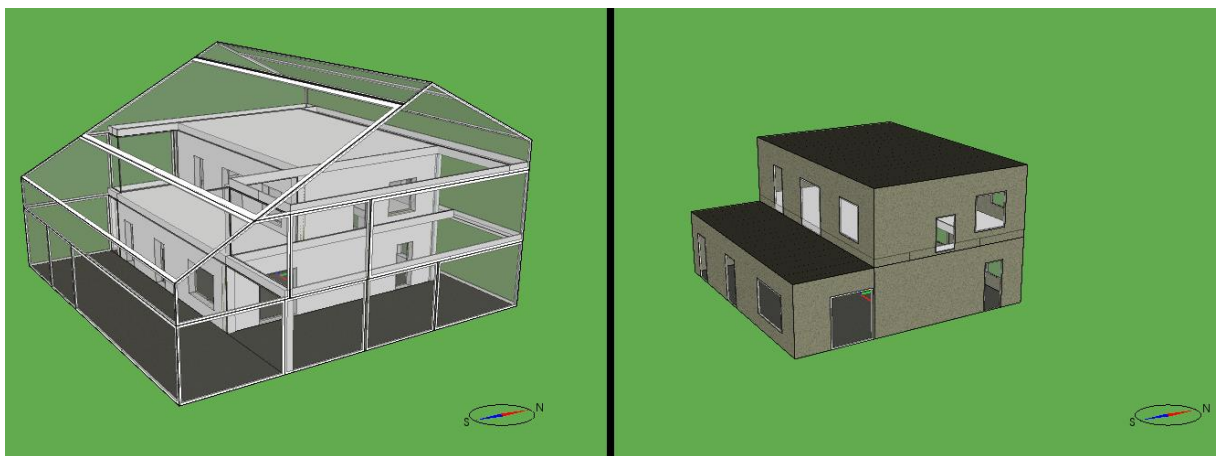
Den grundläggande matematiken bakom en värmetransportsräkning är:  $U \cdot A \cdot (T_1 - T_2) = Q$ . Ett par antaganden och förenklingar gjordes, se Kapitel 5.3.

## 4.5 Parameterstudie

I parameterstudien läggs fokus på att i IDA ICE analysera hur ändringar av olika parametrar, som exempelvis vädringsmönster, solavskärmning och fasadfärg, påverkar resultatet. Detta görs för att utvärdera modellens känslighet. Granskningen inriktas på deras inverkan på naturhusets energianvändning och klimat. De parametrar som testas presenteras nedan.

### 4.5.1 Kärnhus med och utan växthus

Utifrån vår referensmodell skapades en ny modell utan växthus för att visa påverkan av det extra klimatskalet, se Figur 4.3. Dessa modeller har samma inställningar med undantag för växthuset.



Figur 4.3. 3D-modell av referensmodellen med och utan växthuset.

### 4.5.2 Vädringmönster

Vädringsmönstret har inkluderats i parameterstudien för att se betydelsen av vädringen i växthus och kärnhus.

Sju modeller skapades med variationer på vädringen. Förutom ändringarna på vädringen används samma inställningar som i referensmodellen.

Första modellen: Ej vädring i växthus, all vädring i växthuset stängdes av. Detta gjordes genom att ändra *Schedule* från *Always open* till *Never open* för alla fönster och dörrar som i växthuset har temperaturstyrd vädring. Syftet med denna parameterändring var att visa ett extremfall och samt se skillnaderna mellan effekten av vädring i kärnhus och växthus. Detta fall kan inte antas vara verklighetsbaserat det vill säga detta fall kommer ej vara ett normalfall i det verkliga Sundby naturhus.

Andra modellen: Ej vädring i kärnhus, all vädring i kärnhuset stängdes av. Detta gjordes på samma sätt som för första modellen. Syftet med parameterändringen likt första modellen är att visa ett extremfall samt se

skillnaderna mellan effekten av vädring i kärnhus och växthus. Fallet kan inte antas vara verklighetsbaserat.

Tredje modellen: Ingen vädring, vädring stängdes av både i växthus och i kärnhus. Syftet med denna parameterändring var att visa ett extremfall och detta fall kan inte antas vara verklighetsbaserat.

Fjärde modellen: 25 % öppningsgrad, fönster och dörrars öppningsgrad ändrades till 25 % i både växthus och kärnhus. Detta gjordes genom att på respektive fönster under *Openings* sätta antingen *Max relative width* eller *Max relative height* till 25 %. Som det nämns i Kapitel 4.3.7 så har storleken för vädringsdörrarna ändrats. För att kompensera för detta sattes öppningsgraden till 69,2 % för att motsvara 100 % av den verkliga dörren. För att sänka den verkliga öppningsgraden till 25 % sätts öppningsgraden till 17,3 %. En anmärkning som bör göras är att i referensmodellen är öppningsgraden 50 % för kärnhusets fönster och dörrar samt för vädringsluckorna i växthusets nock och för dörrarna i växthuset var öppningsgraden 100 %.

Femte modellen: 100 % öppningsgrad, fönster och dörrars öppningsgrad ändrades till 100 % i både växthus och kärnhus. Detta med undantag för dörrarna i växthuset som behölls på 69,2 % för att motsvara 100 % verklig öppningsgrad.

Sjätte modellen: Ökat temperaturreglerat värde, temperaturen ökades för när vädring ska ske för kärnhusets och växthusets fönster och dörrar. Detta gjordes genom att under respektive zon ändra *Max temperature* under *controlle setpoint*. För vädringen i kärnhuset ändrades temperaturen från 25 °C till 26 °C och för växthuset ändrades vädringen från 32 °C till 34 °C vintertid och från 24 °C till 26 °C sommartid.

Sjunde modellen: Minskat temperaturreglerat värde, temperaturen sänktes för när vädring ska ske för kärnhusets och växthusets fönster och dörrar. I kärnhuset ändrades temperaturen från 25 °C till 24 °C och för växthuset ändrades vädringen från 32 °C till 30 °C vintertid och från 24 °C till 22 °C sommartid.

#### 4.5.3 Annan ort

För att testa betydelsen av orten har vi valt att göra en helårssimulering på annan ort. Vi använder oss av samma typ av klimatfil, det vill säga typiskt väder framtagna från upp till 18 års verklig mätdata. Orten som är vald är Kiruna och detta ställs in både under *Location* och *Climate* i IDA ICE. En flytt till Kiruna som är beläget i nordligaste Sverige innebär sänkt medelårstemperatur, minskad direkt och indirekt stålningsenergi och mer vind.

#### 4.5.4 Solavskärmning

För att undersöka hur solavskärmning i kärnhuset påverkar energin och klimatet, läggs detta till i referensmodellen. *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder* (Sveby, 2009) rekommenderar en avskärmningsfaktor på 0,5 för att reglera beteendereglerad och fast solavskärmning. Beteendereglerad solavskärmning sker med markiser, persienner eller gardiner. Fast solavskärmning sker med till exempel skuggande byggnader, träd, uthängande balkonger eller nischer. Detta ställdes in för kärnhusets samtliga fönster genom att under *Device* sätta 0,5 för *Multiplier for G* och *Multiplier for T*. Detta ställdes in så de alltid är igång.

#### 4.5.5 Fasadfärg

Färgen, eller snarare kulören, på väggarna kan ställas in i IDA ICE. När referensmodellen skapades användes inställningen *Light surface* för fasaderna på kärnhuset. Valet av kulör på ytan påverkar inställningarna för emissiviteten av långvågig strålning och reflektansen av kortvågig strålning. Emissivitet är ett mått på materialets förmåga att absorbera och avge strålningsenergi, där en ideal svartkropp har ett värde på 1. Väljs *Light surface* i IDA ICE är de förinställda värdena för emissivitet på 0,9 och reflektans på 0,6.

För att testa om fasadfärgen har någon inverkan på klimat och energi i naturhuset görs en helårssimulering då fasadfärgen ändras från *Light surface* till *Dark surface*. Då mörk fasadfärg väljs i IDA ICE är emissiviteten samma som för ljus, men reflektansen minskar till 0,3.

### 4.6 Känslighetsanalys

För att få ett mått på hur känslig modellen är så kommer en känslighetsanalys göras. Det finns flertalet olika metoder på hur man beskriver känsligheten hos en parameterstudie. En metod kommer att presenteras, Differential Sensitive Analysis.

Metoden bygger på att man varierar en parameter åt gången och låter övriga parametrar vara konstanta (Lomas & Eppel, 1992). Detta visar hur varje parameters påverkan på det totala resultatet. Metoden antar dock att varje parameter förändras linjärt och att parameterstudiens olika parametrar inte påverkar varandra.

$$\Delta p_i = p_i - p_B \quad (1)$$

Ekvation (1) visar en parameters förändring av resultatet. Där  $p_i$  är totala resultatet med en förändrad parameter och  $p_B$  är originalresultatet utan någon förändrad parameter.

I parameterstudien varieras parameterna olika mycket. I vissa modeller ändras även flera parametrar. Då detta är fallet blir det svårt att jämföra dem sinns emellan och väga resultatet. Ett exempelvis är vädringstemperaturen, i en modell ändrades den olika för växthus och kärnhus. Även i modellen 25 % öppningsgrad och 100 % öppningsgrad ändrades vädringsarean olika mycket. För att istället bedöma modellens känslighet skapades sex modeller som representerar parameterstudien. De olika parameterna varierades lika mycket och simulerades under samma period det vill säga ett år, samma som parameterstudien.

I denna känslighetsanalys jämförs tre faktorer: uppvärmningsbehov, årsmedeltemperatur i kärnhuset och årsmedeltemperatur i växthuset.



## 5 Resultat och analys

### 5.1 Energiberäkningar utanför IDA ICE

Resultaten från Archers energiberäkning jämfördes med de från Isover Energi, och det konstaterades att de var relativt lika. Archer presenterar en specifik energianvändning på 58 kWh/m<sup>2</sup> år och vår egen beräkning i Isover Energi visar på 56 kWh/m<sup>2</sup> år, se Tabell 5.1. I specifik energianvändning ingår energi för uppvärmning, komfortkyla och tappvarmvatten samt byggnadens fastighetsenergi (Boverket, 2012). I och med att de oberoende energiberäkningarnas resultat är så pass lika varandra kan det konstateras att schablonvärdena är rimliga. Inställningarna i Isover Energi anses verifierade och kan användas i kommande beräkningar.

Tabell 5.1. Inställningar och resultat från Archers och vår egen energiberäkning av kärnhuset utan växthus.

Inställningar	Archer	Isover Energi
Inomhustemp [°C]	21	22
Hushållsel [kWh/år]	4410	5000
Tappvarmvatten [kWh/år]	2940	4000
Fastighetsenergi [kWh/år]	800	1000
U-medel [W/m <sup>2</sup> °C]	0,2	0,2
A <sub>temp</sub> [m <sup>2</sup> ]	150	148
<b>Värmepump</b>		
Årsvärmefaktor	2,68	2,7
<b>Resultat</b>		
Specifik energianvändning [kWh/m <sup>2</sup> år]	58	56

En jämförelse mellan Archers energiberäkning och Isover Energi kan göras eftersom båda två endast berör kärnhuset. Den köpta energin är cirka 5 % lägre vid vår beräkning med Isover Energi, vilket anses vara en rimlig avvikelse, se Tabell 5.2.

Värdet för det totala uppvärmningsbehovet i Isover Energi på 11776 kWh/år jämförs med värdet för samma post från en senare presenterad simulering i IDA ICE där referensmodellen testas utan växthus, se Kapitel 5.4.1.1. IDA ICE ger ett totalt uppvärmningsbehov på 14814 kWh/år. Då modellerna bygger på olika A<sub>Temp</sub> jämförs värdena per kvadratmeter. A<sub>Temp</sub>, är summan av den invändiga arean som värms till mer än 10 °C. Isover Energi ger ett uppvärmningsbehov på 79,56 kWh/m<sup>2</sup> år, och IDA ICE ger 79,60 kWh/m<sup>2</sup> år. Vi tolkar likheten mellan de två värdena som att uträkningarna för kärnhuset i Isover Energi och IDA ICE överensstämmer. På så vis kan referensmodellen

utan växthus anses verifierad, och så även referensmodellen med växthus eftersom alla övriga inställningar är identiska. Detta är av intresse då värden från den sistnämnda används vid beräkning på energiberäkning.se.

I Tabell 5.2 redovisas resultatet av energiberäkningarna från Archer, Isover Energi och IDA ICE. Det bör förtydligas att ingångsvärdena för värmebehovet som används på energiberäkning.se är framräknade för kärnhus med växthus i IDA ICE. Tyvärr redovisades inte värmebehovet i Archers energiberäkning samt fastighetsenergin på energiberäkning.se. Det sistnämnda behandlas i Kapitel 5.2.1. Posten *Värmepumpens täckningsgrad* i Tabell 5.2 beskriver hur stor andel av det totala värmebehovet som värmepumpen täcker.

Resultatet av uträkningarna från energiberäkning.se visar att den köpta energin, som är det primära jämförelsevärdet, för kärnhuset med växthus blir 5659 kWh/år, vilket är mindre än motsvarande resultat från de övriga två energiberäkningarna för endast kärnhuset. Läsaren bör ej glömma att köpt energi från uträkningarna på energiberäkning.se ej inkluderar fastighetsenergi. Energibesparingen med en värmepump installerad uppgår till 8877 kWh/år enligt uträkningen på energiberäkning.se.

Tabell 5.2. Jämförelse mellan resultatet av tre energiberäkningar.

[kWh/år]	Archer (Utan växthus)	Isover Energi (Utan Växthus)	Energiberäkning.se (Med Växthus)
Värmebehov byggnad	Ej angivet	11776	9936
Värmebehov tappvarmvatten	2940	4000	4600
Totalt värmebehov	-	15776	14536
Värmepumpens energibehov	4124	4967	5263
Kompletterande energibehov	3808	2366	396
Totalt energibehov	7932	7333	5659
Fastighetsenergi	800	1000	0
Köpt energi	8732	8333	5659
Värmepumpens täckningsgrad	85 %	85 %	97,3 %
Energibesparing med värmepump	-	7443	8877

## 5.2 Referensmodellen i IDA ICE

### 5.2.1 Energi

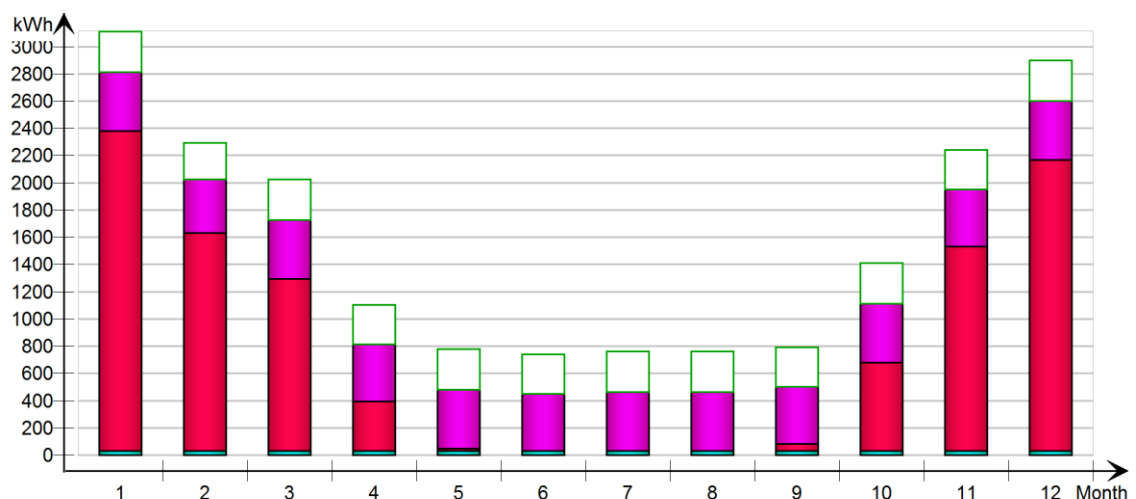
Utifrån energisimuleringarna av referensmodellen i IDA ICE är uppvärmningsbehovet 9936 kWh/år. Detta inkluderat tappvarmvatten är 14536 kWh/år.

Ovanstående värden är behovet av energi och inte mängden köpt energi. Då Sundby naturhus använder sig av en frånluftsvärmepump, vars effekt redovisas i Tabell 5.2, som inte tas med i beräkningarna i IDA ICE ska inte 14536 kWh/år användas som ett jämförelsevärde. Framräknad mängd köpt energi från energiberäkning.se bör istället användas då det bygger på värmebehovet från IDA ICE och inkluderar en frånluftsvärmepump.

Mängden köpt energi på 5659 kWh/år inkluderar ej fastighetsenergi, därför tas schablonvärdet på 1000 kWh/år från Isover Energi och adderas till 5659 kWh/år. Resultatet på 6659 kWh/år är vårt jämförelsevärde, och mätt i specifik energianvändning blir det 35,8 kWh/m<sup>2</sup> år.

Framöver i detta kapitel då resultat från olika simuleringar i IDA ICE jämförs kommer dock inte den specifika energianvändningen vara jämförelsevärde utan byggnades uppvärmningsbehov på 9936 kWh/år. Detta för att det endast är uppvärmningsbehovet som varierar i IDA ICE, då övriga värden är schablonvärden, samt för att göra jämförelsen enklare.

I Figur 5.1 ser vi hur fördelning av levererad energi varierar över året. Uppvärmningsbehovet är störst under årets kallare månader. Behovet av uppvärmning är nästintill obefintligt under perioden maj-september. I Tabell 5.3 visas fördelningen av uppvärmningsbehovet mellan zonerna *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus*. Uppvärmningsbehovet för *Plan 0 Inomhus* är nästan 4 gånger större. Tabell 5.4 visar energitillförsel inomhus. Av tabellen kan det utläsas att största delen energi lämnar kärnhuset via öppna fönstrar och dörrar samt via infiltration.



Figur 5.1. Levererad energi till *Plan 0 Inomhus* och *1 Inomhus*. Röd stapel är uppvärmning, lila stapel är tappvarmvatten, genomskinlig stapel är värmeenergi från elektrisk utrustning, ljusblå stapel (nedersta stapeln) är frånluftsflyktens driftenergi.

Tabell 5.3. Uppvärmningsbehov per år för kärnhusets två zoner Plan 0 Inomhus och Plan 1 Inomhus.

Zon	Uppvärmningsbehov per år [kWh]
Plan 0 Inomhus	7907
Plan 1 Inomhus	2029

Tabell 5.4. Tabell över energitransport för olika poster för kärnhuset (Plan 0 Inomhus och Plan 1 Inomhus).

	Energitransport via väggar, golv och tak [kWh]	Energitransport via fönster och dörrar [kWh]	Energitransport via infiltration och öppningar [kWh]	Personvärme [kWh]	Energi från elektriskutrustning [kWh]	Uppvärmningsbehov [kWh]
Totalt, år	-6471	4224,3	-14688,9	3508,9	3504	9936

Till Tabell 5.4 behövs en närmare förklaring. Alla poster är summan av tillförd samt förlorad energi. Positivt resultat betyder tillförd energi och negativt resultat betyder avgiven energi. Posten *Energitransport via väggar, golv och tak* innebär energitransporter genom nämnda byggdelar men även energi till och från termisk massa. Posten *Energitransport via fönster och dörrar* representerar strålningsenergi genom fönster och glasdörrar samt värmeledning genom dessa. Posten *Energitransport via infiltration och öppningar* är tillförd- och förlorad energi från öppna fönster och dörrar samt infiltration genom kärnhuset klimatskal. Det ska nämnas att i denna post ingår energitransporten från luft rörelser genom trapphålet mellan *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus*. Men då posten är summan av båda zonerna kvittas eventuell energitillförsel och energiförlust mellan dessa. Posten *Personvärme* är så kallad gratisenergi från mänsklig närvaro. Lika så är posten *Energi från elektriskutrustning* gratisenergi från elektriska apparater. Posten *Uppvärmningsbehov* är kärnhusets uppvärmningsbehov.

## 5.2.2 Klimat

I Tabell 5.5 redovisas högsta och minsta uppmätta temperaturen för växthuszonerna. Det finns en tydlig skillnad mellan lufttemperaturen i växthuszonerna och utomhus, se Tabell 5.6 och Figur 5.2.

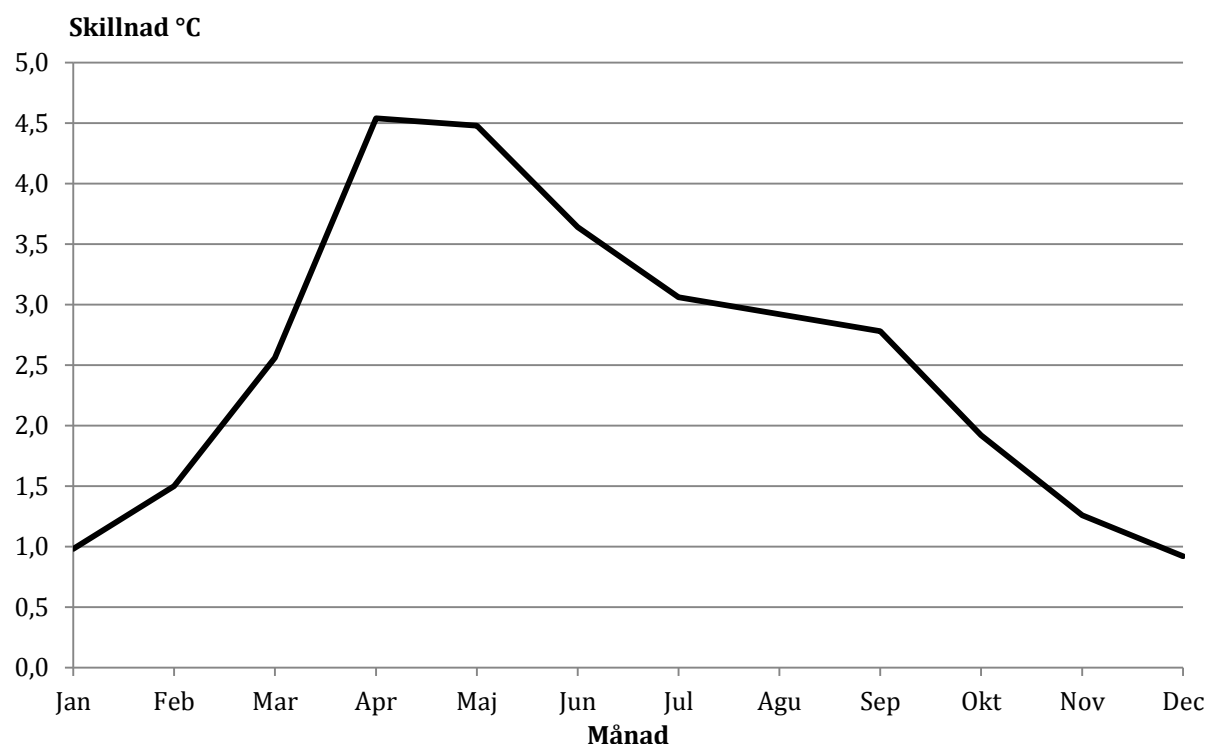
Tabell 5.5. Högsta och minsta uppmätta temperatur för växthuszonerna.

	Plan 0 Norr [°C]	Plan 0 Syd [°C]	Plan 1 Norr [°C]	Plan 1 Syd [°C]	Plan 2 [°C]
Max temperatur	31	31,3	32	32,4	32,1
Minsta temperatur	-13,4	-12,9	-14,3	-14	-14,6

Av medeltemperaturerna i Tabell 5.6 och av högsta samt minsta uppmätta temperaturen i Tabell 5.5 går det att avläsa att temperaturskillnaderna mellan zonerna inte är särskilt stora. Med stöd av denna data konstateras det att det i modellen inte finns någon påtaglig temperaturgradient i höjddled.

Tabell 5.6. Data över medeltemperaturen för växthuszonerna och utomhustemperaturen.

	Plan 0 Norr [°C]	Plan 0 Syd [°C]	Plan 1 Norr [°C]	Plan 1 Syd [°C]	Plan 2 [°C]	Utomhus [°C]	Medel växthus [°C]	Skillnad [°C]
Jan	-2,5	-2,4	-2,6	-2,5	-2,6	-3,5	-2,5	1,0
Feb	0,7	0,8	0,6	0,8	0,6	-0,8	0,7	1,5
Mar	2,9	3	2,8	2,9	2,7	0,3	2,9	2,6
Apr	8,9	9,1	8,9	9	8,8	4,4	8,9	4,5
Maj	16,2	16,2	16,1	16,3	16,1	11,7	16,2	4,5
Jun	18,2	18,1	18,1	18,2	18,1	14,5	18,1	3,6
Jul	20,1	20	20	20,1	20,1	17	20,1	3,1
Aug	18,9	19	18,8	19	18,9	16	18,9	2,9
Sep	14,1	14,2	14	14,2	13,9	11,3	14,1	2,8
Okt	8,6	8,8	8,5	8,7	8,5	6,7	8,6	1,9
Nov	2,9	3	2,8	2,9	2,7	1,6	2,9	1,3
Dec	-0,9	-0,9	-1,1	-0,9	-1,1	-1,9	-1,0	0,9



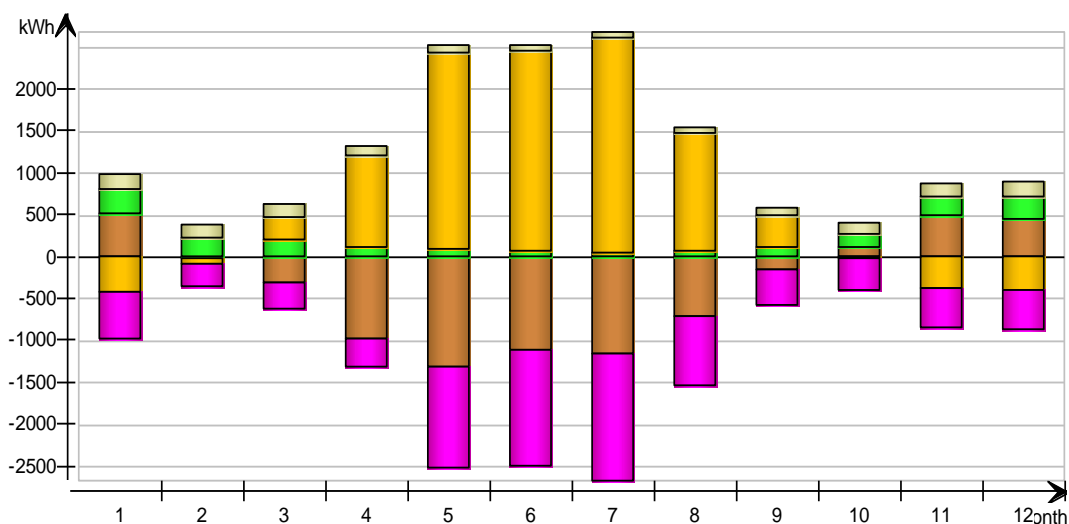
Figur 5.2. Diagram över skillnaden mellan medeltemperatur för växthuszonerna och utomhustemperatur och hur de varierar över året.

Datan i Tabell 5.6 och Figur 5.2 visar att skillnaden mellan medeltemperaturen i växthuszonerna och utomhustemperatur är störst under vår och försommar.

Ett rimligt antagande är att solen till största del står för uppvärmningen av växthuszonerna. För att visa energitillförseln av solljus har en tabell och ett diagram tagits fram över energitillförsel och energiförluster för zonen *Plan 0 Växthus Norr*, se Tabell 5.7 och Figur 5.3. Då data för växthuszonernas samlade energitransport är så stor antas en zon kunna visa den generella energitransporten för alla växthuszonerna. Tabell 5.7 och Figur 5.3 visar att solljus är den största energitillförseln. Förklaring finns under respektive tabell och diagram.

Tabell 5.7. Tabell över energitillförsel och förluster för olika poster för zon *Plan 0 Växthus Norr*. Resultaten är avrundade till heltal.

År	Energi-transport via mark och växthusväggar [kWh]	Energi-transport till och från kärnhuset [kWh]	Energi-transport via fönster och dörrar [kWh]	Energi-transport via infiltration och öppningar [kWh]	Personvärme [kWh]
Total	-4212	1850	9088	-8140	1408



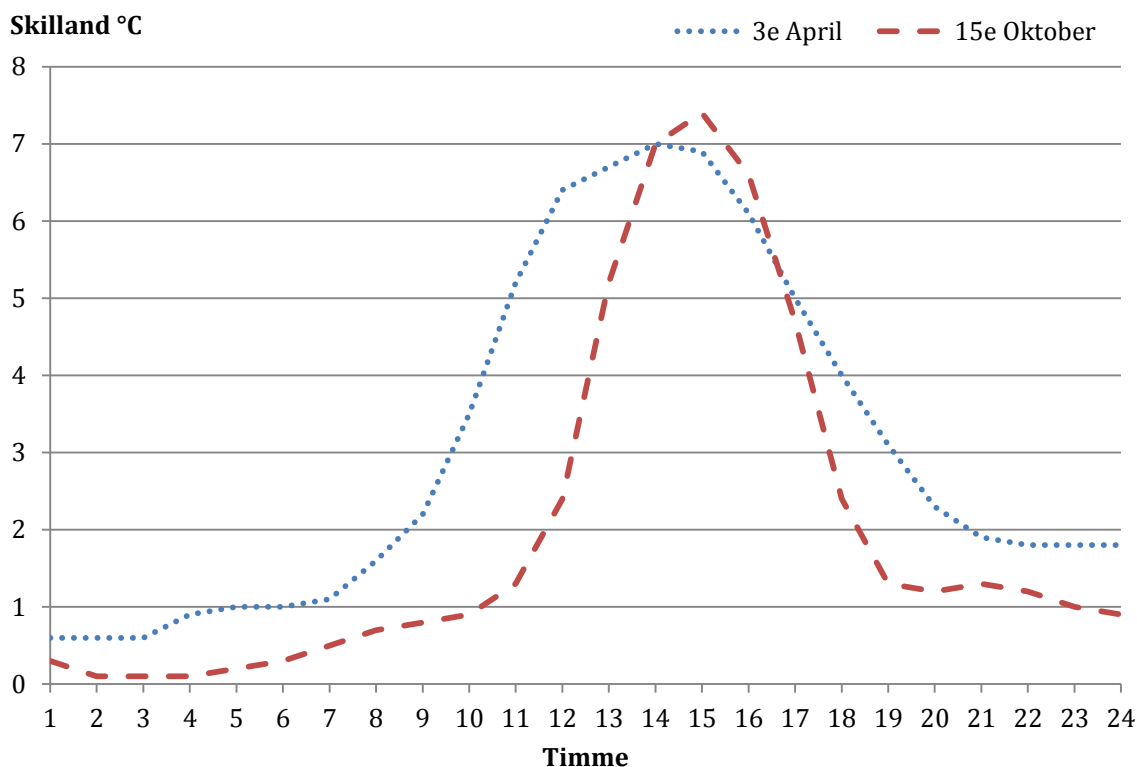
Figur 5.3. Diagram över energitillförsel och förluster för olika poster för zon *Plan 0 Växthus Norr*. Y-axlen har enhet kWh och x-axlen är årets månader.

Posterna i Tabell 5.7 är givna resultat från IDA ICE, det vill säga ingen egen uträkning. *Energitransport via mark och växthusväggar* är energitransport via marken och genom växthusväggarna. Det ska anmärkas att denna post är energitransporten genom växthusets stålkonstruktion och inte genom fönsterna. Posten *Energitransport till och från kärnhuset* är energitransporten genom kärnhusets ytterväggar och avgiven samt tillförd energi från termiska massor. *Energitransport via fönster och dörrar* är energitransport via strålning men även energitransport genom växthusets fönster. Denna post innefattar energitransport via fönster och dörrar både i växthuset och kärnhuset. Posten

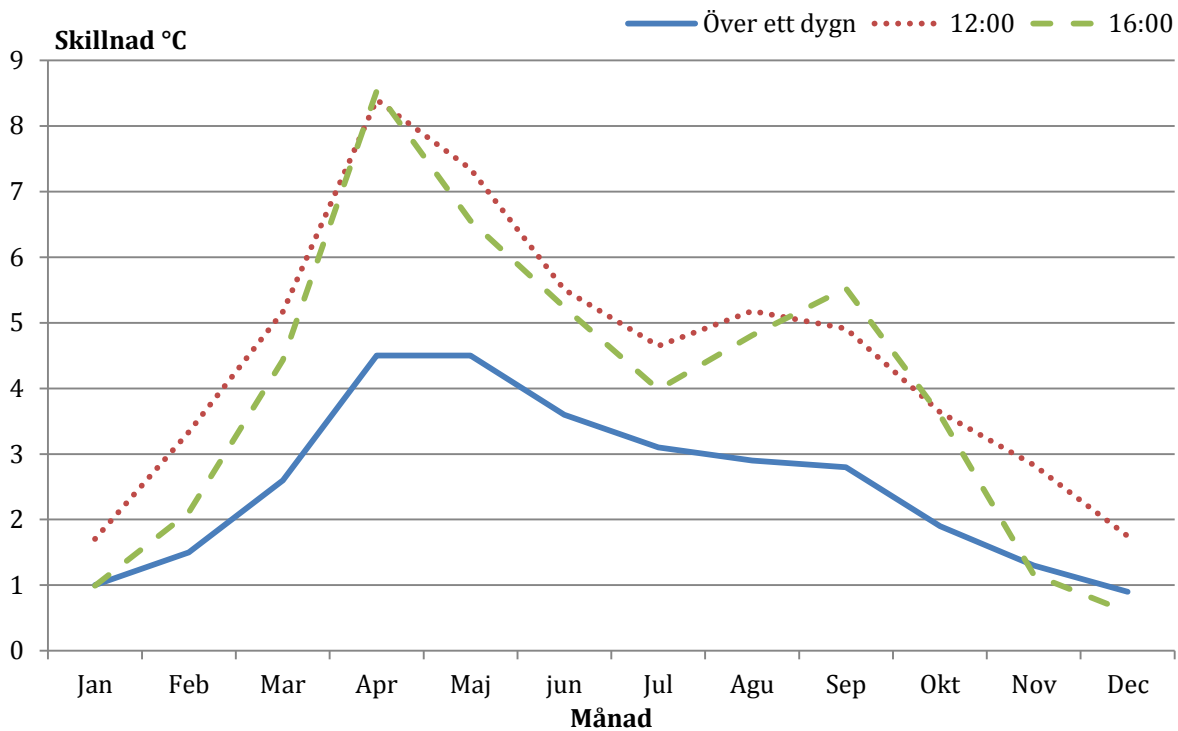
*Energitransport via infiltration och öppningar* är energitransporten från infiltration genom växthusväggen och energitransporterna genom öppnade fönster. Det ska även tilläggas att det representerar energitransporterna via luftflöden mellan växthuszonerna. *Personvärme* är tillförd gratisenergi från boende i huset. Alla poster visar summan av sin egen del, det vill säga om en post både har en energitillförsel och en energiförlust visas endast summan av de båda.

Temperaturen i Tabell 5.6 är uträknade medeltemperaturer över hela dygn, och då solljus är största energitillförseln till växthuszonerna är det intressant att visa skillnaden under ett dygn. Två slumpmässigt utvalda dygn används för att visa temperaturskillnaden mellan en växthuszon och utomhus. För att minska mängden data visas två dygn i en zon. I Figur 5.4 ses skillnaderna för den 3 april respektive 15 oktober. Figuren visar att skillnaderna är som störst då solen är uppe.

För att visa hur den samlade medeltemperaturen i alla växthuszoner varierar över året under soltimmarna är medeltemperaturer framtagna för två tider, klockan 12:00 och 16:00. Detta är sammanslaget till en medelmånadstemperatur och jämförs med temperaturskillnaderna från Tabell 5.6 och visas i Figur 5.5.



Figur 5.4. Diagram över temperaturskillnaderna mellan zon Plan 0 Växthus Norr och utomhus den 3 april samt 15 oktober.



Figur 5.5. Skillnaderna mellan medeltemperaturen för växthuszonerna vid angiven tidpunkt och utomhustemperaturen vid samma tidpunkt och dess variation över året.

Utifrån data är det lätt att konstatera att solen har stor inverkan på temperaturen i växthuszonerna. Tyvärr kan vi inte säga exakt hur stor tillförsel av energi solljuset har då posterna i Tabell 5.7 och Figur 5.3 är summan av alla transporter. Detta betyder att tillförd solenergi inte redovisas utan endast summan av tillförd solenergi och förlorad energi ut genom fönsterna.

Värmetillförseln från den fiktiva värmekällan *Ideal Heater* värmer huset till 21 °C. Därefter stängs den av och alla extra energitillförsel som bidrar till den ökade värmen kommer från solinstrålning och gratisenergi från människor och elektrisk utrustning. Vid 25 °C öppnas automatiskt fönster och dörrar i kärnhuset och vädrar ur byggnaden. I Tabell 5.8 redovisas medeltemperaturerna för årets månader i zonerna *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus*.



Tabell 5.8. Medeltemperatur för årets månader och de två inomhuszonerna.

	<b>Plan 0 Inomhus Lufttemperatur</b>	<b>Plan 1 Inomhus Lufttemperatur</b>
Januari	21	21
Februari	21	21
Mars	21,2	21,6
April	22,4	23,3
Maj	24	25
Juni	24,4	25,3
Juli	24,8	25,3
Augusti	24,7	25,2
September	22,6	24
Oktober	21,3	21,8
November	21	21
December	21	21

Värdena i Tabell 5.8 är medelvärden över dygnet och visar inga extremvärden. Tabell 5.9 visar max- och mintemperatur för *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus* samt antalet timmar temperaturen är över 25 °C respektive 27 °C.

Tabell 5.9. Maximal och minimal lufttemperatur samt antal timmar med en lufttemperatur över 25 °C respektive 27 °C.

<b>Zon</b>	<b>Maximal temperatur [°C]</b>	<b>Minimal temperatur [°C]</b>	<b>Antal timmar över 25 °C</b>	<b>Antal timmar över 27 °C</b>
Plan 0 Inomhus	30,6	21	1778	57
Plan 1 Inomhus	33,4	21	2831	106

Då fönster och dörrar öppnas vid 25 °C blir antalet timmar över 25 °C synonymt med antalet vädringstimmar i kärnhuset.

Om man ser till de tre varmaste månaderna: juni, juli och augusti, som troligen har flest antal vädringstimmar och undersöker hur temperaturen varierar under dygnet ser man liten skillnad mellan natt och dag. Tabell 5.10 redovisar medeltemperaturen i juni, juli och augusti, mellan klockan 21:00 och 08:00 samt mellan 08:00 och 21:00 för zonerna i kärnhuset, medeltemperaturen för växthuszonerna och utomhustemperaturen.

Tabell 5.10. Medellufttemperaturer i juni, juli och augusti för inomhuszonerna, växthuszonerna och utomhus under två tidsperioder. Samt procentuell skillnad. Resultaten är avrundade till en decimal.

	<b>Plan 0 Inomhus</b>	<b>Plan 1 Inomhus</b>	<b>Medel växthus</b>	<b>Utomhus</b>
21:00 till 08:00	24,4	24,9	15,7	13,9
08:00 till 21:00	24,8	25,6	21,9	17,5
Skillnad %	1,9 %	2,9 %	39,5 %	25,6 %

I Tabell 5.10 märks en skillnad i medeltemperaturen för växthuszonerna mellan de två olika tidsperioderna. Däremot skiljer sig temperaturen inomhus relativt lite mellan natt och dag. För att förklara denna relativt lilla skillnad studeras antalet vädringstimmar mellan natt och dag. Tabell 5.11 redovisar antalet vädringstimmar för *Plan 0 inomhus* och *Plan 1 inomhus*, kl. 21:00 - 08:00 och 08:00 - 21:00 under juni, juli och augusti.

Tabell 5.11. Antal vädringstimmar för juni, juli och augusti för zonerna *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus*.

<b>Intervall</b>	<b>Plan 0 Inomhus [h]</b>	<b>Plan 1 Inomhus [h]</b>
21:00 till 08:00	72	91
08:00 till 21:00	559	801

En klar skillnad på antalet vädringstimmar kan observeras mellan natt och dag. Energiflödet ut från kärnhuset sker via klimatskalet, ventilationen, infiltration samt vädring. Då antalet vädringstimmar är så pass mycket lägre under nattperioden konstateras det att det är upphovet till den lilla temperaturskillnaden och att de övriga posterna som transporterar ut energi ej klarar av att sänka temperaturen till önskat 21 °C.

För att få ett mått på risken för ett övertempererat kärnhus har vi tidigare refererat till Socialstyrelsens råd att temperaturen inte bör överstiga 26 °C sommartid. Det är dock inte preciserat under vilken period sommartid gäller eller hur länge inomhustemperaturen får vara över 26 °C. Därför har istället kraven i FEBY 12 valts att användas som måttstock. FEBY 12 är en rapport med en serie krav som ska uppfyllas för att få definiera sitt hus som nollenergihus, passivhus eller minienergihus (Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2012). Under kapitlet om inomhusmiljökrav ges rådet att under perioden april till september bör inte inomhustemperaturen överstiga 26 °C mer än 10 % av tiden i den mest utsatta delen av byggnaden. Tabell 5.12 redovisar antalet timmar över 26 °C.

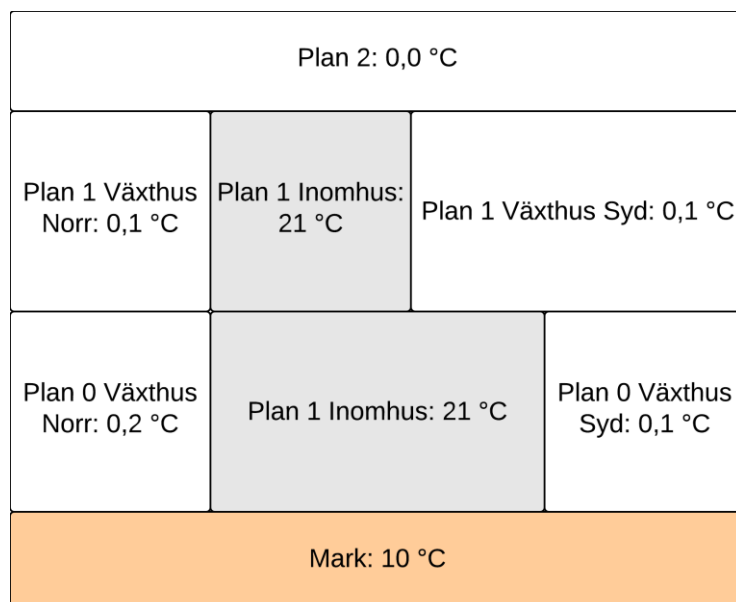
Tabell 5.12. Antalet timmar med en lufttemperatur över 26 °C för zonerna Plan 0 Inomhus och Plan 1 Inomhus.

Antal timmar över 26 °C apr - sep	
Plan 0 Inomhus	107
Plan 1 Inomhus	493

Plan 1 Inomhus får anses som den mest utsatta byggnadsdelen och antalet timmar över 26 °C är 11,2 % av totala tiden och klarar inte kraven. Läsaren bör ha i åtanke att detta inte är ett nollenergi-, passiv- eller minienergihus utan FEBYs standard är endast ett referensmått.

### 5.3 Statisk handräkning

I Figur 5.6 presenteras resultatet av växthus och kärnhustemperaturerna från den statiska simuleringen med en fixerad utomhustemperatur på 0 °C.



Figur 5.6. Resultat av statiska simuleringen i IDA ICE med utetemperatur på 0 °C.

Se Tabell 5.13 för att följa nedan angivna bokstäver.

A: De angränsande zonerna, *Plan 0 Växthus Norr* och *Plan 0 Växthus Syd*, har olika temperaturer (0,2 °C och 0,1 °C). Då *Plan 0 Växthus Norr* täcker en större area än *Plan 0 Växthus Syd* har 0,2 °C valt att användas som temperatur vid en sammanslagen värmetransportberäkning av väggen.

B: Arean mellan *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Växthus Syd* gick inte att få ett exakt värde på, utan är ett uppmätt ungefärligt värde.

C: Fönster och dörrarna består av två delar, karm och glas. Karmens procentuella storlek är 10 % och värmemotståndet för karm är 2,4 W/k, m<sup>2</sup> och för glas 0,84 W/k, m<sup>2</sup>. Följande vägt U-värde har räknats fram: 0,9 · U-fönster + 0,1 · U-karm.

Tabell 5.13. Värmetransport för olika byggdelar vid statistiskt förhållande.

Byggnadsdel	Värmemotstånd (U) [W/k,m <sup>2</sup> ]	Area (A) [m <sup>2</sup> ]	Kärnhustemp. (T <sub>1</sub> ) [°C]	Växthustemp. (T <sub>2</sub> ) [°C]	Värmetransport (Q) [W]
<b>Plan 0 Inomhus</b>					
Väggar	0,211	98	21	0,2 <sup>A</sup>	429
Tak	0,107	34 <sup>B</sup>	21	0,1	77
Fönster	0,996 <sup>C</sup>	24	21	0,2 <sup>A</sup>	493
Golv	0,106	111	21	10	130
Summa [W]					1130
<b>Plan 1 Inomhus</b>					
Väggar	0,211	89	21	0,1	393
Tak	0,107	75	21	0	169
Fönster	0,996	18	21	0,1	381
Summa [W]					943

Enligt resultaten i Tabell 5.14 är energiförlusterna från handräkningen och den statistiska simuleringen i IDA ICE relativt lika. Detta verifierar att vissa delar av energiberäkningen i IDA ICE stämmer. Varför det är en liten procentuell skillnad mellan *Plan 0 Inomhus* och *Plan 1 Inomhus* är svårt att säga och inga direkta orsak kan konstateras.

Tabell 5.14. Resultat av energiberäkning från statistisk handräkning och statistisk simulering i IDA ICE.

	Handräkning [W]	IDA ICE [W]	Skillnad %
Plan 0 Inomhus	1129	1132	0,3 %
Plan 1 Inomhus	943	978	3,5 %

## 5.4 Parameterstudie

Nedan följer resultaten av parameterstudien utförd i IDA ICE med parametrarna Kärnhus utan växthus, Vädringsmöster, Annan ort, Solavskärmning och Fasadfärg.

### 5.4.1 Kärnhus utan växthus

#### 5.4.1.1 Energi

Då varmvatten, ventilationsflöde samt energi från elektrisk utrustning och människor är fasta värden är det endast värmebehovet som varierar. När växthuset tas bort ökar uppvärmningsbehovet med 49,1 % för ett års

simulering. Om vi för tillfället utgår från kärnhuset utan växthus som referens kan det uttryckas att med ett växthus sänks uppvärmningsbehovet med 32,9 %.

För att räkna ut effekten av frånluftsvärmepumpen används samma metod som när frånluftsvärmepumpen för referensmodellen räknades ut. Resultatet tillsammans med jämförelse presenteras i Tabell 5.15.

Tabell 5.15. Beräkningar av frånluftsvärmepump för referensmodellen och modellen utan växthus.

[kWh/år]	Utan Växthus	Med Växthus
Värmebehov byggnad	14814	9936
Värmebehov tappvarmvatten	4600	4600
Totalt värmebehov	19414	14536
Värmepumpens energibehov	5583	5263
Kompletterande energibehov	4404	396
Totalt energibehov	9987	5659
Fastighetsenergi	0	0
Köpt energi	9987	5659
Värmepumpens täckningsgrad	77,3%	97,3%
Energibesparing med värmepump	9427	8877

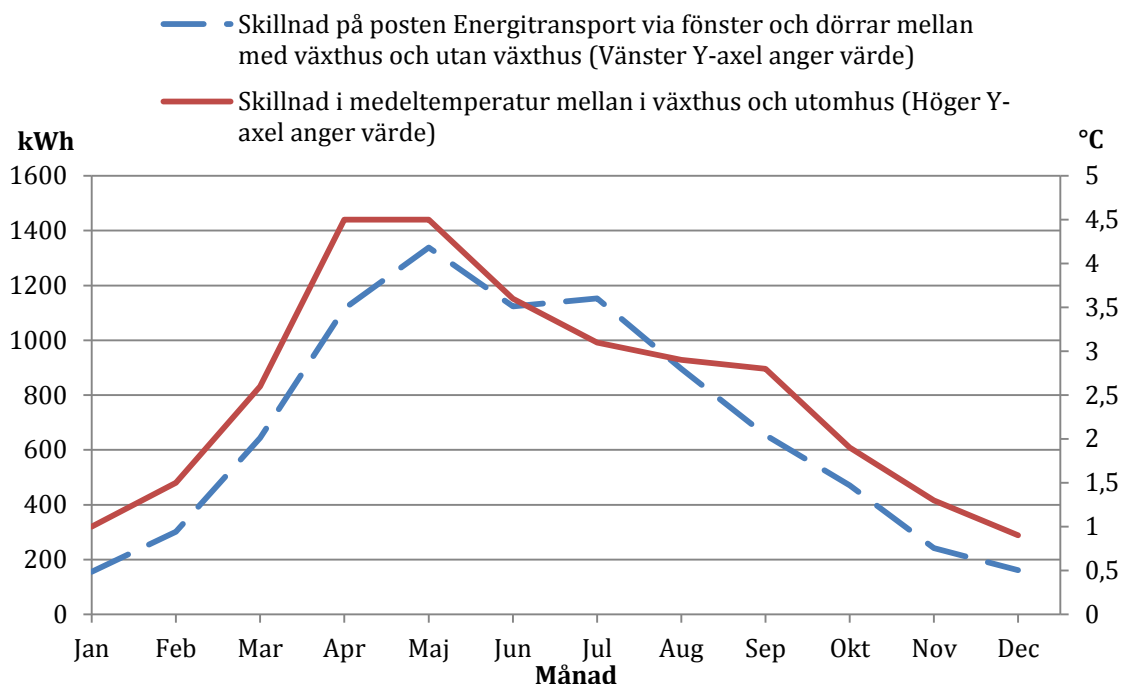
Köpt energi på 9987 kWh/år plus ett schablonvärde hämtat från Isover Energi på 1000 kWh/år summeras och resulterar i 10987 kWh/år, som motsvarar en specifik energianvändning på 59 kWh/m<sup>2</sup>, år. Detta jämförs med referensmodellen 35,8 kWh/m<sup>2</sup> (se Kapitel 5.2.1), år och innebär en minskad specifik energianvändning på 39,3 % om växthus används.

I Tabell 5.16 visas värden för energiförluster och energitillförsel.

Tabell 5.16. Jämförelse mellan med och utan växthus för olika energiposter. Resultaten är avrundade till tiotal med undantag för resultat mindre än 10 som är avrundade till heltal.

Månad	Energitransport via väggar, golv och tak [kWh]		Energitransport via fönster och dörrar [kWh]		Energitransport via infiltration och öppningar [kWh]		Uppvärmningsbehov [kWh]	
	Med Växt-hus	Utan Växt-hus	Med Växt-hus	Utan Växt-hus	Med Växt-hus	Utan Växt-hus	Med Växt-hus	Utan Växt-hus
Jan	-940	-1070	-630	-780	-1400	-1430	2350	2660
Feb	-740	-880	-300	-600	-1130	-1140	1600	2060
Mar	-750	-920	80	-570	-1200	-1200	1260	2060
Apr	-610	-720	810	-300	-1140	-940	370	1350
Maj	-330	-430	1330	-10	-1570	-590	20	420
Jun	-270	-350	1180	60	-1450	-490	0	200
Jul	-220	-300	1240	90	-1580	-400	0	30
Aug	-230	-240	900	5	-1220	-390	0	40
Sep	-320	-380	480	-180	-770	-550	50	500
Okt	-500	-600	70	-400	-830	-830	650	1200
Nov	-690	-800	-350	-590	-1070	-1090	1500	1870
Dec	-870	-1000	-570	-730	-1320	-1332	2140	2430
Tot	-6471	-7675	4244	-4012	-14689	-10377	9936	14814

Studerar energiposterna en och en kan följande konstateras relativt lätt. Referensmodellen med växthus har en lägre energiförlust i posten *Energitransport via väggar, golv och tak*. Detta bör bero på den högre medeltemperaturen i växthuset jämfört med utomhus, som redovisas i Kapitel 5.4.1.2. Som tidigare nämnt går det inte att skilja på strålning och värmeledning genom fönstret i posten *Energitransport via fönster och dörrar*. Vi antar att den stora skillnaden inte beror på skillnad i mängden insläppt strålning utan att modellen utan växthus har högre värmeledningsförluster då den arbetar mot en lägre temperatur än modellen med växthus. I Figur 5.7 jämförs skillnaderna i kWh för denna post mellan modell med växthus och modell utan växthus, samt skillnad mellan medeltemperatur i växthuset och utomhus.



Figur 5.7. Jämförelse mellan skillnad för posten *Energitransport via fönster och dörrar* mellan modellen med växthus och utan växthus samt skillnaden mellan medeltemperaturen och utomhustemperaturen.

Figur 5.7 visar att kurvorna för de båda skillnaderna följer varandra, vilket bekräftar att ovanstående antagande är rimligt.

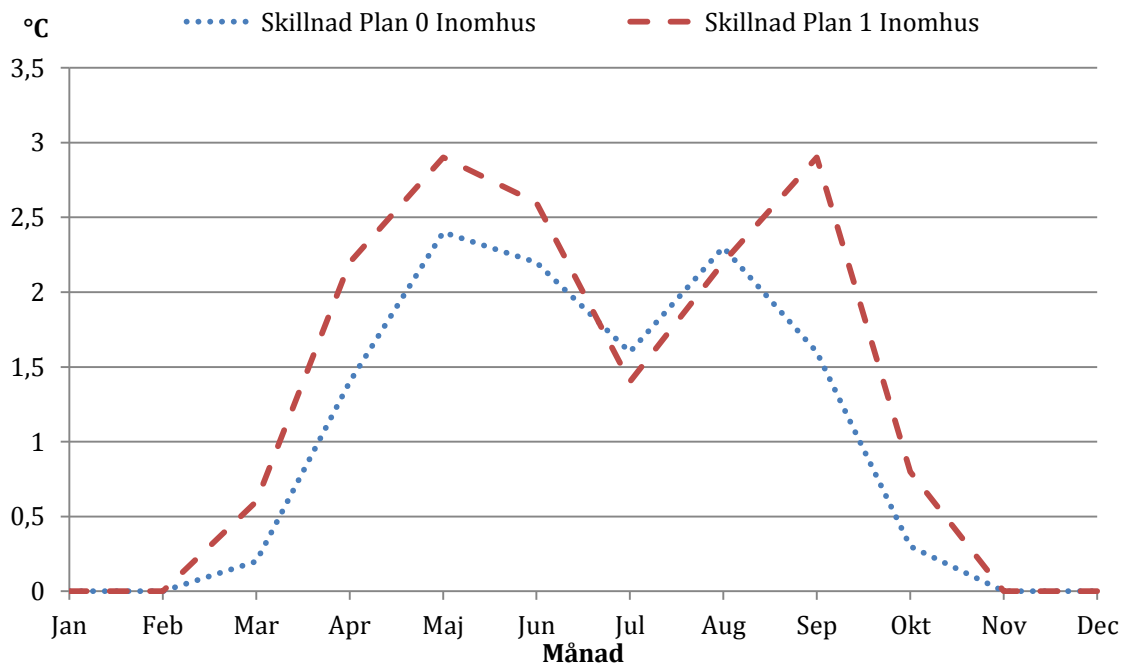
Den högre energiförlusten i posten *Energitransport via fönster och dörrar* tros bero på fler antal vädringstimmar. Detta kommer att studeras närmare i Kapitel 5.4.1.2. Det lägre värmebehovet för modellen med växthus antas vara likt *Energitransport via väggar golv och tak* och *Energitransport via fönster och dörrar* att modellen arbetar mot en större temperaturskillnad.

#### 5.4.1.2 Klimat

I Tabell 5.17 visas medeltemperaturerna för våningsplanen hos de två olika modellerna. Skillnaderna mellan modellerna redovisas i Figur 5.8.

Tabell 5.17. Medeltemperatur under året och våningsplan för modell med växthus och utan växthus.

Månad	Med Växthus		Utan Växthus	
	Plan 0 Inomhus Lufttemperatur [°C]	Plan 1 Inomhus Lufttemperatur [°C]	Plan 0 Inomhus Lufttemperatur [°C]	Plan 1 Inomhus Lufttemperatur [°C]
Januari	21	21	21	21
Februari	21	21	21	21
Mars	21,2	21,6	21	21
April	22,4	23,3	21	21,1
Maj	24	25	21,6	22,1
Juni	24,4	25,3	22,2	22,7
Juli	24,8	25,3	23,2	23,9
Augusti	24,7	25,2	22,4	23
September	22,6	24	21	21,1
Oktober	21,3	21,8	21	21
November	21	21	21	21
December	21	21	21	21



Figur 5.8. Diagram över skillnaderna i medeltemperatur över året för våningsplanen i kärnhuset mellan modellen med växthus och modellen utan växthus.

I Tabell 5.17 och Figur 5.8 visas att modellen med växthus generellt håller en högre medeltemperatur än modellen utan växthus. Tabell 5.19 presenterar högsta och lägsta uppmätta temperatur, antalet vädringstimmar samt antalet timmar över 26 °C respektive 27 °C .



Tabell 5.19. Jämförelse mellan modell med växthus och utan växthus för max- och min temperatur, antal timmar över 25 °C, 26 °C och 27 °C i kärnhuset.

Modell	Zon	Maximal temperatur [°C]	Minimal temperatur [°C]	Antal timmar över 25 °C	Antal timmar över 26 °C Apr-Sep	Antal timmar över 27 °C
Med Växthus	Plan 0 Inomhus	30,6	21	1778	107	57
	Plan 1 Inomhus	33,4	21	2831	493	106
Utan Växthus	Plan 0 Inomhus	26,7	21	109	10	0
	Plan 1 Inomhus	26,9	21	498	22	0

I Tabell 5.19 märks en skillnad mellan modellen med växthus och utan växthus. Modellen utan växthus klara sig under FEBYs gräns för maximalt antal timmar över 26 °C och har ett värde på 0,23 % av totala tiden. Det märks även en markant skillnad mellan antalet timmar över 25 °C, som är synonymt med antalet vädringstimmar. Totalt vädras *Plan 1 Inomhus* i modellen med växthus 5,7 gånger fler timmar än modellen utan växthus och 16,3 gånger mer för *Plan 0 Inomhus*. Det är även en tydlig skillnad på maximal temperatur.

#### 5.4.2 Vädringsmönster

Tyvär kunde ej IDA ICE utföra helårssimuleringar för vissa parameterändringar. Detta gäller modellerna ej vädring i kärnhus och ingen vädring. Efter cirka halva simuleringen gav IDA ICE felmedelandet ”*simulation failed due to numerical problem*”. Detta problem lyckades inte undanröjas. Vi valde att exkludera de parametrarna där simuleringen fallerade.

##### 5.4.2.1 Energi

I Tabell 5.20 redovisas inga stora skillnader för de olika energiposterna. Av detta konstateras det att vädringen har liten påverkan på byggnadens energi. Anmärkningsvärt är dock att posten *Energitransport via infiltration och öppningar* inte varierar särskilt mycket trots varierande vädringstemperatur och vädringsgrad.

Tabell 5.20. Tillförd och förlorad energi för olika poster och modeller under ett års simulering. Skillnadsprocent är avrundade till en decimal med undantag på skillnader under 0,1%.

Modell	Energitransport via väggar, golv och tak [kWh]	Energitransport via fönster och dörrar [kWh]	Energitransport via infiltration och öppningar [kWh]	Uppvärmningsbehov [kWh]
Referensmodell	-6471	4244	-14689	9936
Ej vädring i växthus	-6439	4297	-14687	9922
25 % öppningsgrad	-6483	4225	-14640	9932
100 % öppningsgrad	-6473	4260	-14708	9937
Ökat temperaturreglerat värde	-6578	4165	-14419	9916
Minskat temperaturreglerat värde	-6406	4303	-14938	9990
<b>Skillnad mot referensmodellen</b>				
Ej vädring i växthus	0,5%	1,2%	0,01%	-0,1%
25 % öppningsgrad	-0,2%	-0,5%	0,3%	-0,04%
100 % öppningsgrad	-0,02%	0,4%	-0,1%	0,01%
Ökat temperaturreglerat värde	-1,7%	-1,9%	1,8%	-0,2%
Minskat temperaturreglerat värde	1%	1,4%	-1,7%	0,6%

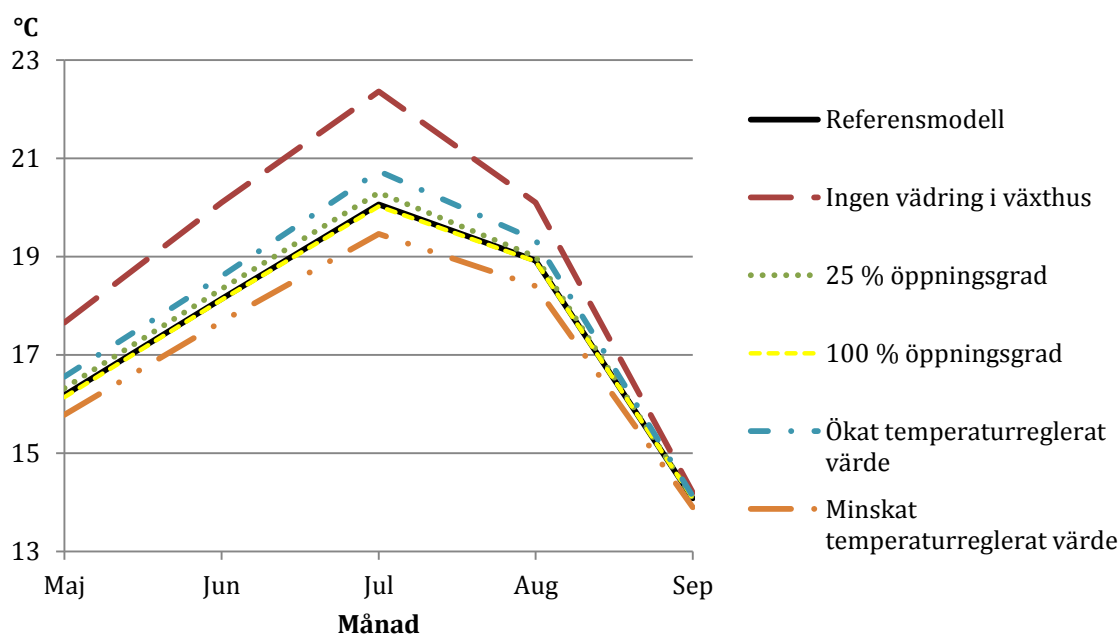
#### 5.4.2.2 Klimat

Oavsett vädringsform påverkas inte medeltemperaturen i växthuset under perioden oktober till april och under november till februari för kärnhuset. Medeltemperatur för övriga delar av året varierar relativt mycket och redovisas i Figur 5.9 och Figur 5.10. Då modellen ej vädring i växthus har samma medeltemperatur under oktober till april som alla andra modeller konstateras det att ingen vädring sker i växthuset som påverkar medeltemperaturen under denna period.

Då medeltemperaturen i kärnhuset är samma för alla modeller under perioden november till februari konstateras det att ingen form av vädring behövs under perioden samt att vädringsformen i växthuset inte har någon inverkan på kärnhuset.

Under övriga delar av året, det vill säga mars till oktober, konstateras det att av modellen ej vädring i växthus att kärnhuset är i stort behov av någon form av vädring. Medeltemperaturen i kärnhuset är under både juni och juli över FEBYs standard på 26 °C och under hela perioden april till september är

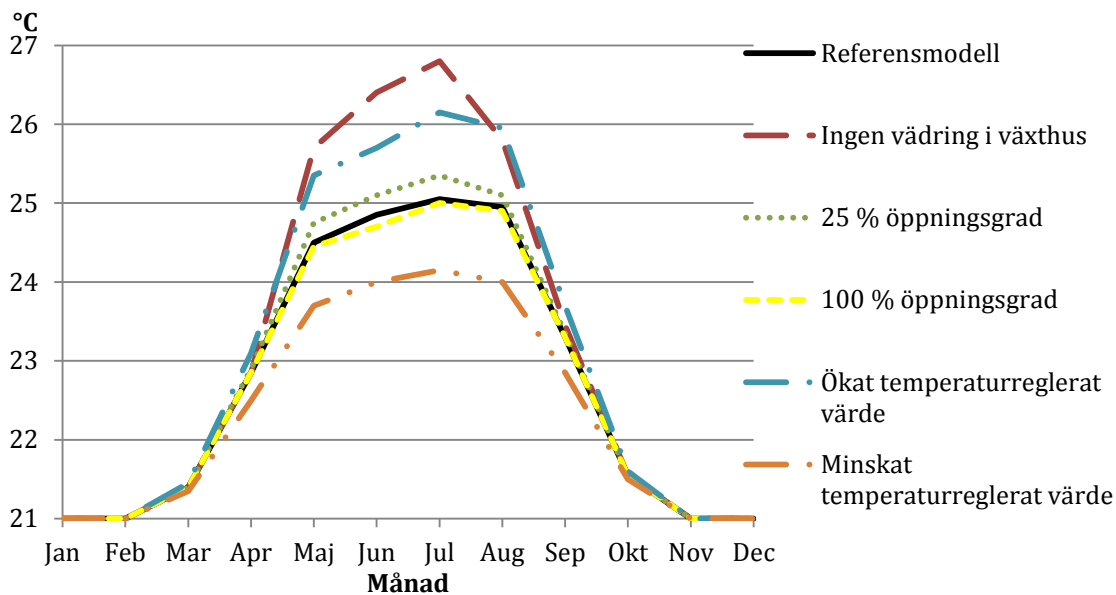
antalet timmar för värsta utsatta byggnadsdelen (zon *Plan 1 Inomhus*) 21 % av totala tiden. Av Tabell 5.21 framgår det att max temperaturen i växthuset är 8,4-11,5 °C högre än referensmodellen. Antalet timmar över 25 °C, 26 °C och 27 °C i kärnhuset är i genomsnitt 400 % högre än referensmodellen vilket redovisas i Tabell 5.22.



Figur 5.9. Medeltemperatur i växthuset för olika vädringsmodeller. Anm okt-april ej redovisat då alla modeller har samma medeltemperatur. Jan: -2,52 °C, feb: 0,7 °C, mar: 2,86 °C, apr: 8,94 °C, okt: 8,62 °C, nov: 2,86 °C, dec: -0,98 °C.

Tabell 5.21. Högsta beräknade temperatur i växthuszonerna för olika vädringsmodeller.

Modell	Plan 0	Plan 0	Plan 1	Plan 1	Plan 2
	Norr [°C]	Syd [°C]	Norr [°C]	Syd [°C]	[°C]
Referensmodell	31	31,3	32	32,4	32,1
Ej vädring i växthus	39,4	39,9	41	40,9	43,6
25 % öppningsgrad	31	31,3	32	32,4	33,5
100 % öppningsgrad	31,1	31,3	32	32,3	32
Ökat temperaturreglerat värde	31,8	32,1	33,2	33,3	33,5
Minskat temperaturreglerat värde	29,5	30	30	30,8	30,9

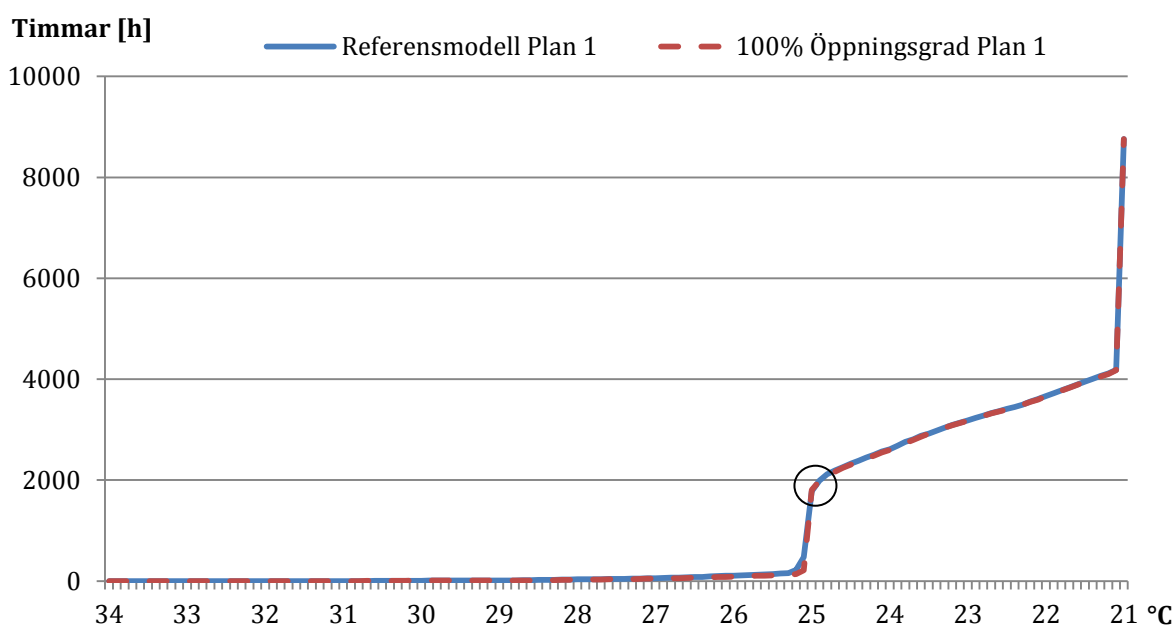


Figur 5.10. Medeltemperatur i kärnhuset för olika vädringsmodeller.

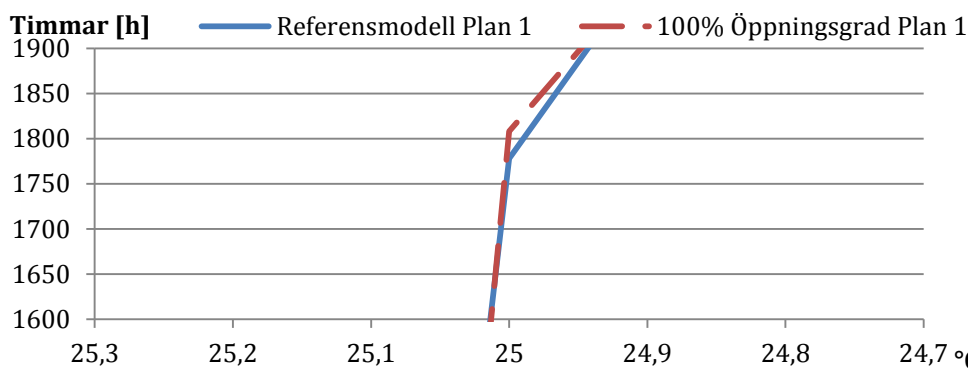
Tabell 5.22. Resultat för kärnhuset. Max temperatur, antal timmar på ett år över 25 °C och 27 °C, antal timmar över 26 °C under perioden apr-sep, skillnad mellan de olika vädringsmodellerna och referensmodellen samt FEBYs standard om övertemperatur. Anm. Skillnadsprocenten är avrundade till heltal exklusive skillnad under 10 %.

Modell	Referensmodell		Ej vädring i växthus		25 % öppningsgrad		100 % öppningsgrad		Ökat temperaturreglerat värde		Minskat temperaturreglerat värde	
	P 0	P 1	P 0	P 1	P 0	P 1	P 0	P 1	P 0	P 1	P 0	P 1
Maximal temperatur °C	30,6	33,4	36,6	41,8	30,5	33,8	30,8	33,1	31,2	34,5	29,5	31,3
Antal timmar över 25 °C	1778	2831	2134	2920	1885	2841	1808	2833	2354	3373	149	338
Antal timmar över 26 °C april-sep	107	493	787	943	207	904	85	126	1646	2535	95	148
Antal timmar över 27 °C	57	106	634	761	128	308	49	71	177	265	51	96
Andel av tiden Plan 1 har en temperatur över 26 °C	11,2%		21,5%		20,6%		2,9%		57,7%		3,4%	
<b>Procentuell skillnad mellan vädringsmodell och referensmodell</b>			<b>P 0</b>	<b>P 1</b>	<b>P 0</b>	<b>P 1</b>	<b>P 0</b>	<b>P 1</b>	<b>P 0</b>	<b>P 1</b>	<b>P 0</b>	<b>P 1</b>
Maximal temperatur °C			20 %	25 %	-0,3 %	1,2 %	0,7 %	-0,9 %	2, %	3,3 %	-3,6 %	-6,3 %
Antal timmar över 25 °C			20 %	3,1 %	6 %	0,4 %	1,7 %	0,1 %	32 %	19 %	-92 %	-88 %
Antal timmar över 26 °C			636 %	91 %	94 %	83 %	-21 %	-74,4 %	1438 %	414 %	-11 %	-70 %
Antal timmar över 27 °C			1012 %	618 %	125 %	191 %	-14 %	-33,0 %	211 %	150 %	-11 %	-9,4 %

I modellen 100 % öppningsgrad minskar generellt antalet timmar över 25 °C, 26° respektive 27 °C i kärnhuset. Dock så ökar antalet timmar för temperaturer över 25 °C, för *Plan 1 Inomhus* med 0,1 % och 1,7 % för *Plan 0 Inomhus*. Då 0,1 % bara motsvara 2 vädringstimmar och vi ser detta som en normal avvikelse. Det kan antas att det ska vara lägre antal vädringstimmar för modellen 100 % öppningsgrad, eller ungefär lika många, som referensmodellen. Detta eftersom parametern öppningsgrad inte påverkar förren just då vädringen sker och då vid samma temperatur (25 °C) som referensmodellen. Dock är 1,7 % avvikande värde för modellen som vid övriga temperaturer sänker antalet timmar. För att studera detta närmare skapades ett kumulativt diagram över alla registrerade temperaturer för *Plan 1 Inomhus*. I Figur 5.11 och 5.12 redovisas resultatet över tabellen.



Figur 5.11. Kumulativt diagram för antalet timmar över temperatur för *Plan 1 Inomhus* i referensmodell och modellen 100% öppningsgrad. Ring markerar inzoomat del som visas i Figur 5.12.



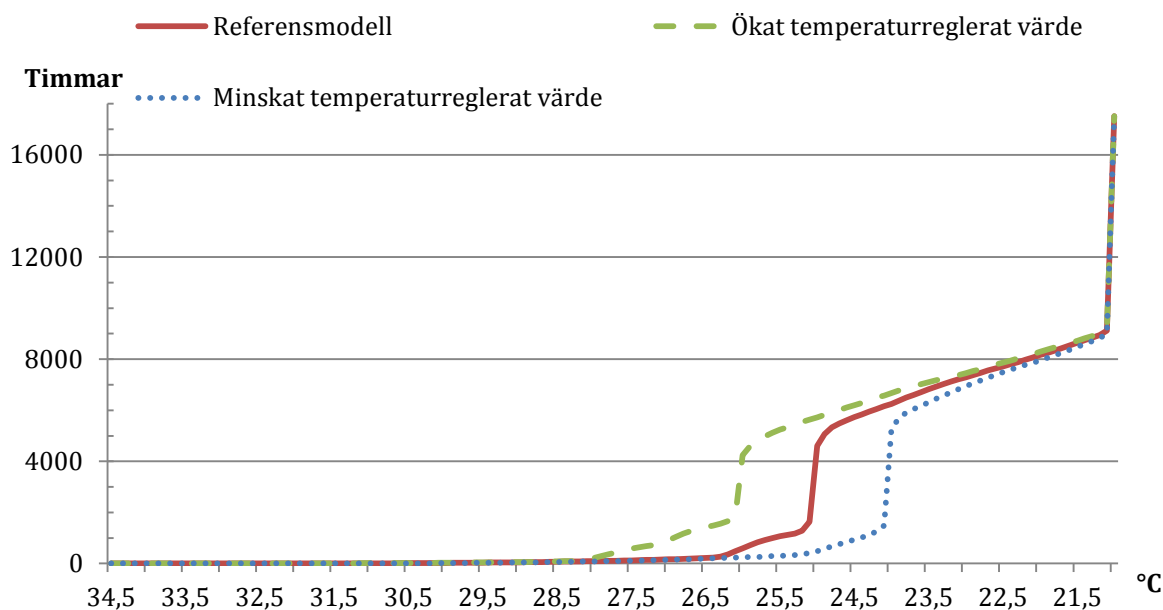
Figur 5.12. Kumulativt diagram för antalet timmar över temperatur för *Plan 1 Inomhus* i referensmodell och modellen 100% öppningsgrad.

Resultatet av Figur 5.11 och Figur 5.12 visar att i temperaturintervallet 21-29,3 °C var antalet timmar över en viss temperatur endast högre en gång för modellen 100 % öppningsgrad än referensmodellen. Detta skedde vid 25 °C, det vill säga den loggade temperaturen. Mellan 29,3 °C och maxtemperatur 30,6 °C var endast modellen 100 % öppningsgrad vid fyra tillfällen summan av timmarna högre än referensmodellen. Vi tolkar detta som ett fel i IDA ICE. Någoting sker med ekvationerna då vädringsfönstren öppnas och ett avvikande alternativt falskt resultat loggas.

I modellen 25 % öppningsgrad minskas totala vädringsarean med 61 %. Generellt minskar antalet timmar över 25 °C, 26° respektive 27 °C. Årsmedeltemperaturen i växthuset ökar med 0,05 °C (0,6 %) och i kärnhuset med 0,09 °C (0,39 %). Vid 100 % öppningsgrad ökar totala vädringsarean med 55,5 %. Som tidigare nämnt ökar antalet timmar över 26 °C och 27 °C. Årsmedeltemperaturen i växthuset minskar med 0,01 °C (0,11 %) och i kärnhuset minskar årsmedeltemperaturen med 0,02 °C (0,11 %).

Då skillnaderna i årsmedeltemperatur är små vill vi inte dra några slutsatser av det. Vi ser dock att under sommarmånaderna (jun, jul, aug) är skillnaderna mellan 25 % öppningsgrad och referensmodellen generellt större för både medeltemperaturen i växthuset och kärnhuset än skillnaderna mellan 100 % öppningsgrad och referensmodellen. Skillnaden i timmar över 25 °C, 26° respektive 27 °C mellan de två vädringsgraderna är generellt 4,8 gånger högre för modellen 25 % öppningsgrad. Detta trots att skillnaden i öppningsarea endast är 1,1 gånger större för modellen 25 % öppningsgrad. Vi konstaterar av detta att minskad vädringsgrad lättare ökar temperaturen än ökad vädringsgrad minskar temperaturen.

I modellerna Ökat temperaturreglerat värde och Minskat temperaturreglerat värde är skillnaderna i årsmedeltemperatur mellan dessa och referensmodellen nästan lika. För Ökat temperaturreglerat värde är skillnaden 0,17 °C i växthuset och - 0,18 °C för Minskat temperaturreglerat värde. För kärnhuset är skillnaden 0,38 °C för Ökat temperaturreglerat värde och - 0,37 °C för Minskat temperaturreglerat värde. Skillnaderna i medeltemperatur är som störst under sommarhalvåret men ändå väldigt lika. Antal timmar över 25 °C, 26° respektive 27 °C är svårt att jämföra med tanke på att det är vädringstemperaturen som regleras. I stället skapades ett kumulativt diagram för att jämföra de olika modellerna. Detta redovisas i Figur 5.13. I figuren summerades alla timmar över specifik temperatur för kärnhusets båda plan.



Figur 5.13. Kumulativt diagram över antal timmar över temperatur. I diagrammet visas summan av Plan 0 inomhus och Plan 1 inomhus för referensmodellen, Ökat temperaturreglerat värde och minskat temperaturreglerat värde.

Som Figur 5.13 visar har modellernas kurvor samma tendenser. En relativt stor ökning sker vid respektive vädringstemperatur (24 °C, 25 °C, 26 °C). Däremot minskar antalet timmar mellan vädringstemperatur och en tiondels grad efter ju högre vädringstemperaturen är. Av detta konstateras det att temperaturen varierar någorlunda proportionellt med vädringstemperaturen.

### 5.4.3 Annan ort

#### 5.4.3.1 Energi

Utifrån energisimuleringarna är beräknat uppvärmningsbehov 19016 kWh/år och beräknat på  $A_{Temp}$  av 186,1 m<sup>2</sup> ett uppvärmningsbehov på 102,2 kWh/m<sup>2</sup>, år. Uppvärmningsbehovet för modellen placerad i Kiruna är 91 % högre än modellen placerad i Stockholm. Tabell 5.23 visar att det ökade uppvärmningsbehovet är större för zon *Plan 1 Inomhus* än *Plan 0 Inomhus*. För de ökade energiförlusterna som presenteras i Tabell 5.24 konstateras det att för posterna *Energitransport via väggar, golv och tak* samt *Energitransport via fönster och dörrar* beror till största del på att medeltemperaturen i växthuszonerna sänkts med 84 % (Kapitel 5.4.3.2). Samma konstaterande görs för det ökade uppvärmningsbehovet. Växthuszonernas medeltemperatur redovisas under Kapitel 5.4.3.2. Energiförlusten under posten *Energitransport via fönster och dörrar* ökar trots att antalet vädringstimmar minskar med drygt 55 %. Inget annat konstaterande görs än att detta också beror på den sänkta medeltemperaturen. Det antas därför att skillnaden för energiförlusten ut genom infiltration blir större än skillnaden på de minskade energiförlusterna på grund av färre antalet vädringstimmar.

Tabell 5.23. Uppvärmningsbehovet för Plan 0 Inomhus och Plan 1 Inomhus i Stockholm och Kiruna samt skillnaderna mellan dessa. Resultaten är avrundade till heltal.

Post. Uppvärmningsbehov	Ort	Kiruna [kWh]	Stockholm [kWh]	Skillnad %
Total		19016	9936	91 %
Plan 0 Inomhus		14670	7907	85 %
Plan 1 Inomhus		4346	2028	114 %

Tabell 5.24. Energitillförsel och energiförluster för olika poster för modellen placerad i Stockholm och Kiruna. Samt procentuella skillnaden. Resultaten är avrundade till heltal.

Ort	Energitransport via väggar, golv och tak [kWh]	Energitransport via fönster och dörrar [kWh]	Energitransport via infiltration och öppningar [kWh]	Uppvärmnings- behov [kWh]
Stockholm	-6471	4244	-14689	9936
Kiruna	-9871	-158	-16144	19016
Skillnad %	-53%	-104%	-10%	-91%

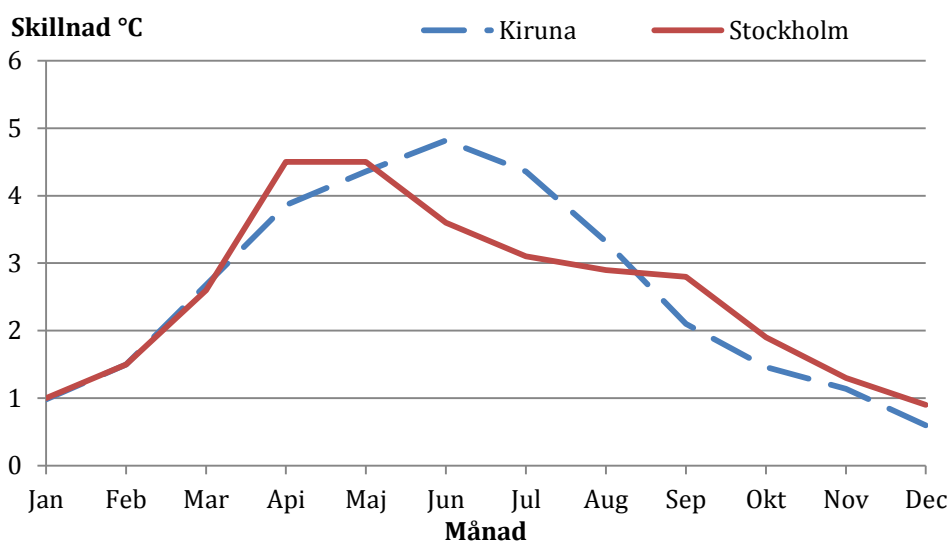
#### 5.4.3.2 Klimat

I Tabell 5.25 ser vi att medeltemperaturerna för växthuszonerna samt utomhus är relativt låga samt i Tabell 5.26 att högsta uppmätta temperatur är relativt mycket lägre i Kiruna. I Tabell 5.27 och Tabell 5.28 redovisas inga oroväckande övertemperaturer. Referensmodellen placerad i Kiruna klarar även med god marginal FEBYs standard om övertemperatur.



Tabell 5.25. Tabell över medeltemperaturen för växthuszonerna och utomhus samt skillnaderna mellan dessa för Kiruna samt referensmodellen placerad i Stockholm. Resultatet är avrundat till en decimal.

Månad	Utomhus [°C]		Medel växthus [°C]		Skillnad [°C]	
	Kiruna	Stockholm	Kiruna	Stockholm	Kiruna	Stockholm
Januari	-13,9	-3,5	-12,9	-2,5	1	1
Februari	-10,8	-0,8	-9,3	0,7	1,5	1,5
Mars	-7,8	0,3	-5,1	2,9	2,7	2,6
April	-2,4	4,4	1,5	8,9	3,9	4,5
Maj	4	11,7	8,4	16,2	4,4	4,5
Juni	9,6	14,5	14,4	18,1	4,8	3,6
Juli	12,3	17	16,7	20,1	4,4	3,1
Augusti	9,6	16	12,9	18,9	3,3	2,9
September	3,7	11,3	5,8	14,1	2,1	2,8
Oktober	0,4	6,7	1,86	8,6	1,46	1,9
November	-9,1	1,6	-7,96	2,9	1,14	1,3
December	-9,4	-1,9	-8,8	-1	0,6	0,9



Figur 5.14. Jämförelsedigram, skillnaden mellan temperaturen i växthuszonerna och utomhus för modellen i Stockholm och Kiruna.

Skillnaden mellan årsmedeltemperaturen i växthuset och utomhus skiljer sig endast 0,05 °C. Dock skiljer det sig åt mellan månaderna vilket Figur 5.14 och Tabell 5.25 visar. Under januari till mars är skillnaderna näst intill lika. Mellan april och maj har referensmodellen en högre skillnad och mellan juni till augusti har modellen i Kiruna en större skillnad. Årets sista månader är referensmodellens skillnad större. Vi kan konstatera av detta att visserligen ökar temperaturen i växthuset tillsammans med utomhustemperaturen men

högre temperatur utomhus betyder inte större temperaturskillnad. Vi kan inte säga vid vilken temperatur effekten av växthuset är som störst, det vill säga när skillnaden mot utomhustemperaturen är som störst men för modellen placerad i Stockholm är detta i april-maj och för Kiruna under maj-juli.

Tabell 5.26. Högsta uppmätta temperatur i växthusets zoner för referensmodellen placerad i Stockholm och Kiruna.

Modell	Plan 0 Norr [°C]	Plan 0 Syd [°C]	Plan 1 Norr [°C]	Plan 1 Syd [°C]	Plan 2 [°C]
Referensmodell	31	31,3	32	32,4	32,1
Kiruna	24,1	24,3	24,4	25,4	26,5

Tabell 5.27. Medeltemperaturerna för kärnhuszonerna för modellen placerad i Kiruna.

	Plan 0 Inomhus Lufttemperatur [°C]	Plan 1 Inomhus Lufttemperatur [°C]
Januari	21	21
Februari	21	21
Mars	21	21,1
April	21,3	22,1
Maj	21,9	23,3
Juni	23,6	24,8
Juli	24,3	25,1
August	22,4	24
September	21	21,5
Oktober	21	21,1
November	21	21
December	21	21

Tabell 5.28. Max- och mintemperaturer, antal timmar över 25 °C, 26 °C och 27 °C samt FEBY standard.

Zon	Maximal temperatur [°C]	Minimal temperatur [°C]	Antal timmar över 25 °C	Antal timmar över 26 °C under Apr- Sep	Antal timmar över 27 °C	Andel timmar över av tiden 26 °C under Apr-Sep
Plan 0 Inomhus	25,2	21	715	0	0	0%
Plan 1 Inomhus	26,4	21	1574	175	0	3,9%

I Tabell 5.29 jämförs referensmodellen och samma modell placerad i Kiruna. Vi ser markanta skillnader på vissa poster och obefintliga skillnader på andra. Då medeltemperaturen sänks med 84 %, se Tabell 2.29, sänks

inomhustemperaturen med dryga 3 %. Det ska anmärkas att inomhustemperaturen inte sjunker under 21 °C och därför inte helt varierar tillsammans med växthustemperaturen. Sänkningen av medelårstemperaturen inomhus orsakar en drygt 50 % sänkning av antalet vädringstimmar det vill säga antalet timmar över 25 °C.

Tabell 5.29. Årsmedeltemperatur, antal timmar över 25 °C, 26 °C respektive 27 °C samt Skillnad mellan årsmedeltemperatur i växthuszonerna och utomhus. För referensmodellen och modellen placerad i Kiruna. Skillnadsprocenten är avrundad till heltal med undantag från resultat under 10 % som är avrundade till en decimal.

	Zon	Stockholm	Kiruna	Skillnad %
Årsmedeltemperatur	växthus	9,04	1,4	-84 %
	Plan 0 Inomhus	22,45	21,7	-3,3 %
	Plan 1 Inomhus	22,96	22,25	-3 %
Antal timmar över 25 [°C]	Plan 0 Inomhus	1778	715	-60 %
	Plan 1 Inomhus	2831	1574	-44 %
Antal timmar över 26 [°C] under period Apr-Sep	Plan 0 Inomhus	107	0	-100 %
	Plan 1 Inomhus	493	176	-64 %
Antal timmar över 27 [°C]	Plan 0 Inomhus	57	0	-100 %
	Plan 1 Inomhus	106	0	-100 %
Skillnad mellan årsmedeltemperatur i växthuszonerna och utomhus		2,55	2,6	2 %

#### 5.4.4 Solavskärmning

##### 5.4.4.1 Energi

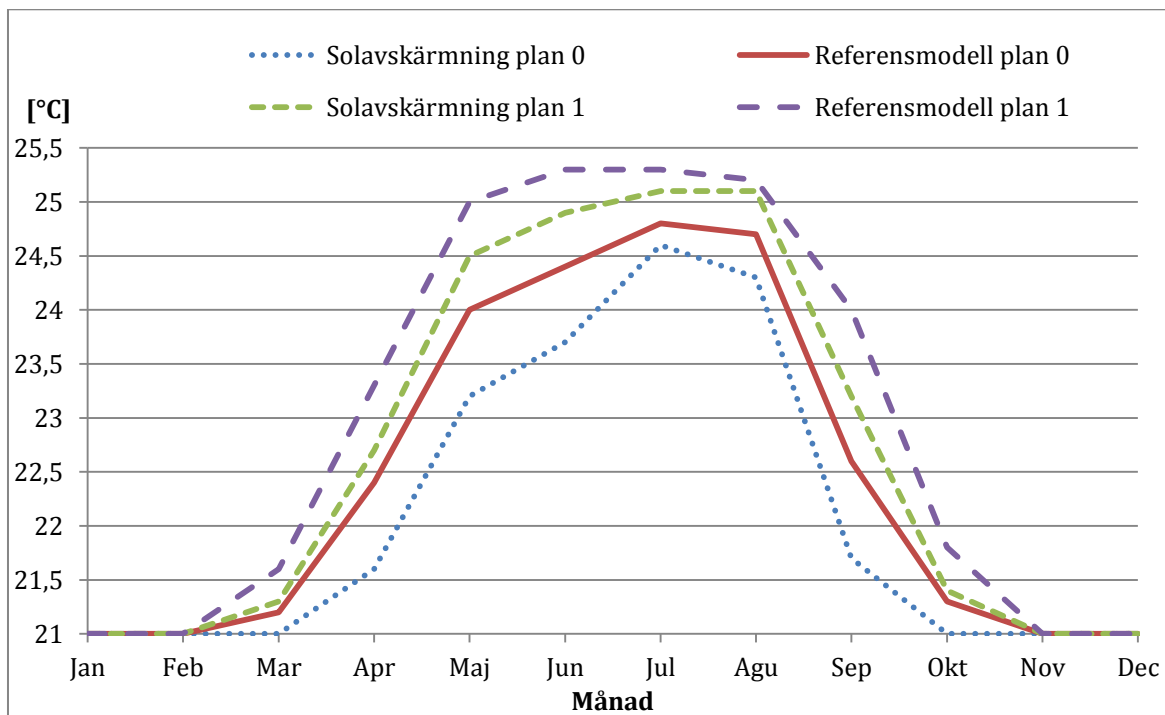
Modellens årliga uppvärmningsbehov är 11170 kWh. På 186,1 m<sup>2</sup> blir detta 60 kWh/m<sup>2</sup>. Det totala uppvärmningsbehovet för modellen med solavskärmning ökar med 12,4 %. Detta förklaras av att tillförseln av energi minskar under posten *Energitransport via fönster och dörrar* som redovisas i Tabell 5.30. Då skillnaden i medeltemperaturen i växthuszonerna är obefintlig och medeltemperaturen i kärnhuset (som redovisas under Kapitel 5.4.4.2) endast minskas relativt lite antas värmeförlusten genom fönster och dörrar vara samma för referensmodellen och modellen med solavskärmning. Förändringen under posten antas bero på att den tillförda strålningsenergin genom fönstret minskar. Under *Energitransport via infiltration och öppningar* minskas energiförlusterna vilket antas bero på färre antal vädringstimmar (redovisas i Kapitel 5.4.4.2). Skillnaderna mellan *Energitransport via väggar golv och tak* är relativt liten och antas bero på att medeltemperaturen i kärnhuszonerna är något lägre än referensmodellen.

Tabell 5.30. Energitillförsel och energiförluster för olika poster för modellen placerad i Stockholm och Kiruna. Samt procentuella skillnaden. Resultaten är avrundade till heltal och skillnadsprocent till en decimal.

Modell	Energi-transport via väggar, golv och tak [kWh]	Energi-transport via fönster och dörrar [kWh]	Energi-transport via infiltration och öppningar [kWh]	Uppvärmningsbehov [kWh]
Referensmodell	-6470	4244	-14689	9936
Solavskärmning	-6233	-43	-11942	11170
% Skillnad	3,7%	101 %	18,7%	12,4%

#### 5.4.4.2 Klimat

När solavskärmning används sänks årsmedeltemperaturen för kärnhuszonerna med drygt 0,4 °C och detta visas i Figur 5.15. Medelårstemperaturen för växthuszonerna ändras ej och kommer inte redovisas. Solavskärningen resulterar i att byggnaden håller sig inom ramen för FEBYs råd om övertemperatur. Den sänks med cirka 72 % eller 8 procentenheter enligt FEBYs standard. Med solavskärmning sänks antalet vädringstimmar med drygt 25 %, lika så antalet timmar med en temperatur över 27 °C.



Figur 5.15. Medeltemperatur för Plan 0 Inomhus och Plan 1 Inomhus för referensmodellen och modellen med solavskärmning samt hur de varierar över året.

Tabell 5.31. Max- och mintemperaturer, antal timmar över 25 °C, 26 °C och 27 °C samt FEBY standard.

Zon	Maximal temperatur [°C]	Minimal temperatur [°C]	Antal timmar över 25 [°C]	Antal timmar över 26 [°C] under Apr-Sep	Antal timmar över 27 [°C]	Andel [h] över 26 [°C] under Apr-Sep
Plan 0 Inomhus	30,3	21	1292	82	44	1,87%
Plan 1 Inomhus	32,2	21	2258	138	78	3,14%

Tabell 5.32. Jämförelse mellan referensmodellen och modellen med solavskärmning för maxtemperatur, antal timmar över 25 °C, 26 °C och 27 °C. Skillnadsprocent är avrundad till en decimal.

Post	Zon	Referensmodell	Solavskärmning	Skillnad %
Max temperatur	Plan 0	30,6	30,3	1 %
	Plan 1	33,4	32,2	3,6 %
Antal timmar över 25 [°C]	Plan 0	1778	1292	27,3 %
	Plan 1	2831	2258	20,2 %
Antal timmar över 26 [°C] under period Apr-Sep	Plan 0	107	82	24,1 %
	Plan 1	493	138	72 %
Antal timmar över 27 [°C]	Plan 0	57	44	22,8 %
	Plan 1	106	78	26,4 %

## 5.4.5 Fasadfärg

### 5.4.5.1 Energi

För att avgöra hur inomhuszonerna påverkas av ändrad fasadfärg granskas energivärdena för just dessa zoner. Vi kan i Tabell 5.33 tydligt se en minskning av energitillförseln för *Energitransport via fönster och dörrar* då en mörk fasadfärg (*dark*) används istället för en ljus fasadfärg (*light*). Detta bero på att den mörka ytan absorberar ljuset. En ljus yta reflekterar istället ljuset, vilket ökar möjligheten att det reflekteras in genom fönstren och ger ökad energitillförsel. Ljuset som absorberas av den mörka fasaden omvandlas till värme, vilket skulle kunna förklara den lilla minskningen av

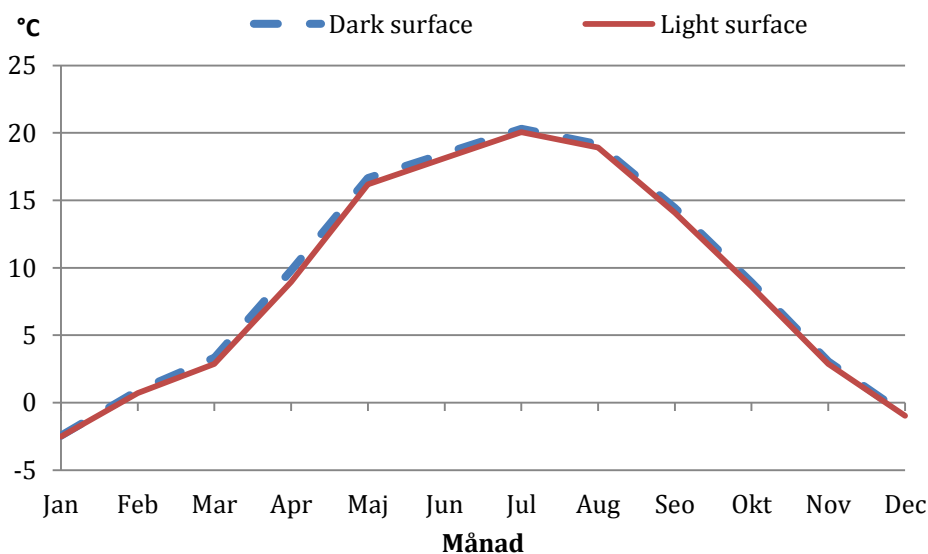
värmeförluster genom väggar, golv och tak. Är kärnhusets yttervägg aningen mer uppvärmd på utsidan än vid referensmodellen minskar värmeförlusten.

Tabell 5.33. Energitransport för zonerna Plan 0 Inomhus och Plan 1 Inomhus. Resultaten är avrundade till heltal och skillnadsprocenten till en decimal. Undantag är skillnadsprocent under 1 %.

Fasadfärg	Energi-transport via väggar, golv och tak [kWh]	Energi-transport via fönster och dörrar [kWh]	Energi-transport via infiltration och öppningar [kWh]	Uppvärmningsbehov [kWh]
Dark	-6054	3344	-14203	9934
Light	-6470,7	4244,3	-14689	9936
Skillnad %	-6,9 %	-26,9 %	-3,4 %	-0,02 %

#### 5.4.5.2 Klimat

Skillnaden i medeltemperaturerna för var månad i inomhuszonerna var i princip obefintlig, därför anses de vara obetydliga. Då ändringen av medeltemperaturen per månad studerades för växthuszonerna upptäcktes en liten ökning, främst i april, med den mörkare fasadfärgen, se Figur 5.16. Denna temperaturökning beror troligtvis på ovan nämnda fenomen.



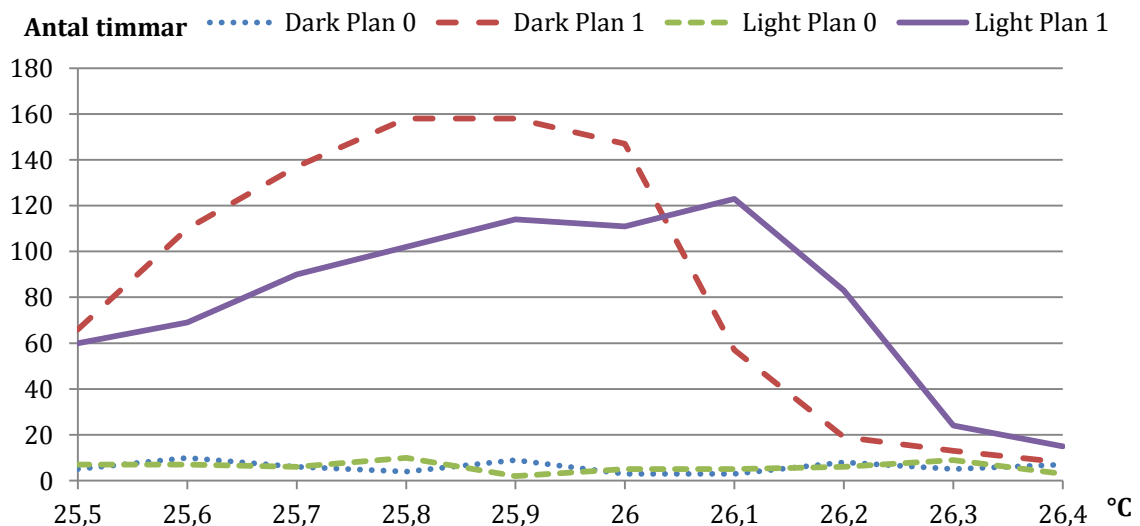
Figur 5.16. Medeltemperaturen för varje månad för alla växthuszonerna vid mörk respektive ljus fasadfärg.

Generellt ses en liten ökning av antal timmar över en viss temperatur då detta studeras för inomhuszonerna, se Tabell 5.34. De enda avvikelserna är antal timmar över 25 °C på plan 0 som sjunker med två timmar och antal timmar över 26 °C under april till september som sjunker med hela 100 timmar. Den stora minskningen medför att andelen timmar över 26 °C under april till september sjunker under de 10 % som är rekommenderade av FEBY.

Tabell 5.34. Jämförelse mellan referensmodellen och modellen med solavskärmning för maxtemperatur, antal timmar över 25 °C, 26 °C och 27 °C. FEBY standard är avrundad till en decimal.

Zon	Fasadfärg	Maximal temperatur [°C]	Minimal temperatur [°C]	Antal timmar över 25 °C	Antal timmar över 26 °C under apr-sep	Antal timmar över 27 °C	Andel [h] över 26 °C under apr-sep
Plan 0 Inomhus	Dark	24,8	21	1776	110	65	2,5 %
	Light	24,8	21	1778	107	57	2,4 %
Plan 1 Inomhus	Dark	25,3	21	2892	393	112	9 %
	Light	25,3	21	2831	493	106	11,2 %

Denna drastiska minskning av antal timmar över 26 °C saknar omedelbar förklaring. Därför studeras resultatet närmare för att klargöra vad som kunde vara orsaken till den stora skillnaden. Ett diagram skapades som summerade alla timmar med en viss temperatur under april till september. Noggrannheten för temperaturen är på tiondelar. Resultatet av denna studie var att antalet timmar för de två olika modellerna och planen följde varandra relativt noggrant. Det upptäcktes dock att för *Plan 1 Inomhus* runt 26 °C var kurvorna lätt förskjutna i x-led från varandra. Diagrammet runt 26 °C förstörades och resulterade i Figur 5.17.



Figur 5.17. Fraktionsdiagram. Antal timmar över temperatur i kärnhuszoner för referensmodellens och modellen med mörk fasadfärg.

Summeras timmarna +/- 0,5 °C från brytpunkten 26 °C visas att antalet timmar mellan perioden 25,5-25,9 °C är 45 % högre för modellen med mörk fasad och 31 % lägre under perioden 26,0-26,5 °C. Detta redovisas i

Tabell 5.35. Med detta resultat konstaterar vi att variationen i antalet timmar över 26 °C beror på små temperaturskillnader och metoden att jämföra modeller med antal timmar över 26 °C inte är ett bra sätt att jämföra just dessa två modeller då modellerna är relativt lika. Det är därför oklart om modellen egentligen klarar FEBYs standard om övertemperatur.

*Tabell 5.35. Total timmar i intervallet 25,5-25,9 °C och 26,0-26,4 °C för zon Plan 1 Inomhus i referensmodellen med ljus fasadfärg och modellen med mörk fasadfärg.*

<b>Temperatur intervall</b>	<b>Modell och plan</b>	<b>Antal timmar [h]</b>	<b>Mörk fasad skillnad från referensmodell</b>
25,5-25,9 °C	Dark Plan 1	629	45 %
	Light Plan 1	435	
26,0-26,4 °C	Dark Plan 1	244	-31 %
	Light Plan 1	356	

## 5.5 Känslighetsanalys

I detta kapitel summeras först resultaten av parameterstudien och därefter presenteras modellerna till känslighetsanalysen och deras resultat.

I Tabell 5.36, 5.37 och 5.38 summeras resultatet av parameterstudien och de ändringar som tidigare gjorts.



Tabell 5.36. Summering av parameterstudien. Varje modells uppvärmningsbehov och skillnad gentemot referensmodellen. Resultat är avrundat till heltal och skillnadsprocent är avrundad till en decimal med undantag för skillnader under 0,1% som är avrundade till två decimaler.

Parameter	Storlek på förändring	Uppvärmningsbehov [kWh]	Resultat [kWh]	Skillnad
Utan växthus	Att ta bort växthuset innebär bl.a. att sänka kärnhusets omkringliggande temperatur med 28% och exponera kärnhuset för vind	14814	4878	49,1%
Annan ort	Att flytta modellen till Kiruna innebär bl.a. en sänkning av årsmedeltemperaturen utomhus från 6,44 °C till -1,15 °C	19016	9080	91,4%
Ej vädring i växthus	Den totala vädringsarean minskade med 70,9 %	9922	-14	-0,1%
25 % öppningsgrad	Den totala vädringsarean minskade med 61 %	9932	-4	-0,04 %
100 % öppningsgrad	Den totala vädringsarean ökade med 55,5 %	9937	1	0,01 %
Ökat temperatur-reglerat värde	Vädringstemperaturen ökade med 1 °C i kärnhuset och 2 °C i växthuset	9916	-20	-0,2 %
Minskat temperatur-reglerat värde	Vädringstemperaturen minskades med 1 °C i kärnhuset och 2 °C i växthuset	9990	54	0,5 %
Solavskärmning	T- och G-värde för fönster och dörrar i kärnhuset minskades med 50%	11170	1234	12,4 %
Fasadfärg	Fasadfärgens värde för ShortwaveReflectans minskades med 50%	9932	-2	-0,02 %

Tabell 5.37. Summering av parameterstudien. Varje modells årsmedeltemperatur i kärnhuset och skillnad gentemot referensmodellen. Resultat och skillnadsprocent är avrundat till en decimal med undantag för resultat och skillnader under 0,1 som är avrundade till två decimaler.

Parameter	Medelårstemperatur, kärnhus [°C]	Resultat [°C]	Skillnad
Utan växthus	21,6	-1,2	-5,1 %
Annan ort	22	-0,8	-3,3 %
Ej vädring i växthus	23,2	0,5	2 %
25 % öppningsgrad	22,8	0,05	0,2 %
100 % öppningsgrad	22,7	-0,05	-0,2 %
Ökat temperatur reglerat värde	23,1	0,4	1,5 %
Minskat temperatur reglerat värde	22,4	-0,4	-1,5 %
Solavskärmning	22,4	-0,4	-1,5 %
Fasadfärg	22,8	0,05	0,2 %

Tabell 5.38. Summering av parameterstudien. Varje modells årsmedeltemperatur i växthuset och skillnad gentemot referensmodellen. Resultat och skillnadsprocent är avrundat till en decimal med undantag för resultat och skillnader under 0,1 som är avrundade till två decimaler.

Parameter	Medelårstemperatur, växthuset [°C]	Resultat [°C]	Skillnad
Annan ort	1,5	-7,6	-84 %
Ej vädring i växthus	9,6	0,5	6 %
25 % öppningsgrad	9	0	0 %
100 % öppningsgrad	9	-0,06	-0,7 %
Ökat temperatur reglerat värde	9,2	0,1	1,2 %
Minskat temperatur reglerat värde	8,8	-0,2	-2,5 %
Solavskärmning	9	-0,05	-0,6 %
Fasadfärg	9,3	0,3	3 %

För att värdera parametrarnas känslighet skapades sex modeller till känslighetsanalysen. Alla parametrar varierades med 10 %. I den första modellen ändrades parametern solavskärmning på samma sätt som i parameterstudien, dock denna gång endast med 10 %. I den andra modellen ökades öppningsarean på vädringsfönster och dörrar med 10 %. Detta fördelades proportionellt mellan kärnhus och växthus. I den tredje modellen minskades öppningsarean med 10 %. I den fjärde modellen sänktes vädringstemperaturen i kärnhuset med 10 %. I den femte modellen sänktes vädringstemperaturen i växthuset med 10 %. Ingen modell där vädringstemperaturen ökades skapades för att i parameterstudien konstaterade det att resultatet av ändrad vädringstemperatur var proportionerlig oavsett ökad eller sänkt grad. I känslighetsanalysen delas även vädringen upp i kärnhus och växthus som i parameterstudien varierades i samma modell. I den sjätte modellen ändrades byggnadernas fasadfärg och reflektansen på färgen sänktes med 10 %. Det gick inte att väga flytten av referensmodellen till annan ort i procent därför utelämnades den parametern i känslighetsanalysen. Samma sak gäller modellen där vädringen stängs av. Resultatet av analysen redovisas i Tabell 5.39, 5.40 och 5.41.

*Tabell 5.39. Resultat av känslighetsanalys med avseende på uppvärmningsbehov, varje parameters känslighet. Resultat och skillnadsprocent är avrundat till en decimal med undantag för resultat och skillnader under 0,1 som är avrundade till två decimaler.*

Parameter	Storlek på förändring	Uppvärmningsbehov [kWh]	$\Delta P_i$ [kWh]	Skillnad
Vädring, Växthus	Minskad vädringstemperatur med 10 %	9940	4	0,04%
Vädring, Kärnhus	Minskad vädringstemperatur med 10 %	10145	209	2,1%
Ökad öppningsarea	Ökad öppningsarea för vädringsfönster och dörrar med 10 %	9939	3	0,03%
Minskad öppningsarea	Minskad öppningsarea för vädringsfönster och dörrar med 10 %	9938	2	0,02%
Solavskärmning	Minskat G- och T värde med 10 %	10131	195	2 %
Fasadfärg	Minskat fasadfärgens reflektans med 10 %	9916	-20	-0,2 %

Tabell 5.40. Resultat av känslighetsanalys med avseende på medelårstemperaturen i kärnhuset, varje parameters känslighet. Resultat och skillnadsprocent är avrundat till en decimal med undantag för resultat och skillnader under 0,1 som är avrundade till två decimaler.

Parameter	Medelårstemperatur, kärnhus [°C]	$\Delta P_i$ [°C]	Skillnad
Vädring, Växthus	22,7	0,1	0,4 %
Vädring, Kärnhus	22	-0,8	-3,3 %
Ökad öppningsarea	22,8	0	0 %
Minskad öppningsarea	22,7	-0,05	-0,2 %
Solavskärmning	22,7	-0,1	-0,4 %
Fasadfärg	22,8	0	0 %

Tabell 5.41. Resultat av känslighetsanalys med avseende på medelårstemperaturen i växthuset, varje parameters känslighet. Resultat och skillnadsprocent är avrundat till en decimal med undantag för resultat och skillnader under 0,1 som är avrundade till två decimaler.

Parameter	Medelårstemperatur, Växthuset [°C]	$\Delta P_i$ [°C]	Skillnad
Vädring, Växthus	8,8	-0,2	-2,7 %
Vädring, Kärnhus	9,1	0,04	0,4 %
Ökad öppningsarea	9	0	0 %
Minskad öppningsarea	9	0	0 %
Solavskärmning	9	0	0 %
Fasadfärg	9,1	0,06	0,7 %

Känslighetsanalysen visar att uppvärmningsbehovet är mest känsligt för minskad vädringstemperatur i kärnhuset. Detta kan bero på att vädringstemperaturen efter den är sänkt med 10 % ligger på 22,5 °C och intervallet till 21 °C, då uppvärmning stannar, är relativt kort. För medelårstemperaturen i kärnhuset är även där en minskad vädringstemperatur i kärnhuset känsligaste parametern. För medelårstemperaturen i växthuset är minskad vädringstemperatur i växthuset den känsligaste parametern.

## 6 Diskussion

Syftet med detta examensarbete var att utföra en energianalys av Sundby naturhus, jämföra energianvändningen med och utan växthus samt att undersöka klimatet i både kärn- och växthus. Vi anser att detta syfte uppnått då vi presenterar resultat som svarar på de inledande frågeställningarna. Avsikten var inte att utreda det bästa eller mest lönsamma sättet att sänka energianvändningen på, men vi kan konstatera att ett sätt att sänka energianvändningen är genom att omsluta ett kärnhus, likt det i vår referensmodell, med ett växthus. De som väljer att bygga naturhus gör det säkerligen inte enbart av den anledningen. Det finns andra fördelar som lockar, till exempel möjligheten att göda de växter som odlas med näring från det egna kretsloppssystemet samt ett varmare mikroklimat med skydd från väder och vind. Denna tankegång är intressant vid bedömningen av referensmodellen flyttad till Kiruna. Vid en första anblick kan resultatet verka dåligt eftersom värmebehovet ökar och växthustemperaturen sjunker, men vägs de andra fördelarna in kanske inte alternativet är så illa.

Under arbetets gång har flera val gjorts. Vi bestämde oss för att modellera Sundby naturhus i Revit för att sedan föra över en IFC-fil till IDA ICE. Anledningen till detta var att spara tid och uppnå en hög detaljgrad. I efterhand kan det konstateras att en hög detaljgrad inte spelar så stor roll då modellen skalas av ordentligt vid exporten till IFC, och dessutom innebar vissa komplikationer i IDA ICE. Det är dock möjligt att det sparade oss lite tid eftersom vi är vana att arbeta i Revit. Modeller kan skapas i IDA ICE men det är inget vi gjort tidigare och vi ansåg att inläringen av resterande funktioner i ett nytt program var utmanande nog ändå.

När värmesystemet skulle ställas in för referensmodellen insåg vi att det inte fanns något system att välja som passade våra förutsättningar, och vi saknade kunskap om hur ett väl fungerande system skulle byggas upp. Därför gjordes valet att exkludera frånluftsvärmepumpen från modellen, bara mäta byggnadens värmebehov och räkna på frånluftsvärmepumpen separat i efterhand. Nackdelen med detta val är att den *Ideal heater* som då används i modellen har obegränsad kapacitet. Oavsett påfrestning kommer temperaturen i kärnhuset aldrig att sjunka under gränsvärdet på 21 °C, värmesystemet kommer bara att kräva mer energi. Det var på inga sätt optimalt att beräkna frånluftsvärmepumpen separat. Beräkningsprogrammet på [energiberakning.se](http://energiberakning.se) gav oss möjligheten att ange upp till tio värden för utomhustemperatur, avgiven effekt och värmefaktor. Under beräkningarnas gång visade det sig att resultatet av frånluftsvärmepumpens prestanda varierade relativt mycket då vi angav olika värden på utomhustemperaturen och avgiven effekt trots att alla värden var uppmätta i IDA ICE. Detta gör att vi är skeptiska till

trovärdigheten av resultaten från beräkningsprogrammet på energiberäkning.se. Då vi heller inte riktigt vet hur beräkningarna från Archer och Isover Energi hanterade frånluftsvärmepumpen blir det svårt att jämföra dessa sinsemellan. Det är även problematiskt att olika inställningar användes i de olika programmen, till exempel  $A_{Temp}$ , dimensionerade inomhustemperatur och tappvarmvattenbehov. Vi tolkar detta som att små skillnader i inställningsvärdena ger förhållandevis lika slutresultat. Uppvärmningsbehovet för kärnhuset i Isover Energi och IDA ICE är nästan identiska och den specifika energianvändningen för kärnhuset i de tre olika beräkningarna är relativt lika. Läsaren bör ej glömma att det endast är i IDA ICE vi kan påvisa effekterna av att ha ett extra klimatskal i form av ett växthus, och resultatet från Archer och Isover Energi endast kan verifiera våra resultat från IDA ICE till viss del.

Att visa olika resultat från olika beräkningsprogram kändes viktigt för att kunna stärka validiteten i våra resultat, men när olika beräkningsprogram blandas så ändras förutsättningarna och tillfällena då fel kan uppstå ökar. Trots det var det tillfredsställande att se att resultatet av den manuella handräkningen och den statisk simulering i IDA ICE var så lika. Vid en jämförelse av minskningen av uppvärmningsbehovet på 32,9 % för vår referensmodell med minskningen på 30 % för tidigare studie utförd av Kuldkepp (Kapitel 1) kan en klar likhet märkas. En annan jämförelse kan göras mellan den specifika energianvändningen på 35,8 kWh/m<sup>2</sup> år från vår studie och den antagna på 30 kWh/m<sup>2</sup> år från den kompletterande informationen i Archers energiberäkning. Även där observeras en viss likhet, vilket ger referensmodellen en större trovärdighet.

Undersökningen av vädringsparametrarna hade kunnat utföras annorlunda. Vi valde att ändra en parameter för både kärnhus och växthus samtidigt. Hade de ändrats var för sig hade dess konsekvenser lättare kunnat härledas, men å andra sidan hade fler simuleringar behövts. Läsaren bör förstå att en helårssimulering för vår typ av modell tar cirka 45 minuter att genomföra. Detta räknar inte in tiden för att göra de faktiska ändringarna i IDA ICE. En parameter som inte testades alls var att vädra som vanligt i växthuset men att stänga av vädringen helt i kärnhuset, för att på så vis förebygga övertemperaturer. Vi upplevde även problem med att helårssimuleringar kraschade av oförklarlig anledning, vilket ledde till att några parametrar inte kunde testas.

Solavskärmningen hade också kunnat utföras på andra sätt. Vi hämtade vår information från Sveby, som presenterar ett schablonvärde baserat på en del fast och en del beteendestyrd solavskärmning. Frågan är om detta värde verkligen är representativt i alla lägen. När det kommer till beteendestyrd

parametrar uppstår det problem när de ska automatiseras. När man väljer att skärma av solen beror helt på temperatur, solinstrålning och om personen ens är närvarande vid tidpunkten. Det är därför svårt att sätta ett schablonvärde på detta som ska spegla alla tänkbara situationer. Omsorgsfulla inställningar och tidsscheman kan göras, men det kan lika gärna resultera i falsk noggrannhet. Det finns även andra tänkbara alternativ av solavskärmning som hade kunnat testas. Sacilotto (Kapitel 2.2.4) använder sig till exempel av en invändig variant i växthuset i form av ett stort draperi i taket. Ett teoretiskt ännu effektivare alternativ hade varit att prova en utvändigt solavskärmning. Det hade varit intressant att undersöka hur dessa hade påverkat energianvändning och klimat i naturhuset.

Precis samma problematik med beteendestyrning som vid solavskärmningen uppstår vid vädringen. I verkligheten är bara vädringen i växthusets taknock temperaturstyrd, medan dörrar och fönster är helt beteendestyrd. I våra modeller styr vi allt med temperaturgränsvärden. I och med detta kan man ifrågasätta hur bra modellen egentligen representerar verkligheten då vi har automatiserat det mänskliga beteendet.

En parameterstudie som aldrig provades var effekten av markrörets uppvärmning respektive nedkylning av växthusets tilluft. Det hade dock varit väldigt intressant att undersöka om det har någon effekt på energianvändning och växthusklimat. En annan parameter som heller inte testades var att öka antalet zoner. Växthuszonerna skulle kunna ökas genom att dela upp dem efter väderstreck. Hade det gjorts på plan 0 och plan 1 hade antalet zoner ökat från våra fem till nio, förutsatt att zonen på plan 2 behålls ensam. Med fler zoner hade eventuellt temperaturskillnader för väderstrecken kunnat observeras eller tydligare temperaturgradienter mellan våningsplanen. Antalet kärnhuszoner hade också kunnat ökas till en zon per rum. Detta hade troligtvis gett en klarare bild av hur klimatet inomhus varierar. Vilket i sin tur kanske hade lett till att bostadens utformning kunnat planeras från den informationen. Anledningen till att inte alla typer av parametrar testades var tidsbrist.

En brist i denna rapport är att simuleringsinställningarna (Kapitel 4.3.9) aldrig utvärderas. Vi hade kunnat stärka validiteten av rapporten genom att visa att olika simuleringsinställningar inte påverkar resultatet. Anledningen till att detta inte gjordes var att idén dök upp först efter alla simuleringar var utförda.

Inledningsvis var tanken att endast ha en enda växthuszon, vi insåg dock snabbt att detta var omöjligt. För det första klarar inte IDA ICE av en zon som omsluter en annan och för det andra bör zoner avgränsas vid varje våningsplan för att kunna mäta temperaturgradienter och luftrörelser mellan zonerna. IDA ICE anger nämligen inte temperaturen för olika ställen eller luftens rörelse

inom en zon. Därför valde vi att öka antalet zoner, men för att modellen inte skulle bli allt för stor och komplex ville vi samtidigt begränsa antalet något. Resultatet av flera simuleringar visade dock att det inte förekom någon temperaturgradient, alltså ökad temperatur högre upp i växthuset. Dessa data stämmer dåligt överens med den information vi fick från både Solvarm och Sacilotto under intervjuerna. De berättar att det blir betydligt varmare ju högre upp i växthuset man befinner sig. Detta tyder mest troligt på att IDA ICE inte behärskar temperaturgradient i höjddled på ett tillfredställande sätt.

Vi fick även andra resultat som inte överensstämmer med den information som presenteras i nulägesanalysen. Vår referensmodell visar att det förekommer höga temperaturer i kärnhuset och att det faktiskt inte följer FEBYs rekommendationer. Däremot säger både Solvarm och Sacilotto i våra intervjuer att de inte upplevt övertemperaturer i kärnhuset. Detta skulle kunna bero på valet av den gränstemperatur som de automatiska vädringsluckorna i växthustaket är inställda på. Under 1 november till 30 april är det 32 °C och under 1 maj till 31 oktober 24 °C. De uppmätta maxtemperaturerna förekommer i slutet av april, det vill säga precis innan gränstemperaturen ändras till ett lägre värde. En annan möjlig orsak är att vår referensmodell inte representerar verkligheten helt korrekt eller att IDA ICE inte hanterar temperaturerna felfritt. Det är dock viktigt att ha i åtanke att det inte är exakt identiska hus som jämförs. Kärnhusets isoleringsgrad, vädringsmönster, mängden växtlighet och naturhusets placering är bara några exempel på faktorer som spelar roll.

Att få ett mått på referensmodellens känslighet är viktigt för att öka förståelsen om hur de olika parametrarna påverkar modellen. Anledningen till att tre analyser gjordes var att belysa effekten av parametrarnas påverkan inom specifika områden. I parameterstudien ändrades de olika parametrarna olika mycket, vilket innebär att de inte kan jämföras i en känslighetsanalys. Därför skapades nya simuleringar där varje parameter ändrades 10 %, för att på så vis kunna genomföra en korrekt känslighetsanalys. Tyvärr exkluderas parametrarna när naturhuset flyttades till Kiruna och när vädringen i växthuset stängdes av då det inte gick att sätta ett procentuellt värde på dessa. Det finns också en problematik i noggrannheten av medelårstemperaturen, då den inte speglar temperaturskillnaderna över året. Noggrannheten är på tiondelen men många gånger var differensen mycket lägre, vilket känslighetsanalysen inte visar då en avrundning sker. Att ändra parametrarna 10 % var inte optimalt. När exempelvis öppningsarean för fönster och dörrar ökades med 10 % uteblev skillnaden i medeltemperaturen i växthuset, men då öppningsarean ökades med 55 % i parameterstudien registrerades en skillnad. Motsatt effekt noterades vid minskad vädringstemperatur då 10 % minskning gav väldigt stor effekt. Detta beror på att vädringstemperaturen hamnade så nära



sluttemperaturen för uppvärmningen att differensen mellan dem endast blev 1,5 °C. Slutresultatet blev trots allt att modellen ansågs relativt okänslig för ändringar.

Tidigare i diskussionen har flera parametrar nämnts som skulle vara intressanta att testa vid framtida studier. Utöver dem hade en verifiering av resultaten i form av riktiga mätningar från Sundby naturhus varit spännande att genomföra. Beräkningar och simuleringar visar en bild av naturhuset, men den verkliga bilden erhålls först när huset har använts under en tid.

Det skulle vara intressant att genomföra precis samma typer av simuleringar i ett annat program än IDA ICE för att se om resultatet blir det samma. Det finns ett antal energisimuleringsprogram på marknaden, med sina för och nackdelar, som skulle kunna användas.

Det hade även varit intressant att se om resultatet av frånluftsvärmepumpen varit det samma om den hade kunnat inkluderas i IDA ICE.

Vi gjorde valet att bara undersöka temperatur när vi studerade komfort och klimat. Det hade varit intressant att se andra mätvärden som relativ luftfuktighet och koldioxidhalt.

Vad som händer i växthuset är inte kartlagt på ett uttömmande sätt. En grundlig undersökning av temperaturvariationer och luftflöden hade kunnat bringa klarhet. Vi lyckades inte med detta i IDA ICE, och det är mycket möjligt att det måste göras i en annan typ av program. Inledningsvis i vår studie diskuterades att eventuellt utföra en CFD-analys, alltså en undersökning av strömningsdynamiken, men detta valdes bort för att avgränsa studien. Om temperaturens inverkan på luftströmmarna kan simuleras i en CFD-analys med ett program hade ännu noggrannare antaganden kunnat göras angående energianvändning och klimat.



## 7 Slutsats

*Hur påverkas energianvändning för Sundby naturhus av ett extra klimatskal bestående av ett växthus, jämfört med inget extra klimatskal?*

Energisimuleringen i IDA ICE visar att det totala uppvärmningsbehovet för Sundby naturhus minskar med 32,9 % under ett år då kärnhuset omsluts av ett växthus, jämfört med kärnhus utan växthus. Den specifika energianvändningen hamnar på 35,8 kWh/m<sup>2</sup>år, vilket gör att Boverkets energikrav på 90 kWh/m<sup>2</sup>år klaras med god marginal. Då värmepumpen ger olika täckningsgrader vid mätningar med och utan växthus blir minskningen av den specifika energianvändningen 39,3 % med växthus. Vi anser att det finns en viss osäkerhet i metoden frånluftsvärmepumpen räknades ut med. Det kan konstateras att energianvändningen för Sundby naturhus minskar, vilket innebär att andra naturhus som byggs på liknande sätt även får en sänkt energianvändning jämfört med samma kärnhus utan växthus. Att bygga ett naturhus är följaktligen ett bra alternativ om en lägre energiförbrukning eftersträvas.

Parameterstudien visade att den förändring som påverkade energianvändningen mest var när naturhuset flyttades till Kiruna. Det gav en ökning av uppvärmningsbehovet med 91 %. Förklaringen till detta är ändrat klimat med kallare årsmedeltemperatur, mer vind och minskad solinstrålning. Det ska nämnas att ett ökat uppvärmningsbehov även observerades vid nyttjandet av solavskärmning i kärnhuset. I detta fall blev ökningen av uppvärmningsbehovet 12,4 %, vilket kan förklaras med minskad solinstrålning genom fönstren.

Slutsatsen av detta blir att det yttre klimatet spelar absolut störst roll för naturhusets energianvändning, i och med att det styr klimatet i växuset. Ett kallare utomhusklimat ger kallare växthusklimat vilket resulterar i ökad energianvändning, eftersom kärnhusets värmesystem tvingas jobba hårdare för att klara värmebehovet. Liknande scenario upplevs då solavskärmning används. Värmeenergin som erhålls från solinstrålningen minskar, vilket får till följd att mer press läggs på värmesystemet.

*Hur påverkas inomhusklimatet i kärnhuset av ett extra klimatskal?*

Vi har i resultaten sett en ökning av både medeltemperatur och maxtemperatur i kärnhuset då ett omslutande växthus används. Den största skillnaden upplevs i april, maj och september. Som mest noterades temperaturen 33,4 °C på plan 1. På grund av den höga inomhustemperaturen ökar även vädringsbehovet i kärnhuset då det omges av ett växthus, jämfört med samma kärnhus utan

växthus. Beräkningar visar att plan 1 har en temperatur över 26 °C 11,2 % av tiden under april till september, vilket kan jämföras med rekommendationen från FEBY som säger att 10 % ej bör överstigas. Utifrån FEBYs rekommendationer angående innemiljökrav, som är de referensramar vi använt oss av i denna studie, drar vi slutsatsen att detta naturhus riskerar att bli övertempererat inomhus.

Parameterstudien visar tydligt att vädring är ytterst viktigt för att styra klimatet i kärnhuset. En ökning av medeltemperaturen ses när vädringen stängs av helt i växthus, öppningsgraden minskas till 25 % och det temperaturreglerade värdet ökas. Antal timmar över 26 °C ökar för alla dessa justeringar, vilket tyder på ett försämrat inomhusklimat.

Rekommendationerna från FEBY uppfylls inte med referensmodellen, men görs rätt ändringar av valda parametrar fås ett bättre resultat. Detta upplevs när det temperaturreglerade värdet för vädringen minskas, öppningsgraden ökas till 100 %, solavskärmning används på kärnhusets fönster, fasadfärgen ändras från ljus till mörk och då naturhuset flyttas till Kiruna. Det är markant skillnad på maxtemperaturerna för plan 1 mellan referensmodellen placerad i Stockholm jämfört med Kiruna. I Stockholm registreras den högsta temperaturen 33,4 °C och i Kiruna 26,4 °C. För alla dessa parametrar följs rekommendationerna från FEBY och slutsatsen dras att det ger ett bättre inomhusklimat i kärnhuset.

Det ska dock nämnas att då fasadfärgen ändrades från ljus till mörk var temperaturskillnaden i kärnhuset så liten att den betraktades som obetydlig. Trots det, sjönk konstigt nog antal timmar över 26 °C med 100 timmar för plan 1 med den mörka fasaden, vilket resulterar i att FEBYs rekommendationer följs. Detta förklaras, efter vidare undersökning, med att metoden att kontrollera klimatet inomhus genom FEBYs rekommendationer inte fungerar vid just detta tillfälle på grund av mycket små temperaturdifferenser omkring 26 °C.

#### *Hur varierar klimatet i växthuset under året?*

Enligt energisimuleringarna av referensmodellen är det alltid varmare i växthuset än utomhus. Störst skillnad observeras i april och maj. Den lägsta temperaturen som uppnås är -14,6 °C i *Plan 2* och den högsta 32,4 °C i *Plan 1 Växthus syd*. Klimatet i växthuset är helt beroende av klimatet utomhus, och störst påverkan ger solens strålning. Det märks tydligt då temperaturskillnaden mellan en växthuszon och utomhus är störst mitt på dagen. Konklusionen styrks ytterligare av iakttagelsen av den 39,5 % ökningen av medeltemperaturen i växthuset dagtid jämfört med nattetid.

Även i växthuszonerna dras slutsatsen att vädring är synnerligen viktigt för att styra klimatet. När vädringen stängs av i växthuset, det temperaturreglerade värdet ökas och öppningsgraden minskas till 25 % märks en ökning i medeltemperaturen i växthuset. En flytt av naturhuset till Kiruna och en minskning av det temperaturreglerade värdet ger motsatt effekt, det vill säga en sänkt medeltemperatur i växthuset. Värt att nämna är att parametrarna ändrad fasadfärg, ökad öppningsgrad till 100 % och solavskärmning i kärnhus inte påverkar temperaturen över huvud taget. Det är även anmärkningsvärt att medeltemperaturen i växthuset är den samma under november till februari oavsett vädringsparameter. Följaktligen påverkar inte vädringen växthusklimatet under den perioden, utan endast de övriga månaderna.

Känslighetsanalysen visar att uppvärmningsbehovet påverkas mest av minskad vädringstemperatur i kärnhuset samt ökad solavskärmning. Temperaturen i kärnhuset påverkas mest av minskad vädringstemperatur i kärnhuset, medan temperaturen i växthuset påverkas mest av minskad vädringstemperatur i växthuset. Flera parametrar gav ingen mätbar skillnad alls.



## Litteraturförteckning

Andersson, U. E. (2014). *Växthus och växter under glas i byggd miljö - 35 goda exempel*. Stockholm: Centrum för hälsa och byggande vid KTH: Underlagsrapport till projektet Kretsloppsanpassade växthus som bostadskomplement i byggd miljö.

Autodesk Inc. (2015). *Revit - Översikt*. Hämtat från Autodesk: <http://www.autodesk.se/products/revit-family/overview> den 24 April 2015

BIM Alliance. (den 7 Juli 2011). *Checklista för export från Revit/ArchiCAD till IDA ICE*. Hämtat från BIM Alliance: [http://www.bimalliance.se/~media/OpenBIM/Files/Projekt/Energi\\_BIM/Energi\\_BIM\\_IDA\\_checklista-2011-07-07.ashx](http://www.bimalliance.se/~media/OpenBIM/Files/Projekt/Energi_BIM/Energi_BIM_IDA_checklista-2011-07-07.ashx) den 24 April 2015

Boverket. (Augusti 2012). *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler*. Hämtat från Boverket: <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energiushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf> den 28 April 2015

Boverket. (2015). *BFS 2015:3 BBR 22*. Karlskrona: Boverket.

Carlson, P.-O. (2008). *Bygga med metall och glas*. Stockholm: Glasbranschföreningen.

Carolis, S. d. (den 10 Oktober 2013). *Frukostträff - IDA ICE byggsimulering med stöd för BBR*. Hämtat från Slussen Building Services: <http://www.slussen.fi/Default.aspx?newNewID=24403&admSiteID=2&parMenMPaID=760> den 4 Maj 2015

E.ON. (den 30 September 2014). *Har du normal elförbrukning?* Hämtat från E.ON: <http://www.eon.se/privatkund/Energieffektivisering/energiradgivning/normal-elforbrukning/> den 30 April 2015

Energikontoret Skåne. (2010). *Att bygga energieffektivt*. Hämtat från Ekerö kommun: [http://www.ekero.se/Global/Bygga\\_bo\\_miljo/Energi/Uppv%C3%A4rmning\\_byggaenergieffektivt.pdf](http://www.ekero.se/Global/Bygga_bo_miljo/Energi/Uppv%C3%A4rmning_byggaenergieffektivt.pdf) den 24 April 2015

Energimyndigheten. (den 28 Mars 2011). *Kallt och varmt vatten*. Hämtat från Energimyndigheten: <https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Varmvatten-och-ventilation/Vatten-och-varmvattenberedare/> den 28 April 2015

EQUA Simulation AB. (Maj 2011). *Import of IFC BIM models to IDA Indoor Climate and Energy 4*. Hämtat från BIM Alliance: [http://www.bimalliance.se/~media/OpenBIM/Files/Projekt/Energi\\_BIM/IDA\\_ICE\\_IFC\\_Import\\_v7.ashx](http://www.bimalliance.se/~media/OpenBIM/Files/Projekt/Energi_BIM/IDA_ICE_IFC_Import_v7.ashx) den 21 Maj 2015

EQUA Simulation AB. (Februari 2013). *User Manual IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5*. Hämtat från EQUA: <http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE45eng.pdf> den 24 April 2015

EQUA Simulation AB. (2014). *IDA Indoor Climate and Energy*. Hämtat från EQUA: <http://www.equa.se/en/ida-ice> den 4 Maj 2015

Fransson, V. (den 13 April 2015). Doktorand. (P. Wennerstål, & O. Persson, Intervjuare)

Fredriksson, M., & Warne, B. (1993). *På akaciens villkor: att bygga och bo i samklang med naturen*. Partille: Wane.

Greenhouse Living. (2015). *Naturhus*. Hämtat från Emulsionen: <http://emulsionen.org/greenhouseliving.pdf> den 23 April 2015

Kuldkepp, T. (2012). *Ett mikroklimats påverkan på en byggnads energianvändning*. Stockholm: KTH Skolan för Industriell teknik och management: Institutionen för Energiteknik, Divisionen för uthålliga byggnader.

Leif Tjälldén AB. (2014). *Platta på mark – Villa*. Hämtat från Leif Tjälldén AB: <http://www.tjallden.se/produkter/platta-pa-mark-villa/> den 24 April 2015

Lomas, K. J., & Eppel, H. (1992). Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings*, ss. 21-44.

Norrman, S. (2015). *Om denna portal*. Hämtat från Energiberäkning: <http://energiberakning.se/index.aspx> den 12 Maj 2015

Radetzki, M. (2008). *Globala energitrender och problem att tillgodose energibehoven*. Hämtat från IVA - Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien: [http://www.iva.se/globalassets/rapporter/vagval-energi/vagval\\_radtzki.pdf](http://www.iva.se/globalassets/rapporter/vagval-energi/vagval_radtzki.pdf) den 24 April 2015



Sacilotto, C. (den 8 April 2015). (O. Persson, & P. Wennerstål, Intervjuare)

Saint-Gobain Isover AB. (2012). Isover Energi 3 hjälpfil. Billesholm, Sverige.

Sandin, K. (2007). *Praktisk husbyggnadsteknik*. Lund: Studentlitteratur AB.

SMHI. (den 10 Mars 2015). *Klimatförändringar orsakade av människan*. Hämtat från SMHI: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimatforandringar-orsakade-av-manniskan-1.3833> den 24 April 2015

Socialstyrelsen. (September 2005). *Temperatur inomhus*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <http://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12940/temperatur-inomhus.pdf> den 30 April 2015

Solvarm, A. (den 30 Mars 2015). Naturhusrådgivare. (O. Persson, & P. Wennerstål, Intervjuare)

Sveby. (den 14 April 2009). *Brukarindata för energiberäkningar i bostäder*. Hämtat från Sveby: [http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2011/06/brukarindata\\_bostader.pdf](http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2011/06/brukarindata_bostader.pdf) den 30 April 2015

Sveriges Centrum för Nollenergihus. (den 5 September 2012). *FEBY 12 - Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus*. Hämtat från Sveriges Centrum för Nollenergihus: <http://www.nollhus.se/dokument/Kravspecifikation%20FEBY12%20-%20bostader%20sept.pdf> den 6 Maj 2015

U.S. Department of Energy. (den 14 September 2011). *IDA Indoor Climate and Energy*. Hämtat från U.S. Department of Energy: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/software.cfm/ID=243/pageName=alpha\\_list\\_sub](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=243/pageName=alpha_list_sub) den 4 Maj 2015

Utbildningsdepartementet. (den 27 Januari 2009). *Global handel - bra eller dålig för miljön?* Hämtat från Regeringskansliet: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/11/93/45/f2449586.pdf> den 24 April 2015

Wallentinus, B. (2014). *Sundby naturhus*. Hämtat från <http://www.sundbynaturhus.se/> den 24 April 2015

Wallentinus, B. (2015). *E-postkorrespondens*. Hämtat från E-postkorrespondens.

Wilson, A. (den 12 Oktober 2014). *Familjen flyttar in i ett växthus*. Hämtat från Lokaltidningen mitt i Stockholm: <http://www.mitti.se/familjen-flyttar-in-i-ett-vaxthus/> den 23 April 2015

Världsnaturfonden. (den 28 November 2014). *Energi på hållbar väg*. Hämtat från WWF: [http://www.wwf.se/naturvaktarna/source.php/1154002/bash%E4ftet\\_hela2.pdf](http://www.wwf.se/naturvaktarna/source.php/1154002/bash%E4ftet_hela2.pdf) den 24 April 2015

## Bildreferenser

Figur 2.1, s. 5

Söderström, T-R. (2012). *Emporia*. [Fotografi]

[http://www.tordrikard.se/wp-content/uploads/2014/08/EMP\\_1.jpg](http://www.tordrikard.se/wp-content/uploads/2014/08/EMP_1.jpg)

Hämtad den 28-04-2015.

Figur 2.2, s. 6

Block Arkitektkontor. (2012). *Bengt Warne naturhus Saltsjöbaden*.

[Fotografi]

[http://www.blockark.se/sites/default/files/bengt\\_warne\\_naturhus\\_saltsj](http://www.blockark.se/sites/default/files/bengt_warne_naturhus_saltsjo)

[obaden.jpg](http://www.blockark.se/sites/default/files/bengt_warne_naturhus_saltsjo) Hämtad den 23-04-2015.

Figur 2.3, s. 7

Greenhouse Living. (2015). Bilden återskapad från

<http://emulsionen.org/greenhouseliving.pdf> Hämtad den 23-04-2015.

Figur 2.4, s. 8

Ecorelief. (2014). *Sikhall Naturhus*. [Fotografi]

[http://az61094.vo.msecnd.net/img/01/1189c75f-6ad3-460a-bf2a-](http://az61094.vo.msecnd.net/img/01/1189c75f-6ad3-460a-bf2a-4b51f0a03556/800)

[4b51f0a03556/800](http://az61094.vo.msecnd.net/img/01/1189c75f-6ad3-460a-bf2a-4b51f0a03556/800) Hämtad den 23-04-2015.

Figur 2.5, s. 10

Ecosol. (2007). *Sydfasad*. [Fotografi]

<http://www.ecosol.se/images/im1.jpg> Hämtad den 23-04-2015.

Figur 3.1, s. 18

Tailor Made Arkitekter. (2014). *Sundby 3d 141029\_1* och *Sundby 3d*

*141029\_2*. [http://tailor-made.se/wordpress/wp-](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/sundby-3d-141029_1.jpg)

[content/uploads/2013/12/sundby-3d-141029\\_1.jpg](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/sundby-3d-141029_1.jpg) och [http://tailor-](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/sundby-3d-141029_2.jpg)

[made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/sundby-3d-](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/sundby-3d-141029_2.jpg)

[141029\\_2.jpg](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/sundby-3d-141029_2.jpg) Hämtad den 24-04-2015.

Figur 3.2, s. 18

Tailor Made Arkitekter. (2014). *Sundby-plan 0* och *Sundby-plan 1*.

[http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/sundby-](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/sundby-plan0.jpg)

[plan0.jpg](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/sundby-plan0.jpg) och [http://tailor-made.se/wordpress/wp-](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/sundby-plan1.jpg)

[content/uploads/2013/09/sundby-plan1.jpg](http://tailor-made.se/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/sundby-plan1.jpg) Hämtad den 22-05-2015.



## Bilaga 1 – Intervjufrågor

1. Varifrån kom idén om att bo i ett naturhus?
2. Vilken typ av uppvärmning används i naturhuset?
3. Vilken period på året behöver kärnhuset värmas?
4. Hur ligger ditt naturhus placerat i förhållande till väderstrecken?
5. Blir växthuset övertempererat?
6. Varierar temperaturen i höjddled i växthuset?
7. Hur motverkas övertemperatur i växthuset?
8. Hur skulle du beskriva klimatet i växthuset?
9. Hur upplevs luftfuktigheten i växthuset?
10. Bildas det kondens på växthusglaset?
11. Går det att motverka kondens med isolerglas?
12. Blir kärnhuset övertempererat?
13. Vad är största fördelen och nackdelen med att bo i ett naturhus?
14. Om du fick ändra på något i ditt hus, vad skulle det vara?
15. När man sitter i kärnhuset och tittar ut genom fönstren (både genom kärnhusets och växthusets fönster), hur är sikten då?



## Bilaga 2 – Archers energiberäkning



Utförd enligt BBR version 20 och EPBD 2010/31/EU av Dan-Eric Archer, Emulsionen ek för, med hjälp av [www.energiberakning.se](http://www.energiberakning.se).

Stockholms län d v s klimatzon III enl BBR  
Dimensionerande vintertemperatur: 17,1°C  
Inomhustemperatur 21°C  
Sommarens medeldygnstemperatur: 16,8°C  
Vinters medeldygnstemperatur: 3,7°C



**Energiberäkning**

### Varaktighetsdiagram:



Uppvärmd (>10°C) golvarea (ej garage), Atemp: 150 m<sup>2</sup>

## Hushållsel och tappvarmvatten - samt "gratis-effekt" från dessa och personer

### Schablonvärden enligt SVEBY 2010

Hushållsel: 4410 kWh/år

Tappvarmvatten: 2 940 kWh/år

"Gratis"

Personvärme: 187 W

Hushållsel: 352 W

Tappvarmvatten: 67 W

### Förluster: Transmission, ventilation, infiltration, tappvarmvatten, fastighetsenergi

Omslutande area,  $A_{om}$ : 440 m<sup>2</sup>

Vägg U-värde: 0,2 W/m <sup>2</sup> .K	Area: 196 m <sup>2</sup> .
Grund U-värde: 0,09 W/m <sup>2</sup> .K.	Area: 100 m <sup>2</sup>
Tak U-värde: 0,09 W/m <sup>2</sup> .K.	Area: 100 m <sup>2</sup>
Fönster U-värde: 0,7 W/m <sup>2</sup> .K.	Area: 44 m <sup>2</sup>

Värmeöverföringstal medel,  $U_m$ : 0,2 W/m<sup>2</sup> °C

$$U_m = \frac{(\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \psi_k + \sum_{j=1}^p X_j)}{A_{om}}$$

Infiltration vid 50 Pa: 0,2 l/s.m<sup>2</sup>

Rum	Yta [m <sup>2</sup> ]	Ventilation [l/s]
001 Tvätt	3,3	
002 Bad	4,5	10
003 Kök	12,8	10
004 Sov	10,1	4
005 Entré	6,8	
006 Sov	13,1	4
007 Allrum	41,8	
101 Sovrum	10,1	4
102 Allrum	25,9	
103 Sovrum	10,1	4
104 Bad	5,3	10
Summa	143,8	46

**0,35 l/s.m<sup>2</sup> x 143,8 m<sup>2</sup> = 50,33 l/s blir dimensionerande!**



Totalt ventilationsflöde: 55 l/s  
Vädring: 2 kWh/m<sup>2</sup>.år  
Fastighetsenergi, el: 800 kWh/år  
Frånluftsvärmepump, COP: 2,68  
Spetslast med fastbränsle, kamin.

#### Termisk massa

Totalt 350 m<sup>2</sup> timmervägg på 134 mm, inklusive övriga regelverk och inredning blir ca 50 m<sup>3</sup> (ca 25 ton) trä den huvudsakliga termiska massan. Trä har spec värme 2,5 kJ/kg.K. Acceptabel temperaturvariation inomhus är ca 4°C (19-23°C). I det intervallet lagrar den termiska massan ca 70 kWh värme. Konstruktionen kan räknas som "termiskt tung".

#### Energi - Beräknat resultat

Balanstemperatur: 16,8 °C  
Grattimmar: 100 824 h  
Värmepumpens täckningsgrad 85 %  
Värmepumpens energibehov 4124 kWh/år  
Kompletterande (spets): 3808 kWh/år  
Energibehov för värme, summa: 7932 kWh/år  
Fastighetsenergi: 800 kWh/år  
Specifik energianvändning: 58 kWh/m<sup>2</sup> år [klarar BBR20 på max 90 kWh/m<sup>2</sup> år]

#### Krav för Bostäder enligt BBR20 (kWh/m<sup>2</sup>.A<sub>temp</sub>.år) vid 21°C

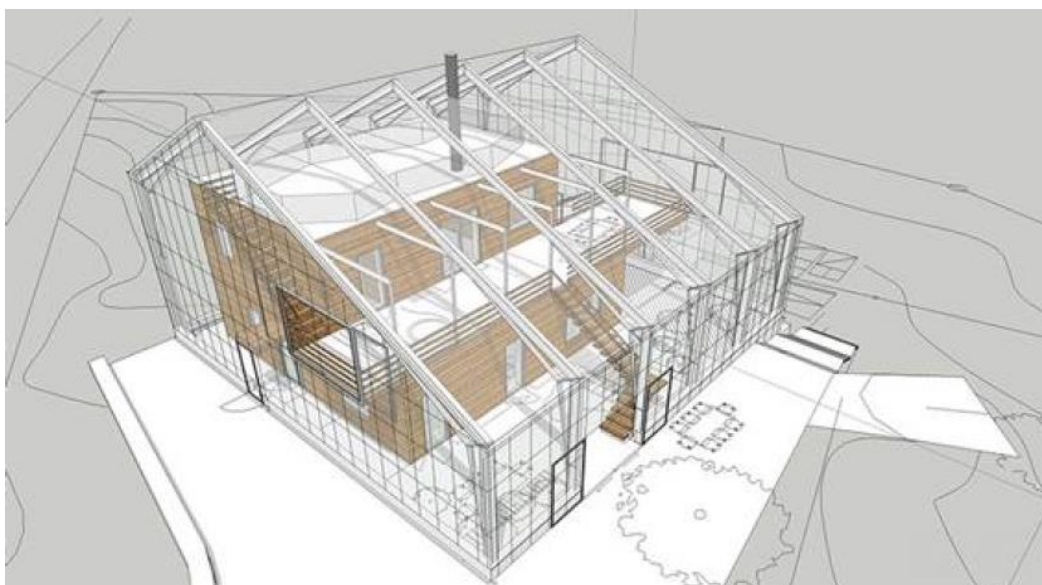
Klimatzon	Byggnad alla storlekar (kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> . år)	
	Ej elvärmd	Elvärmd
I	130	95
II	110	75
III	90	55

Observera att BBRs definitionen av elvärmd byggnad är en byggnad med installerad eleffekt över 10W/m<sup>2</sup>, vilket inte har någon koppling till mängden elenergi byggnaden använder.

### Kompletterande information

Fastigheten blir ett Naturhus, d v s ett kärnhus som står innuti ett växthus. Kärnhuset står alltså i ett klimat som inte är det typiska i för Stockholm. Det är i växthuset betydligt varmare och det är alltid nästan vindstilla. Det här gör att klimatdata för norra medelhavsområdet snarare än Stockholm bör användas i energiberäkningar. Studie vid KTH (Térèse Kuldkepp (2012) *Ett mikroklimats påverkan på en byggnads energianvändning* Examensarbete vid civilingenjörsprogrammet Maskinteknik KTH Skolan för Industriell teknik och management Institutionen för Energiteknik EGI-2012-046MSC) visar att energianvändning för ett Naturhus blir ca 30 % lägre en motsvarande hus fristående. För energiberäkningen har ändå klimatdata för Stockholm används och eftersom krav BBR20 även då uppfylls med råge kan man med säkerhet säga att det kommer bli ett energieffektivt hus.

Antalet gradtimmar innanför klimatskalet kommer uppskattningsvis bli 50 000°C<sub>h</sub>, bara ca hälften av de drygt 100 000°C<sub>h</sub> som stockholms-klimatet innebär för en byggnad med balanstemperaturen 16,8 °C. Specifik energianvändning är i princip linjär mot antal gradtimmar varför den verkliga specifika energianvändningen kommer bli ner mot 30 kWh per m<sup>2</sup> och år.



Dan-Eric Archer  
Göteborg 2014-11-20

