

# Kan Anderssons hus bli ett passivhus?

Viktor Unéus

Blekinge Tekniska Högskola  
Institutionen för strategisk hållbar utveckling  
Karlskrona  
2016

Följande arbete är utfört som en obligatorisk del av utbildningen på programmet "*Högskoleingenjör i energisystem hållbar utveckling*" på Blekinge Tekniska Högskola.



*I samarbete med*



## Sammanfattning

I detta arbete studeras vilka möjligheter det finns för en av 3D hus kunders hus att klara kraven för passiv- eller minienergihus. Baserat på ett projekterat hus studeras hur olika konstruktioner och produktval påverkar husets möjlighet att uppfylla kraven. Trots att samtliga konstruktionsalternativ påstods vara anpassade för energisnåla hus visar vår undersökning att transmissionsförlusterna varierade mycket mellan de olika lösningarna. Även vilka garantier de olika företagen kunde ge gällande lufttäta konstruktioner varierade stort.

De områdena som särskilt studeras i detta arbete är energiförluster genom en bostads klimatskal beroende av olika konstruktioner av väggarna, samt vilka fönster och dörrar som är lämpliga.

Vår studie visar att utformningen av huset som studerats kommer kräva mycket höga krav på konstruktionen för att huset ska kunna nå kraven för ett passiv- eller minienergihus. Utformningen gör däremot att förlusterna varierar stort mellan de olika valen och det kan därför vara en god idé att se över vilka produkter som ska väljas inom de olika områdena.

## Abstract

This report considers the possibilities to build a passive house or mini-energy house within reasonable demands on manufacturers and construction firms for one of 3D House's customers. The client has already been in contact with different manufacturers and construction firms with different demands, but with the same warranty of energy efficient materials. In this study there's a comparison of these demands and warrants show that, even with the same stated terms of low efficient material, the transmission loss vary considerably. Especially the warrants for airtight constructions vary much.

Because of the buildings shape it becomes clear that it would need very high requirement on the products and the work to meet the requirements for passive house. The shape of the house does on the other hand make sure that it's a big difference between the different products which would make it a good idea to look over the different chose.

The areas there this report is in first hand how the different companies for walls because of that is an area there it's a big different between different choice and it's a big part of the climate shield. It will also have a look over what kind of windows and doors that exist that meet both the requirements for passive house and the costumer.

## Förord

Istället för att göra en allmän rapport om passivhus så ville jag specialisera mig på ett hus och undersöka vilka lösningar som finns för att minska energianvändningen. Då jag i samband med att jag skulle välja examensarbete fick en kund via mitt egna företag 3D Hus så föreslog jag att göra examensarbete på det huset även om det från början inte var ritat med energibesparing i åtanke. Familjen Andersson var intresserad av att minska sin användning av energi och se över möjligheten om passivhus så har arbetet handlat om att jämföra de företagen kunden redan hade kontakt med och några andra företag med liknande produkter.

Jag skulle vilja tacka min handledare Pia Lindahl som har varit ett bollplank för mig under arbetets gång, min föräldrar som har stöttat mig under arbetet och Matilda som varit ett bra stöd och bollplank att diskutera idéer med.

*Viktor Unéus*

# Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>FÖRORD</b>	<b>4</b>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>	<b>5</b>
<b>FÖRKLARINGAR</b>	<b>7</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>8</b>
<b>1.1 BAKGRUND</b>	<b>8</b>
1.1.1 NÄSTAN NOLLENERGIHUS	8
1.1.2 BOVERKETS REGLER FÖR ENERGIANVÄNDNING	8
1.1.3 ENERGIKLASSER	8
1.1.4 PASSIVHUS	9
1.1.5 MINIENERGIHUS	9
<b>1.2 SYFTE</b>	<b>10</b>
<b>1.3 AVGRÄNSNINGAR</b>	<b>10</b>
<b>1.4 PROBLEMFÖRMULERING</b>	<b>11</b>
<b>2 METOD</b>	<b>12</b>
<b>3 TEORI</b>	<b>13</b>
<b>3.1 BESKRIVNING AV HUSET</b>	<b>13</b>
<b>3.2 BERÄKNING AV VÄRMEFÖRLUSTTAL</b>	<b>13</b>
<b>3.3 TRANSMISSIONSFÖRLUSTER</b>	<b>15</b>
3.3.1 ISOLERING AV FASAD	15
3.3.2 TAK	17
3.3.3 GRUND	17
3.3.4 FÖNSTER	18
<b>3.4 VENTILATION</b>	<b>19</b>
3.4.1 ÖVERTRYCK ELLER UNDERTRYCK	19
3.4.2 SJÄLVDRAGSVENTILATION	19
3.4.3 FRÅNLUFTSVENTILATION	20
3.4.4 FRÅNLUFTS OCH TILLUFTSSYSTEM MED VÄRMEÅTERVINNING	20
<b>3.5 VÄDER</b>	<b>21</b>
<b>3.6 SOLCELLER OCH SOLFÅNGARE</b>	<b>22</b>
<b>3.7 EKONOMI</b>	<b>22</b>
<b>3.8 KONSTRUKTION</b>	<b>23</b>
<b>3.9 BASTA</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTAT</b>	<b>25</b>

<b>4.1</b>	<b>PASSIV OCH MINIENERGIHUS</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>VENTILATION</b>	<b>25</b>
4.2.1	VENTILATIONSKRAV	25
4.2.2	VÄRMEÅTERVINNING I VENTILATION	26
4.2.3	FÖRLUSTER I VENTILATIONSRÖR	26
<b>4.3</b>	<b>TRANSMISSIONSFÖRLUSTER</b>	<b>26</b>
4.3.1	YTTERVÄGGAR	26
4.3.2	GRUND	28
4.3.3	FÖNSTER	29
4.3.4	DÖRRAR	29
4.3.5	INNERTAK	29
<b>4.4</b>	<b>FÖRLUSTER GENOM LUFTLÄCKAGE</b>	<b>30</b>
<b>4.5</b>	<b>SOLCELLER</b>	<b>30</b>
<b>4.6</b>	<b>FÖRLUSTER I FÖRHÅLLANDE TILL PASSIVHUSSTANDARDEN</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>VENTILATION</b>	<b>32</b>
<b>5.2</b>	<b>TRANSMISSIONSFÖRLUSTER</b>	<b>32</b>
<b>5.3</b>	<b>FÖRLUSTER GENOM LÄCKAGE</b>	<b>32</b>
<b>5.4</b>	<b>SOLCELLER</b>	<b>33</b>
<b>5.5</b>	<b>FÖRLUSTER I FÖRHÅLLANDE TILL PASSIVHUSSTANDARDEN</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>SLUTSATS</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>REFERENSER</b>	<b>35</b>
<b>BILAGA 1, TRANSMISSIONSFÖRLUSTER</b>		<b>40</b>
<b>BILAGA 2, SOLCELLER</b>		<b>44</b>
<b>BILAGA 3, FÖRLUSTER GENOM VENTILATION</b>		<b>46</b>
<b>BILAGA 4, KRAV OCH KLASSER</b>		<b>48</b>

## Förklaringar

Lambda ( $\lambda$ )	Lambda är en materialkonstant för hur väl ett material leder värme och mäts i enheten W/mK.
U-värde	U-värdet räknas ut genom att dividera lambda med tjockleken och används sen för att beräkna transmissionsförluster. Detta anger då förluster per kvm vid 1°K temperaturskillnad med enheten W/m <sup>2</sup> ,K.
Klimatskalet	Klimatskalet är den totala yta runt innemiljön och inkluderar då den totala ytan ytterväggar mätt inifrån, totala golvytan och innertaket.
A <sub>Temp</sub>	A <sub>temp</sub> är den totala arean som värms upp över 10°C och som begränsas av klimatskalets innersida. Innerväggar mm räknas med men inte garage om det är en del av byggnaden.
Värmekonduktiteten	Värmekonduktiteten som förkortas med R är motsatsen till U-värde och beräknas som $R=1/u$ eller om det ska räknas om till U-värde så beräknas det som $U=1/R$ .
Värmeförlusttal	Vid beräkning för definitionen passiv- och minienergihus så används värmeförlusttal som är ett mått på hur stora förlusterna får vara när inne temperaturen är 21°C och utetemperaturen är den dimensionerade utetemperaturen hämtade från SMHI ( $W/m^2A_{temp}$ ).

## Förkortningar

FTX-system	Från- och tillufts ventilation med värmeväxlare
------------	---

# 1 Inledning

Sverige har som mål att minska sin miljöpåverkan och energianvändning och då fastighetssektorn använder stor del av all energi så finns där stor möjlighet att påverka.

Även om Sverige planerar att minska sin användning av kärnkraft så påverkar all typ av energiproduktion miljön i närheten av produktionen, när den tillverkas och när material för produktionen ska tas fram. Detta betyder att genom att minska användningen av energi så leder detta till en minskad miljöpåverkan.

## 1.1 Bakgrund

I Sverige stod bostads- och servicesektorn för nästan 40 % av den totala energianvändning under 2013 och av detta utgjorde hushålls- och lokalbyggnader 90 %[1]. Om Sverige ska minska sin energianvändning så är bostads- och lokalsektorn en viktig del och även en del där mycket kan göras. En minskad användning av olja och en ökad användning av värmepumpar de senaste åren har även lett till en minskad leverans av energi per hushåll under 2000-talet enligt Energiläget 2015[1].

Uppvärmning av varmvatten och byggnader står för över hälften av den totala energianvändningen i bostäder och denna del varierar framförallt över året men även mellan olika år[1].

### 1.1.1 Nästan nollenergihus

EU bestämde 2010 att från och med 2020 så ska alla hus som byggs i Europa klara nästan nollenergihusstandard[2] vilket kommer ställa höga krav på hustillverkare framöver då dessa krav kommer vara betydligt högre än dagens krav. Exakt vad dessa krav är har inte tagits fram än men det ska vara en del av EUs mål att fram till 2020 energieffektivisera med 20 % och efter det fortsätta energieffektivisera[3].

Eftersom klimatet varierar stort i Sverige så kommer kraven på bostäders energianvändning variera beroende på var i Sverige huset ligger. För att förenkla så har Sverige delats upp i tre klimatzoner där klimatzon 1 innefattar Norrbottens, Västerbotten och Jämtland län, klimatzon 2 innefattar Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län. Resterande län innefattas av klimatzon 3. [4]

### 1.1.2 Boverkets regler för energianvändning

I Boverkets standard[5] BFS 2015:3 finns regler för hur energisnålt ett nytt hus måste vara. För samtliga hus gäller att det genomsnittliga U-värdet för klimatskalet måste vara  $0,4 \text{ W/m}^2, \text{K}$ . Hur mycket energi som ett hus får använda beror på uppvärmningssätt och vilken klimatzon det ligger i. För värden, se bilaga 4.

### 1.1.3 Energiklasser

Den 1 januari 2014[6] infördes energiklassning av bostäder i Sverige där bostadens energiprestanda jämförs med dagens regler från Boverket. Detta gör att efterhand som kraven från boverket blir högre så höjs även kraven för de olika klasserna. Detta leder i sin tur till att



hus som ett år har fått en viss klassning kan få sämre klassning senare när boverkets regler för nya hus blir hårdare. Klasserna kan ses i bilaga 4.

## 1.1.4 Passivhus

### 1.1.4.1 Uppvärmning

För att ett hus ska få definieras som ett passivhus så måste det klara vissa kriterier för energianvändning och de är redovisade här nedanför:

Den totala effekten som används får enligt "Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus"[4] inte överstiga  $17 \text{ W/m}^2 A_{\text{Temp}}$  i klimatzon 1,  $16 \text{ W/m}^2 A_{\text{Temp}}$  i klimatzon 2 och  $15 \text{ W/m}^2 A_{\text{Temp}}$  i klimatzon 3. För hus under  $400 \text{ m}^2$  så får  $2 \text{ W/m}^2 A_{\text{Temp}}$  läggas till. Detta kallas även värmeförlusttal och förkortas VFT.

Den totala energin som får levereras till en byggnad för att de ska räknas som passivhus får inte överstiga beror på om huset är uppvärmt med el eller annat uppvärmningssystem. Kriterierna för dessa är presenterade i bilaga 4. Om huset är eluppvärmt så får  $2 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{Temp,år}}$  läggas till om huset är mindre än  $400 \text{ m}^2$ .

Till skillnad från Boverkets definition så räknas här olika typer av värmepumpar in inom elvärmda hus.

### 1.1.4.2 Energianvändning

Den totala användningen av energi som får användas i huset över ett år är även begränsad för att nå kraven. Dessa beror på uppvärmningssystem, vilken klimatzon huset ligger i och storleken av huset. Kraven finns i bilaga 4.

Om huset har ett kombinerat system för uppvärmning så används räknesättet  $E_{\text{viktad}}$  och där är kraven  $73 \text{ kWh}_{\text{viktad}}/\text{m}^2 A_{\text{Temp}}$  i klimatzon 3,  $68 \text{ kWh}_{\text{viktad}}/\text{m}^2 A_{\text{Temp}}$  i klimatzon 2 och  $63 \text{ kWh}_{\text{viktad}}/\text{m}^2 A_{\text{Temp}}$  i klimatzon 3. För hus mindre än  $400 \text{ m}^2$  så får ett tillägg på  $+5 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{Temp}}$  läggas till. För att hålla nere transmissionsförlusterna så finns det även krav på att det genomsnittliga U-värdet för alla fönster i huset inte får vara högre än  $0,8 \text{ W/m}^2, \text{K}$ .

Det finns även krav på lufttäteten i ett passivhus och det är att vid en tryckskillnad på  $50 \text{ Pa}$  så får luftläckaget inte överstiga  $0,3 \text{ l/m}^2, \text{s}$  beräknat på hela klimatskalet vilket ställer höga krav på dels byggmaterial men också uppförandet av huset.

## 1.1.5 Minienergihus

En annan definition som finns är minienergihus där kraven inte är riktigt lika hårda som passivhus. Här ligger kravet för maximal  $VFT_{\text{DVUT}} 5 \text{ W/m}^2 A_{\text{Temp}}$  högre än för passivhus.[4]

För den totala levererade energin till byggnader så är kraven följande för minienergihus.

Högst icke elvärmda  $E_{\text{levererad}} 20 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{Temp}}$  högre än för passivhus.

Högst elvärmda  $E_{\text{levererad}} 8 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{Temp}}$  högre än för passivhus.

Fönster i huset måste ha ett genomsnittligt U-värde på högst 0,9 W/m<sup>2</sup>K.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att se hur en av 3D hus kunders hus kan byggas för att kunna nå kraven som finns för passiv- eller minienergihus. Med allt hårdare krav på energianvändning och allt större allmänintresse om miljöpåverkan skärps kraven på nya byggnader.

## 1.3 Avgränsningar

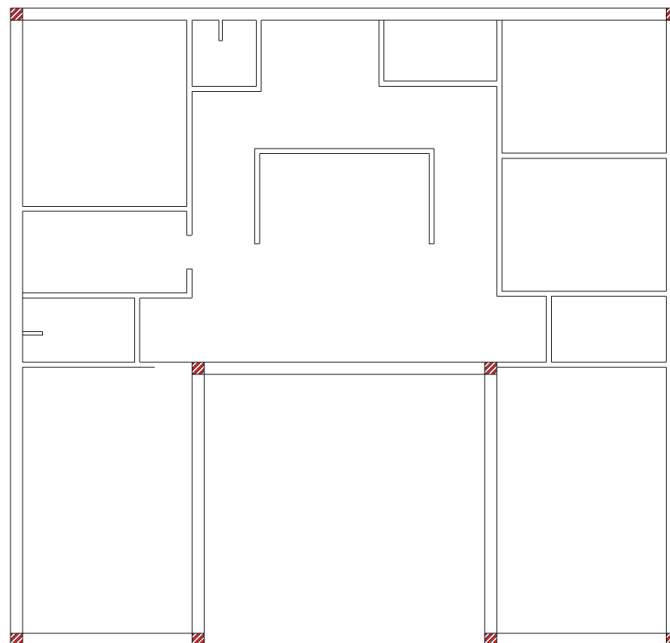
Vid beräkningar av transmissionsförluster användes grundformler som inte tar hänsyn till eventuella köldbryggor som uppkommer runt fönster och andra öppningar i fasaden. Detta gör att verkliga transmissionsförluster kommer bli något större genom väggarna än vad beräkningarna anger.

Transmissionsförluster som sker genom hörnen på huset tas inte heller med i beräkningarna eftersom formler för detta inte finns tillgängligt, i figur 1 visas dessa områden. Detsamma gäller skarvar mellan ytterväggar och taket där transmissionsförluster ej beräknas.

Alla beräkningar utgår från att väggarna är 365 mm tjocka vilket är ritat på ritningarna men då de olika väggmaterialen har olika tjocklekar vilket kommer att påverka arean innanför klimatskalet ifall det är yttermåtten som är bestämda. Detta kommer i viss mån både påverka ytan av klimatskalet men även transmissionsförlusterna genom grunden eftersom ytterväggarnas tjocklek har en viss påverkan. Vid beräkningar av kraven för passivhus så utgår beräkningarna även där från golvytan innanför klimatskalet och om då tjockleken varierar så kommer även kraven att variera. I detta arbete så kommer måtten på ritningen att vara utgångspunkt.

Vind har en kylande effekt på huset men då vindförhållandena på platsen är väldigt osäkra så räknas inte dessa med. Samtidigt så kommer solens värmande effekt på huset inte räknas med och detta är dels för att de endast påverkar transmissionsförlusterna under den tiden som det är lägre utetemperatur jämfört med innetemperaturen och för att den totala ytan mot solen varierar beroende på var solen står.

Någon jämförelse av uppvärmningssystem har inte tagits med i denna rapport eftersom att om poolen ska vara uppvärmd så kan detta kopplas på husets uppvärmningssystem och de skulle då påverka kraven stort beroende på att denna kräver mycket effekt och detta beror i sin tur på vad för önskemål de boende har på poolen.



Figur 1, Beskrivning av områden som ej räknas med

## 1.4 Problemformulering

Är det idag möjligt att bygga kundens hus som når målen för passivhus även om huset inte var anpassat för standarden när det ritades och vilka krav ställs i så fall på material och byggnation?

## 2 Metod

I denna rapport analyseras hur ett hus skulle kunna byggas för att få ner energianvändningen och om det är möjligt inom rimliga krav på byggföretag att nå kraven för passivhus. Först ska kraven för passiv eller minienergihus analyseras för att se vilka krav som måste uppnås för huset och för att sen jämföra produkter som kan nå dessa krav. Kunden har redan identifierat ett antal produkter som kan vara lämpliga. Dessa produkter, samt några fler produkter som tillkommit under projektets gång, ska analyseras mot identifierade krav.

En av de största energiförlusterna som sker i ett hus är transmissionsförluster genom klimatskalet så här ska olika hustillverkare och materialval jämföras för att se vilken metod som leder till minsta energiförluster. Kunden har varit i kontakt med några olika leverantörer och tillverkare och dessa ska då jämföras för att ses hur de skiljer sig i byggnadens energianvändning både transmissionsförluster och luftläckage.

Då kraven för passivhus ställer särskilda krav på U-värde för fönster samt då en stor del av husets värmeförluster sker genom fönster ska olika fönster kommer särskild vikt att läggas vid analys av U-värden för fönster.

För ett så stort hus som Anderssons, kommer ventilationen medföra att stora luftmassor behöver bytas ut vilket kan leda till stora förluster. Vi kommer därför se över vilka krav som ställs på ventilation i passivhus samt hur man kan minska värmeförluster genom ventilationen.

För beräkning av den totala produktionen från solceller används systemet PVGIS som är framtaget av Europeiska kommissionen.[7] Detta system använder sig av data om lokala väderförhållanden och beräknar sedan den förväntade årsproduktionen efter de förutsättningar som systemet har. I detta arbete utgår beräkningarna ifrån att solceller läggs på de takytor som är riktat mot sydöst på huset. Systemets totala förluster beräknas till 15 % och de räknar då med förluster i solcellen, kablar och växelriktare. Beräkningarna är uträknade efter att taket har en lutning på 30° och att huset står riktat så att taket med solcellerna är 24° åt öster.

## 3 Teori

### 3.1 Beskrivning av huset

Familjen Anderssons hus som studeras ska ligga i mellersta Sverige är ett enplanshus med en boarea på 264 m<sup>2</sup> och ska vara u-format där vardagsrummet och filmrummet sticker ut i sydvästlig riktning från resterande huset. Takhöjden inne kommer att vara 2,6 meter och den totala längden på ytterväggarna är 88,8 meter beräknat på insidan av klimatskalet. Detta ger en total väggyta på 230 m<sup>2</sup> medräknat fönster och dörrar. Den totala fönsterarean inkluderat fönsterpartiet är på 51 m<sup>2</sup> och dörrarna är på 10,3 m<sup>2</sup>. Detta ger en total väggyta som ska isoleras på 169 m<sup>2</sup>. Den totala ytan innanför klimatskalet som beräkningar av energieffektivisering utgår ifrån är 272 m<sup>2</sup> och är då ytan av både grunden och innertaket innanför ytterväggarna. Klimatskalet blir totalt 775 m<sup>2</sup>. Huset är ritat med ytterväggar på 365 mm. För ventilationen i huset så har det antagits att FTX-aggregatet är uppe på vinden och för att det ska vara frånluft i båda badrummen och i köket och tilluft i två av sovrummen så har det antagits att de behövs totalt 40 meter ventilationsrör för från och tilluft. Mellan vardagsrummet och filmrummet finns terrassen med en större pool. Se planlösning i figur 2.



Figur 2, Planlösning över Anderssons hus

### 3.2 Beräkning av värmeförlusttal

Ett mer exakt värde för värmeförlusttal för ett hus kan beräknas då platsens lokal förhållande tags med i ekvation 2.1[4]. Den dimensionerande vinterutetemperatur "DVUT<sub>12-dygn</sub>" hämtas från Boverket[8]

$$VFT_{DVUT} = 12,3 - 0,223 * DVUT_{12-dygn} \quad \text{ekv. 2.1}$$

För att beräkna de totala värmeförlusterna så används ekvation 2.2.[4]

$$VFT_{DVUT} = H_T * \frac{21-DVUT}{A_{temp}} \quad \text{ekv. 2.2}$$

För att beräkna den totala energin  $E_{viktad}$  så används ekvation 2.3.[4]

$$E_{viktad} = 2,5 * E_{El} + 0,8 * E_{fjv} + 0,4 * E_{kyla} + E_{\ddot{o}} \quad \text{ekv. 2.3}$$

$E_{fjv} = \text{fjärrvärme}, E_{kyla} = \text{fjärrkyla}, E_{\ddot{o}} = \text{övrig energi ex biobränsle}$

I formel 2.2 så står  $H_T$  för husets totala värmeförlustkoefficient och det inkluderar transmissionsförluster, ventilationsförluster och luftläckage. Denna beräknas genom ekvation 2.4. [4]

$$H_T = U_m * A_{omsl} + \rho * c * q_{läck} + \rho * c * d * q_{vent} * (1 - v) \quad \text{ekv. 2.4}$$

Tabell 1, förklaring av variablerna i ekvation 1.4

Beteckning	Förklaring
$U_m$	Det genomsnittliga U-värdet för klimatskalet
$A_{omsl}$	Klimatskalets totala yta
$\rho * c * q_{läck}$	Totala förluster som skett pga luftläckage
$\rho * c * q_{vent} (1 - v) d$	Totala förluster via ventilationen med hänsyn till aggregatets verkningsgrad och andel drifttid

När verkningsgraden för ventilationssystemet beräknas så ska förluster från kanaler mm även tas med.

Beräkningar av luftläckage från ett FTX-system beräknas enligt ekvation 2.5.[4]

$$q_{läck} = \frac{q_{50} * A_{omsl} * e}{1 + \frac{f}{e} * \left( \frac{q_{sup} - q_{ex}}{q_{50}} * A_{omsl} \right)^2} \quad \text{ekv. 2.5}$$

Tabell 2, förklaring av variabler i ekvation 1.5

$q_{sup} - q_{ex}$	Luftöverskottet mellan tilluft och frånluft
$q_{50}$	Läckflödet vid 50 Pa tryckskillnad
e och f	Vindskyddskoefficient enligt tabell

Tabell 3, definition av variabel e och f

Vindskyddskoefficient e och f	Flera sidor exponerade	En sida exponerad
Koefficient e för avskärmningsklass		
Ingen avskärmning, öppet landskap	0,10	0,03
Måttlig avskärmning,	0,07	0,02
Kraftig avskärmning, skog eller stad	0,04	0,01
Koefficient f	15	20

### 3.3 Transmissionsförluster

För att kunna beräkna transmissionsförlusterna genom ett plant skikt beräknas först U-värdet om detta inte redan är angivet enligt ekvation 2.6.[9]

$$U = \frac{\lambda}{\delta} \quad \text{ekv. 2.6}$$

$$U = U\text{-värde}, \lambda = \text{lambd}, \delta = \text{tjocklek(m)}$$

Om det finns flera lager av olika material så beräknas ytans totala U-värde genom formel 2.7.[9]

$$\frac{1}{U_{tot}} = \sum \frac{1}{U_n} \quad \text{ekv. 2.7}$$

$$U_{tot} = \text{totalt } U\text{-värde}, U_n = U\text{-värde för material } n$$

När det totala U-värdet för ytan är beräknad så kan de totala förlusterna beräknas med ekvation 2.8.[10]

$$W = (U * A + P * \Psi) * \Delta T \quad \text{ekv. 2.8}$$

$$W = \text{förluster}, T = \text{temperatur(K)}, A = \text{Area}, P = \text{perimeter}, \\ \Psi = \text{värmegenomgångskoefficient}$$

Värmegenomgångskoefficient syftar på områden runt dörrar, fönster och andra öppningar i fasaden som leder till köldbryggor. Anledningen till detta är att även om fönstret i sig har lågt U-värde så kommer området runt exempelvis fönstret blir sämre isolerat eftersom avståndet mellan utetemperaturen och innetemperaturen blir kortare och därmed sämre isolerat.

För att beräkna förlusterna genom en cylinder används ekvation 2.9.[9]

$$P = \frac{2 * \lambda * \pi * L * \Delta T}{\sum \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\lambda}} \quad \text{ekv. 2.9}$$

$$P = \text{förluster}, r_2 = \text{ytterradien(m)}, r_1 = \text{innerradien(m)}, L = \text{rörets längd}$$

#### 3.3.1 Isolering av fasad

Huset är tänkt att vara putsat och detta går att konstruera på flera olika sätt och U-värdet varierar kraftigt beroende på hur väggen konstrueras och tjockleken av isoleringen.

Längst in mot innerväggen ska den bärande konstruktionen vara, utanpå detta kommer om det behövs det isolerande materialet och möjligtvis även rör för ventilationsluft vara. Innan putsen kommer bör vindskydd, vattenskydd och luftspalt finnas för att möjliggöra att eventuell fukt som kommer in kan ta sig ut och inte bildar mögel. Tidigare användes enstegstätade fasader där fukt och vindskydd var samma skydd i form av cellplast men detta har lätt till stora fuktproblem vilket gör att numera är tvåstegstätad fasad vanligare.

### 3.3.1.1 Bärande material

Bärande material i väggarna kan vara av lättbetong, lecablock eller träreglar där isolering sätts mellan reglarna.

#### Lättbetong

Lättbetong har små luftbubblor i sig vilket leder till en betydligt lägre värmeledningsförmåga jämfört med betong och minskar även densiteten. Lättbetong köps oftast i färdiga block eller hela väggelement vilket förenklar konstruktionen. Lättbetong har högre lambda än marinull men de har också högre värmetröghet vilket kan hjälpa till att hålla en jämnare temperatur i huset och minskar då behovet att ha hög effekt på värmekällan om temperaturen sjunker.

#### Lecablock

Lecablock består av kulor med bränd lera som sedan blandats ihop med cement. Detta gör lecablock till ett icke organiskt material vilket minskar risken för mögel och fuktskador blir lägre. Tack vare att de blir många små hål så blir isoleringsförmågan högre än solid betong och så är de värmeförluster vilket gör att de behåller värme under längre tid och ger ifrån sig värme. För att detta ska kunna utnyttjas så krävs det att temperaturen tillåts variera några grader inne i huset.

#### Träreglar och isolering

Genom att använda träreglar som bärande material och isolering mellan reglarna så utnyttjas isoleringens låga U-värde vilket leder till en bättre isolering. Med en vägg med träreglar blir det också lättare att montera tavlor mm på insidan av väggen då det kan vara svårare att arbeta med betong. En nackdel med denna konstruktion är att trä och isolering har låg värmetröghet vilket ökar effektbehovet vid variationer av utetemperaturen.

Tabell 4, Lambda och U-värde för bärande material [11]

Bärande material	Lambda	Tjocklek	U-värde
Lättbetong	0,12	0,15	0,8
Lecablock	0,20	0,19	1,05
Träreglar och marinull	0,047	0,15	0,32
Träreglar och polyuretan	0,032	0,15	0,21

### 3.3.1.2 Isolering

Utanpå den bärande konstruktionen sätts isolering som kan anpassas i tjocklek efter önskad isoleringsförmåga. Isoleringen kan vara av mineralull, cellplast, polyuretan eller cellulosa.

#### Mineralull

Mineralull består av smält glas eller sten som har vävts till tunna trådar och sen sätts ihop i aningen block eller på rullar. En del av isoleringsförmågan beror på den stillastående luften som finns i mellanrummen som skapas. Av denna anledning så bör inte mineralull tryckas ihop för mycket då en del av isoleringsförmågan då försvinner. Det betyder också att om det inte finns en vindspärr utanpå isoleringen så försvinner en stor del av isoleringsförmågan då vinden trycker den kalla luften genom mineralullen. Andra viktiga egenskaper som mineralull har är att det varken brinner, ruttnar eller absorberar vätska.[12]



### Cellplast

Cellplast är expanderad polystyren som är oljebaserat vilket gör att det inte är så miljövänligt men det finns möjlighet att återvinnas. Som isolering kommer de oftast som färdiga block med varierande tjocklek men det finns även som kulor för utfyllnad av utrymmen. Cellplast har väldigt bra isoleringsförmåga men variera lite beroende på kvalitet. En nackdel mot mineralull är däremot att de lätt brinner och att röken blir väldigt tjock.[13]

### Polyuretan

Om riktigt lågt U-värde önskas så finns polyuretanisolering som är en vätska som sprayas under högt tryck för att senare expandera och fylla ut utrymmet. Efter att ha expanderat till över 100 gånger sin ursprungliga volym så täcker de även igen luftspringor vilket gör att det även fungerar som ett bra vindskydd. En nackdel är däremot att det krävs speciell utrustning och kunskap för att kunna applicera polyuretanet vilket leder till en högre kostnad. Den bättre isoleringen kan däremot leda till energibesparingar som i längden återbetalar den högre kostnaden. [14]

### Cellulosaisolering

En isolering som blir allt populärare är cellulosaisolering som består av träfiber från återvinner tidningspapper. Detta gör isoleringen miljövänlig samtidigt som den är enkel att hantera då den inte irriterar huden till skillnad från polyuretan och mineralull. Träfiber i sig har inte så bra isoleringsförmåga men precis som mineralull så utnyttjar det luftens isoleringsförmåga då det är väldigt luftigt.[15]

Tabell 5, Lambda och U-värde för olika isolerande material

Isolering	Lambda	U-värde vid 10 cm	U-värde vid 15 cm
Mineralull	0,037	0,37	0,25
Cellplast	0,037	0,37	0,25
Polyuretan	0,020	0,20	0,13
Cellulosa	0,039	0,39	0,26

### 3.3.2 Tak

Taket är speciellt på ett enplanshus då det utgör en väldigt stor del av klimatskalet och där finns även stor möjligheter att isolera. För det mesta brukar innertaket på byggnaden isoleras och sen är taket bara ett skal ovanpå för skydd mot väder och vind. De vanligaste taken idag är plåttak och tegelpannor i betong men något som blir allt populärare är olika former av växttak. Växttak har flera fördelar då de både skyddar huskonstruktioner, håller ute värmen på sommaren, tar hand om regnvatten och förbättrar närmiljön. En nackdel är däremot att det är väldigt tungt vilket gör att husets konstruktion måste vara dimensionerad för att klara den extra vikten jämfört med plåttak.

### 3.3.3 Grund

De vanligaste grunderna för hus idag är betongplatta där några lager med cellplast läggs ut för isolering och sen läggs armeringsjärn ovanpå för att hålla ihop betongen som senare hålls över.

Hur väl huset ska isoleras mot mark går att variera beroende på den totala tjockleken med cellplast och kvalitén på cellplasten. Idag är det vanligt med 30 cm cellplast men för bättre isolering så kan det utökas. [16] För att förbättra isoleringen så går det även att använda polyuretan.

Ifall huset har tjocka väggar så är det även möjligt att bygga upp kanter för cellplasten där innerväggen ska vara för att minska risken för köldbryggor som kan uppstå när betonggrunden går hela vägen ut mot fasaden. Genom att bygga köldbryggbrytare så isoleras betongen under golvet och där golvvärmen är ifrån den betongen som är ut mot fasaden. Nackdelen är att för att köldbrytaren ska ha någon effekt så måste denna hamna under väggen vilket gör att väggen måste vara ganska tjock.

För att beräkna transmissionsförlusterna har ISO standarden SS-EN ISO 13370, även kallad "Byggnadens termiska egenskaper – Värmeöverföring via marken – Beräkningsmetoder" tagits fram. Swedisol har tagit fram ekvation 2.10 [17] för att beräkna de totala förlusterna genom grunden.

$$H_g = A * U + P * \Psi \quad \text{ekv. 2.10}$$

$A =$  plattans invändiga area,  $P =$  plattans perimter(omkrets mot uteklimat)

När U-värdet för platta ska räknas ut för en villa så är grundens perimter samma som omkretsen om det inte är ett radhus där delar gränisar mot andra byggnader. För marken så brukar värmekonduktiteten räknas till 1,5 för lera, 2,0 för sand och grus och 3,5 för berg. Om markförhållanden på platsen är okända används 2,0. Först beräknas parameterna  $B'$  och  $d_1$  fram enligt ekvation 2.11 och 2.12. Om  $B'$  är större än  $d_1$  så används ekvation 2.13 och om  $B'$  är mindre än  $d_1$  så används ekvation 2.14. [17]

$$B' = \frac{2 * A}{P} \quad \text{ekv. 2.11}$$

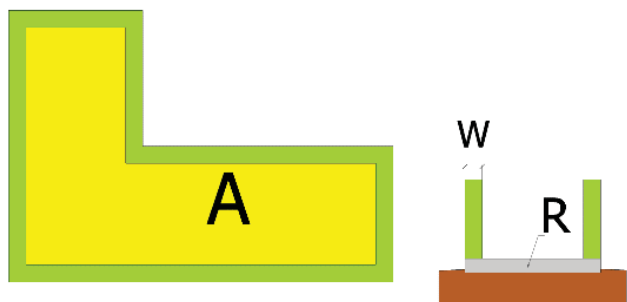
$$d_1 = w + \lambda(R + 0,17) \quad \text{ekv. 2.12}$$

Om  $d_1 < B'$

$$U = \frac{\lambda}{0,457 * B' + d_1} \quad \text{ekv. 2.13}$$

Om  $d_1 > B'$

$$U = 2 * \frac{\lambda}{\pi * B' + d_1} * \ln\left(\frac{\pi * B' + d_1}{d_1 + 1}\right) \quad \text{ekv. 2.14}$$



Figur 3, Förteckning av parametrar för grund

### 3.3.4 Fönster

Den största delen av transmissionsförluster i en byggnad sker genom fönster då dessa har betydligt lägre u-värde än isolerade väggar. Detta gör att för att få ner behovet av uppvärmning så är det viktigt att fönster väljs med lågt U-värde och att de monteras tätt. Bra isolerade fönster leder även till att risken för kallras minskar och därmed blir klimatet invändigt bättre[18 s.25]. Om det inte blir kallt runt fönstren så går det även att minska

temperaturen i huset lite då det inte behöver kompensera den kylande effekten som de boende känner pga kallrasen.

På dagens fönster är isoleringen bättre i glaset och de gaser som är mellan glaset än karmen runt fönstret vilket gör att ett större fönster når lättare ett lågt U-värde än ett litet och detta har även lett till att beräkning av U-värde alltid utgår från det bestämda måttet 1230\*1480 mm. Fönster som har betäckningen 0,80 och är större har ett lägre U-värde då glasdelen täcker en större andel av ytan och mindre fönster har då ett högre U-värde. [19]

### 3.4 Ventilation

Att ha bra luft i hushållet är viktigt för hälsan och välmåendet. Om ventilationen är bristfällig i en lokal där många vistas så ökar koldioxidhalten vilket lätt leder till trötthet men även fysiska besvär. Enligt en forskningsrapport i Danmark så är 10 % av de som undersöktes missnöjda om koldioxidhalten överstiger 700 ppm. För att klara denna nivå så krävs att ventilationen byter ut 12 l/p,s[18, s. 45-48].

Enligt Boverkets regler så bör utluftsflödet inte understiga 0.35 l/m<sup>2</sup> när människor vistas i lokalen och det bör aldrig understiga 0,1 l/m<sup>2</sup>. Frånluften bör tas ifrån de rum där kraven på luftkvalitet är som lägst. [20]

Enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation[21] bör luftomsättningen i ett rum inte understiga 0,5 rumsvolymer per timme när någon vistas i rummet. Detta betyder att all luft i ett rum bör vara utbytt på två timmar. Vid normal takhöjd på 2,4 m så är detta lika med 0,35 l/m<sup>2</sup>.

Eftersom att stora mängder luft ska bytas ut i ett stort hus så kan detta leda till stora förluster om inte värmeenergin i utluften tas tillvara innan luften lämnar huset.

#### 3.4.1 Övertryck eller undertryck

När ventilation ställs in så kan trycket i huset påverkas genom att anpassa från- och tilluft i ventilationen och båda har sina för och nackdelar. Genom att ha undertryck i huset ses det till att fuktig luft som bildas inne i byggnaden inte tränger ut i konstruktionen och riskerar att bilda fuktskador ifall konstruktionen är organisk och det inte finns ett bra fuktskydd innanför. Ett undertryck leder däremot till att om konstruktionen inte är tät så kommer kall luft tränga in igenom fasaden när det är kallt ute och därmed öka uppvärmningsbehovet. Ett undertryck kan även leda till att om det finns giftiga ämnen in i isoleringen och konstruktionen så kan detta tränga in i huset och då försämra klimatet inomhus.[22]

Ett övertryck gör att ämnen i husets konstruktion inte kommer att tränga in i huset men det blir viktigare att ha ett fuktskydd innanför husets konstruktion ifall den är byggd av organiska material. Detta leder också till att om huskonstruktionen inte är tät så kommer varm luft tränga ut genom klimatskalet om detta inte är tätt och därmed kan det leda till förluster som uppvärmningssystemet måste kompensera.

#### 3.4.2 Självdragsventilation

Om fasaden i ett hus inte är helt tät leder detta till att vinden tränger sig igenom och leder därmed till att luften byts ut och fungerar därmed som ventilation. Detta kan fungera helt

utan fläktar vilket gör den väldigt billig och så gott som underhållsfri. Att de inte finns några fläktar betyder också att det inte låter och inte har någon energianvändning. Nackdelen med denna sortens ventilation är att det inte går att styra ventilationen och eftersom att den påverkas mycket av vinden så varierar ventilationen över året. Möjlighet till att ta tillvara på energin i utluften är inte heller möjlig vilket leder till stora förluster framförallt på vintern då det blåser som mest och skillnaden mellan innetemperaturen och utetemperaturen är som störst. För att ha en jämnare luftströmning under året och framförallt under sommaren då självdrag annars inte alltid räcker så kan fläktar installeras för tilluft.[18]

### 3.4.3 Frånluftsventilation

Ett sätt att få ett jämnare flöde är frånluftsventilation som skapar ett undertryck i byggnaden och därmed tränger luft igenom väggar och springor. Fördelen med detta är att fukt inne i byggnaden inte tar sig ut i byggkonstruktionen och riskerar att skapa mögel och att ventilationen blir jämn över året. Problemen som kan uppstå är däremot att om det finns glipor i fasaden så bildas det drag av kall luft som kan uppfattas negativt för de boende. Om återvinning av utluften önskas så kan en frånluftsvärmepump installeras men oftast är det inte tillräckligt effektivt för att det ska bli lönsamt i längden. [18]

### 3.4.4 Frånlufts och tilluftssystem med värmeåtervinning

Ett system som är vanligt i framförallt större byggnader är att en värmeväxlare används mellan tilluften och frånluften för att minska förlusterna i ventilationen. Genom att låta frånluften värma upp tilluften innan den lämnar byggnaden så kan ventilationsförlusterna minska drastiskt och luften som kommer in i byggnaden har blivit uppvärmd redan vilket minskar risken för kallras och kalla områden i huset. Det finns även möjlighet att filtrera luften innan den kommer in i huset vilket ökar luftkvaliteten i huset. En nackdel med dessa system är att de kan vara komplicerade att ställa in så att de drivs på rätt sätt och att de är dyra i installationskostnad. Vid installation i enplanshus så är det smidigast att dra rörledningarna på vinden men om det är en kallvind så är det viktigt att isolera rören för att minska förlusterna. Aggregatet bör gå att komma åt vilket gör det till en fördel om detta kan placeras inne i huset eller lättillgängligt på vinden. [18]

Vid placering av tilluft och frånluftsventiler i rum så bör cirkulationen tas i hänsyn. Det bästa sättet brukar oftast vara att ha tilluft i taket genom ventiler där riktningen kan anpassas och sen ha frånluft antingen på väggen eller i taket. Detta leder till att det skapas en bra cirkulation i rummet och det påverkar inte uppvärmningssystemet lika mycket. Om luften är kall så märks detta inte heller lika tydligt som vid andra placeringar. Nackdelen är att detta brukar leda till en dyrare installation.

Ett sätt som är lättare att installera i stora byggnader och där med billigare är att både tilluft och frånluft placeras i väggarna och sen dras rörledningarna i korridorerna eller undertaket med avstickare till varje rum. Detta gör det lätt att installera och enkelt att underhålla men det kan vara svårare att få en bra cirkulering av luft i rummen då både från och tilluft placeras på samma vägg.

Att ha tilluft från fönsterapparater som placeras under fönster och sen frånluft på väggen eller i taket borde tekniskt vara den bästa lösningen då de skulle leda till ett bra genomflöde genom hela utrymmet men problemet är att systemet lätt täpps igen av damm och rester från blommor i fönster och ofta är det väldigt svårt att hålla rent vilket täpper till systemet.

För mindre byggnader och bostäder finns system där två fläktar sätts i varsin ände av rummet eller huset och varje fläkt har ett värmebatteri. De två fläktarna turas då om att blåsa in och ut luft för att hålla ett jämt tryck i huset. En fläkt blåser då först ut luft så att värmebatteriet värms upp av utluften och sen när fläktarna byter riktning så värms luften upp innan de blåser in i rummet. Detta system har många av fördelarna som från och tilluftssystem fast det är enklare att installera.[23]

Ventilationsförluster beräknas enligt ekvation 2.15.[18, s.139]

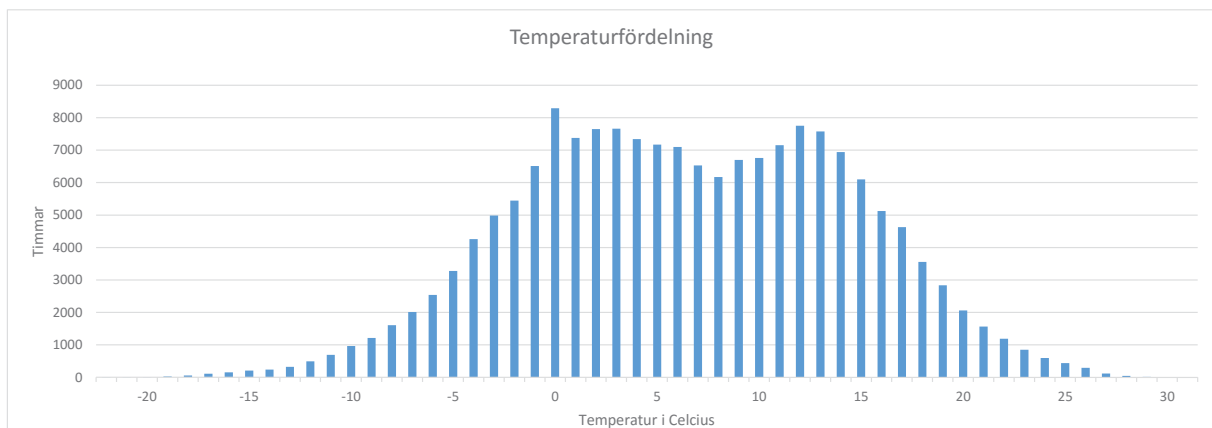
$$W_f = L_f * s * d * \Delta T * (1 - \eta) \quad \text{ekv 2.15}$$

$$L_f = \text{Luftflöde}(m^3/s), s = \text{specifik värmekapacitet}(kWh/kg, ^\circ C), \\ d = \text{densitet}(kg/m^3), \eta = \text{verkningsgrad}$$

### 3.5 Väder

För att kunna beräkna förlusterna som sker i huset över året så måste även utetemperaturens variation vara med i beräkningarna. Förlusterna är direkt proportionell mot skillnaden av temperatur mellan yttre temperatur och innertemperatur och är därmed av högsta betydelse. Detta gäller både transmissionsförluster genom väggar och tak men även förluster som sker genom ventilationssystemet.

De två av SMHIs väderstationer som ligger närmst husets placering är Zinkgruvan (13 km) och Kettstaka (20 km). Eftersom att Zinkgruvan bara har data för en mätning per dygn och Kettstaka har mätningar för varje timme så har data från Kettstaka valts[24]. I figur 4 ses hur temperaturen varit under tiden. Det fattas mätningar för vissa tider men då detta endast är 1,47 % av den totala tiden från 1996-2015 så anses detta försumbart. Avståndet mellan mätstationen och tomten kan leda till viss felmarginal och om omgivningen runt väderstationen och tomten varierar så kan även detta påverka. Med flera nya värerekord de senaste åren så finns det stor risk för högre temperaturer de kommande åren än medeltemperaturen de senaste 20 åren vilket leder till minskade förluster.



Figur 4 Temperaturvariation i Kettstaka 1996-2015[24]

Eftersom att transmission och ventilationsförluster endast sker när det är kallare utomhus jämfört med inomhus så beräknas förlusterna i fortsättningen endast för 8278 timmar och

under denna tid är medeltemperaturen 6,9°C. Innetemperaturen sätts till 21°C vilket ger en temperaturskillnad på 14,1°C.

Förutom temperaturen i skuggan så har även solstrålning och vinden viss påverkan på förlusterna som sker i huset. Solen värmer upp huset och kan då leda till att transmissionsförlusterna minskar om det är kallt ute men då det finns osäkerhet på skuggbildning från omgivande miljö så räknas detta inte med. För vinden så påverkar miljön runt om mycket vilket betyder att de mätvärden som finns på närmast liggande väderstation kanske inte är relevanta och därför tas dess kylande effekt inte med i beräkningarna.

### 3.6 Solceller och solfångare

Med den snabba utvecklingen som har skett de senaste åren med högre verkningsgrad till lägre pris så sjunker kostnaden för el från solceller. Dock så har elpriset varit väldigt lågt de senaste åren och enligt elen.se har spotpriset legat runt 30 öre/kWh exklusive moms.[25] Detta förlänger återbetalningstiden för solceller men då flera kärnkraftverk planeras att stängas ner de kommande åren så finns det en stor risk att elpriserna kommer att stiga och då kan lönsamheten öka och återbetalningstiden minska.[26]

Förutom elpriset så betalas även elskatt som ligger på 29,2 öre/kWh exklusive moms[27] och elnätsavgifter till vattenfall då de äger elnätet[28] på 29 öre/kWh vid enkeltariff eller 59 öre/kWh mellan 07 och 22 januari, februari, mars, november och december och 16 öre/kWh den resterande delen av året om tidstariff används.[29] Detta gör att den totala rörliga avgiften som påverkas av elkonsumenterna blir runt 103 öre/kWh vid enkeltariff och vid tidstariff blir det runt 133 öre/kWh eller 90 öre/kWh.

För den elen som produceras utöver den egna konsumtionen så fås både försäljningspriset som varierar stor mellan olika elleverantörer, elcertifikat och skatteavdrag av 60 öre/kWh.[30] Skatteavdraget går däremot endast att fås för den mängden el som även köps tillbaka från elnätet och att husägaren anmäler sig som egenföretagare. Som elproducent så går det också att få elcertifikat för elen som produceras. För varje MWh fås ett elcertifikat. För att få elcertifikat för all el som produceras så behöver en specifik elmätare sättas in mellan produktionen och konsumtionen annars så fås elcertifikat endast för den el som skickas ut på elnätet. [31]Det genomsnittliga priset de senaste åren har legat runt 140 kronor vilket ger en inkomst på 14 öre/kWh. [32]

Sedan den 1 januari 2015 så är investeringsstödet för solcellsanläggningar 20 % av den totala kostnaden för privatpersoner och 30 % för företag. [33]

Solfångare används idag för att värma upp varmvatten som kan användas både till varmvatten och vattenburen värme. Dessa har betydligt högre verkningsgrad än solceller men deras nytta är mer begränsad till endast sommarhalvåret då solen inte värmer upp vattnet tillräckligt på vintern för att göra nytta.

### 3.7 Ekonomi

För att beräkna återbetalningstiden så används pay-off metoden. I denna så divideras investeringskostnaden med årsintäkterna minus årskostnaderna. Denna metod tar inte hänsyn till ränta, den ekonomiska livslängden eller restvärdet.[34 S. 230] Se ekvation 2.16

$$t_{po} = \frac{K_i}{I_{\text{å}}} \quad \text{ekv 2.16}$$

$t_{po} = \text{återbetalningstiden}, K_i = \text{investeringskostnad}, I_{\text{å}} = \text{årsinkomster}$

För att räkna ut en genomsnittlig kostnad per år medräknat räntekostnader över en produkts ekonomiska livslängd så använts annuitetsmetoden.[34, S.18] Annuiteten beräknas med hjälp av ekvation 2.17.[35, s. 33] Detta multipliceras sen med investeringskostnaden för att få fram en årlig kostnad i ekvation 2.18. Detta gör det sen lättare att jämföra den årliga kostnaden med den årliga nyttan som produkten medför.

$$a = \frac{r}{1-(1+r)^{-N}} \quad \text{ekv 2.17}$$

$a = \text{annuiteten}, r = \text{ränta}, N = \text{avskrivningstid}$

$$K_{\text{å}} = a * K_i \quad \text{ekv 2.18}$$

$K_{\text{å}} = \text{årskostnad}$

### 3.8 Konstruktion

När ett hus byggs för att hålla nere energianvändning så är det väldigt viktigt att huset konstrueras på rätt sätt för att förlusterna inte ska bli för stora och beräkningarna ska hålla sig nära verkligheten. En viss felmarginal kommer alltid finnas men denna kan minimeras genom att bygga huset rätt. De områden som är viktigast är enligt Swedisols Bilaga H[36], Konstruktiv utformning är luft och ångtäthet, isoleringens utförande, vindskydd och ventilerad luftspalt.

#### Luft och ångtäthet

Med dagens mer avancerade ventilation så är det viktigt att byggnaden är tät för att det ska fungera på rätt sätt och för att förhindra att fuktig inneluft tränger ut i konstruktionen ifall det är övertryck. Detta stoppas bäst med en folie och då är det också viktigt att täta öppningar och skarvar mellan folien.

#### Isoleringsutförande

Eftersom att luft stiger när den blir uppvärmd så kan glipor i isoleringen led still att den varma luften som har värmts upp på insidan av isoleringen stiga vilket låter kall luft passera genom gliporna och skapar i så fall passager för luften förbi isoleringen och gör därmed att isoleringen inte isolerar.

#### Vindskydd

Då vind har en kylande effekt och kan tränga sig igenom mineralull så är det viktigt att ha ett bra vindskydd utanpå isoleringen för att inte försämra isoleringen. Hur höga krav som bör finnas på vindskyddet beror på vilken fasad som är utanför, hur högt huset är och vilken miljö huset står i. Om isoleringen är lufttät så kan ett separat vindskydd vara onödigt och släppas.

#### Ventilerad luftspalt.

Innanför fasaden men utanför isoleringen bör det finnas en luftspalt på minst 20 mm där möjlig fukt som kommer in genom fasaden eller ut genom konstruktionen kan ventileras bort. Om ytterväggen är konstruerad som sandwich där det finns betong på båda sidor om isoleringen så kan luftspalten släppas.

### 3.9 Basta

För att minska användandet av kemikalier och bidra till Sveriges mål om giftfri miljö så har Basta[37] en tagit fram kriterier som utgår från EUs lagstiftning REACH. Basta är en icke vinstdrivande organisation där företag kan registrera sina produkter om de klarar kriterierna och sen har alla fri tillgång till registret. Detta gör det lättare för fastighetsägare, arkitekter och privatpersoner att kontrollera så att användandet av kemikalier i byggnaderna hålls nere och därmed även minskar de negativa effekterna de kan ha för de som vistas i huset.



## 4 Resultat

### 4.1 Passiv och minienergihus

Eftersom att huset ligger i klimatzon 1 så ligger kravet på  $15 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$  men om ekvationen 2.1 används så kan ett mer exakt värde beräknas. Eftersom att huset ligger i närheten av Örebro så är  $DVUT_{12\text{-dygn}}$  lika med  $-13,6^\circ\text{C}$ . [4 s.15]

$$MAX VFT_{DVUT} = 12,3 - 0,227 * (-13,6) = 15,39$$

Eftersom huset är mindre än  $400 \text{ m}^2$  så kan  $2 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$  läggas till vilket ger ett värde på 17,39. Den totala golvarean innanför ytterväggarna är  $272 \text{ m}^2$  vilket ger en total effektanvändning på 4729 W. Sätts detta in i ekvation 2.2 så kan maximalt  $H_T$  beräknas.

$$VFT_{DVUT} = H_T * \frac{21 - DVUT}{A_{\text{temp}}}$$

Detta ger att  $H_T$  får maximalt vara 137 för att huset ska nå kraven för passivhus.

För att klara kraven för minienergihus så kan ett tillägg på  $5 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$  läggas till vilket ger ett  $VDT_{DVUT}$  på 20,38 W. Den totala effekten blir då 160 W.

$$H_T = U_m * A_{\text{omsl}} + \rho * c * q_{\text{läck}} + \rho * c * d * q_{\text{vent}} * (1 - v)$$

### 4.2 Ventilation

#### 4.2.1 Ventilationskrav

I tabell 6 framförs vilka kvalitetskrav och rekommendationer som finns idag. Siffrorna för antal personer är framtagna för att jämföra hur många som behöver vistas i huset för att de ska höja kravet.

Tabell 6, Visar vad de olika kraven ställer för krav på ventilationen i huset

	Krav	enhet	l/s	m <sup>3</sup> /h
Boverkets regler	0,35 l/m <sup>2</sup> ,s	264 m <sup>2</sup>	92,4	332,6
Boverkets regler	12l/person,s	8 personer	96	345,6
Boverkets regler	0,1 l/m <sup>2</sup>	264 m <sup>2</sup>	26,4	95
Folkhälsomyndigheten	0,5 r/m <sup>3</sup> ,h	686 m <sup>3</sup>	95,33	343

För att ge en rättvis beräkning av förlusterna genom ventilationen så beräknas bara de timmar på året som utetemperaturen var lägre än innetemperaturen och medeltemperaturen beräknas också under denna tid. Detta ger att antal timmar per år som temperaturen är under  $21^\circ\text{C}$  är 8278 timmar och under dessa timmar så är medeltemperaturen  $6,9^\circ\text{C}$ . Detta ger en temperaturskillnad mellan ute-, och innetemperatur under på  $14,1^\circ\text{C}$  under dessa timmar. Med ett luftflöde på totalt 95,33 l/s så ger detta förluster på totalt 13353 kWh. Om

ventilationen dras ner till 26,4 l/s 9 timmar per dygn då huset står tomt så minskar förlusterna till 9970 kWh. Beräkningarna finns i bilaga 3.

#### 4.2.2 Värmeåtervinning i ventilation

För att minska förlusterna så finns idag flera system för att ta tillvara på energin genom att använda FTX-aggregat. FTX-aggregat är från- och tillluftsaggregat med värmeväxlare som tar tillvara på värmen i frånluften och tillför denna till tilluften innan den åker in i huset. För detta har två FTX-system valts att jämföras för att se hur de skulle kunna minska förlusterna.

##### HERU 100 T EC

Denna modell hängs på väggen i ett uppvärmt utrymme såsom grovköket och har en verkningsgrad på upp till 86 %[38]. Vid ett luftflöde på 92,4 l/s är verkningsgraden 83 % och för luftflödet 26,4 l/s är verkningsgraden 84 %. Detta ger att de totala förlusterna i värmeväxlaren blir 1597 kW per år efter användning av ekvation 2.15. Beräkningar finns i bilaga 3.

##### HERU 115 T

Denna modellen har en verkningsgrad på 86 % vid luftflödet 92,4 l/s och en verkningsgrad 81 % vid luftflödet 26,4 l/s[38]. Detta gör att de totala förlusterna i värmeväxlaren på ett år blir 1396 kWh efter användning av ekvation 2.15. Beräkningar finns i bilaga 3.

De större aggregatet HERU 115 H har högre verkningsgrad vid det högre flödet som krävs vilket leder till mindre förluster. Detta är däremot inte räknat med energianvändning som kan krävas och den eventuella högre kostnaden som det större aggregatet innebär.

#### 4.2.3 Förluster i ventilationsrör

Förutom förluster i FTX-aggregatet så sker det även förluster från rören som är dragna upp på vinden. De transmissionsförlusterna som sker här och de läckagen som också leder till förluster ska räknas med i ventilationens totala verkningsgrad när beräkning för kraven på passivhus beräknas. Luften som åker ut ur huset åker i snitt genom 8 meter rör innan de kommer till värmeväxlaren och luften som åker in i huset åker i snitt igenom 8 meter rör från värmeväxlaren tills det kommer in innanför klimatskalet. De totala förlusterna för frånluften ifall de är 20 cm mineralull och temperaturen på vinden är samma som utetemperaturen blir då 155 kWh per år. För beräkningarna används ekvation 2.9. Eftersom att all värme inte kommer gå över till tilluften så kommer förlusterna där vara mindre. Om värmeväxlaren har en verkningsgrad på kring 84 % så blir förlusterna i tilluft bli ungefär 130 kWh/år. Beräkningar finns i bilaga 3.

### 4.3 Transmissionsförluster

#### 4.3.1 Ytterväggar

Utanpå den bärande konstruktionen sätts isolering som kan bestå av cellplaster, polyuretanisolering eller mineralull. Utanpå isoleringen ska vind-, och fuktskydd finnas innanför luftspalten som ser till att fukt som kommer in genom fasaden kan avdunsta eller

rinna ut. Om det finns ett bra luftflöde för att få bort fukt så kommer de yttre skikten inte att hjälpa till med att isolera huset och därmed räknas det inte med. I tabell 7 beräknas de totala värmeförlusterna som sker genom väggarna vid användning av olika tjocklekar på isoleringen.

Tabell 7, jämför förluster beroende på konstruktion

	U-värde	Transmissionsförluster per år
Lättbetong, 20 cm isolering	0,15	2968 kWh
Lättbetong, 20 cm polyuretan	0,09	1910 kWh
Träreglar, 20 cm isolering	0,12	2335 kWh
Träreglar, 20 cm polyuretan	0,07	1460 kWh

#### 4.3.1.1 Polyterm

Polyterm är ett företag som har jobbat med isolering av hus och lager sedan 1978[39]. De erbjuder två typer av väggar där ena väggen är lecablock med polyuretan på utsidan och den andra är med träreglar och polyuretan mellan och sen ett lager mineralull på utsidan. I deras väggar med lecablock använder de 25 cm tjocka lecablock och sen 10 cm polyuretan vilket ger ett totalt U-värde på 0,17 W/m<sup>2</sup>,k. Detta skulle ge totalt transmissionsförluster på 3409 kWh/år vid användning av ekvation 2.6, 2.7 och 2.8. De längsta öppningarna de kan göra för fönster och dörrar med lecablock är på 6 meter. För deras väggar med träreglar så använder de reglar som är 145 mm och sen har de polyuretan mellan reglarna. Utanpå så har de sen 100 mm mineralull och detta ger ett totalt U-värde på 0,18 W/m<sup>2</sup>,k efter användning av ekvation 2.6 och 2.7. Detta skulle ge totala transmissionsförluster på 3588 kWh/år enligt formel 2.8.[40] Eftersom att polyuretan är så tät så använder de inte någon ång- eller vindspärr. Eftersom att Polyterm använder slutna celler så leder detta också till att luftläckage i väggarna kan hållas väldigt låga. Se beräkningar i bilaga 1.

#### 4.3.1.2 Merbo

Merbo bygger hus med träreglar och polyuretan som isolering där väggen är 299 mm tjock. Polyuretan har de både mellan reglarna och utanpå vilket ger ett U-värde på totalt 0,11 för hela väggen och detta skulle ge transformationsförluster på totalt 2173 kWh per år vid användning av formel 2.9. Se beräkningar i bilaga 1. De kan erbjuda tätning som når kraven för passivhus på maximalt läckage på 0,3 l/m<sup>2</sup>,s vid tryckskillnad 50 Pa. [41]

#### 4.3.1.3 H+H Termoblocket

Derasa blocket är av lättbetong med integrerad isolering vilket ger det både bra bärhet och en bra isoleringsförmåga. De finns i tre tjocklekar på 350, 400 och 460 mm. Dessa har ett U-värde på 0,18, 0,12 och 0,09[42]. En nackdel med dessa är att de inte kan användas över dörrar och fönster vilket gör att på dessa ställen krävs det att lättbetongsbalkar används och dessa finns i måttet 250, 300 och 365 mm och har ett U-värde på 0,54, 0,46 och 0,38[43]. Detta leder till att om inte extra isolering används för att fylla ut utrymmet så ökar värmeförlusterna över fönstren och att risken för kallras ökar eftersom isoleringen försämras även ovanför fönstret. H+H kan däremot inte tillverka balkar längre än 4,5 meter vilket är kortare än glaspartiet vilket

gör att denna balk måste införskaffas från annan tillverkare och U-värdet för denna balk kan variera.

Om H+Hs cellbalk används och en cellbalk över glaspartiet med samma U-värde används så blir de totala transmissionsförlusterna genom väggarna 2650 kWh per år. Detta förutsätter att balken är en halvmeter längre än vad öppningen är men detta mått varierar något beroende på hur lång balken behöver vara[43]. Eftersom att cellbalken är 95 mm smalare än termoblocket så skulle utrymmet kunna fyllas ut med isolering och därmed skulle förlusterna kunna minskas. För beräkningar se bilaga 1.

På andra hus byggda med lättbetong ligger läckaget mellan 0,13-0,27 l/m<sup>2</sup>,s vid tryckskillnaden 50 Pa och därför rekommenderar de att beräkningar görs med läckaget 0,3 l/m<sup>2</sup>,s.[44]

H+H har även valt att registrera sina produkter i Basta registret och klarar därmed deras kriterier för kemikalier.[45]

#### 4.3.1.4 AEROC EcoTerm Plus

Detta är lättbetongblock som är gjorda för låga U-värden och är därför tjocka. Fördelen med detta är att det inte behövs någon isolering utanpå utan dessa utgör hela väggen. De finns i måtten 300, 375 och 500 mm och deras U-värden är 0,25, 0,20 och 0,15 W/m<sup>2</sup>,K[46]. Då dessa endast är 600 mm långa så kan de inte sitta över fönster och dörrar. Över dessa behöver Aeroc balk[47] användas som har ett U-värde på 0,271 W/m<sup>2</sup>,K vid tjockleken 500 mm[48]. Aeroc erbjuder inte några bjälklag som är tillräckligt långa för glaspartiet ut mot terrassen vilket betyder att detta måste införskaffas från annan tillverkare ifall deras block används för konstruktion. U-värdet för denna balk och konstruktion kan variera. Om balk med samma U-värde som Aeroc balk används över glaspartiet så blir det totala transmissionsförlusterna 3327 kWh per år. För beräkningar se bilaga 1.

Då Aeroc bara erbjuder produkten och inte byggnation så kan de inte ge någon exakt data för luftläckage men då deras block är annorlunda konstruerade än H+H:s block som leder till tätare byggnation så bör deras läckage ligga lägre[48].

#### 4.3.1.5 Sjöberg & Thermé

Byggföretaget Sjöberg och Thermé bygger hus med höga krav på energihushållning. De slog 2014 svenskt rekord i lufttätt när de klarade nivån 0,032 l/m<sup>2</sup>,s vid lufttryckskillnaden 50 Pa[49]. De har efter det slagit sitt egna rekord och har nu som eget rekord 0,024 l/m<sup>2</sup>,s. Hur tätt de bygger beror på kundens krav men de ser alltid till att ligga under 0,1 l/m<sup>2</sup>,s och de ligger idag på ett snitt av 0,05 l/m<sup>2</sup>,s. De använder 400 mm cellulosa i väggar [50]. Detta skulle göra att de totala transmissionsförlusterna skulle vara 2425 kWh under ett år. För beräkningar, se bilaga 1.

### 4.3.2 Grund

Som grund på huset används betongplatta med cellplast av hög kvalitet eller polyuretan som isolering för att minska transmissionsförluster genom grunden. Den totala arean innanför klimatskalet är 272 m<sup>2</sup> och plattans omkrets är 93,12 meter. Väggarnas tjocklek är 365 mm. Idag är det normalt att ha 300 mm cellplast som grund[15] och detta skulle leda till förluster genom grunden på totalt 1387 kWh per år. Om ytterligare ett lager med 100 mm cellplast läggs till så minskar förlusterna genom grunden till 1006 kWh. Skulle polyuretan användas

istället så skulle 300 mm vara tillräckligt för att minska förlusterna till 755 kWh och om lagret utökas till 400 mm så minskar förlusterna genom grunden till 513 kWh. Sjöberg och Thermé använder 400 mm cellplast i sina grunder för att få ner förlusterna. Beräkningar finns i bilaga 1.

### 4.3.3 Fönster

På huset finns det 18 fönster med en total yta på 36,8 m<sup>2</sup> där större delen av fönstren har en storlek som är större än standarden 1230\*1480 mm. Detta gör att om fönster märkta med U-värdet 0,80 så kommer de genomsnittliga U-värdet för fönstren vara under 0,80 och därmed klara kravet för passivhus. Elitfönster erbjuder idag en fönsterserie som heter Elit Passiv som har U-värdet på 0,80 för standarden och kan leverera fönster i de storlekarna som behövs. De genomsnittliga U-värdet för samtliga fönster med fönsterserien elit Passiv blir 0,73 som är med god marginal lägre än kravet 0,80.[51] Se bilaga 1.

Det finns även ett stort fönsterparti som är på 14,4 m<sup>2</sup>, detta skulle kunna köpas hos Schüco som erbjuder skjutpartier med U-värde på 0,85 W/m<sup>2</sup>K vid denna storlek.[52] Detta höjer det genomsnittliga U-värde till 0,762 W/m<sup>2</sup>,k för den totala glasytan vilket leder till att de totala transmissionsförlusterna under ett år är 4552 kWh. Se beräkningar i bilaga 1.

### 4.3.4 Dörrar

Det finns tre dörrar på husets, förutom entrédörren finns det två dubbla glasdörrar ut mot poolen från vardagsrummet och underhållsrummet. Den totala ytan på dessa dörrar blir 10,24 m<sup>2</sup>. Som entrédörr skulle dörren Ytterdörr Paris 78 kunna användas som har ett U-värde på 0,61 W/m<sup>2</sup>,K tillsammans med två sidoljus Super-Energi som har ett U-värde på 1,1 W/m<sup>2</sup>,K. [53][54]. För altandörrar kan elit passivs dörrar ADO T4-16 användas och de har U-värde på 0,87 W/m<sup>2</sup>K. [51] De totala förlusterna skulle bli 1015 kWh per år. För beräkningar, se bilaga 1.

### 4.3.5 Innertak

#### 4.3.5.1 Polyterm

Polyterm erbjuder sprutning av polyuretan på vindar för att isolera innertaket vilket gör att taket isoleras väl och blir lufttätt för att minska luftläckage. De brukar då isolera med upp till 17 cm vilket ger en rejäl isolering. Då isolerar de även runt ventilationsrör för att minska förlusterna innan den varma luften når värmeväxlaren. Genom att använda slutna celler så leder detta även till att förluster som sker genom luftläckage blir väldigt små. De totala förlusterna genom innertaket om vinden inte är isolerad blir då 6238 kWh per år men då taket kommer ha viss isolerande effekt så kommer dessa förluster att vara mindre.[40] För beräkningar, se bilaga 1.

#### 4.3.5.2 Sjöberg och Thermé

När Sjöberg och Thermé bygger hus så brukar de använda 60 cm cellulosa till isolering av vind vilket leder till ett U-värde på 0,062 W/m<sup>2</sup>,K. Detta skulle leda till totala förluster genom taket på 1958 kWh per år. För beräkningar se bilaga 1.

#### 4.3.5.3 Ytong

Företaget Ytong erbjuder lättbetongsbjälkar för innertak som skulle kunna användas ihop med lättbetongsblock. Dessa bjälklag är 250 mm tjocka och har ett U-värde på 0,5 W/m<sup>2</sup>,K. För att öka isoleringen så behövs det läggas till isolering ovanför och med 35 cm isolering så blir totala U-värdet 0,1 vilket ger totala transmissionsförluster genom taket på 2770 kWh. För beräkningar se bilaga 1.[57]

### 4.4 Förluster genom luftläckage

Förlusterna som beror på luftläckage kan variera kraftigt beroende på hur tätt huset byggs vilket beror på tillverkare men även hur stor skillnaden är i lufttrycket ute och inne. Vid kravet för passivhus mäts det med ett lufttryck på 50 Pa men med ett bra ventilationssystem så bör skillnaden kunna hållas mindre. Förlusterna antas vara samma oavsett om det är undertryck eller övertryck eftersom vid undertryck så kommer motsvarande kall luft tränga in i huset och behöver då värmas upp. I tabell 8 ses hur varierande lufttrycksskillnad och täthet påverkar förlusterna i huset under ett år. För beräkningar se bilaga 3.

Tabell 8, förluster genom läckage i klimatskalet

Lufttryck	0,3	0,2	0,1	0,05
50 Pa	32553 kWh	21702 kWh	10851 kWh	5425 kWh
10 Pa	6511 kWh	4340 kWh	2170 kWh	1085 kWh
5 Pa	3255 kWh	2170 kWh	1085 kWh	543 kWh
1 Pa	651 kWh	434 kWh	217 kWh	109 kWh

### 4.5 Solceller

Med husets placering så är den bästa placeringen av solceller på taket över filmrummet och vardagsrummet där solcellerna kommer vara 24° mot öster och ha en lutning på 30°. Med en anläggning på 7 kW från Swedensol[56] som täcker ungefär 45 m<sup>2</sup> så skulle den totala årsproduktionen vara ungefär 6140 kWh[57] och den skulle kosta 88950 kr. Av detta kan 20 % fås tillbaka vilket gör att den totala kostnaden blir 71160 kr. I dessa priser är däremot montering och installation inte medräknat. En solcellspanels verkningsgrad blir däremot sämre med tiden och enligt garantierna så är verkningsgraden 90 % av ursprungliga efter 10 år och 80 % efter 25 år. Med en beräknad livslängd på 20 år och en genomsnittlig effektminskning på 0,5 %/år så kommer de totalt att producera 111 339 kWh. Se beräkningar i bilaga 2.

Om den årliga kostnaden beräknas med hjälp av annuitetsmetoden med en årliga ränta på 3 % och en återbetalningstid på 20 år så blir de årliga kostnaden 4783 kr. Under dessa år så kommer årsproduktionen däremot gå ner från 6140 kWh/år till 5117 kWh och i medel kommer

det ligga på 5567 kWh vilket ger en kostnad per kWh på 86 öre. Detta är räknat efter att alla kostnader är betalda på 20 år och då solcellspanelerna förväntas fungera längre än 20 år så kommer all produktion efter detta vara gratis. Se beräkningar i bilaga 2.

För att beräkna återbetalningstiden av anläggningen så används pay-off metoden som ger att återbetalningstiden blir 12,8 år. Se beräkningar i bilaga 2.

#### **4.6 Förluster i förhållande till passivhusstandarden**

Vid uträkning av HT som enligt tidigare uträkningar i avsnitt 4.1 endast fick vara 136 W för passivhus och 160 W för minienergihus. De totala transmissionsförlusterna blir 104 W vid val av de bästa alternativen i varje kategori. Om tätheten på byggnaden är 0,1 som Sjöberg och Thermé kunde erbjuda och ventilationssystemet håller en lufttryckskillnad på 5 Pa så blir förlusterna på 9 W. Till detta kommer förluster i ventilationssystemet som är på totalt 19 W. Detta är totalt 133 W per grad temperaturskillnad och till detta kommer ytterligare transmissionsförluster eftersom att detta inte är räknat med köldbryggor runt fönster och dörrar och skarvar mellan väggar och taket.



## 5 Diskussion

Vårt arbete visar att det är möjligt att nå kraven för passivhus men det finns ett antal parametrar som kan variera mellan de teoretiska som räknats på här och de praktiska som blir när huset är byggt.

### 5.1 Ventilation

Av de totala förlusterna för huset så står ventilationsförlusterna om ett ventilationsaggregat används för 14 %. Förlusterna genom ventilationen beror på många faktorer så som läckage, hur långt rörsystemet är, hur väl de blir isolerade och hur mycket luft som ventileras. Detta gör att dessa siffror kan variera stor mellan uträkningar och verklighet. Förlusterna är även beräknade efter att yttertaket inte isolerar något vilket inte är helt korrekt. Men då förluster genom takkonstruktionen bland annat beror av val av takkonstruktionen samt hur stort luftflöde som tillåts över vinden, är detta inte medräknat. I beräkningarna inkluderas hur mycket värmeenergi som besparas genom användning av ftx-ventilation men inte några uträkningar på hur mycket energi ett ventilationssystem själv skulle dra över ett år. Detta kommer påverka lönsamheten med ett ventilationssystem.

### 5.2 Transmissionsförluster

De totala transmissionsförlusterna står för 78 % av förlusterna i huset om de effektivaste valen väljs. Som kunde ses i uträkningarna så finns det mycket energi att spara genom att välja rätt tillverkare eller byggare även om alla tillverkarna presenterar sina produkter som välisolerade för energisnåla hus. Flera av tillverkarna av material kan inte heller garantera hur arbetet blir utfört vilket gör att deras siffror inte är direkt jämförbara med installerade system.

I detta arbete har värmegenomgångskoefficienten inte räknats med vilket betyder att transmissionsförlusterna kommer vara större under de förhållanden som beskrivs. Hur stora dessa blir beror på hur väggarna konstrueras och hur fönstren monteras. Även mellan väggar och taket så finns det ett område där förlusterna inte är medräknade och hur stora dessa blir beror bland annat på hur långt över väggarna som takisoleringen blir. I uträkningarna har även det antagits att huset har samma yta innanför klimatskalet oavsett väggtyp men då väggarnas tjocklek varierar för de olika tillverkarna så kommer även boyta och därmed även kraven för passivhus att variera.

### 5.3 Förluster genom läckage

Den garanterade lufttäteten av tillverkarna varierade stort mellan de olika byggarna och tillverkarna kunde inte lämna några exakta siffror eftersom att det beror helt på de som utför konstruktionen. Hur stor tryckskillnad som är i huset påverkade också stort och hur stor denna är varierar både på eget val men också på ventilationssystemet. Här kan även kraftiga vindar också påverka eftersom att huset ligger öppet med lite skydd från vissa väderstreck. Detta gör att även om ventilationssystemet försöker hålla jämt tryck ute som inne så kommer vinden öka trycket på vissa väggar och då kommer en del kyla tränga in om det inte är tätt.



## 5.4 Solceller

Vid beräkningarna för solcellerna har det antagits att solcellerna kommer förlora så mycket i effekt som garantierna säger men då detta är minimum så kan degraderingen vara mindre och därmed blir återbetalningstiden kortare. De kommande stängningarna av svensk kärnkraft kommer också med stor sannolikhet att leda till högre elpriser även om det är svårt att uppskatta hur mycket det kommer påverka. Detta kommer leda till större besparing när elen används och med stor sannolikhet större inkomster om elen skickas ut på nätet och säljs till elbolagen. Hur lång den faktiska återbetalningstiden blir är däremot väldigt svår att säga då de beror på flera parametrar som är svåra att förutse hur de kommer ändras de kommande åren. En av de stora fördelarna är däremot att genom investering av solceller så säkerställs elpriset för en del av sin användning under lång tid framöver och skiftningar av elpriset på marknaden kommer påverka mindre.

## 5.5 Förluster i förhållande till passivhusstandarden

Enligt uträkningarna så går det att nå kraven för passivhus men då har förluster som uppkommer med köldbryggor runt fönster och skarvar mellan yttervägg och taket ej tagits med. När det kommer till förluster på grund av ventilationen så var det en del osäkerhet och detta kan avgöra ifall huset klarar kraven för minienergihus eller ej och även här påverkar arbetet vid installation och isolering ventilationssystemet.

## 6 Slutsats

Husets utformning har visats gör det väldigt svårt att nå kraven för passivhus om inte väldigt höga krav sätts på de som bygger huset. Anledningen till detta är att utformningen av huset har gjort att klimatskalet är väldigt stort i förhållande till boytan och därmed ökar både luftläckage och transmissionsförlusterna. Även om U-värdet för väggar, tak och grund hålls nere på väldigt låga nivåer så leder den totala ytan i förhållande till boytan till att transmissionsförlusterna blir höga vilket i sin tur gör att kraven på ventilation och luftläckage höjs.

Även när det kommer till luftläckage så finns det stora besparingar att göra genom att minska luftläckaget vilket man kan uppnå genom att ställa krav på de som bygger huset. Beräkningarna för luftläckage var under ett övertryck på 50 Pa vilket inte bör hållas då det leder till onödigt stora förluster speciellt om konstruktionen inte är tät men även vid lägre skillnader i lufttryck så finns det mycket att spara genom att ha ett tätt hus.

## 7 Referenser

1. Energimyndigheten, Energiläget 2015, publicerad: 10-2015, läst 15/5-2016  
[https://www.energimyndigheten.se/contentassets/50a0c7046ce54aa88e0151796950ba0a/energilaget-2015\\_webb.pdf](https://www.energimyndigheten.se/contentassets/50a0c7046ce54aa88e0151796950ba0a/energilaget-2015_webb.pdf)
2. Boverket, Nära-nollenergibyggnader i Sverige, granskad: 21/12-2015, läst: 18/5-2016  
<http://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/nara-nollenergibyggnader-i-sverige/>
3. European Commission, 2020 climate & energy package, senast redigerad: 20/5-2016 läst: 20/5-2016  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm)
4. Sveriges centrum för nollenergihus, Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus bostäder, publicerad: januari 2012, redigerad: 5/10-2012  
<http://www.nollhus.se/dokument/Kravspecifikation%20FEBY12%20-%20bostader%20sept.pdf>
5. Boverket, Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, tryckt: 24/2-2015, läst: 10/5-2016  
<https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2015-3-BBR-22.pdf>
6. Boverket, Energiklasser från A till G, granskad: 7/8-2014, läst: 10/5-2016  
<http://www.boverket.se/sv/byggande/energideklaration/energideklarationens-innehall-och-sammanfattning/sammanfattningen-med-energiklasser/energiklasser-fran-ag/>
7. Photovoltaic software, PVGIS, läst: 16/5-2016  
<http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>
8. Boverket, Handbok för energihushållning enligt byggregler – utgåva 2, utgivare: Boverket, utgiven: Augusti 2012, läst 21/5-2016  
<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energi-hushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf>
9. Energieffektivisering Kurskompendium, författare: Urban Persson 2008, redigerad: Mei Gong, 2015, läst: 4/5-2016
10. Swedisol, Bilaga A, Beräkning av U-värde enligt standard, läst 9/5-2016  
[http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf\\_bilaga\\_A.pdf](http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf_bilaga_A.pdf)
11. Energihandboken, Värmeledningsförmåga och U-värde för olika material, läst 20/4-2016  
<http://www.energihandbok.se/konstanter/varmeledningsformaga-och-u-varden-for-olika-material>
12. Swedisol, Vad är mineralull?, läst: 16/4-2016  
<http://www.swedisol.se/vad-ar-mineralull>
13. Din byggare, Cellplast – ett alltmer eftertraktat isoleringsmaterial, läst: 16/4-2016

<http://www.dinbyggare.se/cellplast-ett-alltmer-eftertraktat-isoleringsmaterial/>

14. Polyterm, Husisolering, läst: 3/5-2016

<http://www.polyterm.se/husisolering/>

15. Miljöbyggsystem, Cellulosaisolering, läst: 30/5-2016

<http://www.miljobyggsystem.se/produkter/isocell/isolering/cellulosaisolering/>

16. Husgrunder, Så gjuter man en bottenplatta, senast redigerad: 13/5-2016 läst 21/5-2016

<http://www.husgrunder.com/ny-husgrund/giuta-betongplatta>

17. Swedisol, Bilaga D. Formler för U-värden - Byggdelar mot mark, läst 9/5-2016

[http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf\\_bilaga\\_D.pdf](http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf_bilaga_D.pdf)

18. Jan Forslund & Gunnel Forslund, Bästa inneklimat till lägsta energikostnad, Malmö 2012

19. Sveriges centrum för nollenergihus, Fönster och entredörrar, läst 22/4-2016

<http://www.nollhus.se/feby-12/byggnadskrav/foenster-och-doerrar>

20. Boverket, Luft och ventilation i bostäder, granskad: 29/8-2014, läst: 21/5-2016

<http://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/>

21. Folkhälsomyndigheten, Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation, författare: Johan Carlsson, tryckt: 4/2-2014, läst: 30/5-2016

<http://www.folkhalsomyndigheten.se/documents/publicerat-material/foreskrifter1/fohmfs-2014-18.pdf>

22. Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB, Ventilation i hus – övertryck eller undertryck vad är bäst, skribent: Jerker Andersson, publicerad: 23/5-2013, uppdaterad: 16/5-2016, läst 18/5-2016

<http://www.lfs-web.se/ventilation-overtryck-undertryck.htm>

23. Energismarta hus, Energismart ventilation, skribent: Rickard Eriksson, skriven 27/6-2014, läst: 20/5-2016

<http://energismartarehus.se/portfolio/lunos/>

24. SMHI, Metrologiska observationer, Läst 7/4-2016

<http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/>

25. Elen, Dagens spotpris på el, Läst: 14/4-2016

<http://elen.nu>

26. DN, Vattenfall: Alla Sveriges kärnkraftverk kan stängas, skribent: Kristoffer Törnmalm, publicerad: 7/1-2016, läst: 14/5-2016

<http://www.dn.se/ekonomi/vattenfall-alla-sveriges-karnkraftverk-kan-stangas/>

27. Energimarknadsbyrån, 2016 års energiskatt för el, läst: 13/5-2016  
<http://www.energimarknadsbyran.se/El/El-nyheter/Kategorier/2015/2016-ars-energiskatter-for-el/>
28. Nätområde, läst: 13/5-2016  
<http://www.natomraden.se>
29. Vattenfall, Elnät säkringstariffer, läst 16/5-2016  
[http://www.vattenfalleldistribution.se/sv/file/S\\_kringstariffer\\_Privat\\_S\\_DER\\_2016-01-01.pdf\\_109829977.pdf](http://www.vattenfalleldistribution.se/sv/file/S_kringstariffer_Privat_S_DER_2016-01-01.pdf_109829977.pdf)
30. Skatteverket, skattereduktion för mikroproduktion av förnybar energi, publicerad: 14/1-2015, läst: 13/5-2016  
<https://www.skatteverket.se/omoss/nyheter/2015/nyheter/skattereduktionformikroproduktionavfornybarel.5.12815e4f14a62bc048f26ab.html>
31. Ekonomifakta, Elcertifikat, skribent: Frida Nannesson, senast redigerad: 22/9-2015, läst: 15/5-2016  
<http://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Styrmedel/Elcertifikat/>
32. Energimyndigheten, Mätning och rapportering av elproduktion, skapad: 9/6-2015, läst: 30/6-2016  
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/elproducent/matning-och-rapportering-av-elproduktion/>
33. Energimyndigheten, Investeringsstöd, skribent: Andreas Gustafsson, publicerad: 16/6-2015, redigerad: 15/9-2015 läst: 15/5-2016  
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/stod-till-solceller/investeringsstod/>
34. Pål Carlsson och Anna Sundin, Ekonomisk uppslagsbok, 2:a upplagan, Uddevalla 2007
35. Stefan Yard, Kalkyler för investeringar och verksamhet, 2:a upplagan, Lund 2001
36. Swedisol, Bilaga H. Konstruktiv utformning, läst 9/5-2016  
[http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf\\_bilaga\\_H.pdf](http://www.swedisol.se/sites/default/files/undersidor/filer/pdf_bilaga_H.pdf)
37. Basta, Om BASTA, läst: 12/5-2016  
<http://www.bastaonline.se/om-basta/basta/>
38. Östberg, HERU Energiåtervinningsaggregat för alla typer av lokaler, läst: 27/4-2016  
[https://www.delat.ws/download/HERU\\_broschyr.pdf](https://www.delat.ws/download/HERU_broschyr.pdf)
39. Polyterm, Husisolering, läst: 3/5-2016  
<http://www.polyterm.se/husisolering/>
40. Roger Olsson, Polyterm, 0735-44 96 00

41. Niklas Rydell, Merbo, [niklas.rydell@merbo.se](mailto:niklas.rydell@merbo.se)
42. H+H, H+H termoblocket, publicerad: februari 2013, läst: 3/5-2016  
<http://ipaper.ipapercms.dk/HH/HHSverige/DownloadsSE/HHTermoblocket/HHTermoblocketPD/>
43. H+H, H+H cellbalken 600, publicerad: mars 2016, läst: 11/5-2016  
<http://ipaper.ipapercms.dk/HH/HHSverige/DownloadsSE/HHBalkar/ProduktdatabladHHCelbalken600/>
44. HplusH, Energi och täthet, läst: 20/5-2016  
<http://www.hplush.se/sv/energi-och-tathet>
45. Basta, sök produkt, läst: 11/5-2016  
<http://www.bastaonline.se/searchpage/>
46. Aeroc, Aeroc Ecoterm Plus, läst 3/5-2016  
[http://www.aeroc.se/index.php?page=774&lang=swe&cnt=AEROC\\_EcoTerm\\_Plus](http://www.aeroc.se/index.php?page=774&lang=swe&cnt=AEROC_EcoTerm_Plus)
47. Aeroc, AEROC Balk, last 3/5-2016  
[http://www.aeroc.se/index.php?page=754&lang=swe&cnt=AEROC\\_Balk](http://www.aeroc.se/index.php?page=754&lang=swe&cnt=AEROC_Balk)
48. Vilja Hiienömm, Aeroc
49. Passivhuscentrum, Nytt rekord i lufttäthet, publicerad: 19/2-2014, läst: 16/5-2016  
<http://www.passivhuscentrum.se/nytt-rekord-i-lufttathet>
50. Philip Thermé, Sjöberg & Thermé
51. Robert Wernersson, SE Inwido Försäljning Konsumentservice
52. Schüco lyftskjutsdörr ASS 70.HI  
Schueco, skjutsdörrar och vikedörrar, läst:3/5-2016  
[http://www.schueco.com/web2/se/foer\\_privatkunder/produkter/skjutdoerrar](http://www.schueco.com/web2/se/foer_privatkunder/produkter/skjutdoerrar)
53. Mindörr, Sidoljus Super-Energi, läst: 11/5-2016  
[http://mindorr.se/dorrrar-utomhus/sidoljus-overljus?product\\_id=136](http://mindorr.se/dorrrar-utomhus/sidoljus-overljus?product_id=136)
54. Mindörr, Ytterdörr Paris 78, läst: 11/5-2016  
<http://touch.mindorr.se/ytterdorrrar/ytterdorrrar-standard-64mm/ytterdorrrar-paris>
55. Ytong, mailkonversation med Ytongs support 13-23/4-2016
56. Swedensol, Solcellspaket 7000 W, läst: 16/5-2016  
<http://www.swedensol.se/kompletta-solcellspaket/solcellspaket-7kw>

57. 16/5-2016

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

## Bilaga 1, Transmissionsförluster

Information om huset	Enhet
Längd	Meter
Ytterväggar längd inne	90,2
höjd	2,6
Omkrets	93,12
Vägg tjocklek	0,365
Area	m <sup>2</sup>
Ytterväggar insidan	234,52
Fösterarea	51,186
Dörrarna	10,272
Väggarea	173,1
Atemp	272
Golvarea	272
Innertak	272
Boyta	264
Klimatskalet	778,52

Temperatur	
Innetemp (°C)	21
Medeltemp	6,9
Medel ΔT	14,1
Tid(h)	8278

Material	Lambda
Cellplast	0,037
Mineralull	0,037
Gips	0,25
Lättbetong	0,12
Trä	0,14
Polyuretan	0,022
Leca	0,2
Cellulosa	0,039

Väggar							
Företag	Lambda	Tjocklek	U-värde	Yta	ΔT	Timmar	Förluster
Polyterm							
Leca	0,2	0,25	0,8				
Polyuretan	0,022	0,1	0,22	173,1	14,1	8278	3485
Träregrar polyuretan	0,0338	0,145	0,23				
Mineralull	0,037	0,045	0,82	173,1	14,1	8278	3669
Merbo							
Trä och polyuretan		0,299	0,11	173,1	14,1	8278	2222
H+H							
Termoblocket			0,09	147,3	14,1	8278	1547
Cellbalken			0,38	25,752	14,1	8278	1142
Totalt							2690
Aeroc							
Eco term plus			0,15	147,3	14,1	8278	2579
Bjälklag			0,271	25,752	14,1	8278	815
Totalt							3394
Sjöberg och Thermé							
Trä och cellulosa	0,0491	0,4	0,12275	173,1	14,1	8278	2480



Innertak					
	Lambda	tjocklek	U-värde	ΣU-värde	Förluster
Polyterm					
Gips	0,25	0,015	16,667		
Trä och polyuretan	0,0338	0,17	0,199	0,1965	6238
Sjöberg och Thermé					
Mineralull	0,037	0,6	0,062	0,062	1958
Ytong					
Lättbetong	0,0125	0,025	0,5		
Mineralull	0,037	0,35	0,105714286	0,087	2770

Fönster						
Höjd(mm)	Bred(mm)	Area	Antal	Area	U-värde	
1500	1700	2,55	1	2,55	0,72	
1500	1800	2,7	4	10,8	0,72	
1500	1500	2,25	4	9	0,72	
1500	1600	2,4	2	4,8	0,72	
1500	1400	2,1	3	6,3	0,73	
1500	900	1,35	2	2,7	0,75	
300	1400	0,42	1	0,42	0,9	
300	720	0,216	1	0,216	0,95	
2000	7200	14,4	1	14,4	0,85	
		Total	19	51,186	0,762	
	Area	U-värde	ΔT	Tid	Förluster	
Förluster	51,186	0,762	14,1	8278	4552	

Dörrar					
	U-värde	Yta	Antal	Total yta	Förluster
Entrédörr	0,61	2	1	2	142
Sidofönster	1,1	0,6	2	1,2	154
Altandörr	0,87	3,536	2	7,072	718
Totalt	0,846246		5	10,272	1015

Luftläckage (kWh/år)				
Lufttryck				
	0,3	0,2	0,1	0,05
50	32713	21808	10904	5452
10	6543	4362	2181	1090
5	3271	2181	1090	545
1	654	436	218	109

Luftläckage(W)				
Lufttryck	0,3	0,2	0,1	0,05
50	280	187	93	47
10	56	37	19	9
5	28	19	9	5
1	6	4	2	1

Total förluster			
	U-värde	Yta	
Väggar	0,12	173,1	
Grund	0,05	272	
Fönster	0,76	51,186	
Dörrar	0,85	10,272	
Tak	0,08	272	HT
Totalt	0,13	778,52	104,7344

Grund										
Isolering	Cell 300	Cell 400	Poly 300	Poly 400	Rf	lambda	tjocklek	U-värde	ΣU-värde	
A	272	272	272	272	Lättbetong	0,12	0,1	0,1	1,2	
P	93,12	93,12	93,12	93,12	Cellplast	0,037	0,3	0,3	0,1233	0,11
W	0,365	0,365	0,365	0,365	Cellplast	0,037	0,4	0,4	0,0925	0,09
Lambda	2	2	2	2	Polyuretan	0,022	0,3	0,3	0,0733	0,07
Rf	8,941	11,644	14,470	19,015	Polyuretan	0,022	0,4	0,4	0,055	0,05
B'	5,842	5,842	5,842	5,842						
d1	18,588	23,993	29,644	38,735						
U(d1<B')	0,094	0,075	0,062	0,048						
U(d1>B1)	0,069	0,050	0,037	0,025						
	Tjocklek	U-värde	A	ΔT	t	Wår				
Cellplast	300	0,069	173,1	14,1	8278	1387				
Cellplast	400	0,050	173,1	14,1	8278	1006				
Polyuretan	300	0,037	173,1	14,1	8278	755				
Polyuretan	400	0,025	173,1	14,1	8278	513				

## Bilaga 2, Solceller

År	Nyproduktion	Verkningsgrad	Produktion
1	6140	100,0%	6140
2	6140	98,9%	6072
3	6140	97,8%	6004
4	6140	96,7%	5935
5	6140	95,6%	5867
6	6140	94,4%	5799
7	6140	93,3%	5731
8	6140	92,2%	5662
9	6140	91,1%	5594
10	6140	90,0%	5526
11	6140	89,3%	5485
12	6140	88,7%	5444
13	6140	88,0%	5403
14	6140	87,3%	5362
15	6140	86,7%	5321
16	6140	86,0%	5280
17	6140	85,3%	5239
18	6140	84,7%	5199
19	6140	84,0%	5158
20	6140	83,3%	5117
21	6140	82,7%	5076
22	6140	82,0%	5035
23	6140	81,3%	4994
24	6140	80,7%	4953
25	6140	80,0%	4912
Totalt			136308
Per år			5452
Totalt (20 år)			111339
Per år			5567

Pay-off	
investering	71160
Årsbesparing	5567
Återbetalningstid	12,8

Annuitetsmetoden	
Ränta	0,03
Avsrivningstid	20
Annuiteten	0,067
Investering	71160
Årskostnader	4783,07

## Performance of Grid-connected PV

**NOTE: before using these calculations for anything serious, you should read [this](#)**

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location:  North,  East, Elevation: 102 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 7.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 11.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.2%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 26.1%

Fixed system: inclination=30°, orientation=-24°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	3.80	118	0.67	20.7
Feb	8.68	243	1.53	42.9
Mar	20.40	634	3.74	116
Apr	25.80	773	4.91	147
May	28.30	877	5.61	174
Jun	29.60	889	5.99	180
Jul	26.30	816	5.37	166
Aug	22.70	703	4.55	141
Sep	18.20	545	3.52	106
Oct	10.40	323	1.92	59.6
Nov	4.32	130	0.78	23.3
Dec	2.75	85.3	0.49	15.2
<b>Yearly average</b>	<b>16.8</b>	<b>511</b>	<b>3.27</b>	<b>99.3</b>
<b>Total for year</b>		<b>6140</b>		<b>1190</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

## Bilaga 3, Förluster genom ventilation

Ventilation									
	Krav	Enhet	l/s	M3/h					
Boverket	l/m2,s	0,35	264	92,4	332,64				
Boverket	l/person,s	12	8	96	345,6				
Boverket	l/m2,s	0,1	264	26,4	95,04				
Folkhälsom.	v/m3,h	0,5	686,4	95,33	343,2				
	Folkhäls. Krav.								
m3/s	0,095333	0,06765		0,35	15	92,4			
Värmekapacitet	1	1		0,1	9	26,4			
Densitet	1,2	1,2			Medel(l/s)	67,65			
T	14,1	14,1							
tid	8278	8278			Heru 100 TEC				
Pf	13353	9475			Heru 115				
	Förluster				Högt flöde	Lågt flöde	Högt flöde	Lågt flöde	
	Luftflöde(m3/s)				0,0924	0,0264	0,0924	0,0264	
	Värmekapacitet				1,2	1,2	1,2	1,2	
	Densitet				1	1	1	1	
	Tid				5173,75	3104,25	5173,75	3104,25	
	Temperatur				14,1	14,1	14,1	14,1	
	Verkningsgrad				83%	84%	86%	81%	
	Totala förluster				1375,1	221,9	1132,4	263,5	

Förluster i ventilationsrör		
	Frånluft	Tilluft
längd	8	8
radie	0,0625	0,0625
$\Delta T$	14,1	14,1
Lambda rör	17	17
Tjocklek	0,003	0,003
Lambda isolering	0,037	0,037
Tjocklek	0,2	0,2
Förluster	18,726	18,726
År	155,01	155,01

## Bilaga 4, Krav och klasser

	Klimatzon 1	Klimatzon 2	Klimatzon 3
Boverkets krav			
Genomsnittligt U-värde	0,4	0,4	0,4
Maximal energianvändning per år			
Huset eluppvärmt	95 kWh/A <sub>temp</sub>	75 kWh/A <sub>temp</sub>	55 kWh/A <sub>temp</sub>
Hus med annan uppvärmningskälla	130 kWh/A <sub>temp</sub>	110 kWh/A <sub>temp</sub>	90 kWh/A <sub>temp</sub>

### Energiklasser

Klasser	Krav
A	$X \leq 50\%$
B	$50\% < X \leq 75\%$
C	$75\% < X \leq 100\%$
D	$100\% < X \leq 135\%$
E	$135\% \leq X \leq 180\%$
F	$180\% < X \leq 235\%$
G	$235 \leq X$

### Passivhus

	Klimatzon 1	Klimatzon 2	Klimatzon 3
Värmeförlusttal	17	16	15
Levererad energi			
Max icke elvärmda	58	54	50
Max elvärmda	29	27	25