



# Solavskärmningens inverkan på termisk komfort

Roy Wickholm

Examensarbete

Distribuerade energisystem

2017

Roy Wickholm

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Roy Wickholm
Arbetets namn:	Solavskärmningens inverkan på termisk komfort
Handledare (Arcada):	DI Kim Skön
Uppdragsgivare:	Arcada-Institutionen för Energi- och miljöteknik
<p>Sammandrag:</p> <p>Detta arbete granskar hur solavskärmningen påverkar på inomhusklimatet i byggnader. Arbetet ser också över vad myndighetens krav för inomhusklimatet är och vilka direktiv och föreskrifter anges. För att få en blick hur solavskärmning påverkar termiska komforten utförs en simulation. I simulationen undersöks hur olika metoder av solavskärmning påverkar termiska komforten.</p> <p>För att uppnå en effektiv och välfungerande solavskärmning bör man välja rätt metod för avskärmning. Syftet med arbetet var att se över de olika metoder för solavskärmning och hur de påverkar termiska komforten. En trivsam inomhusmiljö är svår att kvantifiera men med P Ole Fangers utvecklade PMV-modell är det möjligt att ge betyg för inomhusklimatet på en sjugradig skala. Skalan används i simulationen för att betygsätta inomhusklimatet.</p> <p>Simulationen som utförs i arbetet granskar hur solavskärmning gynnar inomhusklimatet. Ur resultaten granskas inomhusluftens temperatur, PMV och PPD. Resultaten bekräftar att solavskärmningen är en effektiv metod att förbättra på termiska komforten.</p>	
Nyckelord:	solavskärmning, termisk komfort, inomhusklimat, värmebelast, PMV, PPD
Sidantal:	45
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	31.05.2017

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	
Author:	Roy Wickholm
Title:	Solavskärmningens inverkan på termisk komforten
Supervisor (Arcada):	Kim Skön
Commissioned by:	Arcada-Institutionen för Energi- och miljöteknik
<p>Abstract:</p> <p>This thesis examines how solar shading affects indoor climate in buildings. The thesis also reviews what requirements the Finnish building code sets on indoor climate. A simulation is conducted in order to get a glimpse of how solar shading affects the thermal comfort. The simulation examines how different methods of solar shading affects the thermal comfort.</p> <p>To achieve an effective and well-functioning solar shading one should choose the right method of shading. The aim of this thesis was to examine the different methods of solar shading and how they affect the thermal comfort. A pleasant indoor climate is hard to put in numbers but with P Ole Fanger's developed PMV-model it is possible to grade the indoor climate on a seven-step scale. The scale is used in the simulation to grade the indoor climate.</p> <p>The simulation that is conducted in this thesis reviews how solar shading affects the indoor climate. Indoor temperature, PMV and PPD are reviewed from the results. The simulation confirms the idea that solar shading is an effective mean of improving the thermal comfort.</p>	
Keywords:	solar shading, thermal comfort, indoor climate, heat load, PMV, PPD
Number of pages:	45
Language:	Swedish
Date of acceptance:	31.05.2017

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>8</b>
1.1	Syfte	8
1.2	Metod	9
1.3	Frågeställning	9
1.4	Avgränsningar	9
<b>2</b>	<b>Solstrålning</b>	<b>9</b>
2.1	Solstrålningens intensitet på lodräta ytor	10
2.2	Direktiv för beräkning av solens värmelast	11
<b>3</b>	<b>Byggnaders inomhusklimat och energiflöde</b>	<b>13</b>
3.1	Inomhusklimat	13
3.2	Direktiv för temperaturförhållanden i byggnader	14
3.3	Sisäilmastoluokitus 2008 kvalitetsklasser	15
3.3.1	<i>Temperaturförhållandens målvärden</i>	15
3.4	Energiflöde och energibalans	16
<b>4</b>	<b>Matematisk modell för termisk komfort</b>	<b>18</b>
4.1	Predicted mean vote (PMV-modell)	18
4.1.1	<i>Predicted percentage of Dissatisfied (PPD)</i>	19
<b>5</b>	<b>Solavskärmning</b>	<b>20</b>
5.1	Solavskärningsmetoder	21
5.2	Egenskap för fönster	22
<b>6</b>	<b>Simulation</b>	<b>23</b>
6.1	Parametrar	24
6.1.1	<i>Yttervägg</i>	24
6.1.2	<i>Fönsterkonstruktion</i>	25
6.1.3	<i>Ventilationsdata och användardata</i>	26
6.1.4	<i>Väderdata</i>	26
6.2	Resultat	26
6.2.1	<i>Fönster utan solavskärmning</i>	27
6.2.2	<i>Solavskärmning med persienn</i>	32
6.2.3	<i>Solavskärmning med markis</i>	36
6.3	Diskussion	40

6.3.1	<i>Begränsningar i simulationen</i> .....	41
<b>7</b>	<b>Sammandrag</b> .....	<b>42</b>
	<b>Källor</b> .....	<b>44</b>
	<b>Bilagor</b> .....	<b>46</b>

## **FÖRKORTNINGAR**

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive

FInZEB – Finnish Near Zero Energy Buildings

ISO - International Organization for Standardization

PMV – Predicted Mean Vote

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied

## **FÖRORD**

Energieffektivt byggande har väckt intresse hos mig sedan jag började mina studier på Arcada. Jag har följt med FInZEB projektet sen det startades och samtidigt har jag lagt uppmärksamhet till problemen som väldigt energieffektiva byggnader kan hämta med sig. Jag valde detta ämne till mitt slutarbete eftersom jag ville fördjupa mina kunskaper i solavskärmning och inomhusklimat samtidigt som jag kunde utföra en simulation över ämnet. Jag önskar mig att kunna fördjupa mig ytterligare i ämnet under min kommande framtid inom energibranschen.

Jag vill tacka Arcada för den breda utbildning jag fått inom energi och miljöteknik. Samt vill jag tacka Kim Skön för handledningen under detta arbete.

# 1 INLEDNING

EU direktivet EPBD 2010/31/EU (Energy Performance of Buildings) strävar att minska på energianvändning i byggnader. Enligt direktivet skall alla nya offentliga byggnader vara ”näst intill nollenergibygnader” från och med 1.1.2019, samma krav skall uppfyllas av alla byggnader byggda från och med 1.1.2021. [1] Direktivet lämnar utrymme för tolkning på nationell nivå, i Finland har FInZEB projektet kartlagt hur våra byggbestämmelser bör styras för att uppnå kraven ställda i EU direktivet.

För att uppnå energisnåla byggnader krävs att byggnaders klimatskal skall ha väldigt god isoleringsförmåga och ett väldigt tätt klimatskal. Under kalla perioden minskar värmeförlusterna i byggnaden men under varma perioden kan det orsaka problem med överhettning. Speciellt i kontors- och höghusbyggnader kan tilläggsisolering orsaka negativa följder för inomhusklimatet. Det har blivit allt vanligare att invånare klagat på överhettning i lägenheter. I YIT:s nybyggda område i Vallgård har invånare regelbundet uppmätt inomhus temperaturer kring 25–26 grader. [3]

Kylbehov i byggnader påverkas av inre värmelaster och solens värmestrålning. Överhettning orsakad av solen går att bekämpa med korrekt användning av solavskärmning. Beroende av byggnad och val av solavskärmningssystem kan man minska kylbehovet upp till 70 %. [2, s. 30] Dålig eller utebliven solavskärmning påverkar termiska komforten i byggnaden negativt.

## 1.1 Syfte

Studiens syfte är att undersöka solavskärmningens inverkan på termisk komfort i byggnader. Studiens syfte är att påvisa solavskärmningens relevans redan i planeringsskede av byggen. Dessutom kartläggs de olika solavskärmnings möjligheter samt direktiv som anges gällande solavskärmning.



## 1.2 Metod

I studien granskas olika solavskärmningsmetoder och deras användningslämplighet i olika situationer med hjälp av en litteraturöversikt. Dessutom utförs en simulering med programmet IDA ICE i syfte att påvisa solavskärmningens relevans. I simulationen undersöks solavskärmningens inverkan på inomhusklimatet i en bostadslägenhet.

## 1.3 Frågeställning

Frågeställningen undersöker hurdana konsekvenser det uppstår ifall solavskärmning förbises och hur man kan bäst utnyttja sig av solavskärmning för att nå energisnåla byggnader.

- Uppfylls byggbestämmelsers direktiv om inomhusklimat ifall solavskärmning förbises?
- Hur påverkas termiska komforten i byggnaden med eller utan solavskärmning?

## 1.4 Avgränsningar

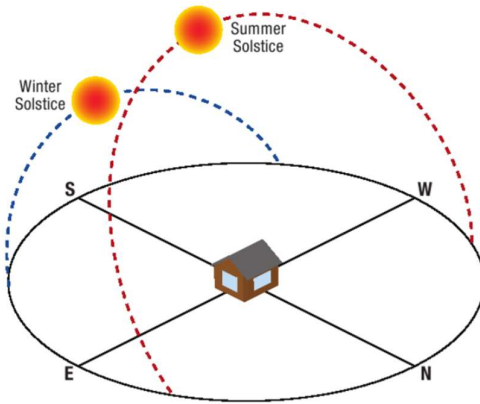
Studien fokuserar på kategorin bostadsbyggnader. Byggnader har väldigt olika energianvändning och energibalans på grund av olika användningsgrad och användningsändamål. Det är rätt så ovanligt att man låter installera kylsystem i bostadsbyggnader, vilket stärker solavskärmningens relevans för att uppnå ett gott inomhusklimat.

Simulationen som utförs i arbetet granskar solavskärmningens inverkan på inomhusklimat på rumsnivå.

## 2 SOLSTRÅLNING

Solen producerar enorma mängder av energi, av vilket en effekt på  $1,74 \cdot 10^{26}$  W når jordklotet. Hela jordens energianvändning kunde täckas på 45 minuter ifall man kunde ta till vara på all energi solen skapar. Strålningens intensitet vågrätt mot atmosfären är  $1366 \text{ W/m}^2$ , vid havsytan är den betydligt lägre men kan vid ideala förhållanden nå upp till ca  $1000 \text{ W/m}^2$ . [4, s.5]

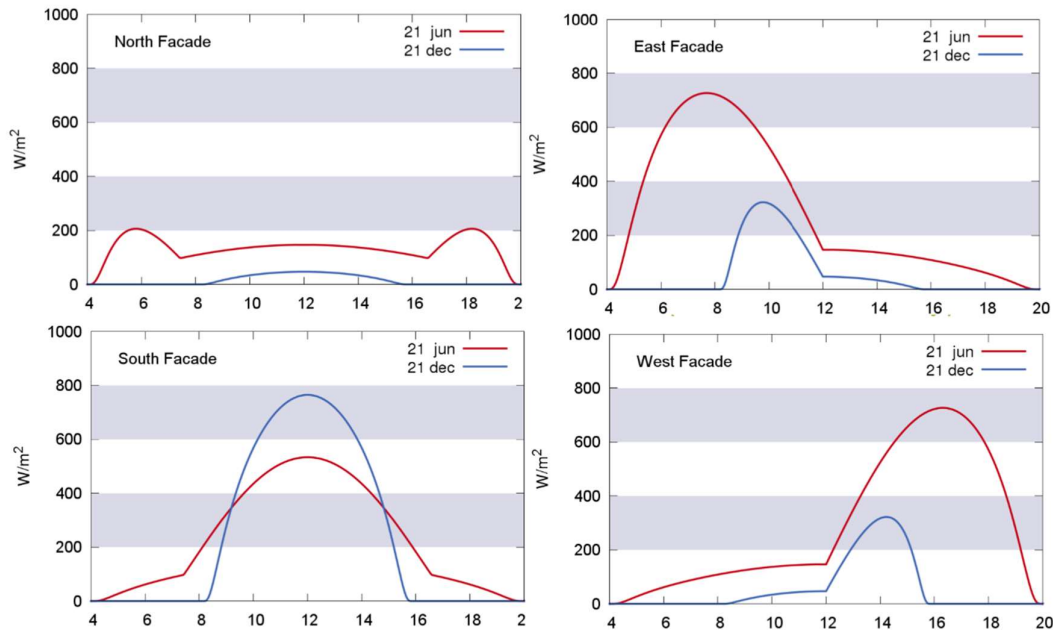
Infallsvinkeln påverkar solstrålningens intensitet. Eftersom jordens rotationsaxel lutar 23,5° från solen varierar infallsvinkeln dagligen, infallsvinkeln mot jordytan är större under sommaren medan under vintern är den mindre. [4, s.6]



Figur 1 Solens bana under vinter- och sommarsolståndet [4, s. 5]

## 2.1 Solstrålningens intensitet på lodräta ytor

Solstrålningen som når en yta består av tre komponenter, direkt strålning, diffus strålning eller reflekterad strålning. I figur 2 presenteras maximi strålningsintensiteten under sommar- och vintertid på lodräta ytor riktade mot nord, öst, syd och väst. Ytorna är belägna på 50° nordliga breddgraden och saknar totalt avskärmning. [4, s.7]



Figur 2 solstrålningens intensitet på lodräta ytor med rikning mot norr, öst, syd och väst [4, s.7]

Ur figur 2 ses att under sommartid är solstrålningen mest intensiv på öst och väst riktade ytor, syd riktade ytor blir inte lika utsatta för strålning. Detta beror på att solens infallsvinkel är lägre då solen stiger, samt då den går ner. De mest krävande ytorna är därför inte nödvändigtvis mot syd. Modellen är inte dock helt realistisk då den inte har tagit i beaktande skuggning av andra byggnader eller växtlighet. [4, s.8]

## 2.2 Direktiv för beräkning av solens värmelast

I detta stycke granskas hur myndighetens anvisning för beräkning av solens värmelast ser ut. För att få en noggrannare inblick hur stor värmelasten orsakad av solstrålning igenom ett fönster är kan det beräknas med följande formel. [5, s.32]

$$Q_{aur} = \sum G_{s\ddot{a}teily,vaakapinta} F_{suunta} F_{l\ddot{a}p\ddot{a}isy} A_{ikk} g$$

$$= \sum G_{s\ddot{a}teily,pystypinta} F_{l\ddot{a}p\ddot{ä}isy} A_{ikk} g$$

där

$Q_{aur}$	solstrålningsenergi som tillförs byggnaden genom fönstren, kWh/mån.
$G_{s\ddot{a}teily,vaakapinta}$	total solstrålning mot horisontell yta per ytenhet, kWh/(m <sup>2</sup> mån.)
$G_{s\ddot{ä}teily,pystypinta}$	total solstrålning mot vertikal yta per ytenhet, kWh/(m <sup>2</sup> mån.)
$F_{suunta}$	omvandlingskoefficient med hjälp av vilken den totala solstrålningsenergin mot horisontellt plan omvandlas till total strålningsenergi mot vertikal yta i olika väderstreck
$F_{l\ddot{ä}p\ddot{ä}isy}$	total korrigeringskoefficient för genomträngning av solstrålning
$A_{ikk}$	fönsteröppningens area (inklusive båg- och karmkonstruktion), m <sup>2</sup>

$g$  genomträngningskoefficient för den totala solstrålningen genom fönstrets ljusöppning

Den totala solstrålningsenergin ( $G_{säteily,vaakapinta}$  och  $G_{säteily,pystypinta}$ ) och omvandlingskoefficienten  $F_{suunta}$  presenteras i bilaga 1.

Genomträngningskoefficienten beräknas med hjälp av följande formel. [5]

$$g = 0,9 g_{kohtisuora} \text{ [5, s.33]}$$

där

$g$  genomträngningskoefficient för den totala solstrålningen genom fönstrets ljusöppning  
 $g_{kohtisuora}$  total genomträngningskoefficient för direkt solstrålning genom fönstrets ljusöppning

Den totala korrigeringskoefficienten för genomträngning av solstrålning beräknas med hjälp av följande formel.

$$F_{läpäisy} = F_{kehä} F_{verho} F_{varjostus} \text{ [5, s.33]}$$

där

$F_{kehä}$  karmkoefficient  
 $F_{verh}$  gardinkoefficient  
 $F_{varjostus}$  korrigeringskoefficient för skuggningar

Ifall det inte finns skuggningar eller permanenta gardiner kan värdet  $F_{genomtr.} = 0,75$  användas. Karmkoefficienten  $F_{bäge}$  uttrycker förhållandet mellan ljusöppningens area och fönstrets area. [5, s.33]

$$F_{kehä} = \frac{A_{ikk,valoaukko}}{A_{ikk}}$$

där

$A_{ikk,valoaukko}$  area för ljusöppning i fönster, m<sup>2</sup>  
 $A_{ikk}$  fönsteröppningens totala area, m<sup>2</sup>

Korrigeringskoefficienten för fönsterskuggning är produkten av treskuggningskoefficienter enligt följande formen [5, s.33]

$$F_{varjostus} = F_{ympäristö} F_{ylävarjostus} F_{sivuvarjostus}$$

där

$F_{varjostus}$  korrigeringskoefficient för skuggningar  
 $F_{ympäristö}$  korrigeringskoefficient för horisontella fönsterskuggningar förorsakade av miljön  
 $F_{ylävarjostus}$  korrigeringskoefficient för skuggningar som förorsakas av horisontella konstruktioner på fönstrets övre del

### 3 BYGGNADERS INOMHUSKLIMAT OCH ENERGIFLÖDE

Gott inomhusklimat är en av de viktigaste aspekterna för att uppnå en trivsamt byggnad. För att garantera hälsosamma byggnader styrs byggbranschen av direktiv och krav utgivet av miljöministeriet. Det är också vanligt inom byggbranschen att använda sig av ”Sisäilmastoluokitus 2008” som projekteringsvärden inom planering. I Sisäilmastoluokitus 2008 klassificeras inomhusklimaten i tre klasser, S1, S2 och S3 där S1 är den bästa klassen och S3 uppfyller byggbestämmelsernas minimikrav. [6, s.3-4]

Sisäilmastoluokitus 2008 är ett direktiv utgiven av Sisäilmayhdistys ry, Rakennustietosäätiö RTS, Suomen Arkkitehtiliitto SAFA ry, Asunto-, toimintatila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry och Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry.

#### 3.1 Inomhusklimat

Med inomhusklimat avses det rådande klimatet i vistelsezonen i en byggnad. Inomhusklimatet kan begränsas till de fysikaliska och kemikaliska faktorer som påverkar välmående. Faktorer som påverkar inomhusklimatet är bland annat luftens kvalitet, temperatur, fukthalt, ljud- och ljusförhållanden. Ett hälsosamt och trivsamt inomhusklimat uppnås med effektiv och välplanerad fastighetsteknik. [7, s.2-3]

God termisk komfort i en byggnad rubbas med höga rumstemperaturer och heta ytor som orsakats av solstrålning eller andra värmelaster. Vanligtvis anses 21 °C vara behaglig inomhustemperatur. [7, s.3] Allt för hög temperatur anstränger kroppen vilket orsakar på långsikt hälsoproblem. Temperaturförhållanden kan påverkas med fastighetstekniska lösningar och byggplanering.

Problem med temperaturförhållanden påträffas oftast i hus med dålig isolering, stora fönsterytor eller dåligt planerat ventilationssystem. I välisolerade hus finns risken att nyttan

vänder till skada då temperaturen inomhus blir högre än utomhus ifall man inte kan handskas med värmelasterna korrekt.

### 3.2 Direktiv för temperaturförhållanden i byggnader

Finska byggbestämmelsesamlingen ställer krav på hur inomhusklimaten bör vara i byggnader. Myndighetens krav på temperaturförhållanden presenteras i byggbestämmelsesamlingarna D2 och D3.

”2.2.1 Byggnader ska planeras så att en trivsam rumstemperatur kan upprätthållas i vistelsezonen under brukstiden utan att onödigt mycket energi förbrukas.” [8, s.5]

Som projekteringsvärde för vistelsezonens temperatur under uppvärmningstiden skall användas 21 °C, men under sommarperioden kan 23 °C användas. [8, s.6] Godtagbar avvikelse från rumstemperaturens projekteringsvärde i vistelsezonen är på höjden 1,1m ±1 °C.

”2.2.1.2 Då byggnaden används får vistelsezonens temperatur i allmänhet inte vara högre än 25 °C.” [8, s.6]

Under normala omständigheter tillåts inte rumstemperaturen överstiga 25 °C. Då medelvärdet för uteluftens temperatur under fem timmars maximiperiod överstiger 20 °C kan inomhusluftens temperatur överskrida detta värde med högst 5 °C. Som kylningströskel för flervåningshus och fristående småhus anges temperaturen 27 °C. Under sommartid mellan den 1 juni och 31 augusti tillåts inomhustemperaturen stiga med 150 gradtimmar över kylningströskeln. [9, s.10]

Inomhustemperaturen tillåts inte överstiga dessa värden, ifall inte kraven uppfylls är det nödvändigt att använda kylning eller bekämpa värmelasten ur solen med solavskärmning. Överensstämmelse med myndighetens krav skall påvisas med temperaturkalkyler.

“2.2.3.1 Rumstemperaturen sommartid beräknas för utrymmen som typiskt har de största värmelasterna, t.ex. utrymmen eller små bostäder med fasad mot söder eller väst, utrymmen med stora glasytor eller utrymmen med omfattande apparatbelastning. I flervåningsbostadshus ska temperaturkalkyler göras för vardagsrummet och minst ett sovrum, det sovrum som har de högsta värmelasterna. I övriga byggnader ska temperaturkalkyler göras enligt utrymmestyp, exempelvis kontorsrum, öppet kontor, mötesrum eller undervisningsrum. För varje utrymmestyp väljs då ett rum som representerar ovannämnda egenskaper.” [9, s.10]

### 3.3 Sisäilmastoluokitus 2008 kvalitetsklasser

Sisäilmastoluokitus 2008 är avsedd för att underlätta överenskommelser mellan byggobjektets användare, entreprenören fastighetstekniska planerare och byggindustrin överlag. Klassificeringarna kan användas som referens under planeringen för att lättare komma överens med hurdan inomhusklimat man vill uppnå. Sisäilmastoluokitus 2008 ställer krav på kvaliteten av byggmaterial och ger direktiv för planerandet. Klassificeringen delar inomhuskvaliteten i tre klasser S1, S2 och S3 och ger direktiv på faktorer som påverkar inomhusklimatet. Av kvalitetsklasserna är S1 den bästa medan S3 uppfyller myndighetens minimikrav. Sisäilmastoluokitus 2008 är inte ett myndighetskrav och den upphäver inte de ikraftvarande bestämmelserna. [6, s.2-4]

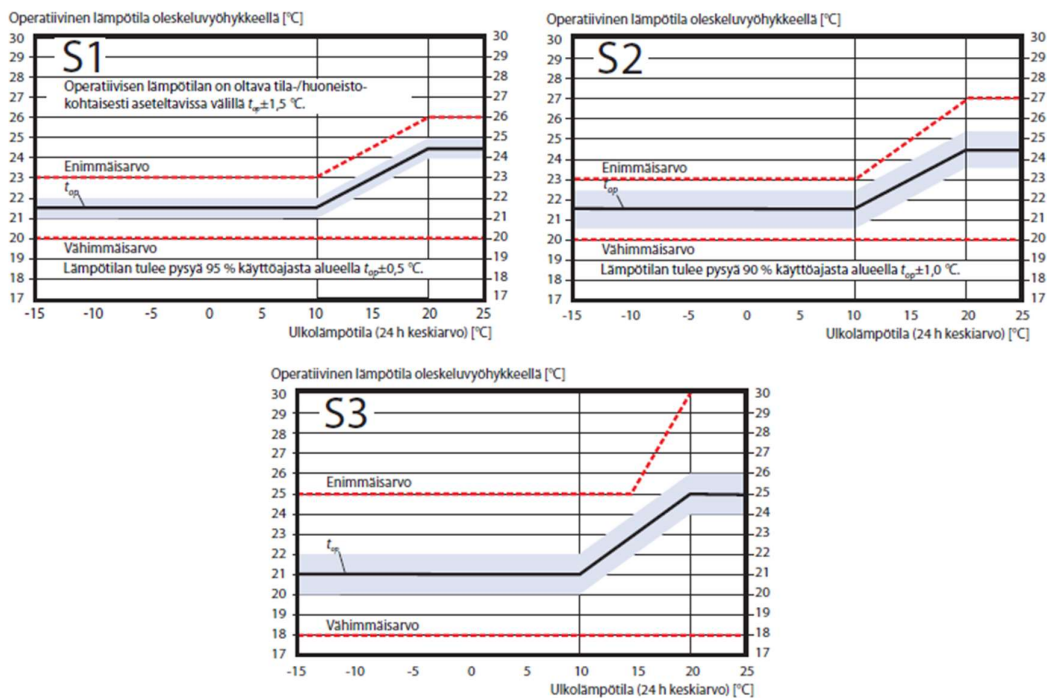
#### 3.3.1 Temperaturförhållandens målvärden

I tabellen nedan presenteras inomhusklimatets målvärden för temperaturförhållanden som används under planeringsskedet i ett byggprojekt. Målvärdena är avsedda för utrymmens vistelsezoner. Med utetemperaturen  $t_u$  avses uteluftens dygns medeltemperatur. Med  $t_{op}$  avses operativa temperaturen i vistelsezonen. [6, s.4-6]

Tabell 1 Sisäilmastoluokitus 2008 målvärden

	S1	S2	S3
<b>Operativ temperatur <math>t_{op}</math> [°C]</b>			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 \leq t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3x(t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3x(t_u - 10)$	$21 + 0,4(t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
<b>Högsta tillåtna avvikelse</b>	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
<b>Högsta tillåtna <math>t_{op}</math></b>	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4(t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{max} + 5$
<b>Minsta tillåtna <math>t_{op}</math></b>	20	20	18

\* I S1 klassen bör temperaturen vara justerbar rumsvis



Figur 3 Sisäilmastoluokitus klasser S1, S2, S3 [6, s.6]

### 3.4 Energiflöde och energibalans

För att uppehålla ett gott inomhusklimat i en byggnad måste energi tillföras. En byggnad kan energitekniskt skådas som ett system där man strävar till att uppnå en termisk balans. Med energiflödet avses den energi som förs in i systemet och det som förs ut. Införd energi är till exempel köpt energi för uppvärmning, inre värmelaster av elektronik eller människor eller värmelast förorsakad av solstrålning. Energiförluster uppstår av ledningsförluster genom byggnadsmanteln eller köldbryggor och läckluftförluster.

Nettoenergiebehov för uppvärmning av utrymmen kan beräknas med följande formel. [5, s.16]

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis,lämpö}}$$

där

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$  nettoenergiebehov för uppvärmning av utrymmen, kWh

$Q_{\text{tila}}$  energibehov för uppvärmning av utrymmen, kWh

$Q_{\text{sis,lämpö}}$  värmelaster som tillgodogörs för uppvärmning, kWh



Energibehovet för uppvärmning ersätter de förluster som uppstår genom byggnadsmanteln. Energibehovet kan beräknas med följande formel. [5, s16]

$$Q_{tila} = Q_{foht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma}$$

där

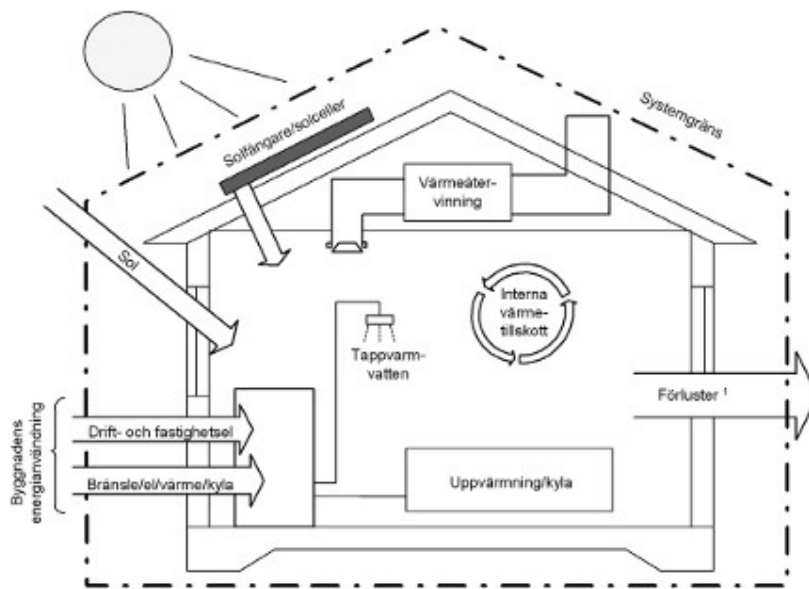
- $Q_{foht}$  ledningsförluster genom byggnadsmanteln, kWh
- $Q_{vuotoilma}$  energibehov för uppvärmning av läckluft, kWh
- $Q_{iv,tuloilma}$  energibehov för uppvärmning av tilluft inne i byggnaden, kWh
- $Q_{iv,korvausilma}$  energibehov för uppvärmning av ersättandeluft, kWh

Värmeförlusten genom en byggnadsdel beror på rådande temperaturskillnaden mellan byggnadsdelen vilket leder till värmeledning genom strukturen. Ledningsförluster genom byggnadsdelar kan beräknas med följande formel. [5, s.17]

$$Q_{rakosa} = \sum UA (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

där

- $U$  byggnadsdelens värmegenomgångskoefficient, U-värde, W/m<sup>2</sup>K
- $A$  byggnadsdelens area, m<sup>2</sup>
- $T_s$  innetemperatur, °C
- $T_u$  utetemperatur
- $\Delta t$  tidsintervall, h
- 1000 koefficient vilken omvandlar resultatet till kilowattimmar



Figur 4 Schematisk bild över energiflöde i en byggnad [10]

## 4 MATEMATISK MODELL FÖR TERMISK KOMFORT

Hur termiska komforten upplevs varierar från person till person. Ett visst inomhusklimat kan kännas behagligt för vissa medan för andra kan samma klimat upplevas som obehagligt. Med hjälp av standarder och matematiska modeller kan man förutspå hur belåtna en grupp av personer upplever inomhusklimatet.

De är möjligt att betrakta en persons termisk komfort med hjälp en energibalansberäkning. Energin skapad av personens ämnesomsättning skall motsvara förlusterna som uppstår av konvektion, konduktion och värmestrålning. Ifall energin som lämnar kroppen är större än energin skapad upplevs omgivningen som kall. Ifall de är samma upplevs omgivningen som neutral och ifall ämnesomsättningen skapar mera än vad som leds bort upplevs omgivningen som varm. En välkänd och välanvänd indikator för termisk komfort är P Ole Fangers utvecklade PMV-modell (Predicted Mean Vote). [12, s. 1][14]

Det finns sex huvudfaktorer som påverkar termiska komforten: [14]

- Ämnesomsättning (MET), energin skapad av kroppen.
- Klädsel, (clo), isoleringsförmågan av kläderna personen bär.
- Omgivande luftens temperatur.
- Omgivande ytors temperatur
- Luftens hastighet
- Relativ fuktighet

### 4.1 Predicted mean vote (PMV-modell)

PMV-modellen hänvisar till en sjugradig skala där termiska komforten betygsätts från -3 (kallt) till +3 (varmt). P. Ole Fanger utvecklade en matematisk modell som förutspår hur inomhusklimatet upplevs av människor genom att ge ett värde på den sjugradiga klimatskalan. Ett acceptabelt värde på PMV-skalan anses ligga mellan -0,5 och +0,5. [13, s.3] Modellen tar i beaktande alla de fysiska och fysiologiska faktorer som påverkar termiska komforten.

Tabell 2 PMV-modellens skala

Värde	Känsla
-3	Kallt
-2	Kyligt
-1	Svagt kyligt
0	Neutral
+1	Svagt varmt
+2	Varmt
+3	Hett

Fangers ekvation för beräkning av termisk komfort är följande: [14]

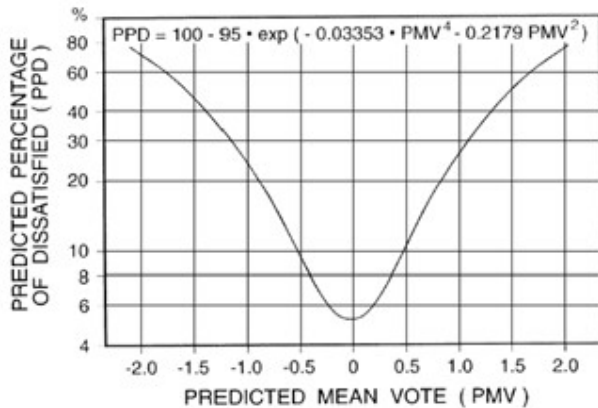
$$PMV = [0,303e^{-0,036M} + 0,028]\{(M - W) - 3,96E^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 0,0173M(5,87 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a)\}$$

där

$M$	ämnesomsättning, W/m <sup>2</sup>
$W$	yttre arbete, J
$f_{cl}$	beklädnadsfaktor, clo
$t_{cl}$	klädernas yttemperatur, °C
$t_r$	medelyttemperatur, °C
$h_c$	värmekonvektionsförlust koefficient
$t_a$	lufttemperatur, °C
$p_a$	ångtryck, kPa

#### 4.1.1 Predicted percentage of Dissatisfied (PPD)

Med PPD kan man förutspå hur stor procentandel av invånarna är missnöjda med termiska komforten. PPD är en funktion av PMV-modellen som ersätter skalan med en procentuell uppdelning av procentandel som är missnöjda med inomhusklimatet. Ju större avvikelser är från 0 på PMV skalan, desto större procentuell andel är missnöjda med termiska komforten. Maximalt 10% missnöjda med termiska komforten anses vara acceptabelt. [14]



Figur 5 PPD som funktion av PVM [14]

PPD kan uttryckas med följande funktion: [14]

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,3353PMV^4+0,2179PMV^2)}$$

## 5 SOLAVSKÄRMNING

Solavskärmningens syfte är att förhindra solstrålningen att värma upp byggnaden. Med solavskärmning vill man förhindra solstrålningens inverkan på termiska komforten. Strålningens intensitet kan minimeras med att välja fönsterglas med rätta egenskaper eller installera solavskärmningssystem som skuggar fönsteröppningen. Förutom system avsedda för solavskärmning förekommer det naturlig avskärmning från andra byggnader eller växtlighet som också bör beaktas i kalkyler. [4, s.39-43]

Solavskärmningssystem kan indelas i passiva och aktiva metoder. I passiva solavskärmningsmetoder är de skuggande strukturerna fasta och kräver ingen energi för att styras. Passiva system är så gott som servicefria men de kan begränsa komforten i utrymmen. Med aktiva system avses metoder där man använder automation för att styra skuggningen. Automationen kan programmeras med olika givare som mäter temperatur- och ljusförhållanden eller solstrålningens intensitet. Nackdelen med automatiska system är att investeringen är högre och de kräver service. Men med automatiska system når man ett mer personligt slutresultat. [4, s.42-43]

## 5.1 Solavskärmningsmetoder

Solavskärmning förekommer i flera olika former och de bör väljas på grunden av lämplighet där de installeras. Solavskärmningssystem kan indelas i två olika kategorier: inomhus- eller utomhusmonterade. De båda alternativen kan förses med automation vid behov. I huvudsak lämpar utomhusmonterade systemen bättre för minimering av solstrålningens inverkan medan inomhusmonterade fungerar bättre som justering av visuell komfort men kan dock användas för att bekämpa överhettning. [4, s.43]

Utomhusmonterade system monteras på yttre fasaden för att skugga fönsteröppningen till exempel med hjälp av fasadpersienn, markiser eller pergolor. Vid planeringsskedet av byggnaden kan solavskärmning påverkas med balkonger eller taköverhäng. Exempel på inomhusmonterade metoder är gardiner eller persienn. [4, s.40-43]

Vid val av metod för solavskärmning bör dess lämplighet beaktas. Det som påverkar främst är byggnadens läge och orientering. Ifall byggnaden är väldigt högt eller byggt på ett sådant ställe där det råder starka vindförhållanden lämpar sig inte alla utomhusmonterade system. Dessutom påverkar solstrålningens infalls vinkel under året hur exponerad fönsterytan är för strålning. [4, s. 43]



*Figur 6 Olika sorters solavskärmning, uppe t.v. markis, uppe t.h. utomhusmonterad rullgardin, nere t.v. persienn, nere t.h. lamellgardin*

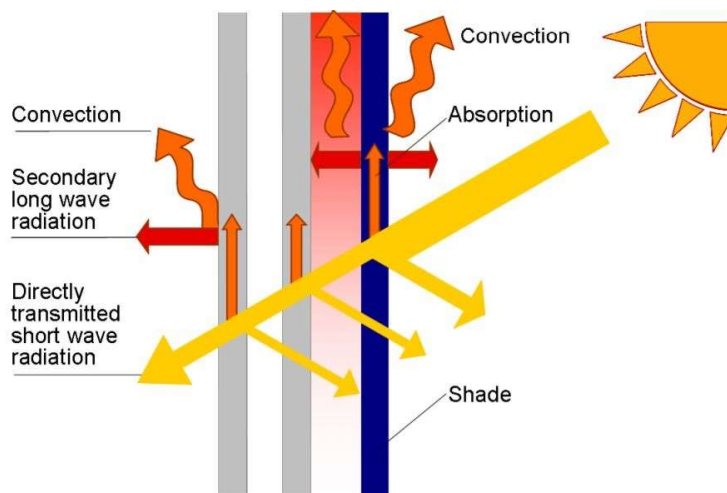
## 5.2 Egenskaper för fönster

Fönster och glasets egenskaper har väldigt central roll när det gäller solavskärmning. När fönsterytans area växer ökar också behovet av solavskärmning, ifall fönsteröppningens area är väldigt stor kan det vara svårt att uppnå en ideal avskärmning.

De tre viktigaste fysikaliska egenskaper som glas har är: [4, s.16][11, s.23]

1. Värmegenomgångskoefficient, eller U-värde ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ). U-värdet anger hur mycket energi eller värme leds genom glaset.
2. Direkt transmitterad solenergi, ST (solar transmittance) eller  $\tau$ , anger andelen synlig ljus som passerar genom fönstret. Anges i procent.
3. Total genomtränglighet av solenergi genom glaset, eller g-värde, anges i procent.

Fönster och glas förekommer i flera olika typer och egenskaper vid val av fönster bör dessa tre egenskaper beaktas.



Figur 7 Energiflödet genom ett fönster [4, s.20]

Nuförtiden är de mest förekommande fönstren standard dubbel- eller treglasfönster där glaset är så kallat floatglas. De konstrueras av två eller tre glasskivor med vanligtvis ett 6 - 16 mm tomrum emellan. Glas leder värme relativt bra och fönstrets värmeisoleringsförmåga beror huvudsakligen på luftspalten emellan glasskikten. Isoleringsförmågan kan förbättras med att ersätta luften med krypton eller argon. Klart glas har högt g-värde och ST-värde, fönster och glastillverkare erbjuder produkter som har bättre solskyddsegenskaper. Glas med goda solskyddsegenskaper kallas i allmänhet för low-e glas och de är

ytbehandlade med en metalloxid som förbättrar glasets egenskaper gällande solskydd.  
[11, s.21-23]

Produktnamn Produktkod se sid 5 + 9	Typ	Prestandakod U/LT/g	Termiska data	Optiska data				Solenergi		Ljud- reduktion		Vikt kg/m <sup>2</sup>
			U-värde U <sub>g</sub> W/m <sup>2</sup> K	UV T <sub>uv</sub> %	Dagsljus LT %	LR <sub>ut</sub> %	R <sub>s</sub> index	ST %	g %	R <sub>w</sub> dB	R <sub>w</sub> +C <sub>r</sub> dB	
Pilkington <b>Optifloat™</b> Grey			Färg i T och R: Grå				Tj: 4, 5, 6, 8 och 10 mm					
6gy	1	5,7/44/57	<b>5,7</b>	18	<b>44</b>	5	96	45	<b>57</b>	31	28	15
10gy	1	5,6/27/44	<b>5,6</b>	8	<b>27</b>	5	93	28	<b>44</b>	33	30	25
6gy-16Ar-S(3)4	2	1,1/39/35	<b>1,1</b>	9	<b>39</b>	6	95	29	<b>35</b>	34	29	25
6gy-16Ar-4-16Ar-S(3)4	3	0,9/36/31	<b>0,9</b>	8	<b>36</b>	8	94	25	<b>31</b>	36	30	35
6gy+30+4-16Ar-S(3)4	1+2	0,9/36/31	<b>0,9</b>	8	<b>36</b>	8	94	25	<b>31</b>	39	35	35
Pilkington <b>Optifloat™</b> Bronze			Färg i T och R: Brons				Tj: 4, 5, 6, 8 och 10 mm					
6bz	1	5,7/50/58	<b>5,7</b>	15	<b>50</b>	5	92	47	<b>58</b>	31	28	15
10bz	1	5,6/33/46	<b>5,6</b>	7	<b>33</b>	5	87	31	<b>46</b>	33	30	25
6bz-16Ar-S(3)4	2	1,1/44/36	<b>1,1</b>	8	<b>44</b>	7	92	30	<b>36</b>	34	29	25
6bz-16Ar-4-16Ar-S(3)4	3	0,9/40/33	<b>0,9</b>	7	<b>40</b>	9	93	27	<b>33</b>	36	30	35
6bz+30+4-16Ar-S(3)4	1+2	0,9/40/33	<b>0,9</b>	7	<b>40</b>	9	93	27	<b>33</b>	39	35	35
Pilkington <b>Optifloat™</b> Green			Färg i T och R: Grön				Tj: 4, 5, 6, 8, och 10 mm					
6gn	1	5,7/75/58	<b>5,7</b>	21	<b>75</b>	7	90	46	<b>58</b>	31	28	15
10gn	1	5,6/67/49	<b>5,6</b>	13	<b>67</b>	6	84	35	<b>49</b>	33	30	25
6gn-16Ar-S(3)4	2	1,1/67/40	<b>1,1</b>	11	<b>67</b>	10	89	34	<b>40</b>	34	29	25
6gn-16Ar-4-16Ar-S(3)4	3	0,9/61/36	<b>0,9</b>	10	<b>61</b>	14	88	31	<b>36</b>	36	30	35
6gn+30+4-16Ar-S(3)4	1+2	0,9/61/36	<b>0,9</b>	10	<b>61</b>	14	88	31	<b>36</b>	39	35	35

Figur 8 Teknisk data för Pilkingtons solskyddsglas [11, s. 25]

## 6 SIMULATION

För att undersöka hur solavskärmning påverkar termiska komforten i ett rum utförs en simpel simulation. Simulationen utförs med programmet IDA ICE. Resultaten som undersöks ur simulationen är:

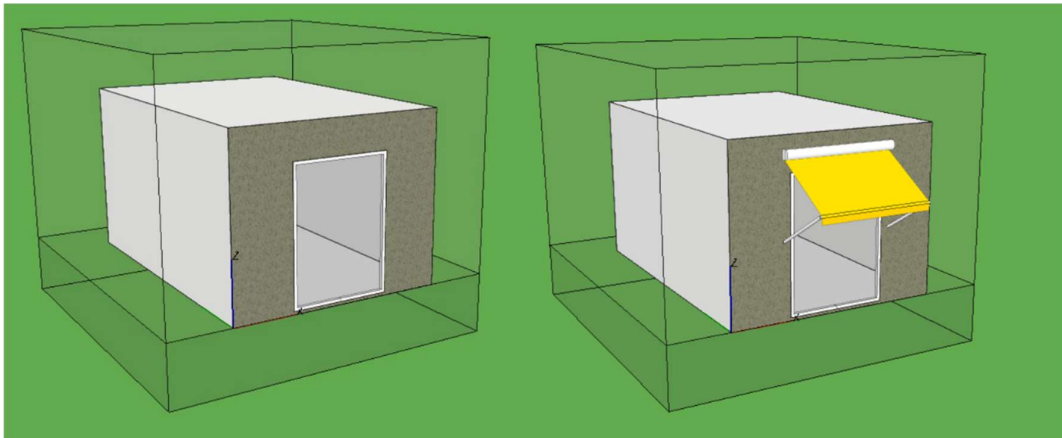
- Inomhusluftens temperatur
- Innerväggarnas yttemperaturer
- PMV och PPD

Med simulationen strävar vi att undersöka hur solavskärmningen gynnar termiska komforten i lägenheter.

I simulationen betraktas:

- Rum utan solavskärmning
- Rum med inre solavskärmning, persienner
- Rum med yttre solavskärmning, markis

Dessutom varieras rummets orientering så att fönsteröppningen är orienterad mot och i en annan simulation mot väst för att undersöka ifall fönsteröppningens riktning påverkar solavskärmningens relevans. I simulationen betraktas tidsperioden mellan 1.6-31.8 eftersom då är risk för överhettning störst.



Figur 9 Simulationsmodellen utan solavskärmning, samt modellen med markisen som solavskärmning

## 6.1 Parametrar

I simulationen undersöker vi en rum i en bostadslägenhet. Rummets yttervägg är 3,5 m bred och djupet i rummet är 5,0 m. Rummet har en stor fönsteröppning med bredden 1,4 m och höjden 2,2 m, fönsteröppningen fungerar som en fransk balkong. Värmeöverföring betraktas endast genom ytterväggen och fönsteröppningen. Man kan anta att temperaturen skillnaden mellan innerväggarna och mellanbjälklagen är 0 °C vilket betyder att det sker ingen värmetransport genom dem.

### 6.1.1 Yttervägg

Byggtekniskt betraktat är konstruktionen enligt dagens byggstandarder och den följer finska byggbestämmelserna. Innerväggarnas, golvets samt takets konstruktion behöver inte beaktas eftersom de inte påverkar resultatet. Ytterväggen har ett U-värde på 0,15 W/m<sup>2</sup>K och väggen består av:

- puts, tjocklek 10 mm
- betong, tjocklek 100 mm



- mineralull, tjocklek 287 mm
- betong, tjocklek 100 mm
- puts, tjocklek 10 mm

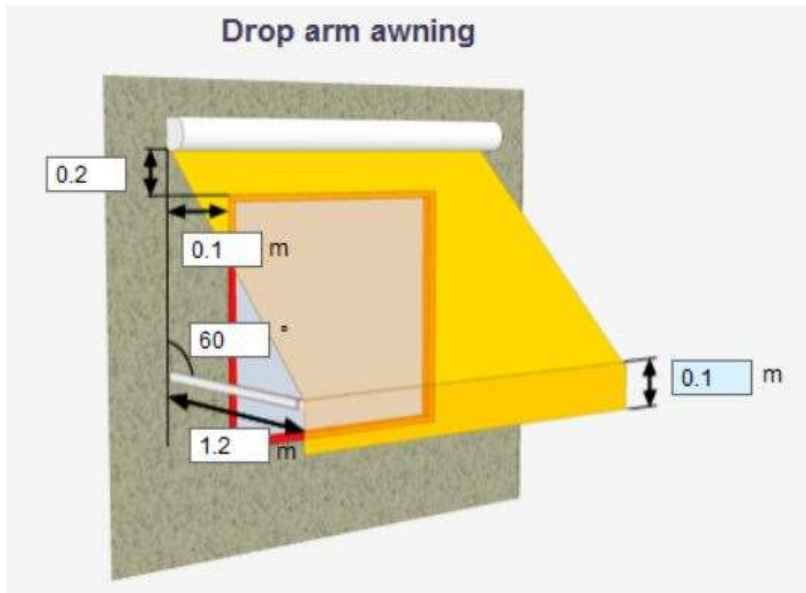
### 6.1.2 Fönsterkonstruktion

Fönsteröppningens areal är 3,08 m<sup>2</sup> och karmkoefficient är 0,2. Fönstrets tekniska värden är och dimensioner:

- U-värde 1,0 W/m<sup>2</sup>K
- g-värde 0,53
- ST-värde 0,41
- Höjd 2,2 m
- Bredd 1,4 m

I simulationen med persiennen används  $F_{gardin}$  0,60. [5] I simuleringen betraktas persiennen vara alltid dragen.

I simulationen med markisen används ”generic drop-arm awning” ur IDA ICE egen databas och dess dimensioner ses ur figur 10. I simuleringen betraktas markisen vara alltid dragen.



Figur 10 Markisens dimensioner

### 6.1.3 Ventilationsdata och användardata

Rummet dimensioneras för två personer. Rummets värmelaster följer finska byggbestämmelsers direktiv. [9, s.18-21]

- Tilluftflöde 12 l/s
- Tilluftens temperatur 16 °C
- Frånluftflöde 12 l/s
- Värmelast ur hushållsapparater 4 W/m<sup>2</sup>
- Värmelast ur belysning 11 W/m<sup>2</sup>

### 6.1.4 Väderdata

I simulationen används väderdata från Helsingfors från år 2012. Byggnadens geografiska läge ligger på 60.32 °N 24.97 °E.

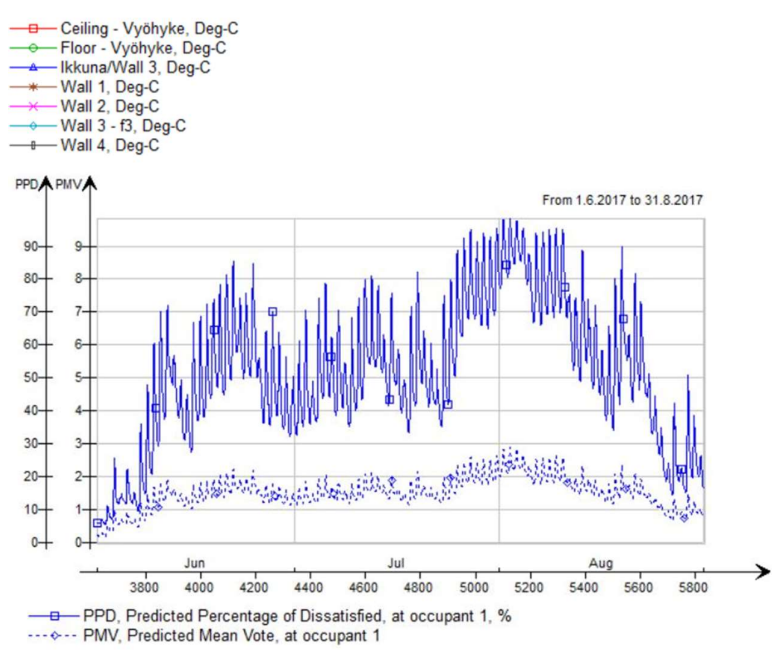
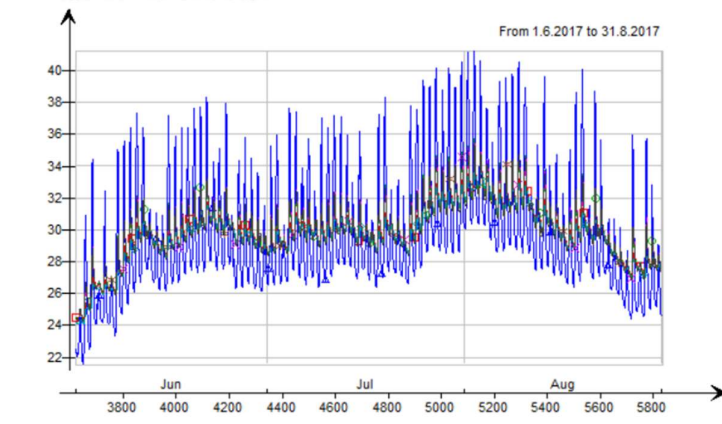
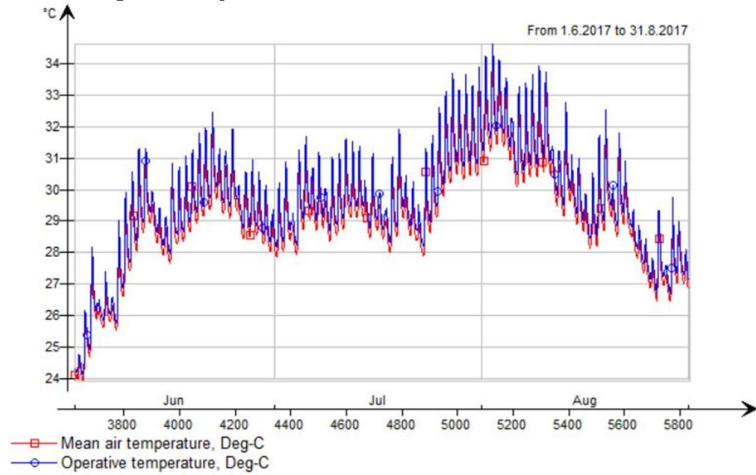
## 6.2 Resultat

I understyckena nedan representeras simulationernas resultat. I styckena presenteras resultaten erhållna av simulationsprogrammet, en genomgång av resultaten och hur de skiljer från varandra genomgås senare i arbetet.

### **6.2.1 Fönster utan solavskärmning**

I detta stycke betraktar vi resultaten erhållet ur simulationerna utan solavskärmning.

## Riktning mot syd



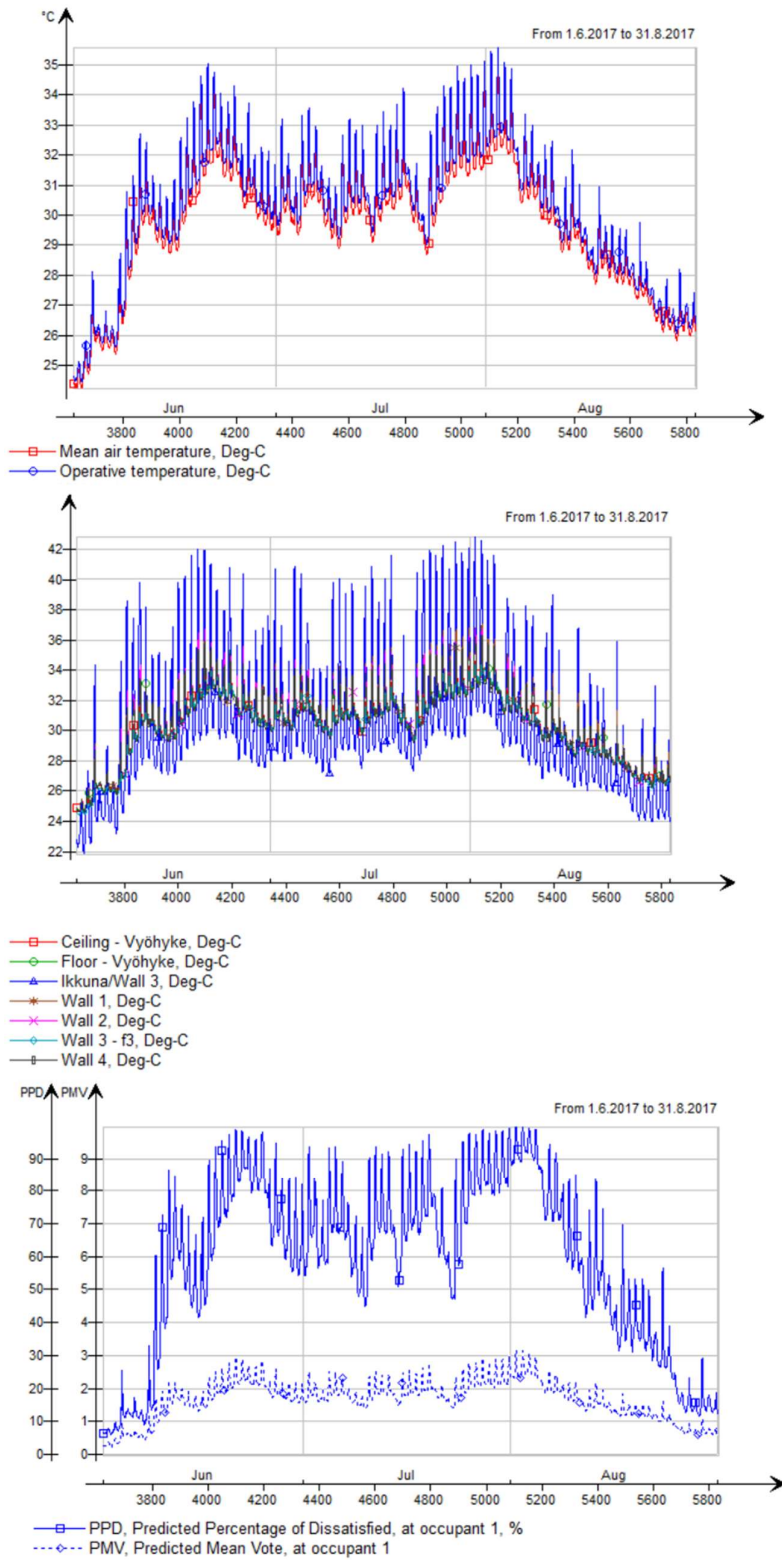
Figur 11 Uppre inomhusluftens temperatur, i mitten yttemperaturer och nere PMV samt PPD

Ur figur 11 kan ses att otillräcklig solavskärmning missgynnar termiska komforten. Inomhusluftens temperatur stiger upp till 34 °C och under denna tid når fönstrets inre yta till temperaturer kring 41 °C. PMV värdet stiger som högst till 2,4 och PPD är då 89,3%.

Tabell 3 Medelvärden för operativa temperaturer, PMV och PPD

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augusti</b>
<b>t<sub>medel</sub> [°C]</b>	28,37	29,65	29,69
<b>t<sub>op, medel</sub> [°C]</b>	28,7	30,03	30,07
<b>PMV<sub>medel</sub></b>	1,246	1,619	1,641
<b>PPD<sub>medel</sub> [%]</b>	40,37	56,71	57,33

## Riktning mot väst



Figur 12 Uppre inomhusluftens temperatur, i mitten ytttemperaturer och nere PMV samt PPD

I denna simulation har fönsteröppningens riktning ändrats så att den riktar mot väst. Ur figuren ses att termiska komforten har inte förbättrats, till motsats har den i medel blivit sämre. Medelvärdet operativa temperaturen har ökat, likaså PMV och PPD. Under de varmaste dagarna stiger inomhusluftens temperatur till 35,55 °C, under den tiden är PMV 3 och PPD 99,61%.

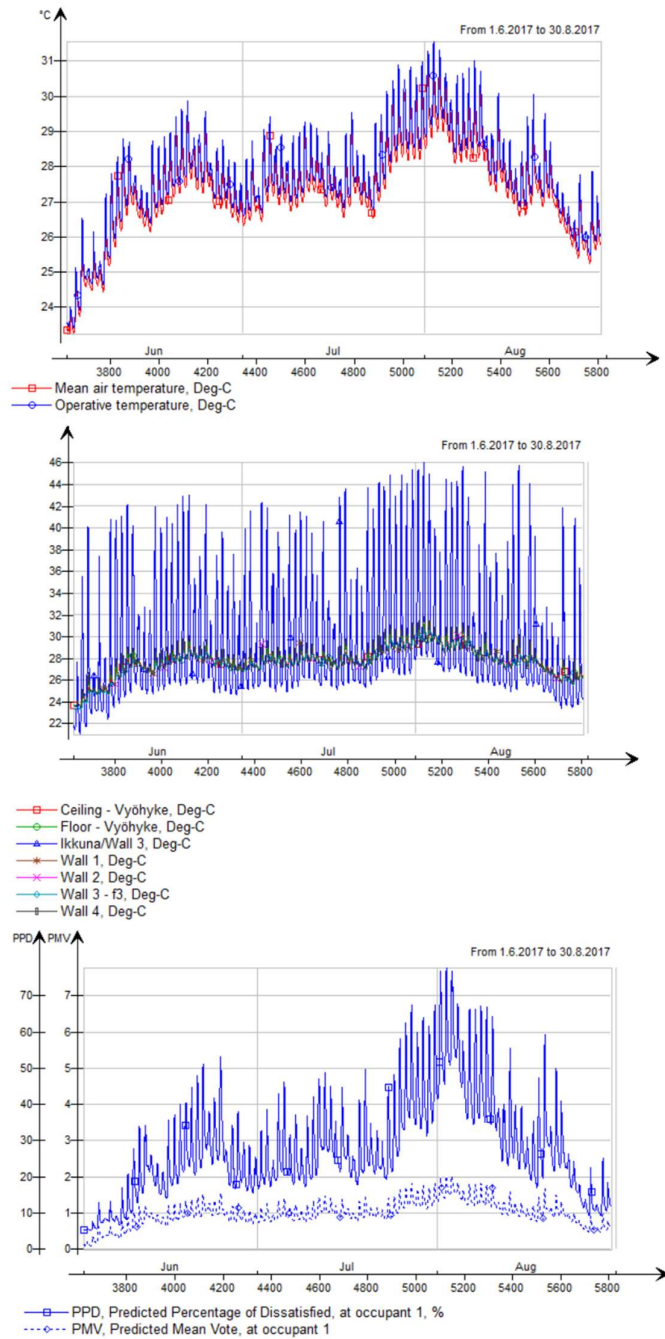
Tabell 4 Medelvärden för temperaturer, PMV och PPD

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augusti</b>
<b>t<sub>medel</sub></b>	29,36	30,79	29,12
<b>t<sub>op, medel</sub> [°C]</b>	29,74	31,21	29,48
<b>PMV<sub>medel</sub></b>	1,534	1,948	1,485
<b>PPD<sub>medel</sub> [%]</b>	54,2	72,37	49,65

## 6.2.2 Solavskärmning med persienn

I detta stycke betraktar vi resultaten erhållet ur simulationerna med persienn som solavskärmning.

### Riktning mot syd



Figur 13 Uppre inomhusluftens temperatur, i mitten yttemperaturer och nere PMV samt PPD

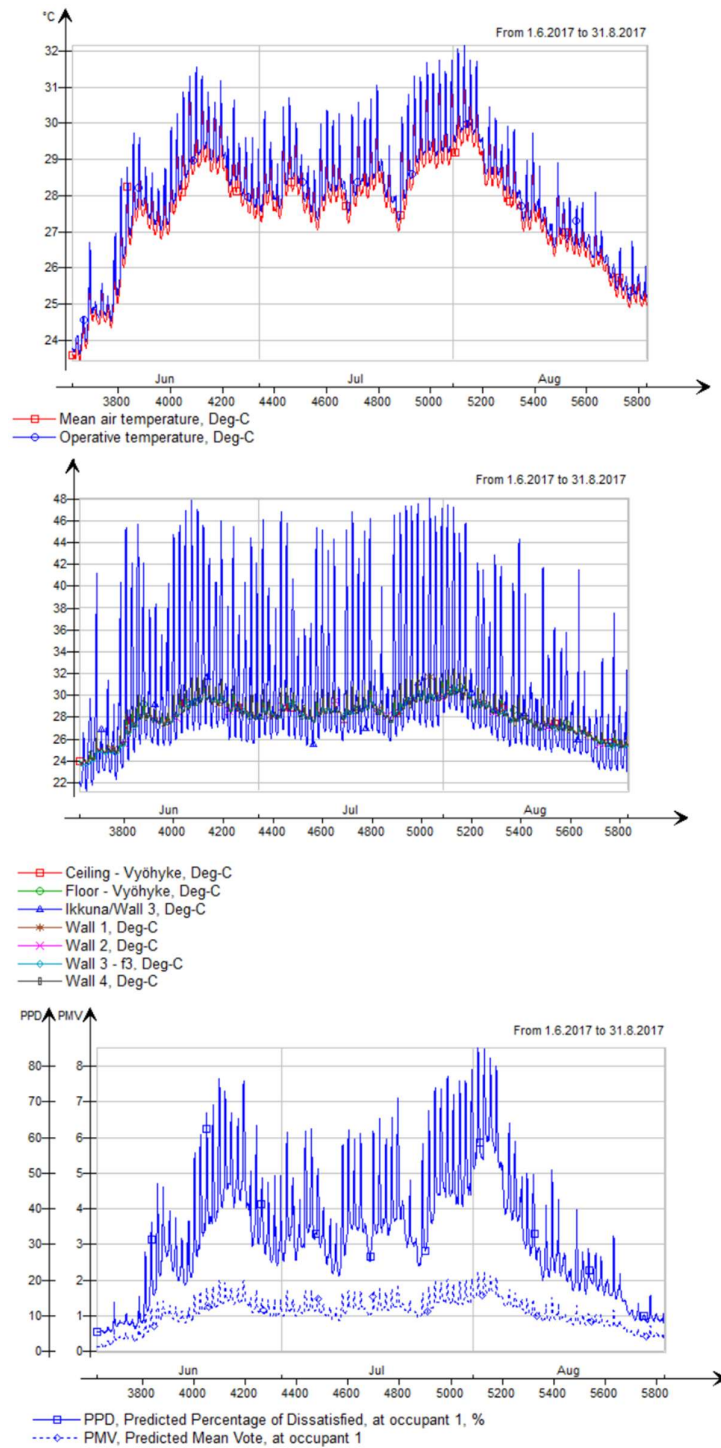


Ur figur 13 kan ses att med persienn som metod för solavskärmning har förbättrat termiska komforten och inomhusklimatet markant. Medelvärdet för inomhusluftstemperatur har sjunkit närmare acceptabla krav, men överstiger under juli och augusti över kylgränsen. Som varmast når inomhusluftens temperatur till 31,52 °C, under den tiden är PMV 2,012 och PPD 77,3%.

Tabell 5 Medelvärden för temperaturer, PMV och PPD

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augusti</b>
<b>t<sub>medel</sub> [°C]</b>	26,64	27,73	27,77
<b>t<sub>op, medel</sub> [°C]</b>	26,9	28,02	28,08
<b>PMV<sub>medel</sub></b>	0,7847	1,072	1,107
<b>PPD<sub>medel</sub> [%]</b>	20,4	30,02	32,79

## Riktning mot väst



Figur 14 Uppre. inomhusluftens temperatur, i mitten yttemperaturer och nere. PMV samt PPD

I denna simulation har fönsteröppningens riktning ändrats så att den riktar mot väst. Informationen erhållet ur simulationen berättar att termiska komforten har försämrats jämfört med situationen då fönsteröppningens riktning är mot syd. Under varmaste dagen stiger inomhusluftens temperatur till 31,7 °C, under den tiden är PMV 2,184 och PPD 84,33%. Ur figuren kan trotsallt tolkas att solavskärmningen förbättrar termiska komforten.

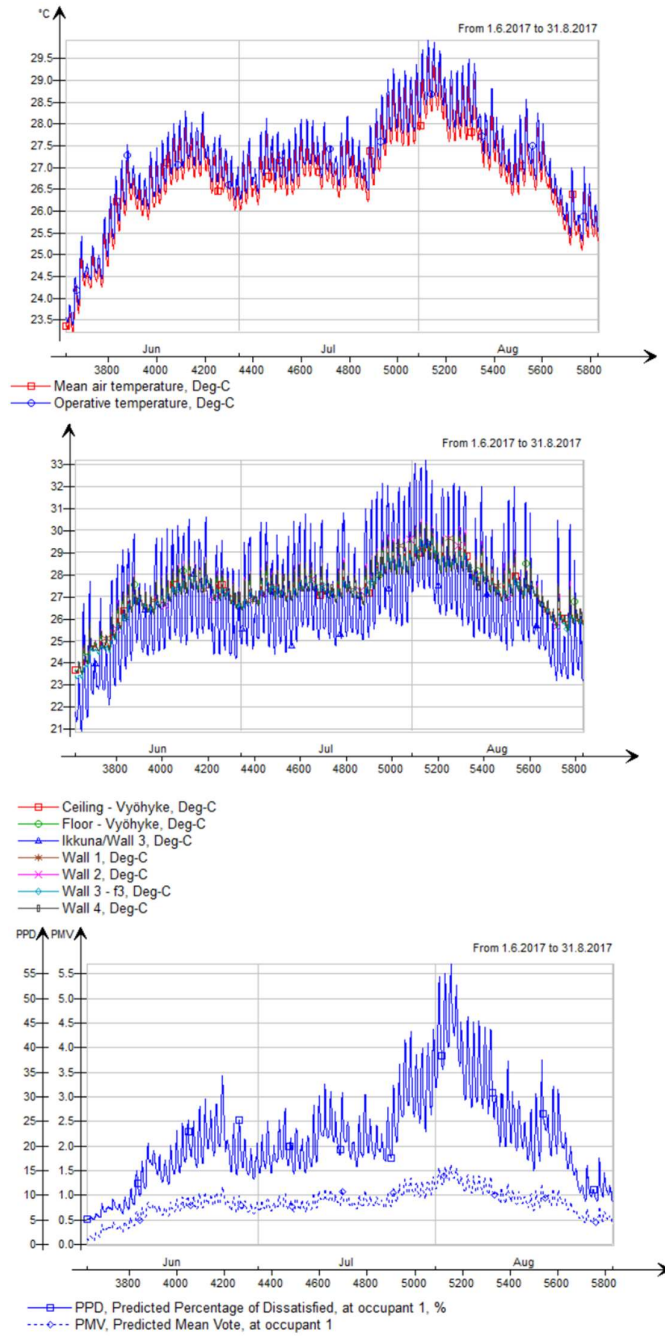
Tabell 6 Medelvärden för temperaturer, PMV och PPD

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augusti</b>
<b>t<sub>medel</sub> [°C]</b>	27,28	28,44	27,32
<b>t<sub>op, medel</sub> [°C]</b>	27,56	28,76	27,61
<b>PMV<sub>medel</sub></b>	0,964	1,272	0,9928
<b>PPD<sub>medel</sub> [%]</b>	28,36	39,32	28,46

### 6.2.3 Solavskärmning med markis

I detta stycke betraktar vi resultaten erhållet ur simulationerna med persienn som solavskärmning.

#### Riktning mot syd



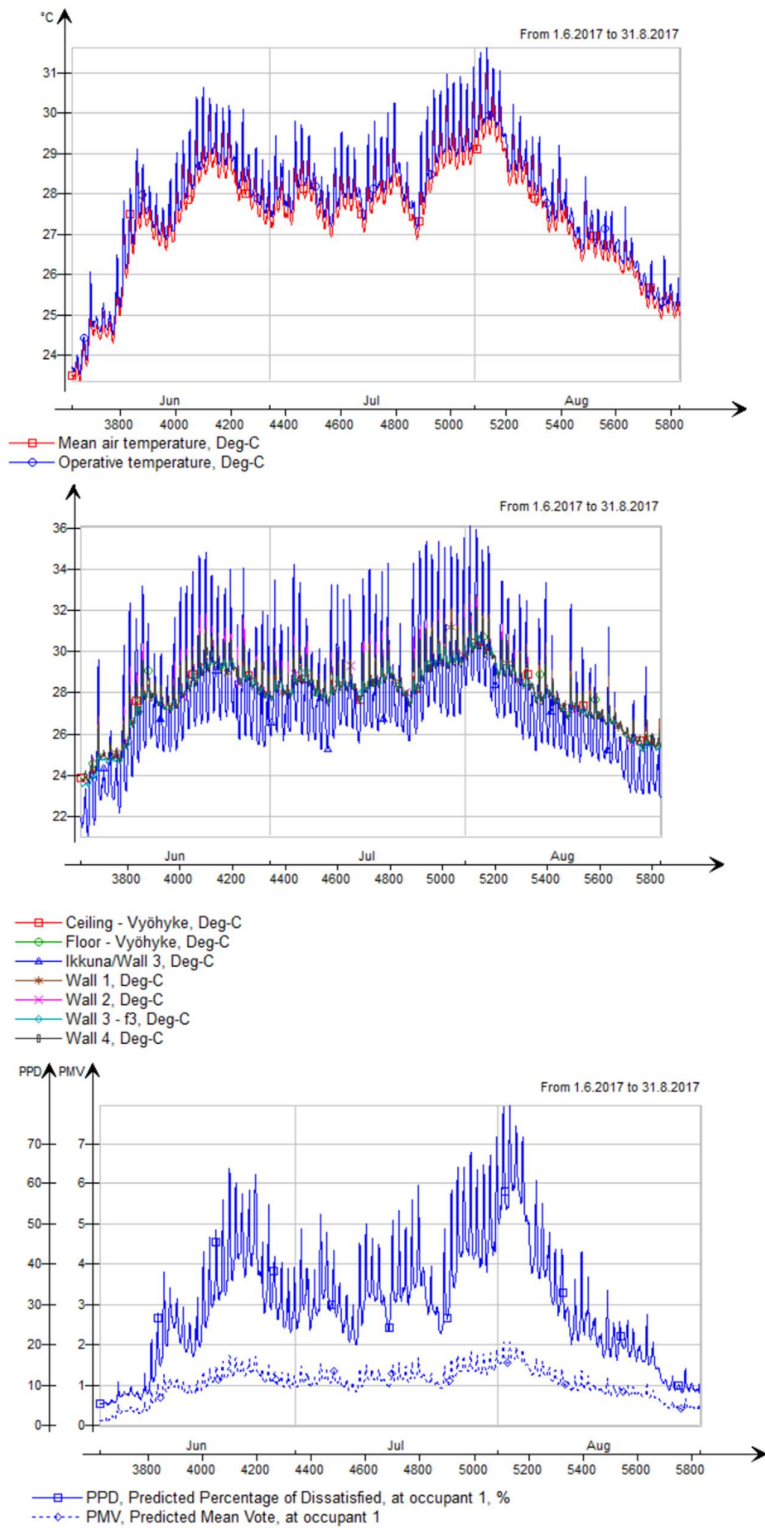
Figur 15 Uppre inomhusluftens temperatur, i mitten yttemperaturer och nere. PMV samt PPD

Ur figur 15 kan ses att med markis som solavskärmning har termiska komforten ytterligare förbättrats från versionen med persienn som solavskärmning. Inomhusluftens medeltemperatur överstiger kylgränsen under juli och augusti månad med 0,12 °C samt 0,19 °C. Som varmast når inomhusluftens temperatur till 28,94 °C, under den tiden är PMV 1,355 och PPD 43,16%.

Tabell 7 Medelvärden för temperaturer, PMV och PPD

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augusti</b>
<b>t<sub>medel</sub> [°C]</b>	26,07	27,12	27,19
<b>t<sub>op, medel</sub> [°C]</b>	26,32	27,41	27,48
<b>PMV<sub>medel</sub></b>	0,6479	0,9098	0,9513
<b>PPD<sub>medel</sub> [%]</b>	15,15	22,93	25,7

## Riktning mot väst



Figur 16 Uppre inomhusluftens temperatur, i mitten yttemperaturer och nere PMV samt PPD

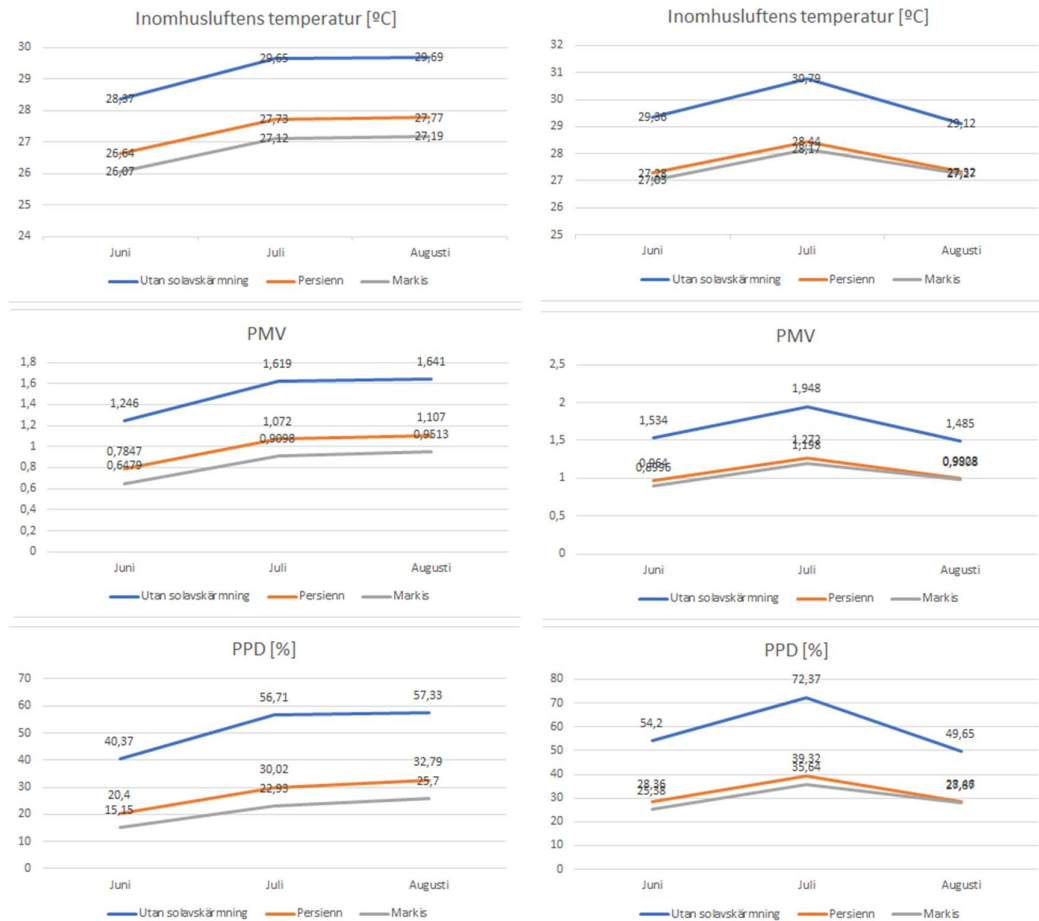
I denna simulation har fönsteröppningens riktning ändrats så att den riktar mot väst. Termiska komforten har försämrats jämfört med versionen där fönsteröppningen riktar sig mot syd, lika som i de tidigare simulationerna. Under varmaste dagen stiger inomhusluftens temperatur till 31,11 °C, under den tiden är PMV 2,042 och PPD 78,62%.

Tabell 8 Medelvärden för temperaturer, PMV och PPD

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Augusti</b>
<b>t<sub>medel</sub> [°C]</b>	27,03	28,17	27,27
<b>t<sub>op, medel</sub> [°C]</b>	27,32	28,5	27,56
<b>PMV<sub>medel</sub></b>	0,8996	1,198	0,9808
<b>PPD<sub>medel</sub> [%]</b>	25,38	35,64	27,87

## 6.3 Diskussion

Från resultaten kan urskiljas en klar trend, solavskärmning gynnar termiska komforten och inomhus klimatet i detta fall. I simulationerna utan solavskärmning noteras inomhusluftens medeltemperatur ligga rejält över kylningströskeln. I de simulationer där solavskärmning används överstiger inte inomhusluftens temperatur över kylningströskeln lika mycket.



Figur 17 De olika simulationerna jämförda med varandra. Graferna till vänster är simulationerna med fönsteröppningens riktning mot syd. Graferna till höger är simulationerna med fönsteröppningens orientering mot väst.

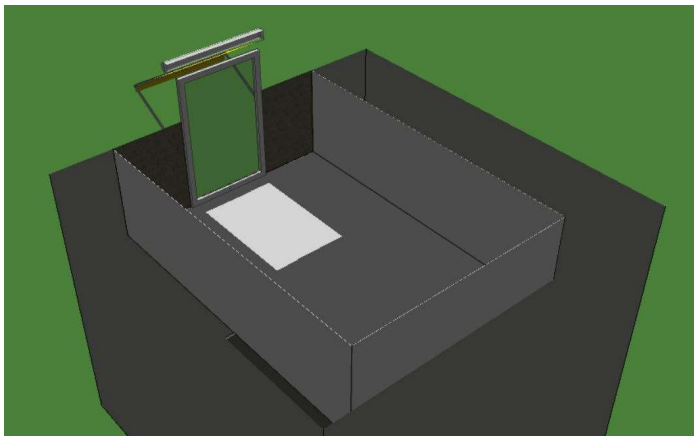
Ur figur 17 kan tydligt tolkas att markisen skapar kraftigast solavskärmning på de simulationer där fönsteröppningens riktning är mot syd. I de simulationer där fönsteröppningens riktning är mot väst är inte markisen lika effektiv jämför med persiennen.



Solens infallsvinkel och markisens dimensioner orsakar dess ineffektivitet för solavskärmning på västriktade fasader. I figur 18 kan ses ineffektiv solavskärmningen av markisen på kvällen.

Under sommartid är solen väldigt högt under middag och på eftermiddagen sjunker solen längre ner. Detta leder till att solavskärmning med markiser är effektivare på fasader riktade mot syd än på fasader riktade mot väst eller öst. Under våren och hösten orsakar solen större värmebelastning mot sydligt orienterade ytor eftersom då är solens infallsvinkel lägre än under högsommaren.

Simulationerna bekräftar att god planering och effektiv användning av solavskärmning är viktigt då man vill uppnå byggnader med gott inomhusklimat. Utebliven solavskärmning orsakar inomhustemperaturer väl över rekommenderade värden. Med hjälp av solavskärmning minskar man på värmelasten orsakad av solen och såväl gynnas termiska komforten.



*Figur 18 Ineffektiv skuggning av markisen. Skuggningen simulerad för datumet 31.7 klockan 18.00*

### **6.3.1 Begränsningar i simulationen**

Fastän simulationsmodellen ger noga beräknade värden måste det minnas att den är också begränsande i detta fall. I simulationen som utfördes betraktades endast ett rum. För att få en fullständig bild på hur inomhusklimatet formar sig krävs noggrannare värden på hur byggnaden är dimensionerad och planerad.

Simulationen ifråga tar inte i beaktande skuggning orsakad av kringliggande växtlighet eller andra byggnader. Rummets kylkapacitet litar sig på byggbestämmelsernas minimikrav för ventilation, vilket inte garanterar ett gott inomhusklimat. Ventilationens otillräcklighet ses ur att den inte förmår att kyla konstruktionerna under natten tillräckligt. Dessutom tar inte simulationen i beaktande användarens vanor. Vanligtvis bekämpas överhettning i lägenheter med att öppna fönstret, simuleringen antar fönstret vara stängt dygnet runt.

Under planering av ventilation och inomhusklimat tas alla dessa faktorer i beaktande och byggnaden ses som en helhet. Simulationen som utfördes fungerar som ett bevis för solavskärmningens relevans redan i planeringsskedet.

## **7 SAMMANDRAG**

Byggbranschen styrs konstant mot ett energisnålare håll. Man vill skapa byggnader som är väldigt effektiva på att ta tillvara på all energi som tillförs dem. Detta uppnås med byggnader med täta konstruktioner och små värmeförluster. Med det hämtar det sig nya risker, överhettning.

Finska byggbestämmelsesamlingen dikterar hur inomhusklimatet i byggnader bör se ut. Planerarens uppgift är att se till att dessa krav uppfylls. Med värmelast beräkningar kan man förebygga överhettning. Byggbestämmelsesamlingen ger direktiv på hur energiberäkningar bör utföras. Till förfogande finns också olika simuleringsprogram.

Överhettning orsakad av solen bekämpas med hjälp av solavskärmning. Solavskärmningens funktion baserar sig på att förhindra solstrålningen att värma insidan av byggnaden. På marknaden finns olika sorters metoder för solavskärmning och det förekommer såväl i passiva samt aktiva former. Med effektiv solavskärmning minskar man på byggnadens koldioxidavtryck då det minskar kylbehovet. Solavskärmning har väldigt central roll då man planerar inomhusklimatet, utebliven solavskärmning påverkar termiska komforten negativt. Vid val av solavskärmning bör dess lämplighet beaktas.

I planering av solavskärmning bör också valet av fönster och glas uppmärksammas väl. Olika sorters glas har olika användningsområden, för utrymmen där det förekommer stora fönsterytor bör det väljas fönster med ett lågt g-värde.

Solavskärmningens inverkan begränsas inte endast till ökad termisk komfort. En lyckad solavskärmning minskar på kylbehovet vilket eventuellt minskar på investeringskostnaderna under byggtiden. Dessutom minskar byggnadens energianvändning under dess livscykel vilket orsakar besparingar i energi. Behagligare inomhustemperaturer gynnar också användarnas välmående.

Simulationen som utfördes i detta arbete fungerar som ett bevis för solavskärmningens relevans. Ur simulationen ses en klar och tydlig trend att solavskärmning gynnar termiska komforten. Simulationen tar inte i beaktande ekonomiska nyttan av solavskärmning.

För att uppnå en god och trivas inomhusmiljö bör det redan vid planeringsskedet kännas igen vilka risker det finns. Under sommartid är det vanligaste problemet överhettning, vilket går att bekämpa i tidigt skede med att beakta de värmelaster som skapas av solen. Solavskärmning är ett miljövänligt sätt att bekämpa överhettning då man inte behöver använda sig av energi för att kyla ned byggnaden. Därtill är solavskärmningen ekonomiskt lönsam då det minskar på behovet av möjligtvis dyra kylsystem.

## KÄLLOR

[1] *FInZEB loppuraportti, Lähesnollaenergiarakennuksen käsittely, tavoitteet ja suunta-  
viivat kansallisella tasolla*, 2015, tillgänglig: [http://tem.fi/docu-  
ments/1410877/2735615/FInZEB\\_loppuraportti.pdf/6527928a-809b-4870-9e3e-  
425fe26c15d1](http://tem.fi/documents/1410877/2735615/FInZEB_loppuraportti.pdf/6527928a-809b-4870-9e3e-425fe26c15d1) hämtad 16.2.2017, 71s.

[2] *Rakennuslehti, Rakennusfysiikan professori kritisoi lähes nollaenergiarakentamisen  
ehdotusta puutteelliseksi*, 2015, tillgänglig <http://www.rakennuslehti.fi/2015/02/487051/>  
Hämtad 17.2.17

[3] *Rakennuslehti, Aatsalo Johanna, Aurinko paahtaa kuin kiuas olohuoneessa*, 2016,  
tillgänglig: [http://www.rakennuslehti.fi/2016/09/aurinko-paahtaa-kuin-kiuas-olohuo-  
neessa/](http://www.rakennuslehti.fi/2016/09/aurinko-paahtaa-kuin-kiuas-olohuoneessa/), hämtad 17.2.2017

[4] Beck Wouter, Dolmans Dick, Dutoo Gonzague, Hall Anders, Seppänen Olli, 2011  
*Aurinkosuojaus – Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin raken-  
nuksiin*, 74s.

[5] *Finlands byggbestämmelsesamling, del D5 - Beräkning av byggnaders energiför-  
brukning och uppvärmningseffekt, anvisningar 2007*, Miljöministeriet.

[6] *Rakennustieto Oy 2008 LVI-05-10440, Sisäilmastoluokitus 2008 - Sisäympäristön  
tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset*, 2008, tillgänglig: [https://www.ra-  
kennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10440](https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10440), hämtad 20.3.2017

[7] Rakennustieto Oy, LVI 05-10417, *Rakennuksen sisäilmaston suunnitteluperusteet*, 2007, tillgänglig: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10417.html.stx>, hämtad 20.3.2017

[8] Finlands byggbestämmelsesamling, del D2 – Byggnaders inomhusklimat och ventilation, föreskrifter och anvisningar 2012, Miljöministeriet

[9] Finlands byggbestämmelsesamling, del D3 – Byggnaders energiprestanda, föreskrifter och anvisningar 2012, Miljöministeriet

[10] Energibalansberäkning, Control Engineering, tillgänglig: <http://www.controlengineering.se/se/energi/energiberakning/energibalansberakning/> hämtad 20.3.2017

[11] Glasfakta 2015, Pilkington, tillgänglig: [https://www.pilkington.com/~/\\_media/Pilkington/Site%20Content/Sweden/0570\\_Glasfakta2015\\_SE\\_1022.ashx](https://www.pilkington.com/~/_media/Pilkington/Site%20Content/Sweden/0570_Glasfakta2015_SE_1022.ashx) hämtad 18.4.2017

[12] Linden W. van der, Loomans, M.G.L.C & Hensen, J.L.M., 2008, *Adaptive thermal comfort explained by PMV*, 8s.

[13] Hoof, J van, Mazej, M. & Hensen, J.L.M., 2010, *Thermal comfort: research and practice*, 22s.

[14] Autodesk, Human thermal comfort, tillgänglig: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort> hämtad 6.5.2017

## BILAGOR

### Bilaga 1. Totala strålningsenergin och omvandlingskoefficienter.

*Tabell L2.2 Månatliga väderuppgifter för klimatzonerna I och II. Helsingfors-Vanda.*

Månad	Utetemperatur i medeltal, $T_u$ , °C	Solens totala strålningsenergi mot horisontellt plan, $G_{\text{horisontellt, vinkelriktad}}$ , kWh/m <sup>2</sup>	Graddagtal som används vid normering, S17, Kd
Januari	-3,97	6,2	650
Februari	-4,50	22,4	602
Mars	-2,58	64,3	607
April	4,50	119,9	354
Maj	10,76	165,5	117
Juni	14,23	168,6	9
Juli	17,30	180,9	0
Augusti	16,05	126,7	31
September	10,53	82,0	161
Oktober	6,20	26,2	331
November	0,50	8,1	495
December	-2,19	4,4	595
Hela året	5,57	975	3952

Solens totala strålningsenergi mot vertikalt plan åt olika väderstreck,  $G_{\text{vertikalt, vinkelriktad}}$ , kWh/m<sup>2</sup>

Månad	N	NO	Ö	SO	S	SV	V	NV
Januari	6,2	4,7	3,8	9,5	12,9	9,5	3,8	4,7
Februari	17,3	13,8	15,6	31,0	41,4	30,9	15,6	14,0
Mars	40,3	38,1	48,5	75,1	89,5	69,4	43,7	36,9
April	43,9	56,3	79,9	101,1	107,3	101,6	80,6	56,8
Maj	57,8	82,1	112,8	123,3	116,0	117,5	104,5	76,3
Juni	70,6	87,9	109,6	109,9	101,6	110,9	111,2	89,1
Juli	66,3	91,1	118,8	123,1	115,5	128,6	122,7	91,2
Augusti	50,0	66,4	91,8	106,0	100,4	92,8	78,8	61,1
September	32,9	37,5	56,5	83,9	100,5	87,3	59,3	38,1
Oktober	17,9	15,6	17,5	28,3	37,0	30,0	18,8	15,7
November	7,2	5,5	5,1	12,3	16,8	12,3	5,1	5,6
December	4,2	3,2	2,6	8,4	11,8	8,8	2,9	3,2
Hela året	414,6	502,2	662,5	811,9	850,7	799,6	647,0	492,7

Omvandlingskoefficient  $F_{\text{summa}}$ , med vilken solens totala strålningsenergi mot horisontellt plan omvandlas till total strålningsenergi mot vertikalt plan åt olika väderstreck

Månad	N	NO	Ö	SO	S	SV	V	NV
Januari	0,995	0,757	0,609	1,531	2,080	1,519	0,605	0,759
Februari	0,774	0,618	0,700	1,387	1,854	1,381	0,700	0,624
Mars	0,627	0,592	0,754	1,169	1,392	1,079	0,679	0,574
April	0,366	0,470	0,666	0,843	0,895	0,847	0,672	0,474
Maj	0,349	0,496	0,681	0,745	0,701	0,710	0,632	0,461
Juni	0,419	0,521	0,650	0,652	0,602	0,658	0,659	0,528
Juli	0,367	0,503	0,657	0,681	0,639	0,711	0,679	0,504
Augusti	0,395	0,524	0,725	0,837	0,793	0,732	0,622	0,482
September	0,401	0,457	0,689	1,023	1,225	1,064	0,723	0,465
Oktober	0,683	0,595	0,670	1,081	1,412	1,144	0,718	0,598
November	0,888	0,683	0,632	1,519	2,068	1,519	0,633	0,686
December	0,920	0,697	0,571	1,850	2,615	1,942	0,637	0,697
Hela året	0,425	0,515	0,679	0,833	0,872	0,820	0,663	0,505

Bilaga 2. Teknisk data för fönster.

Avattavat ikkunat U-arvo 0.81 - 1.0

Vilmeisin päivitys: 20.09.2016

Ikkunamalli	Karmisyvyys	E-arvo	E-luokka	U-arvo: (U <sub>w</sub> )	g-arvo: (g <sub>g</sub> )	g-arvo: (g <sub>u</sub> )	LT-%	R <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> + C (dB)	R <sub>w</sub> + C <sub>tr</sub> (dB)	Huomautukset
BEETA131N-S	131	79	A	0,99	0,53	0,41	71	44	42	39	Vakiolasitus
	131							45	44	41	Ulkolasi 6mm
BEETA175N-S	175	76	A	0,97	0,53	0,41	71	47	45	42	Vakiolasitus
	175							48	47	44	Ulkolasi 6mm
BEETA210N-S	210	76	A	0,97	0,53	0,41	71	49	47	42	Vakiolasitus
	210							51	50	46	Ulkolasi 6mm