

# **Undersökning av solskyddsfilmers påverkan på inomhustemperaturen sommartid**

Martin Granö

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade Energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Martin Granö
Arbetets namn:	Undersökning av solskyddsfilmers påverkan på inomhus-temperaturen sommartid
Handledare (Arcada):	Kim Skön
<p>Sammandrag:</p> <p>I detta arbete undersöks vilken påverkan solskyddsfilmer har på inomhustemperaturen sommartid. Enligt byggbestämmelserna får inte inomhustemperaturen stiga över 27 °C mera än 150 gradtimmar mellan 1.6 och 31.8 och genom simuleringar kan man se vilken påverkan solskyddsfilmer kan ha på antalet gradtimmar. Undersökningarna har gjorts genom simuleringar med IDA ICE, vilken är ett dynamiskt simuleringsprogram som bör användas då man beräknar den sommartida inomhustemperaturen. För simuleringarna har ett modellrum byggts upp i IDA ICE med alla de värden för väggar, fönster, ventilation och interna värmelaster som ställs i byggbestämmelserna. Resultaten från simuleringarna visar att användningen av solskyddsfilmer effektivt minskar på antalet gradtimmar, minskar på rummets högsta temperatur sommartid och minskar på värmestrålningen genom fönstren.</p>	
Nyckelord:	solskyddsfilm, IDA ICE, byggbestämmelsesamling, gradtimmar, solstrålning
Sidantal:	29
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distributed Energy Systems
Identification number:	
Author:	Martin Granö
Title:	Research of the impact of sun protection films on the summertime indoor temperature
Supervisor (Arcada):	Kim Skön
<p>Abstract:</p> <p>In this thesis the effects of sun protection films on indoor temperature during summertime is been researched. According to the National Building Code of Finland the indoor temperature can't rise above 27 °C more than 150 degree hours between 1.6 and 31.8. Through simulations it can be seen what kind of an impact sun protection films can have on the amount of degree hours. The research has been done by simulations in IDA ICE, which is a dynamic simulation application that must be used when calculating the indoor temperature summertime. A model of a room has been built using IDA ICE with all the values for walls, windows, ventilation and internal loads that are mentioned in the National Building Code of Finland. From the results can be seen that the use of sun protection films effectively reduces the amount of degree hours the temperature is above 27 °C, reduces the highest indoor temperature in the room and reduces the solar heat gain through the windows.</p>	
Keywords:	sun protection film, IDA ICE, National Building Code, degree hour, solar radiation
Number of pages:	29
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut Energiajärjestelmät
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Martin Granö
Työn nimi:	Tutkimus aurinkosuojakalvojen vaikutuksesta sisälämpötiloihin kesäaikana
Työn ohjaaja (Arcada):	Kim Skön
Toimeksiantaja:	
<p><b>Tiivistelmä:</b>  Tässä opinnäytetyössä tutkitaan aurinkosuojakalvojen vaikutusta kesäajan sisälämpötiloihin. Rakennusmääräyskokoelman mukaan kesäajan sisälämpötila ei saa nousta yli 27 °C enemmän kuin 150 astetuntia 1.6 ja 31.8 välisenä aikana. Simulaatioiden avulla voi nähdä aurinkosuojakalvojen vaikutuksen astetuntien määrään. Tutkimukset on tehty simuloimalla huonemalli IDA ICE- ohjelmalla joka on dynaaminen laskentatyökalu jota tulee käyttää kesäajan huonelämpötilan laskennoissa. Huonemalliin on lisätty rakennusmääräyskokoelmasta löytyvät arvot seinille, ikkunoille, ilmastoinnille sekä sisäisille lämpökuormille. Simulaatioista saatujen tulosten perusteella voidaan todeta että aurinkosuojakalvojen käytöllä on merkittävä vaikutus astetuntien määrään, korkeimpaan sisälämpötilaan ja ikkunoista läpi tulevan lämpösäteilyn määrään pienentämällä näitä kaikkia tehokkaasti.</p>	
Avainsanat:	aurinkosuojakalvo, IDA ICE, rakennusmääräyskokoelma, astetunti, auringonsäteily
Sivumäärä:	29
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Inledning.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Avsikt, syfte och frågeställning .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Teoretisk referensram.....</b>	<b>11</b>
4.1	Solenergi .....	11
4.1.1	<i>Solljusets spektrum .....</i>	<i>11</i>
4.1.2	<i>Solvinklar &amp; solstrålningens intensitet.....</i>	<i>12</i>
4.2	Fönster .....	14
4.2.1	<i>Värmetransport genom fönster.....</i>	<i>15</i>
4.3	Fönsterfilmer.....	17
<b>5</b>	<b>Metod.....</b>	<b>18</b>
5.1	IDA ICE.....	18
5.1.1	<i>Användning.....</i>	<i>18</i>
5.2	Modellen .....	19
<b>6</b>	<b>Resultat redovisning.....</b>	<b>21</b>
6.1	Påverkan på gradtimmar .....	21
6.2	Påverkan på högsta temperatur .....	22
6.3	Påverkan på värmestrålning.....	23
<b>7</b>	<b>Kritisk granskning.....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Avslutning.....</b>	<b>26</b>
	<b>Källor.....</b>	<b>29</b>
	<b>Bilagor .....</b>	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>

## Figurer

Figur 1 Solljusets spektrum vid toppen av atmosfären (röd) och vid havsnivån .....	12
Figur 2 Solstrålningens intensitet på olika sidor av byggnaders fasader 21.6 och 21.12 vid 50° nordlig breddgrad.....	14
Figur 3 Olika sätt av värmeöverföring genom fönster i mörker.....	16
Figur 4 Värmeöverföring genom fönster dagtid.....	17
Figur 5 Gradtimmor som temperaturen inomhus är över 27 °C med fönstret riktat mot olika väderstreck.....	21
Figur 6 Den högsta temperaturen mot olika väderstreck med och utan solskyddsfilm..	23
Figur 7 Direkt och diffus värmestrålning genom fönstren per timme i medeltal.....	24

## Tabeller

Tabell 1 Uteluftsflöde, uppvärmningströskel samt kylningströskel för olika utrymmen.	9
Tabell 2 Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea .....	10

# 1 INLEDNING

Syftet med detta ingenjörarbete är att få en bättre bild på hur inomhustemperaturen påverkas av solstrålningen genom fönstren sommartid och hur den kan påverkas genom användning av solskyddsfilmer.

Idén till denna undersökning fick jag efter att ha hört om den förnyade byggbestämmelsesamlingens del D3 (2012) som kom i kraft 1.7.2012 och satte krav på den sommartida inomhustemperaturen i nya fastigheter. Enligt de nya bestämmelserna får inte inomhustemperaturen stiga över kylningströskeln 27 °C med mer än 150 gradtimmar mellan tiden 1.6 och 31.8. För att förhindra detta borde man i första hand använda strukturella och passiva metoder samt ökad ventilation på natten. Detta gäller dock endast bostadshöghus, fristående småhus, radhus och kedjehus. Orsaken till att jag blivit intresserad av fönsterfilmer är för att jag hört om det i skolan, samt för att jag har studerat en kurs passiv solenergi vid Högskolan i Dalarna.

För att kraven skall bli uppfyllda kan det vara nödvändigt att använda nedkylning, vilket troligen blir dyrare och kräver mer energi och leder till en negativ ekologisk påverkan. Därför tänkte jag att det skulle vara intressant att se vilken påverkan solskyddsfilmer kan ha på inomhustemperaturen eftersom de tillhör de passiva metoderna som nämndes i byggbestämmelsesamlingen. Eftersom fönster och fönsterskydd är ett så brett område bestämde jag mig för att bara fokusera på solskyddsfilmernas påverkan på inomhustemperaturen i undersökningen.

Solskyddsfilmer är en passiv metod som låter intressant och jag ville undersöka ifall det räcker att endast använda filmerna för att minska inomhustemperaturerna tillräckligt mycket så att ingen kylning behöver användas. Bostadshus är intressanta för att deras kylningsgräns är högre och det jag är intresserad att veta är ifall användningen av solskyddsfilmer sommartid leder till att ingen kylanläggning behöver användas. Användning av kylanläggningar bidrar till en högre årlig energikonsumtion för byggnader och därmed försämrade E-tal. Andra fastigheter som t.ex. kontorsbyggnader har lägre kyl-

gränser, men jag tänker inte beakta dem för att de ofta använder kylning för att hålla inomhustemperaturen nere.

Ifall inte kraven uppfylls kan det bli nödvändigt att använda sig av aktiv kylning, vilket i så fall kommer att inkluderas i byggnadens årliga energiförbrukning, alltså E-tal. Användning av kylning innebär att man måste köpa mera energi, vilket inverkar negativt ekonomiskt, för att ta bort värme ur byggnaden. Solskyddsfilmerna är däremot en passiv lösning som enbart kräver en engångsinvestering när de köps och installeras på fönsterytorna varefter de inte medför utgifter innan filmerna måste bytas.

Jag tänker inte undersöka fördelarna och nackdelarna med olika solskyddsmetoder eller jämföra solskyddsfilmerna med nedkylning eller andra passiva metoder desto mera. Jag tycker att tanken att kunna använda solskyddsfilmerna är mycket intressant för de är så lätta att använda. Efter att de har installerats behöver ingenting göras på flera år. Om de dessutom minskar på temperaturen tillräckligt för att inte behöva använda kylning är det utmärkt. Kylanläggningar kostar förutom den första investeringen också mera i underhåll eftersom det finns mera rörliga delar i dem och kräver mera underhåll.

I den nya byggbestämmelsesamlingens del D3 står det också att man skall använda ett dynamiskt simuleringsverktyg för att simulera inomhustemperaturen. Eftersom vi har använt IDA ICE i skolan valde jag detta program för att ta simulera hur solskyddsfilmerna påverkar på inomhustemperaturen och därmed gradtimmarna inomhus sommartid.

## **2 BAKGRUND**

I följande stycke kommer jag att ta upp byggbestämmelserna som ligger som grund för mitt examensarbete.

Finlands byggbestämmelsesamling kompletterar markanvändnings- och bygglagen samt byggnadsförordningen. Syftet med dessa bestämmelser är att säkerställa att byggandet håller god kvalitet och är energieffektivt. Föreskrifterna i byggbestämmelsesamlingen gäller huvudsakligen uppförande av nybyggnader, men de kan också tillämpas vid änd-



ring eller renovering av äldre byggnader ifall åtgärdens omfattning eller kvalitet kräver det, eller ifall en byggnadsdels användningssyfte avsevärt förändras. (Miljöministeriet, 2013b)

Kraven för byggnaders energiprestanda, inomhusklimat och ventilation som miljöministeriet har angivit har förnyats och tagits i bruk 1.7.2012. Inomhusklimatet för byggnader behandlas i Finlands byggbestämmelsesamlings del D2 och D3. Förnyandet av byggbestämmelserna är en del av förverkligandet av energieffektivitetsdirektivet i Finland. Förnyandet av dessa bestämmelser betyder inte direkt att inomhusklimatets krav har blivit strängare, utan man strävar till att energieffektiviteten inte förbättras på inomhusklimatets bekostnad. (Miljöministeriet, 2012a s. 4)

I byggbestämmelsesamlingens del D3 punkt 2.2 anges att inomhustemperaturen inte får överskrida kylningsgränsen med mer än 150 gradtimmar mellan 1.6 och 31.8 räknat enligt väderinformationen för orten, de inre värmelasterna samt de projekterade luftmängderna. Ortens väderinformation, värmelasterna och de projekterade luftmängderna hittas i byggbestämmelsesamlingen D3. (Miljöministeriet, 2012b s. 10)

*Tabell 1 Utluftsflyde, uppvärmningströskel samt kylningströskel för olika utrymmen (uppgifterna från Finlands byggbestämmelsesamling D3 punkt 3.2.1).*

Användningskategori	Utluftsflyde dm <sup>3</sup> /(s m <sup>2</sup> )	Uppvärmnings tröskel °C	Kylningströskel 1 °C
Fristående småhus, radhus och kedjehus	0,4	21	27
Flervåningsbostadshus	0,5	21	27
Kontorsbyggnad	2	21	25
Affärsbyggnad	2	18	25
Inkvarteringsbyggnad	2	21	25
Undervisningsbyggnad eller daghem	3	21	25
Idrottshall	2	18	25
Sjukhus	4	22	25

Från Tabell 1 kan man se vilka värden sommartidens temperatur inte får överskrida beroende på byggnadens användningskategori. Därifrån ser man att kylningströskeln är 27

°C för flervåningsbostadshus. Detta är gränsen som temperaturen inte får överskrida med mer än 150 gradtimmar under tiden 1.6–31.8 och är alltså den gränsen varifrån IDA ICE börjar räkna hur många gradtimmar gränsen överskrids.

*Tabell 2 Standardanvändning av byggnader och interna värmelaster per uppvärmd nettoarea. (uppgifterna från Finlands byggbestämmelsesamling D3 punkt 3.3.1)*

Användningskategori	Klockslag <sup>d</sup>	Användningstid		Användningsgrad	Belysning	Hushållsapparater	Människor <sup>a</sup>
		h/24h	d/7d				
				-	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Fristående småhus, radhus och kedjehus	00:00–24:00	24	7	0,6	8 <sup>b,c</sup>	3	2
Flervåningsbostadshus	00:00–24:00	24	7	0,6	11 <sup>b,c</sup>	4	3
Kontorsbyggnad	07:00–18:00	11	5	0,65	12 <sup>c</sup>	12	5
Affärsbyggnad	08:00–21:00	13	6	1	19 <sup>c</sup>	1	2
Inkvarteringsbyggnad	00:00–24:00	24	7	0,3	14 <sup>c</sup>	4	4
Undervisningsbyggnad eller daghem	08:00–16:00	8	5	0,6	18 <sup>c</sup>	8	14
Idrottshall	08:00–22:00	14	7	0,5	12 <sup>c</sup>	0	5
Sjukhus	00:00–24:00	24	7	0,6	9 <sup>c</sup>	9	8

Från Tabell 2 kan man se vilka interna laster som borde användas när man kalkylerar sommartidens inomhustemperatur. Förutom dessa tabeller används väderinformationen för klimatzon I från bilaga 2 i byggbestämmelsesamlingen D3 för att beräkna rumstemperaturen under sommarmånaderna. (Miljöministeriet, 2012b)

För att förhindra att rumstemperaturen stiger högre än dessa värden föreslås det i att man i första hand skall använda strukturella och andra passiva lösningar samt ökad ventilation för att förhindra att temperaturen stiger för högt. Ifall temperaturen ändå stiger för högt kan det bli nödvändigt att använda kylning. Ifall man använder kylning skall den totala energiförbrukningen inkludera kylsystemets energiförbrukning. (Miljöministeriet, 2012b s. 10)

### 3 AVSIKT, SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING

Avsikten med detta ingenjörarbete är att undersöka vilken effekt solskyddsfilmer har på inomhustemperaturen sommardag i bostadshus. Syftet med arbetet är att ta reda på om det går att minska inomhustemperaturen sommardag (1.6–31.8) endast med hjälp av solskyddsfilmer enligt de krav som ställs i byggnadsbestämmelsesamlingen D3.

Det utformades tre forskningsfrågor som grund för examensarbetet.

1. Hur påverkar solskyddsfilmerna på antalet gradtimmar över 27 °C sommardag.
2. Vilken påverkan har solskyddsfilmerna på högsta temperaturen i rummet sommardag.
3. Hur mycket påverkas värmestrålningen genom fönstret genom att använda solskyddsfilmer.

### 4 TEORETISK REFERENSRAM

Här behandlar jag de centrala fenomenen som påverkar inomhustemperaturen.

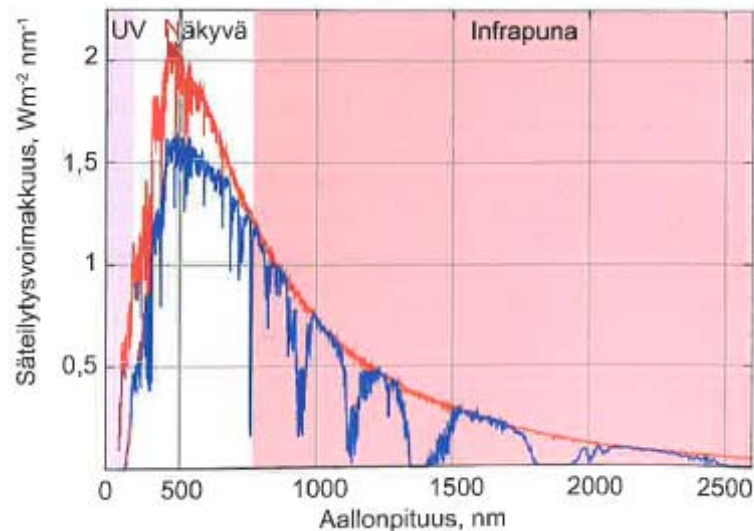
#### 4.1 Solenergi

Solen producerar en enorm mängd energi ( $3,85 \times 10^{26}$  W) av vilken endast en liten del träffar jorden ( $1,74 \times 10^{17}$  W). Intensiteten av solstrålningen som når jordens atmosfär är  $1366 \text{ W/m}^2$ . Vid havsnivån är effekten mindre eftersom en del av strålningen sprids och binds i atmosfären. Effekten kan uppnå  $1000 \text{ W/m}^2$  vid havsnivån under optimala förhållanden. (REHVA, 2011 s. 4)

##### 4.1.1 Solljusets spektrum

Solljusets spektrum består av ultraviolett, synligt och infrarött ljus. Vid havsnivån är ljusets spektrum mellan 320-2500 nm. Ultraviolett (UV) strålning har en våglängd på 320-380 nm, det synliga ljusets våglängd är 380-780 nm och den infraröda (IR) strål-

ningens våglängd är 780-2500 nm. Utanför detta område är inte strålningens intensitet signifikant eftersom strålningens effekt blir så liten. Det kan man också läsa ur figur 1 nedan, där man kan se solljusets intensitet vid olika spektrum. (REHVA, 2011, s. 4-5)



*Figur 1 Solljusets spektrum vid toppen av atmosfären (röd) och vid havsnivån (blå). (uppgifterna från REHVA 2011, s. 4.)*

Solstrålningen vid den infraröda strålningens våglängder kallas ofta för kortvågig infrarödstrålning och skall skiljas från den långvågiga infraröda strålningen, våglängd 5000–25000 nm, som alla föremål i det vardagliga livet emitterar. Den kortvågiga IR-strålningen transmittas genom vanliga fönsterglas in i rummen där den värmer upp föremål som i sin tur ger av sig långvågig IR-strålning som inte passerar vanliga fönsterglas. Detta leder till att rumstemperaturen ökar likadant som vid växthuseffekten. (REHVA, 2011 s. 4-5)

#### **4.1.2 Solvinklar & solstrålningens intensitet**

På en horisontell yta är solstrålningens intensitet högst mitt på dagen då solvinkeln är som högst. Solstrålningens transmission genom en fönsteryta är högst då infallsvinkeln av solstrålarna är låg. På dagen är solstrålningens intensitet som högst, men eftersom infallsvinkeln är hög så är transmissionen genom fönsterytan ganska låg. Den höga vin-

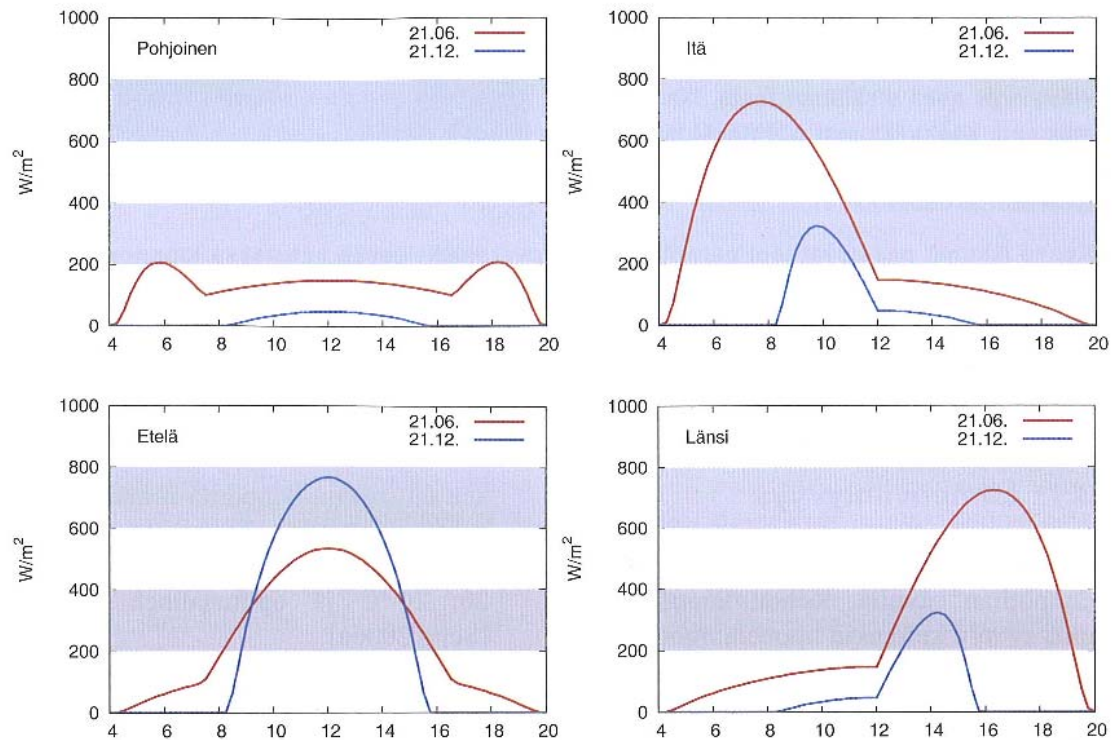
keln orsakar att solstrålarna lättare reflekteras bort. Dessutom kan fönstren skuggas av takets utsprång, takfoten, närliggande byggnader och växtlighet. På morgonen och kvällen är strålningens intensitet svagare, men en större del av solljuset kommer in i rummen genom fönstren. (REHVA, 2011 s. 5)

Solstrålningen som når fönstren kan delas in i tre olika kategorier:

- Direkt solstrålning
- Diffus strålning
- Reflekterad strålning

Den direkta solstrålningen är som störst en molnfri dag mitt på dagen då solen når sin högsta höjd över horisonten och har den högsta intensiteten av dessa tre alternativ. Diffus strålning uppkommer då det är molnigt för att solstrålarna splittras i atmosfären p.g.a. moln och föroreningar i atmosfären. Reflekterad strålning reflekteras från omgivningen. (REHVA, 2011 s. 6-7)

I figur 2 kan man se exempel på solstrålningens intensitet på vertikala ytor riktade mot fyra olika väderstreck. De två strecken visar solstrålningens intensitet på sommaren (21.6.) och på vintern (21.12.) vid 50° nordlig breddgrad. Från bilderna får man en uppfattning av solstrålningens intensitet en klar dag. Det man måste komma ihåg är att solstrålningens intensitet inte är precis likadan i Finland men man får en överblick av solens bana under sommaren och vintern. (REHVA, 2011 s. 6-7)



Figur 2 Solstrålningens intensitet på olika sidor av byggnaders fasader 21.6 och 21.12 vid 50° nordlig breddgrad. (uppgifterna från REHVA 2011, s. 7.)

## 4.2 Fönster

Fönster har använts i flera århundraden för att föra in ljus i byggnader och på samma gång fungera som skydd för olika väderleksförhållanden. De senaste 50 åren har det gjorts stora framsteg inom fönstertekniken. Floatglasmetoden utvecklades på 50-talet. Där låter man det smälta glaset flyta på en bädd av smält tenn vid ungefär 1000 °C. Denna metod gör att glaset får en plan yta och ger fönstret bättre ljusegenskaper t.ex. reflekteras inte. På 60- talet utvecklades förseglade rutor som fördubblade isoleringen jämfört med vanligt 1-planigt glas. Vidare framsteg har gjorts genom att använda gaser (bl.a. argon och krypton) mellan glasytorna istället för luft. De senaste framstegen har varit Low-e fönsterglasen och fönsterglas med spektriskt selektiva skikt. Dessa olika möjligheter gör att man kan ändra byggnadens fysikaliska egenskaper enligt behov. (REHVA, 2011 s. 16)

De tre viktigaste fysikaliska storheterna som används för att skilja på olika fönsters egenskaper är:

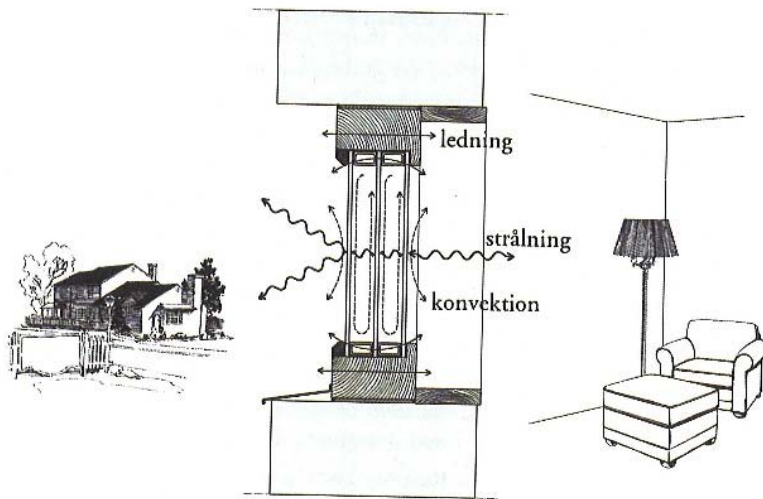
- U-värde, alltså värmegenomgångskoefficient. Värdet anger hur mycket värme som transporteras genom fönstret. Värdet anges i  $W/m^2K$ . (REHVA, 2011 s. 16)
- T- eller  $\tau$ - värde anger hur stor del av den kortvågiga solstrålningen som direkt transmitteras genom fönstret in i rummet. Den strålning som absorberas av fönsterglas eller solskydd och senare strålar in i rummet som långvågig strålning räknas inte med här. Nedsänkt  $e$  (t.ex.  $T_e$ ) betyder att man i värdet räknar med hela solstrålningens spektrum medan ett nedsänkt  $v$  betyder att endast det synliga ljusets spektrum är medräknat. Värdet anges med ett värde mellan 0 och 1, där 0 betyder att ingen strålning transporteras genom fönstret och 1 betyder att all strålning transporteras genom fönstret. (REHVA, 2011 s. 16)
- g- värde. Från g-värdet framgår hur stor del av solens totala energistrålning som transporteras genom fönstren, alltså hur stor del av solstrålningen som kommer in i rummet som värme. I g- värdet räknas man den strålning som absorberas av glasskikten eller solskydd och senare transporteras till rummet som långvågig strålning. Värdet anges med ett värde mellan 0 och 1, där 0 betyder att ingen energisolstrålning transporteras genom fönstret och 1 betyder att all energistrålning transporteras genom fönstret. (REHVA, 2011 s. 16)

#### 4.2.1 Värmetransport genom fönster

Värmen transporteras genom fönster på tre olika sätt:

- Strålning. Den primära kortvågiga solstrålningen som direkt passerar fönsterytorna eller den sekundära långvågiga strålningen som strålar ut från fönstret efter att först ha blivit absorberat av glaset.
- Konvektion. Vid konvektion binder sig värme till luften som finns runt om de varma fönstren.

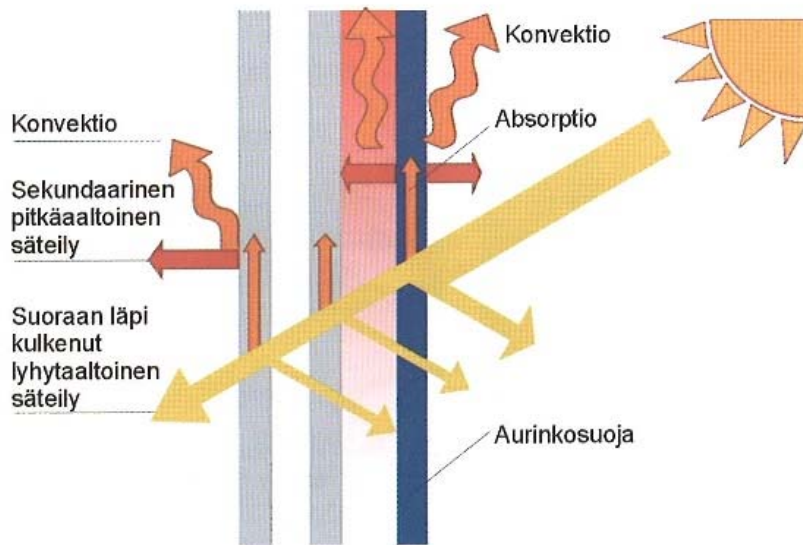
- Ledning. Värme leds genom fönsterskikten eller genom fönsterkarmen till den sidan där temperaturen är kallare.



*Figur 3 Olika sätt av värmeöverföring genom fönster i mörker. (uppgifterna från Helena Bülow-Hübe, 2001, s. 1)*

I Figur 3 kan man se en illustration av de olika värmeöverföringssätten i mörker och i Figur 4 ser man hur värmeöverföringen fungerar dagtid då solljuset träffar fönstret. En del transmitteras rakt igenom fönstret som direkt transmitterad kortvågig strålning, medan en del absorberas av fönsterskikten som genom konvektion eller sekundär långvågig strålning värmer upp det omkringliggande luften. (REHVA 2011s. 19)





Figur 4 Värmeöverföring genom fönster dagtid. (uppgifterna från REHVA 2011, s. 19)

### 4.3 Fönsterfilmer

Det finns olika fönsterfilmer som används för olika ändamål. Det finns bl.a. skyddsfilmer, som gör fönstren hållbarare och höjer på säkerheten i hus och fordon, dekorationsfilmer för t.ex. butiksfönster och kontor, insynsskydd för bilar och solskyddsfilmer.

Det jag kommer att behandla i detta arbete är solskyddsfilmer, vilka minskar på den värme som strålar in genom fönstren samt ökar livslängden på möbler som bleknar efter att ha blivit utsatta för solens UV- strålning under en längre tid. (3M, 2006)

Solskyddsfilmerna påverkar g- och T- värdet genom att minska på mängden solstrålning som transmittteras genom fönstertyorna genom att reflektera bort UV- och IR- strålningen, medan minskningen av synligt ljus som transmittteras genom fönstren är beroende på vilken solskyddsfilm man väljer. (3M, 2011)

I mina simulationer har jag använt mig av företaget 3M:s Prestige 70 solskyddsfilm. Enligt broschyren på deras hemsida (3M, 2011) transmitterar filmen 69 % synligt ljus och avvisar 59 % av totala solstrålningen på en 60° vinkel. Den minskar också den infraröda strålningen med 97 % och den ultravioletta strålningen med 99,9 %. Jag valde denna

film för att den transmitterar mest synligt ljus genom fönstren av de alternativen som jag hittade i 3M:s Prestige- serie. Dessutom finns de olika filmerna från Prestige- serien färdigt installerade i IDA ICE, vilket innebär att man inte behöver göra egna fönster-skikt.

## **5 METOD**

I detta kapitel kommer jag att förklara vilken metod jag har använt för att få reda på de resultat jag har fått. För simuleringarna använder jag mig av programmet IDA ICE.

Jag började med att undersöka fönsterfilmer och byggnadsbestämmelser för att få en bättre helhetsbild om vilken påverkan de har på fastigheter och modellen som jag skulle göra i IDA ICE. Jag har sammanfattat teorin i bakgrund och teoridelen av arbetet. Med hjälp av denna kunskap byggde jag upp en modell i IDA ICE, vilken jag använde till att göra simuleringarna. Resultaten som jag fick bearbetade jag i Excel och de kan hittas under ”Resultat redovisning”.

### **5.1 IDA ICE**

IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) är ett dynamiskt simuleringsprogram som går att användas för en noggrann undersökning av inomhusklimatet för olika rum i byggnader och för att beräkna energikonsumtionen av hela byggnader. Från rapporterna som IDA ICE framställer kan man se byggnadens uppvärmnings- och nedkylningsbehov samt den teoretiska energianvändningen under ett helt år eller valfri tid på året.

#### **5.1.1 Användning**

För att göra en modell med IDA ICE kan man göra zoner för olika typer av rum t.ex. arbetsrum, sovrum, badrum o.s.v. För alla dessa rum kan man ställa in olika värden för ventilation, uppvärmning, nedkylning, byggnadsdelars U-värden och interna laster från personer och apparatur. Alla dessa zoner kan man koppla ihop för att simulera en hel byggnad. Det går också att placera objekt utanför byggnaden för att simulera närliggande byggnader eller växtlighet som påverkar på energibalansen för att de skapar

skuggor på byggnaden. IDA ICE stöder också .dwg och .ifc filer vilket betyder att man kan importera arkitektplanen för byggnaden och skapa zoner på den. För simuleringarna kan man välja väderdata från ett antal olika orter och välja simuleringstid. Från simuleringarna kan man få information om byggnadens uppvärmningsbehov, nedkylningsbehov, energiförbrukning m.m.

## 5.2 Modellen

Modellen som jag gjorde till IDA-ICE består av en zon, som har en golvyta på 36 m<sup>2</sup> och ett fönster på 3,6 m<sup>2</sup>. Enligt byggbestämmelsesamlingen G1 skall fönstren i ett bostadsrum vara minst 1/10 av rumsytan, därför valde jag att använda denna storlek på fönstret. Takhöjden är 3000 mm, enligt byggbestämmelsesamlingen skall den vara minst 2500 mm, så 3000 mm är också acceptabelt. Värdena som jag använder i modellen är alla tagna från Finlands byggbestämmelsesamling D3 och D2 för att få en så realistisk modell som möjligt.

För byggnadens mantel har jag använt U-värden, som finns i byggnadsbestämmelsesamling D3.

- Ytterväggar 0,17 W/(m<sup>2</sup>K),
- Tak 0,09 W/(m<sup>2</sup>K)
- Golv 0,16 W/(m<sup>2</sup>K)
- Fönster 1 W/(m<sup>2</sup>K).

Jag använder ingen uppvärmning i rummet för simuleringarna som jag gör är på sommaren då utomhustemperaturen inte heller sjunker så lågt. Som nedkylning använder jag endast ventilation som konstant tillför 17 °C luft. Ventilationen står under hela tiden för en tilluft av 0,5 m<sup>3</sup>/(s m<sup>2</sup>) vilket betyder att luften i rummet byts 0,6 gånger varje timme (Miljöministeriet, 2012b, s. 18)

De interna lasterna som används i modellen är elapparater, belysning och personer. Interna laster bidrar till att temperaturen stiger genom att avge värme som strålning och konvektion till rummet. I byggbestämmelsesamlingen D3 finns det riktlinjer för vilka

värden som tillhör standardanvändningen för de olika användningskategorierna av byggnaderna. Alla effekter och användningsgraden för de interna lasterna är tagna från byggbestämmelsesamlingen, förutom belysningens användningsgrad där jag valde att använda 0,1 i stället för 0,6 eftersom det är sommar och ljust ute.

Elapparaterna tillför  $3 \text{ W/m}^2$ , som i detta fall blir 108 W för zonen. Belysningen bidrar till  $11 \text{ W/m}^2$ , vilket för hela zonen blir 396 W. Som värmeavgivning för personer används enligt byggbestämmelsesamlingen D3 punkt 3.3.5 125 W som total värme som avges av en person och i Tabell 4 vid samma punkt finns de persontätheter som skall användas för olika typer av byggnader. Eftersom denna modell skall simulera ett flervåningsbostadshus används en persontäthet på  $1/28 \text{ personer/m}^2$  vilket för zonen i modellen blir ca. 1,29 personer, alltså 161 W.

För simuleringarna valde jag att endast använda mig av väggen med fönstret. De andra väggarna, golvet och taket, tar inte i beaktande värmeöverföringen från andra rum eller utifrån. Man kan tänka sig att detta är en 1-rumslägenhet på en mellanvåning i ett bostadsvåningshus, med endast en yttervägg och ett fönster. Om man anser att de rum som ligger intill, har samma inomhustemperatur behövs inte värmeförluster genom byggnadsdelar räknas med vilket gör simuleringarna enklare.

Fönstren som jag använt i modellen har båda två fem glasskikt. Mellanrummet mellan de olika glasskikten är 30 mm, förutom mellan den yttersta och näst yttersta glaset där mellanrummet är 80mm. Orsaken till att jag valde att använda 80 mm mellan första och andra skiktet var att U- värdet förbättrades en aning till ungefär  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Alla mellanrum mellan fönsterglasen är luft. Den enda skillnaden på de två olika fönstren är det yttersta fönsterglaset. Den ena har en Prestige 70- film applicerat på fönstret, medan den andra inte har det. Värden för fönstren är följande:

	<b>Med Film</b>	<b>Utan Film</b>
• g- värde:	0,213	0,424
• $T_v$ - värde:	0,446	0,568
• $T_e$ - värde:	0,135	0,281
• U- värde ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	0,994	1,003

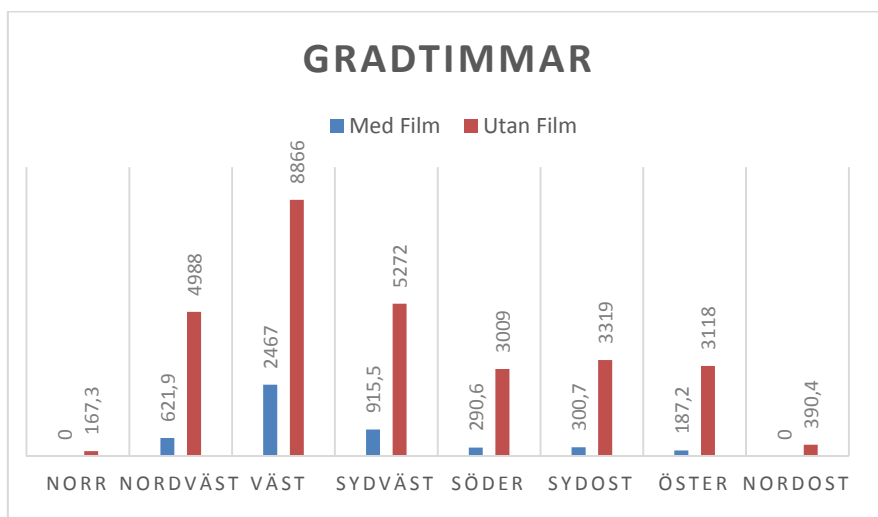
Simuleringarna görs genom att simulera rummet med fönstret vänt mot åtta olika väderstreck med och utan fönsterfilm. Från dessa simuleringar fås resultat över hur mycket fönsterfilmerna påverkar med fönstret vänt mot olika väderstreck. Resultaten presenteras i följande kapitel.

## 6 RESULTAT REDOVISNING

I detta kapitel kommer jag att skriva om de resultat jag fick från mina simulationer baserat på de forskningsfrågor arbetet grundar sig på.

### 6.1 Påverkan på gradtimmar

Den första av arbetets frågeställningar är hur solskyddsfilmerna påverkar gradtimmarna då temperaturen är över 27 °C. Efter att ha gjort simulationerna kan man konstatera att påverkan är märkbar.



Figur 5 Gradtimmar som temperaturen inomhus är över 27 °C med fönstret riktat mot olika väderstreck. Resultaten utan film syns på höger sida och med film på vänster sida.

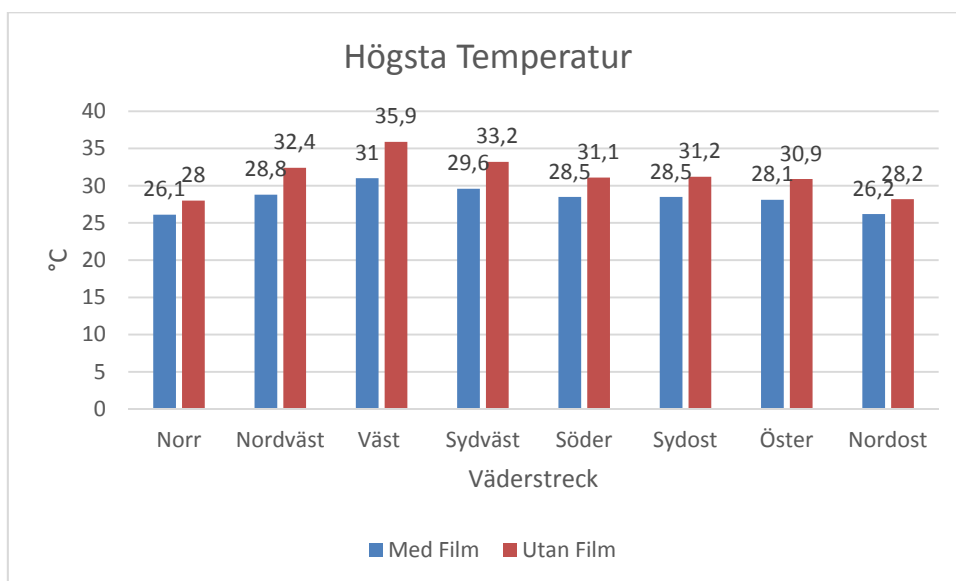
I Figur 5 ser man kolumnerna som visar gradtimmarna under tiden 1.6–31.8 under en sommar med fönstret riktat mot olika väderstreck. De röda kolumnerna till höger visar gradtimmarna utan solskyddsfilm och de blåa kolumnerna till vänster visar gradtimmarna med solskyddsfilmer på fönstren. På x-axeln står det mot vilket väderstreck fönstret är riktat och på Y-axeln ser man gradtimmarna under vilken temperaturen i rummet överskrider 27 °C.

Ur figuren kan man avläsa att gradtimmarna är mycket färre med solskyddsfilm. Den största minskningen på gradtimmar fås då fönstret är vänt mot väst, då är minskningen nästan 6400 gradtimmar. Det betyder att gradtimmarna minskar med 72 %. Det är dock den minsta procentuella minskningen. De största procentuella minskningarna fås då fönstret är vänt mot norr eller nordost där temperaturen inte alls stiger över 27 °C under sommarmånaderna då solskyddsfilm används. Det betyder att den procentuella minskningen blir 100 %. Däremot är inte minskningen mellan antalet gradtimmar mot norr och nordost väldigt stort med 167 respektive 390 gradtimmar. Minskningen av gradtimmarna mot de andra väderstrecken ligger mellan 83 och 95 % vilket är betydelsefullt.

Det man också ser att gradtimmarna utan film stiger rejält över övre gränsen i byggbestämmelsesamlingens föreskrifter, som är 150 gradtimmar under tiden 1.6- 31.8. Mot väst fås det största värdet med 8866 gradtimmar utan film och 2467 gradtimmar med film. Det man också märker är att ingen av rummen som är utan solskydd är under gränsen av 150 gradtimmar och med fönstren som har solskydd är gradtimmarna under gränsen bara då fönstren är riktade mot norr och nordost.

## **6.2 Påverkan på högsta temperatur**

Undersökningens andra frågeställning är vilken påverkan solskyddsfilmer har på rummets högsta temperatur. Antalet gradtimmar stiger snabbt om rumstemperaturen är hög en längre tid och därför ville jag veta vilken påverkan solskyddsfilmerna har på den högsta temperaturen.



Figur 6 Den högsta temperaturen mot olika väderstreck med och utan solskyddsfilm.

I figur 6 ser man den högsta temperaturen mot olika väderstreck. Den högsta temperaturen som fås är 35,9 °C då fönstret är riktat mot väster. Genom att använda solskyddsfilm sjunker denna temperatur till 31 °C. Det innebär en minskning på ca 14 % på högsta temperaturen. Den minsta temperaturen är 28 °C då fönstret är vänt mot norr. Med solskyddsfilm minskar den med ca 7 % till 26,2 °C.

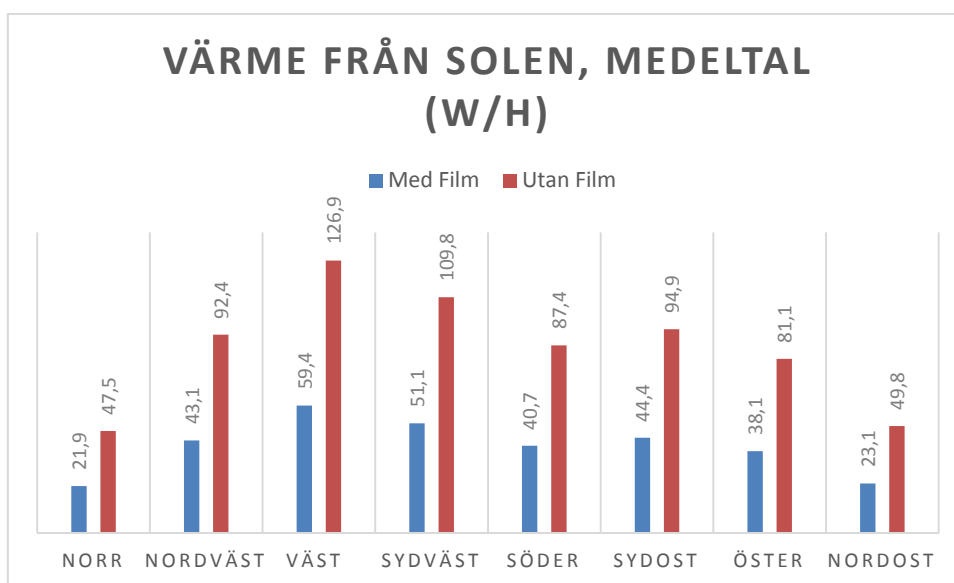
Den genomsnittliga högsta temperaturen utan film är 31,4 °C medan den med solskyddsfilm sjunker till 28,4 °C. Den procentuella minskningen blir i genomsnitt 9,6 %. Från grafen ses också att med solskyddsfilm stiger inte temperaturen över kylgränsen i rummet då fönstret är vänt mot nordost eller norr.

### 6.3 Påverkan på värmestrålning

Den tredje frågeställningen i examensarbetet är hur mycket solens värmestrålning genom fönstret påverkas då man använder solskyddsfilm. Efter att ha gjort simuleringarna valde jag resultatet för värmebalans där jag fick värden för hur mycket värme som

kommer genom fönstren, både som direkt och diffus strålning. Från dessa tabeller har jag sammanställt informationen i Figur 7 nedan.

Värmestrålningen som räknas med i detta resultat är den direkta och diffusa solstrålningen från solen som kommer in i rummet genom fönstret minus motsvarande utträdande kortvågig strålning. Den långvågiga strålningen som blivit absorberad av fönstret och vidaretransporterats genom t.ex. långvågig strålning in i rummet räknas inte med i detta resultat.



Figur 7 Direkt och diffus värmestrålning genom fönstren per timme i medeltal.

Från figuren kan man se vilken skillnad det är i den värmestrålning som kommer genom fönstren med och utan solskyddsfilm. Mest värmestrålning fås då fönstret är vänt mot väster, där värmestrålningen genom fönstret bidrar i medeltal till 126,9 W utan solskyddsfilm. Med solskyddsfilm sjunker effekten till 59,4 W. Minst värmestrålning fås då fönstret är riktat mot norr. Då bidrar solen med en effekt på 47,5 W utan film och 21,9 W med film. Det man också kan få reda på ur figuren är att genom användning av solskyddsfilm minskar effekten av värmestrålningen genom fönstret med i medeltal 47 %.



## 7 KRITISK GRANSKNING

Efter att ha gjort alla simuleringar klart märker jag att variablerna som jag använt för simuleringarna kunde ha varit flera. Andra variabler att använda sig av är t.ex. olika solskyddsfilmer och olika fönster. Företaget 3M har endast i sin Prestige-serie fyra olika solskyddsfilmer. En lista av olika tillverkare och leverantörer skulle ha varit bra att ha med.

Vid belysningens användningsgrad används värdet 0,1 istället för det i byggbestämmelserna angivna 0,6 vilket minskar på de interna lasterna och leder till att temperaturen är mindre än vad den annars skulle vara. Det är dock inte en simulering för hela året utan endast för sommaren.

Man kan ifrågasätta hur pålitliga simuleringarna som har gjorts med IDA ICE är och hur väl de stämmer överens med verkligheten eftersom det finns så många olika inställningar att använda. IDA ICE har dock fått många valideringar om att programmet har uppfyllt de krav som ställs på en produkt för att bli godkänt som ett dynamiskt simuleringsverktyg.

Första resultatet som behandlade gradtimmarna visar att temperaturen har varit högt under en lång tid och är ganska långt från de anvisningar som ställs i byggbestämmelse-samlingen. Det man ändå ser från resultaten är att gradtimmarna minskar mycket när solskyddsfilmen används. Grattimmarna skulle antagligen även minskas genom att räkna med värmeförluster genom tak, golv och alla väggar samt genom att sätta till en ytterdörr i modellen.

En annan sak som antagligen också påverkade resultaten var att jag inte använde några köldbryggor eller läckluft genom konstruktionen i modellen. Orsaken till detta var att minska på variablerna som jag använde och bättre se vilken påverkan solskyddsfilmerna har. Användningen av läckluft skulle öka ventilationen och bidra till en snabbare utjämning av temperaturskillnaderna mellan inomhus- och utomhustemperaturerna. På samma sätt skulle användningen av värmeledning genom köldbryggorna leda till en snabbare utjämning av temperaturskillnaderna.

I efterhand tänkte jag också varför jag i modellen bara använde en zon som inte räknade med värmeöverföringen genom alla väggar. Det skulle ha varit mera realistiskt att använda sig av värmeledande väggar som modell för simuleringarna. Ifall alla väggar skulle ha varit värmeledande skulle temperaturen inomhus minska snabbare eftersom värmen skulle ledas ut snabbare på sommaren då temperaturen är högre inomhus än utomhus.

Fönstret som användes vid simuleringarna hade fem glasskikt, men jag vet inte om det finns fönster som har så många skikt på marknaden. Fönstret som användes vid simuleringarna är gjort bara för att få ner U-värdet av fönstren till det värde som är angivet i byggbestämmelserna. Genom undersökningar bland olika tillverkare hittades endast 3- och 4-skiktets fönster som hade låga U-värden men ingen av dem uppnådde tillräckligt lågt U-värde utan att använda en gas, t.ex. argon, mellan fönsterskikten.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att modellen kunde ha gjorts mera realistisk för att få mera exakta värden. Dock har samma modell använts för simuleringen utan och med fönsterfilmer så man kan ändå konstatera att fönsterfilmerna har en betydlig påverkan på gradtimmarna.

## **8 AVSLUTNING**

Resultaten från simuleringarna tyder på att solskyddsfilmerna kan vara en lösning då man strävar till att minska sommartida inomhustemperaturen och kan också vara en av lösningarna för att minska på hela årets energikostnader och ekologiska fotavtryck i Finland. Mera undersökning krävs runt ämnet och förutom teoretiska simuleringar borde också praktiska tester utföras i någon fastighet för att se den faktiska påverkningen av solskyddsfilmer. Medvetandet och kunnandet inom energiteknik blir hela tiden bättre och i framtiden hoppas jag att vi kommer att se flera byggnader som till en allt högre grad använder sig av solskyddsfilmer och andra solskyddsmetoder för att minska på det årliga energibehovet.

Från resultaten kan man se att solskyddsfilmerna påverkar byggnadens temperatur genom att transmittera mindre värme till rummet genom fönstret. Man kan tänka det som att ha ett värmebatteri i rummet. Genom att vrida ner på termostaten på vintern då det är kallt ute minskar temperaturen i rummet. På samma sätt kan man tänka att fönstret fungerar på sommaren. Då man har installerat en solskyddsfilm är det som att vrida ner på termostaten. Värmen som kommer till rummet minskar och den termiska komforten ökas.

Eftersom kontorsbyggnader har stora interna värmelaster störs de inte så mycket av solskyddsfilmerna på våren, fast de antagligen minskar på den gratis uppvärmning som kommer från solen. Sommartid ökas däremot solstrålningen och utomhustemperaturen, vilket leder till att nedkylning är oundviklig. Då kan man med hjälp av solskyddsfilmerna minska på den värme som strålar genom fönstren vilket leder till minskade energikostnader samtidigt som man förbättrar den visuella komforten inomhus.

Några idéer som jag fått under arbetets lopp till vidare undersökning skulle vara att simulera en befintlig kontorsfastighet och se vilken påverkan fönsterskyddsfilmerna kan ha på den årliga förbrukade energin. Då skulle man också få reda på hur huset påverkas av solskyddsfilmerna under de andra årstiderna, främst hösten och våren då solen värmer upp utrymmen kostnadsfritt. Under dessa tider minskar solskyddsfilmerna den kostnadsfria energin från solen. Höjs då uppvärmningsbehovet jämfört med den situation som man hade före solskyddsfilmerna installerades, eftersom solskyddsfilmerna minskar på uppvärmningen av utrymmen. Samtidigt skulle det också vara intressant att veta hur mycket energi man sparar på nedkylning sommartid.

Jag har ingen information för hur många gradtimmar över 27 °C som temperaturen kan stiga i befintliga bostadshus sommartid så det är svårt att säga ifall 8900 gradtimmar är mycket. Det verkar mycket eftersom det är nästan 60 gånger större än det tal, 150, som nämns i byggbestämmelserna. En annan sak som skulle minska på rummets temperatur sommartid är att vädra rummet nattetid då temperaturen utomhus är som lägst. Det borde alltid finnas en vädringslucka för att möjliggöra vädring av utrymmet. I dessa simuleringar valde jag dock att inte använda vädring för att ha mindre variabler med i modellen så att det skulle vara så lätt som möjligt att använda modellen.

Det skulle också vara intressant att göra simuleringar för att veta ifall nya bostadshus i framtiden alltid måste använda sig av nedkylning för att klara av kraven i byggbestäm-  
melsesamlingen eller ifall solskyddfilmer påverkar bostadshusens nedkylning sommar-  
tid så mycket att inget annat system skulle krävas. Det skulle minska på byggnadens  
investerings- och energikostnader och förbättra det ekologiska fotavtrycket.

## KÄLLOR

Miljöministeriet, 2013, *Markanvändning och byggande*. Tillgänglig:  
[http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning\\_och\\_byggande](http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning_och_byggande). Hämtad 1.10.2013.

Miljöministeriet, 2012a, *D3 laskentaopas- Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen*, 27 s.

Miljöministeriet, 2012b, *Finlands byggbestämmelsesamling D3- Byggnaders energiprestanda- Föreskrifter och anvisningar*, 35 s.

Miljöministeriet, 2013b, *Finlands byggbestämmelsesamling*. Tillgänglig:  
[http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning\\_och\\_byggande/Lagstiftning\\_och\\_anvisningar/Byggbestammelsesamlingen](http://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Byggbestammelsesamlingen). Hämtad 16.11.2013

REHVA, 2011, *Aurinkosuojaus- Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin*, 74 s.

3M, 2011, *3M Window Films- prestige window films*. Tillgänglig:  
[http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuH8gc7nZxtUmYt9nY\\_xevUqe17zHvTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=70-0709-0217-9.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuH8gc7nZxtUmYt9nY_xevUqe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=70-0709-0217-9.pdf) Hämtad 2.12.2013.

3M, 2006, *3M Window Films- Clearly superior window films for clearly superior performance*. Tillgänglig:  
[http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UF6EVsSyXTtMxMEL\\_XM6EVtQEVs6EVs6EVs6E666666--&fn=Prestige%20Commercial%20Broch.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UF6EVsSyXTtMxMEL_XM6EVtQEVs6EVs6EVs6E666666--&fn=Prestige%20Commercial%20Broch.pdf)  
Hämtad 2.12.2013.

Helena Bülow-Hübe. 2001, *Fönsterfysik och energitransport genom fönster*, Lunds tekniska högskola. Tillgänglig:  
[http://www.lth.se/fileadmin/energi\\_byggnadsdesign/images/Utbildning/ABK100/F8\\_PM\\_f\\_nsterfysik.pdf](http://www.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Utbildning/ABK100/F8_PM_f_nsterfysik.pdf) Hämtad 13.12.2013