

CHALMERS



Inomhusklimat och energianvändning med avseende på fönsterkonstruktion Konsekvensstudie för glas- och solavskärningsalternativ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

KARL AHLBERG
MARKUS INSULAN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:62

Examensarbete 2007:62

Inomhusklimat och energianvändning med avseende på fönsterkonstruktion

Konsekvensstudie för glas- och solavskärmningsalternativ

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

KARL F. AHLBERG
MARKUS W. INSULAN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007

Indoor climate and energy consumption considering the window-construction
Analyse of sun screening- and glass alternatives
KARL F. AHLBERG, 1985
MARKUS W. INSULAN, 1984

© KARL F. AHLBERG, MARKUS W. INSULAN

Diploma thesis 2007:62
Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone + 46 (0)31-772 1000

Sammandrag

Rapporten visar sambandet mellan fönsterstorlek och energianvändning med avseende på ett gott termiskt klimat. Rapporten behandlar och förklarar de olika faktorer och funktioner som har störst påverkan på en klimatskärms förmåga att skapa acceptabla förhållanden i vistelsezonen.

De parametrar som varierar i beräkningarna är u-värde, solfaktor, solavskärmning och fönsterstorlek. Diagrammen för respektive sommar- och vintersäsong sammanfattar beräkningarna. Dessa diagram ger läsaren en fingervisning på behandlade faktorerers påverkan på inomhusklimatet.

Rapporten bygger på beräkningar i två datorprogram. Dels simuleringsprogrammet IDA Energi och Klimat 3.0 och dels beräkningsprogrammet MaxKomfort 0.8. Vid simuleringar i IDA skapades så verklighetstroga modeller som möjligt. MaxKomfort bygger till skillnad från IDA på en helt teoretisk beräkningsmodell, hämtad från Byggvägledning 8.

Simuleringar kräver att många parametrar måste låsas till samma värden för samtliga beräkningar. Resultatet blir därför bundet till just vårt rum. Beräkningar visar att resultatet även är representativt för rum med andra geometrier.

Beräkningarna syftar till att uppnå Boverkets och Socialstyrelsens råd gällande det termiska klimatet.

Många av rapportens slutsatser är enkelt överskådliga i diagrammen. Solskyddsglas sommartid och energisparglas vintertid har stor inverkan på det termiska klimatet. Diagrammen kan redan i ett tidigt stadium i byggprocessen hjälpa till att påverka projekteringen av fönsterkonstruktionen.

Fördelarna med solskyddsglas och energisparglas vägs mot nackdelarna, i första hand ett högre inköpspris. Många solskyddsglas har dessutom en mörk ton. Detta blir ett dominerande inslag och betydande för utseendet.

Abstract

This report shows the relation between the window size and the energy consumption considering a good thermal climate. The report considers, and explains, the factors and functions which have the biggest impact on the ability of a climatic screen to create acceptable conditions in the occupied zone.

The parameters that are varied in the calculations are u-value, solar transmittance, solar screening and the size of the windows. The charts for summer and winter season outline the calculations. These charts give the reader an understanding of the impact, of the considered factors, with respect to the indoor climate.

The report is based on calculations made in the simulation program IDA indoor Climate and Energy 3.0, and the calculation program MaxKomfort 0.8. When doing simulation in IDA, models representing the reality as far as possible have been used. MaxKomfort, on the other hand, uses a purely theoretical calculation model collected from Byggvægledning 8.

The simulations require that many parameters are made constant in several calculations; therefore the simulations are applicable for the room in the report only. The calculations show, however, that the result is applicable for rooms with other geometrical dimensions as well.

The calculations aim at fulfilling the directives established by Boverket and Socialstyrelsen, considering the thermal climate.

The conclusions made in the report are easy to grasp when studying the charts. Sun screening glass during summer season and energy saving glass during the winter season has the biggest impact on the thermal climate. Already in an early stage, of the building process, the charts can help to influence the planning of the window-constructions.

These benefits, of sun screen glass and energy saving glass, and the disadvantages, mainly a higher price, are considered. The sun screen glass and energy saving glass also has a somewhat darker tone which is considered as an esthetical con by many architects.

Keywords: window size, indoor climate and sun screening

Förord

Examensarbetet har utförts under våren 2007 på institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. Arbetet har genomförts i samarbete med VVS-konsultföretaget Bengt Dahlgren AB.

Examensarbetet har varit intressant och lärorikt. Arbetet har gett oss förståelse för fönsterkonstruktionens utformning och betydelse för byggnadens termiska inomhusklimat. Det har även givit oss kunskap om datorprogram som till exempel IDA Energi och Klimat 3.0 och AutoCAD, vilket vi säkerligen kommer att kunna dra nytta av i våra framtida arbetsliv.

Vi vill tacka alla som ställt upp och hjälpt oss under arbetets gång. Vi vill rikta ett särskilt tack till vår förordnade handledare från Chalmers, Kurt Möller från DELTate, Göteborg. På Bengt Dahlgren AB vill vi särskilt tacka Patrik Holmquist och Max Tillberg som kontinuerligt under hela arbetets gång bistått med åsikter och handledning. Vi vill även tacka Per Sahlin, på EQUA Simulation AB, för den tillfälliga licensen för IDA Energi och Klimat 3.0.

Göteborg maj 2007

Karl Ahlberg

Markus Insulan

Innehållsförteckning

SAMMANDRAG	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	IV
1. INLEDNING	1
1.1. SYFTE.....	1
1.2. FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR	1
1.3. METOD	2
1.4. FÖNSTERKONSTRUKTIONEN	3
1.5. DEFINITION AV ANVÄNDA BEGREPP	4
2. VÄRMEBALANS OCH KLIMATHÅLLNING	7
2.1. BYGGNADENS VÄRMEBALANS.....	7
2.1.1. <i>Transmission</i>	8
2.1.2. <i>Ofrivillig ventilation</i>	8
2.1.3. <i>Internt genererad värme</i>	8
2.1.4. <i>Värmelagring</i>	8
2.1.5. <i>Solinstrålning</i>	9
2.2. SOLSTRÅLNING.....	10
2.2.1. <i>Solens intensitet</i>	10
2.2.2. <i>Solens varaktighet</i>	11
2.2.3. <i>Dimensionerande månader</i>	12
2.2.4. <i>Solenergitransmittans genom en fönsterkonstruktion</i>	13
2.3. STUDIE AV FÖNSTERSTORLEK, SOLFAKTOR OCH SOLAVSKÄRMNING	15
2.3.1. <i>Sambandet mellan temperatur och fönsterandel</i>	15
2.3.2. <i>Sambandet mellan temperatur och fönsterandel med olika solskyddsglas</i>	15
2.3.3. <i>Sambandet mellan temperatur och fönsterandel med olika solavskärmningar</i>	16
2.3.4. <i>Sambandet mellan temperatur och fönsterandel med olika u-värden</i>	16
2.3.5. <i>Sambandet mellan temperatur och solinstrålning för olika väderstreck</i>	17
3. KLIMAT	18
3.1. KLIMATBEHANDLING	18
3.1.1. <i>Klimatkrav</i>	18
3.1.2. <i>Driftteknik i bostadshus</i>	18
3.2. DET TERMISKA KLIMATET	18
4. SIMULERINGSPROGRAMMET IDA KLIMAT OCH ENERGI 3.0	21
5. SOMMARFALLET	23
5.1. INDATA FÖR TERMISK SIMULERING FÖR DIMENSIONERANDE SOMMARMÅNADER	23
5.1.1. <i>Motiv för simulering</i>	23
5.1.2. <i>Uteklimat</i>	23
5.1.3. <i>Geometri, förenklingar och ritningsunderlag</i>	24
5.1.4. <i>Skuggor och utvändiga solavskärmningar</i>	24
5.1.5. <i>Omslutande ytor</i>	24
5.1.6. <i>Internlaster</i>	25
5.1.7. <i>Ventilation</i>	26
5.1.8. <i>Kyla och värme</i>	26
5.2. UTFÖRANDE	26
5.3. SLUTSATS	27
5.3.1. <i>Temperaturdiagram för dimensionerande sommarmånader</i>	27
5.3.2. <i>Flödesdiagram för dimensionerande sommarmånader</i>	28

6.	VINTERFALLET	29
6.1.	INDATA FÖR TERMISK SIMULERING FÖR DIMENSIONERANDE VINTERMÅNADER.....	30
6.1.1.	<i>Motiv för simulering</i>	30
6.1.2.	<i>Uteklimat.....</i>	30
6.1.3.	<i>Geometri, förenklingar och ritningsunderlag.....</i>	30
6.1.4.	<i>Skuggor och utvändiga solavskärmningar.....</i>	30
6.1.5.	<i>Omslutande ytor.....</i>	30
6.1.6.	<i>Internlaster</i>	31
6.1.7.	<i>Ventilation.....</i>	31
6.1.8.	<i>Kyla och värme</i>	31
6.2.	UTFÖRANDE	32
6.3.	SLUTSATS.....	33
6.3.1.	<i>Temperaturdiagram för ett rum uppvärmt med konvektor eller golvvärme.....</i>	34
6.3.2.	<i>Temperaturstudie för ett rum med radiator som värmesystem</i>	34
6.3.3.	<i>Energianvändning för årlig uppvärmning</i>	35
7.	DISKUSSION OCH SLUTSATS.....	37
7.1.	SOMMARFALLET, DISKUSSION OCH SLUTSATS	37
7.2.	VINTERFALLET, DISKUSSION OCH SLUTSATS	38
8.	REFERENSER.....	39
8.1.	LITTERATUR	39
8.2.	ELEKTRONISKA KÄLLOR.....	39
8.3.	FIGURFÖRTECKNING.....	40

Bilagor

1. Inledning

Fönstren blir idag en allt viktigare del av byggnaden. Dagens arkitekttrend är att rita stora glasfasader och öppna planlösningar. Detta innebär ett överskott av värme sommartid som kan bidra till komplicerade och kostsamma lösningar för att skapa ett bra inomhusklimat. Både ljus och värme från solen kan uppfattas som påfrestande, vilket leder till att avskärmnings- och vädringsmöjlighet ofta är ett krav. Vintertid däremot blir problemen omvända, stora fönsterytor blir kylda av den kalla utomhusluften. Den operativa temperaturen i vistelsezonen sjunker och obehag upplevs, så kallat kallras uppstår.

För att kontrollera samband mellan behandlade variabler genomförs under rapportens skrivande hundratals simuleringar i beräkningsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0, framställt på Kungliga tekniska högskolan i Stockholm.

Simuleringar utmynnar i första nivån i bevis och förklaringar på de förhållanden och samband vi senare använder oss av för att skapa slutprodukten. Bevis förklaras i den beskrivande texten och i diagram under bilagor. På grund av rapportens begränsning redovisas dock inte alla bevis i rapporten. Läsaren får betrakta uppvisade diagram under rådande villkor.

Slutprodukten för sommarfallet är två diagram. Läsaren ser enkelt sambanden mellan fönsterstorlek, solfaktor på glas, solavskärmningar och rumstemperaturen. Vinterfallets diagram bygger på varierande u-värde, fönsterarea och rumstemperatur.

Diagrammen ger en fingervisning om rådande relationer för ett standardiserat bostadsrum, och är inte tänkt att användas för dimensionering.

1.1. Syfte

Syftet med rapporten är att visa hur stor betydelse fönsterkonstruktionen har med avseende på vilket inomhusklimat som efterfrågas. Mest intressant med dagens trender inom arkitekturen kan fönsterstorleken antagas vara. Glasfasader blir allt vanligare, och dessa konstruktioner ställer höga krav på dimensioneringen av värmesystem och kylanläggningar för att skapa ett bra inomhusklimat.

Rapportens andra två stora infallsvinklar, utöver fönsterstorleken, är solfaktor på fönsterrutan och solavskärmning. Tvingas man att dimensionera med solskyddsglas, för att kunna bygga med planerad fönsterandel?

Vintertid är det fönsterkonstruktionens u-värde som har störst betydelse. Rapporten behandlar u-värdets påverkan på inomhusklimatet. Dessutom behandlas byggnadens energianvändning för uppvärmning kortfattat.

1.2. Förutsättningar och avgränsningar

För att genomföra simuleringar i IDA ska en stor mängd variabler ställas in. För att avgränsa rapporten har vi valt att låsa många av dessa. Alla dessa variabler benämns och värdena motiveras utförligt i kapitel 5.1 respektive 6.1.

Rapportens kommer att avgränsas så att endast fönster studeras. Det vill säga att man har konstanta u-värden för övriga resterande byggnadsdelar inklusive köldbryggor. Utgångspunkten är bostadshus, där vikten ligger på vardagsrummets klimat.

1.3. Metod

För att definiera begrepp, samband och formler har en omfattande litteratursökning genomförts. Många samband vi använder oss av i rapporten har även verifierats manuellt efter beräkningar i IDA.

Arbetet delades redan i ett tidigt stadium upp i två huvuddelar, en del för vintermånaderna och en del för sommarmånaderna.

Material till teoridelens förklarande text är främst hämtad från rapporter tillgängliga på Internet.

För att förstå rapporten krävs kunskap om byggnadens värmebalans. Läsaren bör också vara införstådd med de krav som ställs på en byggnad och metoder att uppfylla kraven. Därför inleds rapporten med en teoretisk del. Samtliga betydande förutsättningar förklaras. Utöver det definieras ett antal begrepp som senare, utan närmare förklaring, kommer att användas i rapporten.

1.4. Fönsterkonstruktionen

Ny teknik och nytt material har gett fönsterkonstruktionen nya eller förbättrade funktioner. Brandskyddet har förbättrats liksom solskydd och ljudreduktion. Bättre u-värde och tätare konstruktion är bra ur energisynpunkt. Ett lågt u-värde ger även en förhöjd ytemperatur på innerglaset vilket motverkar kallras.

Värmetransporten som sker genom ett fönster är en komplicerad process och sker både ut och in i varierande omfattning. Värme som transporteras ut sker genom ledning, långvågig strålning och konvektion både kring och i fönstret när det är varmare inne än ute. Under dagtid transporteras kortvågig solstrålning inåt, skriver Bengt-Åke Petersson i sin bok *Tillämpad byggnadsfysik*. Huvuddelen av detta sker som direkt solinstrålning men även en diffus del från himmel och mark bidrar. En del av denna strålning ligger i det synliga området och förser oss med dagsljus inomhus.

Fönstrets värmeisolering är inte enbart en fråga om energihushållning, utan påverkar också fönstrets fukttekniska funktion. Kalla ytor, som beror på dåligt isolerade fönsterpartier eller genomgående köldbryggor i eller omkring fönstret, medför ökad fuktighet och ibland även kondens. Detta kan i sin tur leda till fuktproblem, missfärgningar, mögel och röta.

Under senare tid har mycket gjorts för att förbättra fönsters värmeisoleringsförmåga. En glaskonstruktion består ofta av flera rutor, där rutorna har olika egenskaper. Olika kombinationer kan bygga in många olika funktioner i fönsterkonstruktionen. Teknikutvecklingen för att skapa tätare konstruktioner har lett fram till så kallade isolerrutor. Dessa fönster består av förseglade rutor uppbyggda av två glas. Dessa är fixerade med distansprofiler och tätas noggrant med tätningssmassa. För att minska värmetransmissionen genom fönster kan luften mellan glasen ersättas med någon av de tunga ädelgaserna argon eller krypton. Argon är vanligast, brukligt förutsätts 90 % fyllnadsgrad av gas. Gas istället för luft medför en lägre värmeöverföring främst genom konvektion.

Så kallade 2+1-glas är idag en vanlig konstruktion. De består alltså av tre rutor vilka bildar två mellanrum. Ett av dessa är fyllt med till exempel argon och det andra med luft, i vilket persienn ofta monteras in. Observera att 2-glaskonstruktioner med gas i luftspalten ej kan utrustas med mellanglaspersienn.

1.5. Definition av använda begrepp

I rapportens tekniska del kommer många av nedanstående begrepp att användas. I den löpande texten kommer begreppen ytterst sällan att förklaras. Läsaren hänvisas istället att söka förklaringen till eventuellt svåra ord eller begrepp under detta kapitel. En del begrepp förklaras även i kapitel 2 *Värmebalans och klimathållning* och kapitel 3 *Klimat*. För att läsaren utan problem ska kunna läsa den löpande texten bör han eller hon, innan påbörjad läsning vara införstådd med de flesta av nedanstående definitioner.

Diffus strålning

Diffus strålning är störst när det är molnig himmel. Strålning kommer ursprungligen från solen men har reflekterats av atmosfären och i marken innan den träffar den berörda ytan.

Direkt strålning

Är den strålning som träffar den berörda ytan utan att tidigare reflekterats i atmosfären eller molnen. Den direkta strålningen är därför störst klara dagar.

Komfort

De klimatförhållanden som gör att kroppen varken upplevs för kall eller för varm. Utgörs av temperatur och andra klimatfaktorer, som luftfuktighet och lufthastighet. Anpassad klädsel och aktivitet i rummet har influens på hur komforten upplevs. Upplevelsen av klimatkomfort är också beroende av psykologiska och medicinska faktorer, och varierar därför kraftigt mellan olika personer.

Konvektion

Värmetransport som till exempel kan uppstå av luftrörelser i kontakt med huden. Den varma luften som är lättare än kall luft strömmar uppåt längs huden.

Lufttemperatur

Lufttemperatur är ett allmänt mått på temperatur som inte tar hänsyn till strålning eller temperaturskillnad.

Operativ temperatur

Beräknas som ett medelvärde av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor. Boverkets rapport *”Kriterier för sunda byggnader och material”* rekommenderar en operativ temperatur på 20–24°C.

PMV/PPD

Två klimatindex som används för att beskriva hur människan upplever inomhusklimatet. PMV och PPD används enligt standard SS EN ISO 7730.

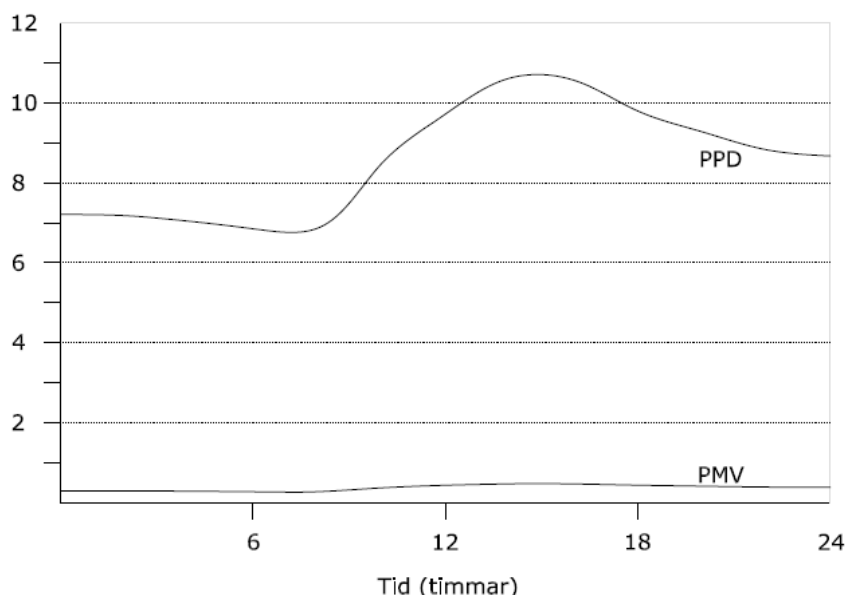
PMV (Predicted Mean Vote), är resultatet från en undersökning där personer med given klädsel och aktivitet får bedöma hur de upplever temperaturen i rummet. Tabellen nedan visar vilka valbara alternativ som finns. Idealet är att PMV-index ligger så nära 0 som möjligt. Dock anses $\pm 0,5$ vara acceptabelt.

Tabell 1.1 Skattningsskala för upplevelsen av temperaturen

+3 Mycket varmt
+2 Varmt
+1 Något varmt
0 Varken varmt eller kallt (neutralt)
-1 Något kallt
-2 Kallt
-3 Mycket kallt

PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) är också det baserat på personers åsikter. Personer med given klädsel och aktivitet aviserar om de är nöjda med inomhusklimatet. Antalet missnöjda personer redovisas i procent. Idealet är att PPD-index ligger så nära 0 som möjligt. 10 % missnöjda anses vara acceptabelt.

Diagrammet nedan visar ett exempel på hur PPD och PMV kan se ut för ett rum. PMV ligger under hela dygnet strax över 0, vilket betyder att temperaturen upplevs som något varm. För att få PPD att, under hela dygnet, vara acceptabelt bör värmen därmed sänkas något.



Figur 1.1 PPD % och PMV för ett bestämt rum

Riktad operativ temperatur

Riktad operativ temperatur, ROT, är ett mått för hur människan upplever det termiska klimatet, se nedan. ROT används i Boverkets byggregler, BBR för att uttrycka det klimat som byggnaden ska kunna prestera. Det definieras som medelvärdet av den omgivande luftens temperatur, i en viss punkt, och den temperatur som omgivande ytor, i en viss riktning, har.

Solstrålning, långvågig och kortvågig

Kortvågig solstrålning är den direkta strålningen som tränger igenom fönstret. En del av den kortvågiga strålningen återstrålas som långvågig solstrålning. Mycket av strålningen reflekteras och omvandlas till värmeenergi som absorberas i rummet. Detta fenomen är grunden till den så kallade växthuseffekten, som förklarar hur det kan bli varmare inomhus än utomhus.

Strålningstemperatur

Medelstrålningstemperaturen utgörs av ett viktat värde mellan temperaturen hos omgivande ytor.

Strålningstemperatur är ett mått på ett föremåls strålningsutbyte med omgivande ytor, i samtliga riktningar. I många fall är det intressant att veta strålningstemperaturskillnaden mellan golv och tak.

Värmestrålningsutbyte hos människan sker genom infraröd strålning, elektromagnetiska vågor. Dessa vågor går antingen direkt från huden till kallare ytor, eller direkt till huden från varmare ytor.

Termiskt klimat

Människans värmeutbyte med omgivningen, det vill säga hur människan upplever inomhusklimatet. Det termiska klimatet är ett samspel mellan lufttemperatur, strålningstemperatur, luftfuktighet och lufthastighet. Observera att denna tekniska rapport ej behandlar luftfuktighet och lufthastighet. Läs mer under kapitel 3.2 *Det termiska klimatet*.

Transmittans

Ett mått på hur mycket ljus ett föremål, till exempel genomfärgat solskyddsglas, släpper igenom.

Vistelsezon

Det utrymme i ett rum där personer beräknas vistas. Det är i denna zon Socialstyrelsen uppsatt råd på luftens kvalitet. Lufthastighet, lufttemperatur, luftfuktighet och renhet i luften skall vara acceptabelt.

2. Värmebalans och klimathållning

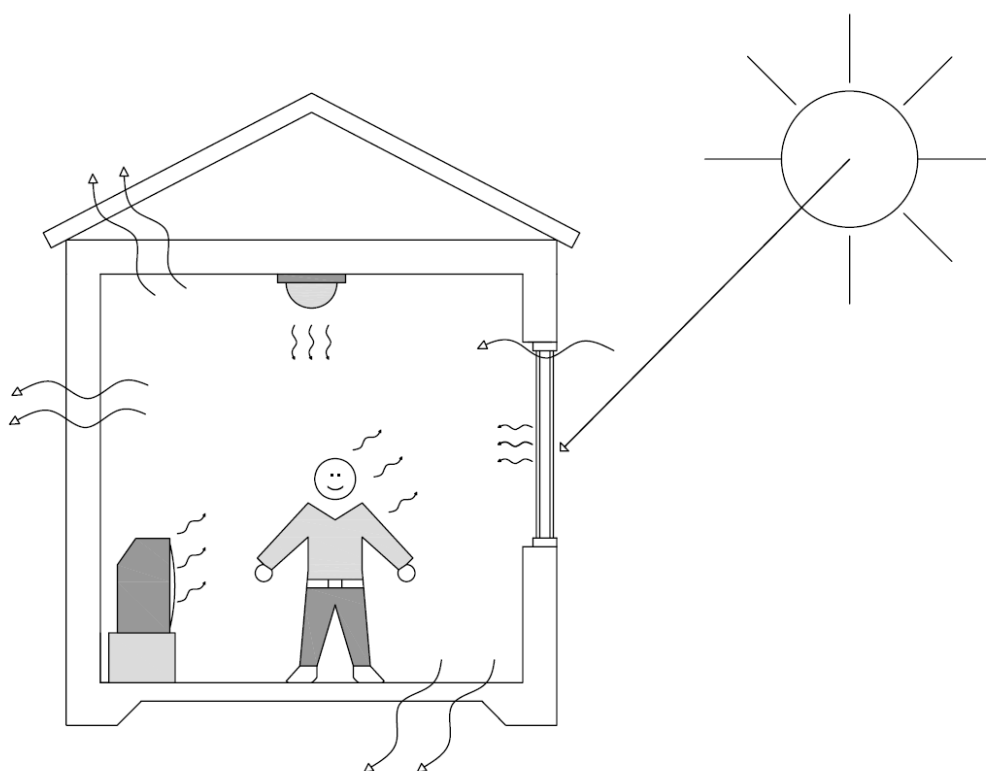
Kunskap, förståelse och bevis är ett krav för att rapportens tekniska del ska kännas trovärdig. Inledande del redogör för värmebalansen i en byggnad som helhet. Beskrivningen hålls medvetet koncis för att belysa att tyngdpunkten ligger på den fönsterbeklädda delen av klimatskärmen.

Vid dimensionering för den varma årstiden är förståelsen för de olika reducerade faktorerna hos solinstrålning och värmetransport genom fasaden en mycket viktig del. En grundläggande insikt i olika samband och funktioner gör dimensioneringen och materialvalet enklare. Det finns klara relationer mellan fönsterandel och rumstemperatur, givetvis i hög grad beroende av solinstrålningen.

Den avslutande delen när det gäller sommarfallet är helt inriktad på att bevisa relationerna mellan fönsterstorlek, solskyddsglas, solavskärmning och rumstemperatur. Samtliga slutsatser är baserade på simuleringar i IDA Klimat och Energi 3.0.

2.1. Byggnadens värmebalans

En byggnads värmebalans beror på ett stort antal element. De mest vitala faktorerna är under vintertid transmissionen genom väggar, fönster, golv och tak. Sommartid är det solinstrålningen som är mest betydande. Värmeförändring uppkommer även som figuren nedan visar från personer som vistas i byggnaden, belysning och apparatur eller maskiner. Kommande underkapitel behandlar dessa nyss nämnda faktorer i korthet.



Figur 2.1 Faktorer som är av vikt i en byggnads värmebalans

2.1.1. Transmission

Transmissionen är mätt på det värmeläckage som sker genom en bygnadsdel. Värmeläckaget är beroende av konstruktionens värmegenomsläpplighetskoefficient, u-värdet. U-värdet uttrycks i $W/m^2\text{°C}$. När 1 watt passerar genom en kvadratmeter vid 1 grads temperaturskillnad är u-värdet 1.0 $W/m^2\text{°C}$. Ju lägre u-värde desto bättre är konstruktionen på att stänga ute/inne värme.

Eftersom rapportens syfte är att studera fönsterkonstruktionens betydelse är väggkonstruktionens u-värde lågt. Endast fönstrets u-värde varierar. Fönsterkonstruktionen anses som klimatskärmens svaga länk vad gäller transmission. Fönsterkonstruktionens u-värde har på senare år utvecklats mycket. Mindre värmeläckage sparar energi, vilket innebär att pengar sparas.

2.1.2. Ofrivillig ventilation

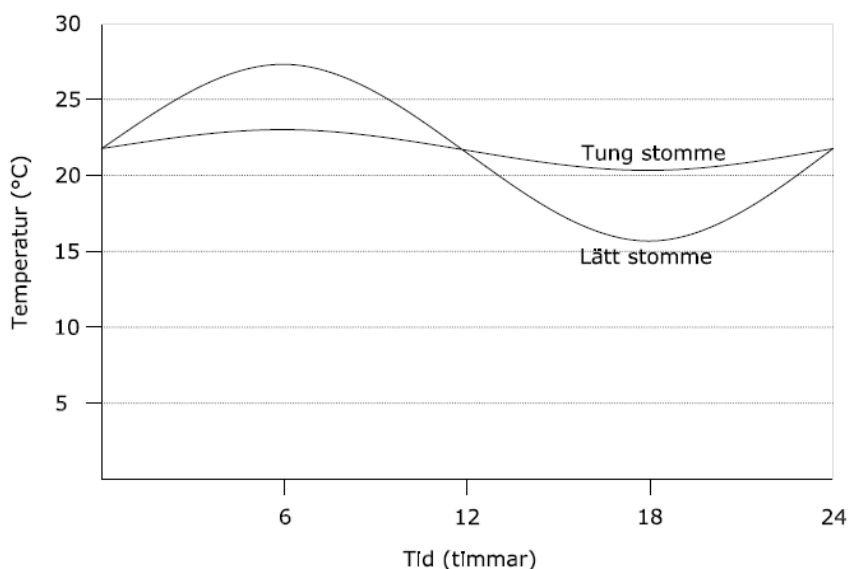
Ofrivillig ventilation är den luft som på grund av byggnadens otäthet okontrollerat läcker in eller ut ur konstruktionen. Rapporten bygger på modeller som antas vara så tätt byggda att den ofrivilliga ventilationen näst intill är obefintlig.

2.1.3. Internt genererad värme

Internvärme är den värmelast som uppstår och alstras av personer, belysning och maskiner. Värmealstringen från människor är starkt bunden till aktivitet i rummet.

2.1.4. Värmelagring

En byggnad med hög värmekapacitet, eller värmelagringsförmåga, erhåller generellt en stadigare temperatur. Figuren nedan visar hur temperaturvariationen skiljer sig från en lätt och en tung konstruktion. Figuren visar temperaturvariationen under ett somradygn i en byggnad utan nedkylning eller värmetillskott.



Figur 2.2 Temperaturvariationen över ett dygn för en tung respektive lätt stomkonstruktion

Exempel på en tung stomme är en betongkonstruktion. Syftet med rapporten är emellertid att kontrollera och undersöka fönsterkonstruktionens betydelse för det termiska klimatet inomhus, varför en lätt väggkonstruktion har valts. Exempel på en lätt stomme är en träregelvägg med mineralullsisolering.

2.1.5. Solinstrålning

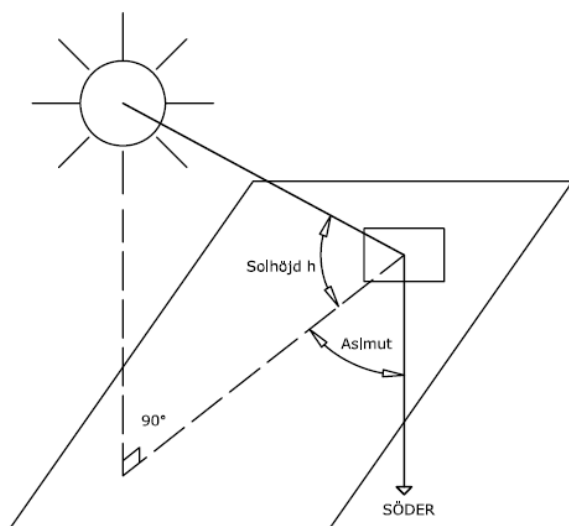
Resultatet för rapportens del som behandlar sommarhalvåret är starkt beroende av solens egenskaper. Solinstrålningen är en del av byggnadens värmebalans, men kommer på grund av dess omfattning att behandlas i ett fristående kapitel. Läs mer under nästkommande kapitel 2.2 *Solstrålning*.

2.2. Solstrålning

Sommartid har solinstrålningen stor betydelse för en byggnads inomhusklimat. Värmelasten ett rum får från solstrålningen är beroende av intensitet, varaktighet och solskydd. Dessa faktorer är i sin tur beroende av en lång rad olika element. Dessa element behandlas i följande kapitel.

2.2.1. Solens intensitet

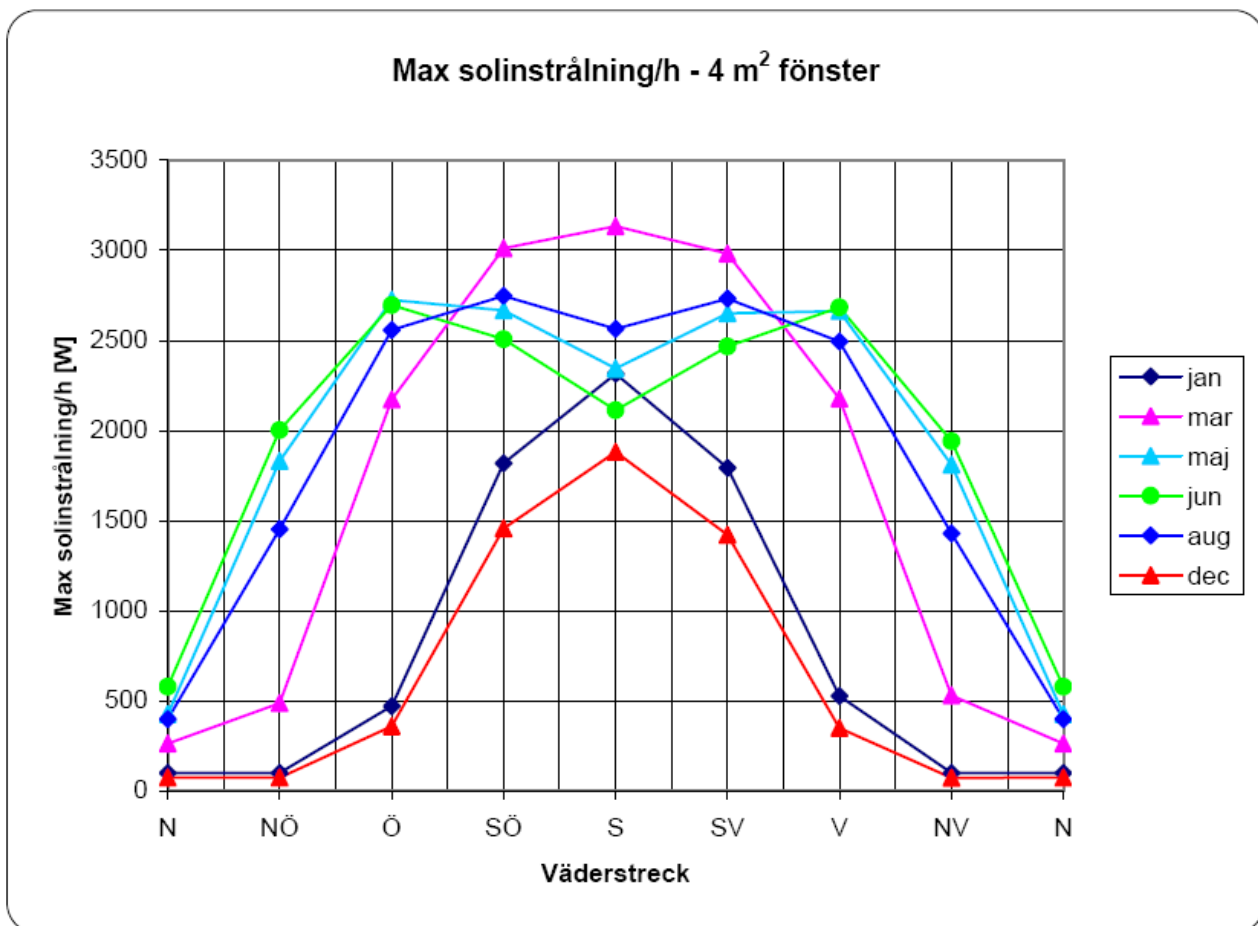
Solens intensitet beror på solhöjden, det vill säga vinkeln mot solen från horisontalplanet. Solhöjdens definition finns att skåda i figuren nedan där även asimuten definieras. En byggnads asimut berättar åt vilket väderstreck en fasad på en byggnad är vinklad. Solintensiteten är som högst för horisontella ytor mitt på dagen.



Figur 2.3 Definitionen av solhöjd och asimut

Nästa aspekt för solens intensitet är väderleken. Molnighetens inverkan är stor, en mulen dag beräknas solinstrålningen vara endast en fjärdedel av vad den är en klar dag. Därför behövs värden för antalet klara och mulna dagar för den specifika orten vid dimensionering av fönster- och väggkonstruktioner. Uppgifter på detta finns bland annat i R. Teaslers skrift *Klimatdata för Sverige, 1972*.

För att skapa en god överblick över solinstrålningsintensiteten för de olika väderstrecken och månaderna har vi tagit fram ett diagram med den maximala solinstrålningen. Diagrammet nedan baseras på simuleringar i IDA och är utförda med indata och värden som beräknas motsvara de tillstånd som råder i ett vanligt vardagsrum av normal storlek i Göteborg. För att göra diagrammet mer överskådligt har vi valt att endast visa ett urval av årets månader. De månaderna som illustreras är de månader där de extrema och dimensionerande tillfällena inträffar.



Figur 2.4 Solens intensitet för de mest intressanta månaderna

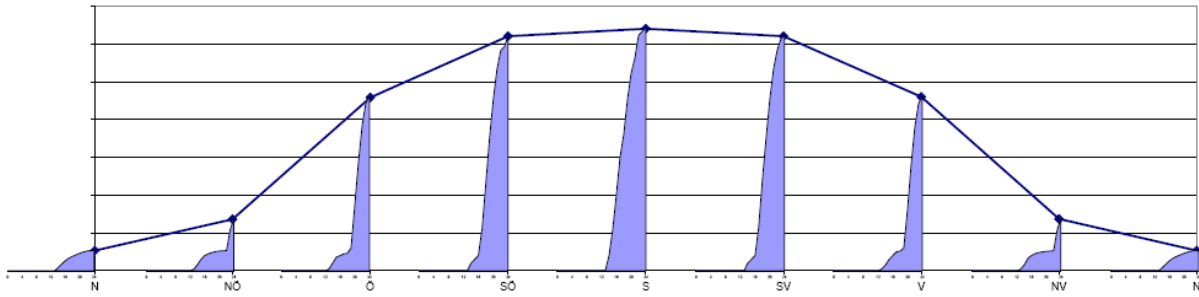
Som synes i figuren ovan har mars månad den timma som ger högst solinstrålning. Mars är ändå aldrig dimensionerande månad, detta på grund av att lufttemperaturen utomhus är låg och att solens varaktighet är kort.

2.2.2. Solens varaktighet

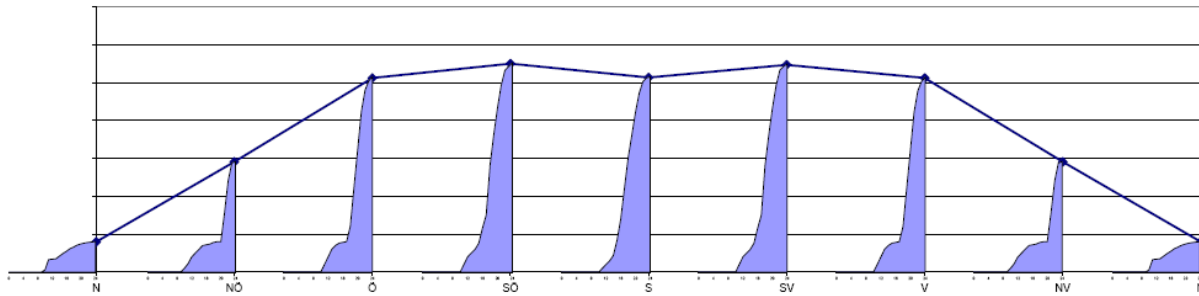
Solens varaktighetsvariation beror på hur solen rör sig på himlavalvet över ett dygn och ett år, det vill säga hur jorden förhåller sig till solen. Jorden snurrar ett varv kring sin egen axel på 24 timmar. Alltså är olika delar av jordklotet under olika timmar på dygnet exponerade för solljus. För att begränsa variablerna förutsätter således varaktighets- och intensitetsstudierna en bestämd ort. Dessutom varierar varaktigheten och intensiteten över året. Detta är till följd av jordaxelns lutning, 23°, och jordens elliptiska bana runt solen. Ett varv tar ett år. Årstidsvariationerna blir kraftigare ju närmare polerna man kommer. I norra Sverige ser man inte solen under några veckor på midvintern, medan den under vissa veckor mitt i sommaren skiner hela dygnet.

Diagrammen på nästa sida visar både solens varaktighet och intensitet för dels mars månad och dels augusti som i vissa väderstreck antas vara dimensionerande. Varaktighetens variation över året syns tydligt men blir ännu tydligare i diagrammen för några olika månader i bilaga 5. Diagrammens vertikala axel har samma enhet och skala som diagrammet i figur 2.4 ovan.

Förutom väderstrecken kan man även läsa av solens varaktighet i den horisontella axeln. Varje väderstreck har en egen axel med dygnets 24 timmar och en stapel vars area växer med ökad varaktighet.



Figur 2.5 Solens varaktighet och intensitet i mars månad



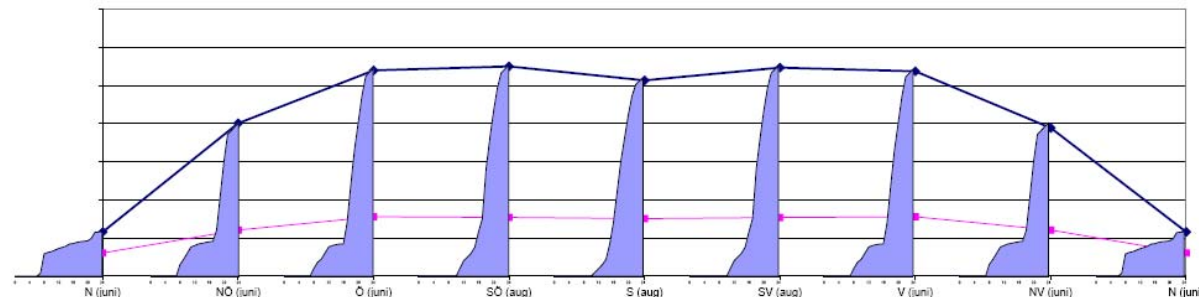
Figur 2.6 Solens varaktighet och intensitet i augusti månad

Figur 2.4 på föregående sida visar att mars månad har mycket hög solinstrålning genom ett fönster mot söder jämfört med de andra månaderna. Diagrammen ovan visar att varaktigheten för mars är likartad augusti. Trots detta är inte mars månad dimensionerande för ett rum med fasad mot söder. Detta på grund av den i förhållande till augusti mycket lägre utetemperaturer för mars månad. Högre skillnad mellan inomhus- och utomhustemperaturen ger större vädringsmöjligheter, dessutom är transmissionen genom klimatskärmen mycket högre.

Detta har vi bevisat efter en rad simuleringar. Resultaten visar att inomhustemperaturen blev högst i augusti för ett rum med söderfasad, oavsett fönsterandel.

2.2.3. Dimensionerande månader

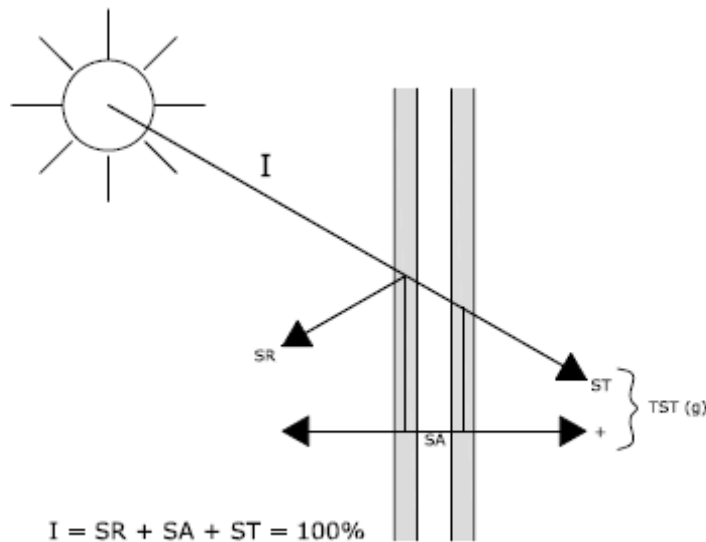
Motsvarande simuleringar och jämförelser har gjorts för varje specifikt väderstreck, för att finna den dimensionerande månaden för varje väderstreck. Vid beräkning av erforderlig kyleffekt är det två månader som är dimensionerande. Augusti för de sydliga väderstrecken, och juni för de övriga fem väderstrecken. Simuleringar och sammanställningar har resulterat i diagrammet nedan, som visar solens varaktighet och intensitet för de dimensionerande månaderna. Även ett medelvärde för varaktigheten visas som rosa linje i diagrammet.



Figur 2.7 Solens varaktighet och intensitet för de dimensionerande månaderna

2.2.4. Solenergitransmittans genom en fönsterkonstruktion

Med kännedom om solens intensitet och varaktighet och med hjälp av figuren nedan studeras solenergens transport genom fönsterkonstruktionen. Solstrålningen (I) är i ett intervall mellan 300-2500 nm, enligt SS-EN 410. Storheten ST i figuren nedan är den direkt transmitterade solenergin. SR är den del av solenergin som reflekteras utåt av fönsterrutan. SA är absorberad energi i glaskonstruktionen. SA efterstrålar både inåt och utåt, därmed består TST av den direkt transmitterade solenergin och den del av den absorberade energin som efterstrålar inåt. TST kallas den totala solenergitransmittansen och kan även betecknas som ett g -värde.

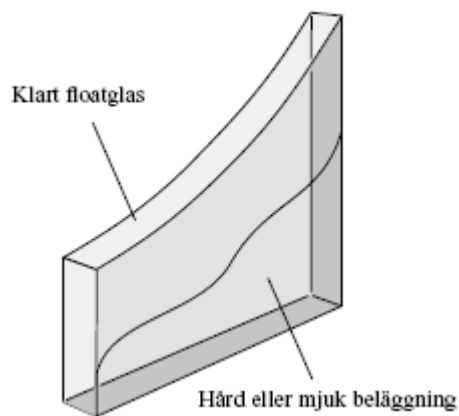


Figur 2.8 Modell över solenergitransmittansen genom en enkel fönsterkonstruktion

Det finns två huvudprinciper av solskyddsglas. De som speglar bort solstrålningen och därmed även reflekterar stor del av solljuset, och de som släpper in en stor del av det synliga ljuset men skärmar av solenergin.

Solskyddsglas finns utformade i floatglas (klarglas) med en tunn och transparent solskyddande beläggning. De finns även som helt genomfärgade glas där ett tjockare glas ger högre avskärmningsförmåga, men även en mörkare ton.

Fördelen med de belagda glaserna är att deras solskyddsegenskaper förenas med energisparegenskaperna hos floatglaset. Ett exempel på solskyddsglas med beläggning illustreras i figuren nedan. Rutorna har antingen en mjuk eller en hård beläggning.



Figur 2.9 Belagt solskydds- och energisparglas (<http://www.pilkington.se>)

Många av de genomfärgade modellerna är färgneutrala åt ett håll. Åt andra hållet uppstår reflektion och ögat uppfattar färgnyanser. Dessa nyanser skiljer sig åt mellan olika fabriker och modeller.

Vid kombination av rutor med andra egenskaper, såsom brandsäkra rutor, rutor med lågt u-värde eller ljudisolerade rutor bör alltid solskyddsfönstret placeras längst ut i konstruktionen för maximal solavskärmning. Vid extrema fall med stor solenergiabsorbans är det nödvändigt att härda glaset för att förhindra termiska sprickor.

I redovisade diagram används ett antal standardglas. Glasen är hämtade från Emmaboda Glas AB. Fönsterglasen har olika egenskaper men kostar enligt Renée Karlsson på Emmaboda Glas lika mycket. Priset per kvadratmeter ligger runt 1100 kr.

2.3. Studie av fönsterstorlek, solfaktor och solavskärmning

Enkla modeller och ekvationer visar på ett grundläggande stadium hur temperaturen kan stabiliseras med olika material och avskärmningsalternativ. Dessa modeller kompliceras dock av möjligheten att kombinera olika solavskärmningar. Ett visst fönster kan ha helt olika egenskaper när det används tillsammans med persienn än då det används ihop med en ljus gardin.

2.3.1. Sambandet mellan temperatur och fönsterandel

Första nivån är att finna sambandet mellan rumstemperaturen och ytterfasadens fönsterandel. En rad olika simuleringar visar att temperaturen ökar linjärt med fönsterandelen för en klar sommardag, oavsett plats i Sverige, se bilaga 6. Inte heller storleken på rummet har någon betydelse. Väderstrecket har stor betydelse, men sambandet mellan fönsterandel och temperatur är fortfarande linjärt.

Den optiska temperaturen på sommaren är högre än rumsluften, medan den tvärtom på vintern är lägre än lufttemperaturen. Förklaringen till detta är att stark direkt solstrålning på sommarhalvåret tar sig rakt in genom fasaden. Soleffekten är i teorin samma på vinterhalvåret men solens varaktighet mycket lägre, därför antas också solinstrålningens totala effekt vara mycket lägre. På vinterhalvåret upplevs istället strålning från den kalla fönsterytan. Det kalla skiktet närmast fönstret bildar en luftrörelse som för personer i närheten upplevs som drag, så kallat kallras. Radiatorer är ofta en förutsättning för att förhindra kallras. Fönsterkonstruktioner med u-värde som närmar sig $1,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$ klarar på många platser i Sverige kraven utan att radiator behöver installeras. Problemet har även andra mer sällan förekommande lösningar, så som till exempel elektriska slingor i rutan.

2.3.2. Sambandet mellan temperatur och fönsterandel med olika solskyddsglas

För att skapa ett acceptabelt inomhusklimat sommartid använder man sig idag av olika typer av glas i fönsterkonstruktionen. För att reducera solinstrålningen har glaset egenskaper som reflekterar även de kortvågiga solstrålarna. Storleken på denna reflektion skrivs som ett g-värde, och är i det schematiska fallet en multiplikator för total solstrålning. G-värdet varierar från 0,15 för de allra bästa glasfabrikaten till 0,76 för ett klassiskt 2-glasfönster av klarglas.

En rad olika simuleringar för ett godtyckligt rum, där endast fönsterandel och fönsterglas varierar visar att det finns ett linjärt samband mellan fönsterandel och rumstemperatur. Summerande diagram som visas i bilaga 8 visar hur temperaturen ändras då de olika solskyddsglasen används. Diagrammet visar att temperaturen ökar kraftigare med fönsterandelen ju sämre solfaktor fönstret har. Jämförbara resultat visas i bilaga 9, där solinstrålningen för motsvarande förhållanden studeras.

Det linjära samband som illustreras i bilaga 8 visar sig vid mer noggranna studier vara korrekt. Ett fönsterglas med ett g-värde på 0,26 (Pilkington HP Suncool Brilliant 50) reflekterar, ganska exakt, bort dubbelt så mycket solinstrålning som ett glas med dubbelt g-värde, 0,54 (Saint-Gobian Floatglass). Detta visas i diagrammet i bilaga 7.

Under eldningssäsongen är solinstrålningen ofta positiv. För en byggnad med endast mekanisk uppvärmning har därför ett solskyddsglas en negativ inverkan på en byggnads årliga energianvändning. Beräkningar gjorda på ett rum uppvärmt med konvektor visar att den totala energianvändningen för ett rum blir markant högre med ett bra solskyddsglas. Diagrammet i Bilaga 14 visar den årliga energianvändningen för två olika glasexempel och fyra olika väderstreck.

Den årliga energianvändningen för rummet med ett solskyddsglas och en ytterfasad mot söder är så mycket som 60 % högre än för rummet med klarglas. Då rummet är vänt mot norr är den årliga energikostnaden 33 % högre för solskyddsglasen än klarglasen. Resultaten hämtas från simuleringar i IDA för ett normalstort allrum i en lägenhet. Energianvändningen för de olika glaserna ändras med rummets geometri och annan indata. Vårt resultat visar ändå på hur stor inverkan solfaktorn på glaserna har, och hur mycket energi man kan tillgodoräkna sig från solen vintertid.

2.3.3. Sambandet mellan temperatur och fönsterandel med olika solavskärmningar

Ett annat sätt att reducera värmelasten från solen är att invändigt eller i fönsterkonstruktionen skärma av solinstrålningen. Detta görs oftast med gardiner eller persienner. I förhållande till solskyddsglas, som studerades i föregående kapitel, är solavskärmningen lite mer komplicerad.

Olika typer av gardiner till exempel har varierad skärmande egenskap på både lång- och kortvågig strålning till skillnad mot glas som beräknas reflektera all långvågig strålning. Dessutom har gardinens u-värde, värmegenomgångskoefficient, betydelse då den isolerande effekten kan medverka till en förhöjd temperatur i rummet.

Olika färger på gardiner har betydelse eftersom de har olika absorbans. Detta gör att en mörk tät gardin leder till ett varmare rum än en ljus gles gardin, trots att den ljusa gardinen släpper igenom mer solstrålning. Dessutom kan man tänka sig att en invändig gardin inte täcker hela fönstret, och delar av rummet blir helt utan solavskärmning.

Simuleringar i IDA visar på att en mörk tät gardin invändigt skärmar bort i princip lika mycket solljus som en persienn mellan glaserna i en fönsterkonstruktion. Temperaturen i rummet blir trots det högre. Den mörka täta gardinen släpper in solenergin i rummet. Dessutom absorberar den solens värme och isolerar dessutom, då rumstemperaturen är högre än utomhustemperaturen.

I beräkningar används en multiplikator för den totala och kortvågiga avskärmningsfaktorn. Till exempel är multiplikatorn för den totala avskärmningsfaktorn 0,39 för ett fönster med persienn mellan glaserna.

Resultatet från simuleringarna visar att persienn mellan glaserna ger bäst solavskärmning jämfört med ljus gles gardin. En mörk tät gardin ger samma solavskärmning som mellanglaspersienn, men den mörka täta gardinen ger en högre rumstemperatur. Beräkningar visar att temperaturen ökar kraftigare ju sämre solavskärmning konstruktionen har. Detta visas i diagrammen i bilaga 10.

2.3.4. Sambandet mellan temperatur och fönsterandel med olika u-värden

Vintertid har u-värdet i ett fönster stor betydelse för temperaturen och klimatet inomhus. Ett dåligt u-värde ger en kall yttemperatur på fönstrets insida, vilket leder till låga strålningstemperaturer. Diagrammet i bilaga 12 visar u-värdets betydelse för olika fönsterstorlekar. Simuleringarna som genomförs för att skapa diagrammet är genomförda med vintertidsförhållanden.

Sommartid har u-värdet mindre betydelse. Detta beror på att temperaturskillnaderna mellan utomhus- och inomhustemperaturerna är låga.

2.3.5. Sambandet mellan temperatur och solinstrålning för olika väderstreck

Klimatet i ett rum är kraftigt beroende av vilket väderstreck dess ytterfasad/ytterfasader vetter åt. Solinstrålningen och därmed också rumstemperaturen för de olika väderstrecken varierar kraftigt med tidpunkten på dygnet. Årstid samt geografisk plats har också stor betydelse. Solens gång komplicerar sambanden och maximal belastning på en byggnad skiftar mellan olika fasader för olika tidpunkter på år och dygn. Den maximala soleffekten under en timma på en söderfasad fås under mars månad på grund av solens instrålningsvinkel. Däremot är solens varaktighet mycket kortare och utetemperaturen mycket lägre på vinterhalvåret. Läs mer under kapitlet 2.2.3 *Dimensionerande månader*.

Simuleringar på ett rum i Göteborg under juli månad visar att det är maximal instrålning genom fönster åt sydost. Jämför med mars då den största solinstrålningen sker genom en söderfasad.

3. Klimat

Inomhusklimatet är tyngdpunkten i denna rapport. Samtliga samband och faktorer syftar till att skapa ett gott termiskt inomhusklimat. Inomhusklimatet är ett begrepp som talar om hur människor upplever vistelsen i rummet.

Rapporten behandlar en rad olika faktorer som spelar in på det termiska klimatet. Däribland har lufttemperatur, strålningstemperaturer och luftflöden stor betydelse. Vissa faktorer lämnas utanför rapporten, exempel på några av dessa är luftfuktighet och lufthastighet. Läs mer under kapitel 3.2 *Det termiska klimatet*.

3.1. Klimatbehandling

För att skapa ett bra termiskt inomhusklimat, och uppfylla myndigheternas råd, finns det olika metoder och tekniker. Rapporten behandlar i huvudsak den beräkningstekniska delen och beskriver därför inte driftteknik ingående.

3.1.1. Klimatkrav

Det finns två olika myndigheter som tillhandahåller råd för hur inomhusklimatet ska vara. Sommartid talar man främst om Socialstyrelsens maximala operativa temperatur på 28°C. Denna temperatur får emellertid endast uppnås under korta perioder. 26°C i operativ temperatur anses över längre perioder vara ett riktvärde.

Vintertid används Socialstyrelsens råd om lägsta tillåtna operativa temperatur på 20°C. Men även Boverket ger ett råd: den riktade operativa temperaturen får minimalt vara 18°C. För värmesystemen golvvärme och konvektor gjordes beräkningar med MaxKomfort 0,8. Där upptäckte vi att dessa krav motsvarar varandra bra. När den ena temperaturen är dimensionerande är i regel även den andra nära dimensionerande temperatur. Den operativa temperaturen är, med undantag från vissa fall, cirka 2°C högre än den riktade operativa temperaturen.

Fallet med radiator som värmesystem visar att den riktade operativa temperaturen närmar sig, och går till och med över, den operativa temperaturen med förbättrade u-värden. Detta beror på att radiatoren, till skillnad från konvektorn, kompenserar den kalla strålningstemperaturen från fönsterytan.

3.1.2. Driftteknik i bostadshus

Driften av värme, kyla och ventilation i ett bostadshus sköts ofta manuellt. Vid för varmt klimat används solavskärmning och fönster öppnas för att kyla inomhusklimatet. Mekanisk kyla är mycket ovanligt i bostadshus, därför behandlar inte rapporten kylning med till exempel kylbafflar. Är det för kallt skruvas radiatorerna upp efter individens behov.

3.2. Det termiska klimatet

Termisk komfort uppnås när den termiska omgivningen är till belåtenhet. De flesta människor upplever en god termisk komfort när temperaturen är mellan 20°C och 24°C. Den termiska komforten är likväl högst individuell och bunden till klädsel och aktivitet. Vid stillasittande arbete är människan mer känslig för avvikelser från det ideala klimatet då värmeproduktionen är lägre än vid fysisk ansträngning.

Problem med inomhusklimatet kan orsakas av till exempel en dåligt anpassad klimatanläggning, eller bristande möjlighet att justera in klimatanläggningen. Solinstrålning, drag samt kalla golv och väggar skapar en obalans i systemet och kan vid kraftiga variationer skapa besvär. Störst risk för dålig termisk komfort är det vid tungt fysiskt arbete under värmebölja eller vid stillasittande arbete under en kall vinterperiod.

Människokroppen har egna möjligheter att reglera kroppstemperaturen. Detta görs genom viljemässiga beteenden, ökad eller minskad fysisk aktivitet och anpassad klädsel. Kroppen har också några automatiska funktioner, så kallade autonoma fysiologiska mekanismer. Exempel på dessa är till exempel huttring när personen fryser. Huttringar uppkommer från ofrivilliga rytmiska sammandragningar av musklerna.

Avvikelse från det ideala termiska klimatet leder till:

- obehag då någon kroppsdel kyls av
- negativ påverkan på de kognitiva funktionerna, till exempel minne, uppmärksamhet, koncentration och motivation
- att inläringen försämras
- att fingerfärdigheten minskar vid sjunkande temperatur

Största orsaken till upplevt obehag är drag, vilket i sin tur oftast beror på strålningsskillnader. Drag kan även vara tecken på för hög lufthastighet. Detta uppkommer främst från öppna eller otäta dörrar och fönster. Även tilluftsdon kan leda till drag, då främst om personen är placerad nära. Strålningsskillnader beror i både vinter- och sommarfallet främst av klimatskärmens fönster. Obehag kan också ofta upplevas vid temperaturskillnader. Ovanstående omständigheter i kombination med ojämnt fördelad klädsel leder till förhöjd kännning av drag.

Stark sol kan även under de kalla månaderna skapa ett för varmt termiskt klimat. Rum med stor andel fönster blir därför komplicerade. Den riktade optiska temperaturen, ROT, används för att uttrycka det klimat som rummet ska lyckas åstadkomma. ROT är medelvärdet av den omgivande luftens temperatur i en viss punkt och den temperatur som omgivande ytor i en viss riktning har. Det vill säga en sammanfattande temperatur för både strålningstemperatur och lufttemperatur.

Figuren nedan innehåller rekommendationer för inneklimat enligt SS EN ISO 7730. Riktvärdena är för kontorsrum men kan motsvara realistiska situationer för att skapa ett bra inomhusklimat även i en lägenhet. Klädsel 1,0 clo motsvarar normal klädsel inomhus vintertid. Klädseln i sommarfallet motsvarar underkläder, kortärmad skjorta och ett par tunna byxor. Förhållanden i kursiv text är sådana fall som ej tas hänsyn till i simuleringar och beräkningar i denna rapport.

Tabell 3.1 Rekommendationer för inneklimat enligt SS EN ISO 7730

Vinter (uppvärmningssäsong)

Klädsel 1,0 clo, stillasittande arbete

- Operativ temperatur 20 °C - 24 °C
- Vertikal strålningstemperaturskillnad <5 °C
- Horisontal strålningstemperaturskillnad <10 °C
- Lufttemperaturskillnad (mellan 0,1 och 1,1 m över golvet) <3 °C
- Luftrörelser $\leq 0,20$ m/s (beroende på turbulensgrad)
- Golvtemperatur >19 °C
- Relativ luftfuktighet 30 % - 70 %

Sommar

Klädsel 0,5 clo, stillasittande arbete

- Operativ temperatur 22 °C - 26 °C
- Lufttemperaturskillnad (mellan 0,1 och 1,1 m över golvet) <3 °C
- Luftrörelser $\leq 0,25$ m/s, (högre tillåts med individuell kontroll)
- Relativ luftfuktighet 30 % - 70 %

4. Simuleringsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0

IDA Klimat och Energi är framtaget och utvecklat på KTH/Installationsteknik i Stockholm och har sedan 1998 varit ett av de främsta byggsimuleringsverktygen i Skandinavien. IDA ger möjligheten att skapa en tredimensionell modell. Programmet förutser flöden av värme, sol och luft genom byggnaden, enligt <http://www.equa.se>.

Vid konstruerande av en byggnad kan material och konstruktioner antingen importeras från en färdig 3D-modell från CAD, eller hämtas ur IDAs databas. Modellen kompletteras sedan med olika indata som till exempel värmelaster, väggkonstruktion, klimatdata och VVS-system. När all indata lagts in kan simuleringen starta. Perioden som simuleras kan varieras i längd.

Solinstrålning är en av huvudfaktorerna när det gäller sommarfallet i denna rapport. IDA beräknar mängden ljus som träffar ett fönster med stor precision. Hänsyn tas till solskydd vid fönster och från omgivande byggnader, i de fall det finns några. IDA räknar även med skuggning av diffust ljus som kan ha stor inverkan på inneklimatet. Detta gör att 3D-modellen i IDA Klimat och Energi är ett användbart verktyg, när uppgiften är att utvärdera och jämföra olika typer av solavskärmningar och fönstertyper.

Programvaran är användarvänlig, och bygger i stort sett på beräkningar i tre olika nivåer. En enkel nivå för de mindre avancerade beräkningarna. I de mer avancerade nivåerna ökar användarens möjlighet att påverka och ändra indata.

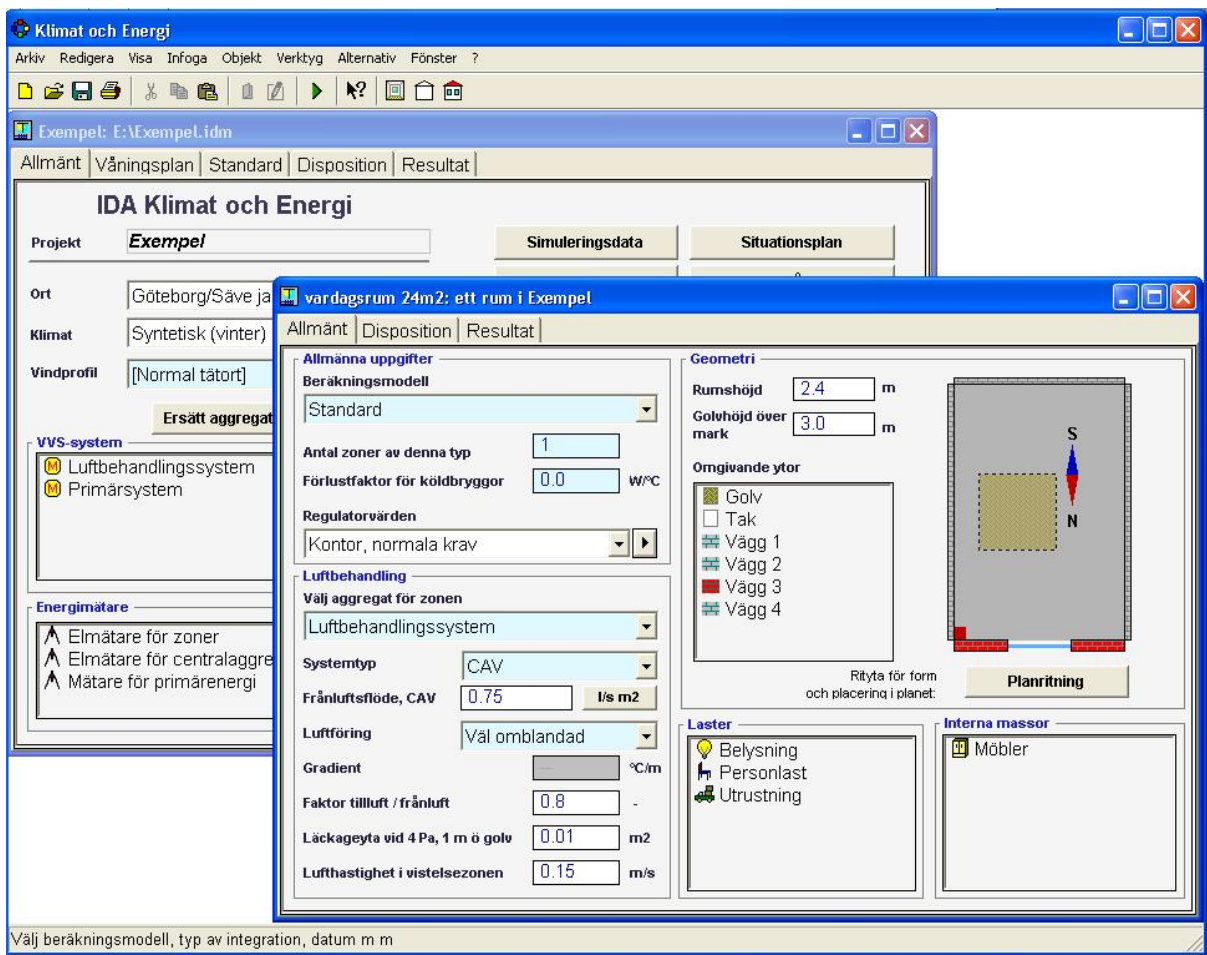
I funktionen "Beställ resultat" kryssar användaren i vilka värden som ska beräknas. Vissa värden redovisas i tabell och diagramform och andra i rapportform. Temperaturer och luftflöden i centralaggregat och det primära värme- och kylsystemet är exempel på faktorer som beräknas och redovisas i diagramform.

Med IDA har användaren också möjlighet att beräkna till exempel riktade operativa temperaturer, Fangers komfortindex och värmebalansen för vald zon. Rapportfunktionen ger möjlighet att beräkna köpt och använd energi. Komplicerade beräkningar i programmet delar upp och ser skillnad på olika energikällor, till exempel belysning, apparatur och konvektorer.

För att skapa en rättvis bild av verkligheten används kontinuerligt de två mest avancerade nivåerna. Mycket av de indata som förs in i programmet läses för de olika årstidsfallen, detta för att avgränsa rapporten.

Som nämns i tidigare kapitel kan simuleringsperioden i IDA varieras. Simuleringarna som genomförs för att beräkna sommarfallet sträcker sig över ett dygn.

Figuren på nedan visar ett exempel från den nivå där samtliga beräkningar har genomförts. I visat gränssnitt visas en bråkdel av alla indata som måste bestämmas innan simulering startas.



Figur 4.1 Exempel på en simulering i IDA Klimat och Energi 3.0

5. Sommarfallet

Syftet med simuleringarna är att skapa ett diagram som enkelt åskådliggör fönsterkonstruktionens påverkan på hur komforten i vistelsezonen upplevs. Detta görs genom att studera sambanden mellan fönsterstorlek och inomhustemperatur. Temperaturen regleras av valbara solskyddsglas och inre solavskärmningar, som finns representerade i diagrammet.

Diagrammet skapas och konstrueras utifrån beräkningar och simuleringar i IDA, och bygger helt på de samband som behandlats tidigare i rapporten. Simuleringarna i IDAs avancerade nivå kräver en stor mängd indata. Nästkommande kapitel motiverar de valda parametrar som används vid simulering.

5.1. Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader

Simuleringar i beräkningsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0 kräver att en stor mängd indata bestäms. Dessa parametrar och variabler har i olika stor grad betydelse för resultatet av försöken. Följande text rubricerar och motiverar valda värden.

5.1.1. Motiv för simulering

Motivet med simuleringen är att analysera främst fönsterstorlekens betydelse för klimatet i vistelsezonen i ett rum under en klar sommardag i Göteborg. Simuleringarna resulterar i diagram. Solinstrålningen genom fasader, mot olika väderstreck, reduceras av olika solskyddsglas och inre solavskärmningar. Modellen avser ett vardagsrum i en lägenhet, som inte är belägen på bottenvåningen.

5.1.2. Uteklimat

Utetemperatur: Enligt Teasler, R. (1972). *Klimatdata för Sverige*.

Solmodell: Enligt Ashrae 2001

Faktor för solstrålning: 1,0. Det vill säga helt klar himmel.

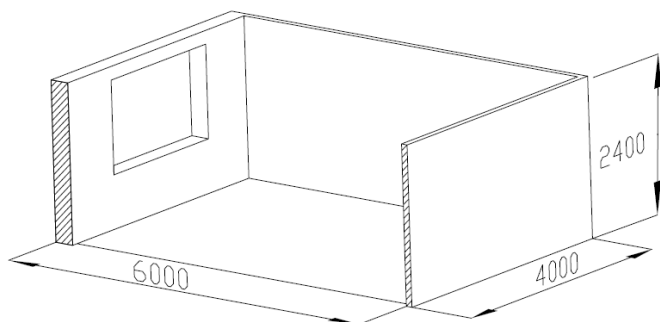
Simuleringsperiod: 16 juni och 16 augusti

Ashraes temperatur- och solmodeller används i simuleringar och antas ge en verklighetstrogen modell för sommarfallet. Simulering sker för den 16 juni och den 16 augusti.

5.1.3. Geometri, förenklingar och ritningsunderlag

Simulering sker på ett vardagsrum i en lägenhet. Rummet byggs upp enligt svensk standard och kommer att motsvara ett vanligt förekommande rum för svenska lägenheter. Rummet har yttervägg åt ett väderstreck och tre innerväggar mot andra rum.

Rummet är 6 meter långt och 4 meter brett längs fasaden, se figur 5.1 nedan. Total golvyta är 24 kvm. Simuleringar på mindre rum genomförs kontinuerligt för att visa att försöksresultaten är objektiva, och inte bara gäller för det specifikt valda rummet.



Figur 5.1 Dimensioner för rummet som används vid simulering

5.1.4. Skuggor och utvändiga solavskärmningar

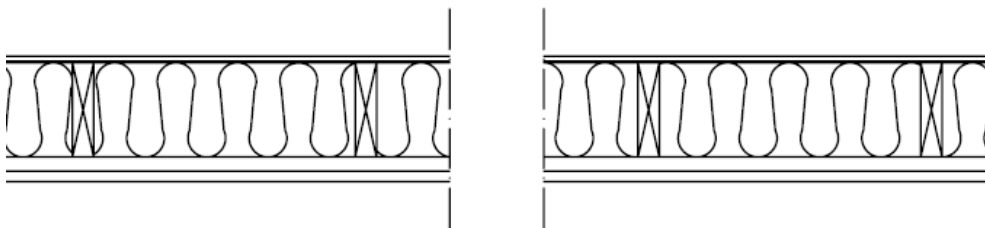
Till skuggor från omkringliggande bebyggelse tas ingen hänsyn.

Någon utvändig solavskärmning, av typen markis som exempel, förekommer inte. Detta eftersom att en markis antas ta bort all solstrålning. IDA Klimat och Energi 3.0 har ännu ingen bra modell för beräkning med markis.

5.1.5. Omslutande ytor

Väggar:

Ytterväggen är en träkonstruktion med relativt bra u-värde. Konstruktionen innefattar vindskiva vilket i sig inte påverkar våra iakttaganden och resultat från simuleringarna. De genererar dock en verklighetsskildrande väggkonstruktion.



Figur 5.2 Ytterväggskonstruktion

22 mm	Träpanel
13 mm	Asfaboard
45-200 mm	Träreglar med cc-avstånd 600 mm.
200 mm	Mineralull
13 mm	Gipsskiva

Sammanlagt u-värde för ytterväggskonstruktionen utan fönster är $0,18 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Intelligande rum:

IDA räknar med att lufttemperaturen i alla intelligande rum följer lufttemperaturen i det behandlade rummet. Därför räknar IDA bort halva innerväggen och därmed konvektionen i intelligande rum.

Innerväggarna består av 26 mm gips på båda sidor med luftspalt och ljudisolering i mellan. Rumhöjden är 2,4 m. Innerväggskonstruktionens sammanlagda u-värde är $0,6187 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Fönster:

Ytterfasadens fönster har varierande storlek och konstruktion för olika beräkningar.

Simuleringarna utgår från ett kopplat 2-glas klarglasfönster med solfaktorn 0,76 och ett u-värde på $1,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$. Anledningen till detta val av fönstertyp är att det motsvarar en standardlösning för nybyggnation i Sverige idag. Fönsterkonstruktionen är jämförbar med Emmabodas energiglas 4-12-4 med krypton i spalten mellan glasen.

Fönstertyper med avskärmningsvärde för solstrålning, g-värde, så lågt som 0,25 används i senare simuleringar. Fönstret med bäst solavskärmning heter Pilkington Suncool HP Brilliant 50, motivet till detta val är att modeller med samtliga värden ingår i IDAs databas.

U-värde har liten betydelse för klimatanalysen för en sommardag, valda fönster har värden mellan 1.0 och 1,3. Fönstrets emissivitet antas vara konstant 0,9 för alla typer och fabrikat av fönster.

Interna massor/mark:

Rummet innehåller enkel möblering, en soffgrupp och ett soffbord.

Eftersom lägenheten inte är i bottenplan tas ingen hänsyn till markförhållanden.

5.1.6. Internlast**Människor:**

En person som alltid är närvarande, antas vara ett godtyckligt värde för ett vardagsrum för 4 personer en sommardag. Människorna är placerade som punkter 1 m ovanför golvet. Människorna antas ha sommarklädsel, 0,5 CLO. Aktiviteten är satt till 1,0, det vill säga stillasittande.

Belysning:

En taklampa mitt i rummet, som alltid är släckt.

Maskiner:

Modellen innehåller maskiner som tillsammans genererar 150W. Antas vara till exempel dator eller TV.

5.1.7. Ventilation

Luftflöde:

Indatavärden för mekanisk ventilation är konstant 20 l/s vid konstruktionen av temperaturdiagrammet. Vid simuleringar för att skapa flödesdiagrammet varierar luftflödet efter behov.

Faktor tilluft/frånluft antas vara 1,0. Läckageyta vid 4 Pa, 1,1 m över golvet är okänd och ansätts mycket låg, närmare 0. Lufthastigheten i vistelsezonen är 0,15 m/s för samtliga simuleringar.

Vid simuleringar för att skapa luftflödesdiagrammet för dimensionerande månader, i bilaga 2, varierar den mekaniska kylningen för att skapa en operativ temperatur på 28°C.

Tider:

Den mekaniska kylningen har ett konstant flöde hela dygnet.

Temperatur:

Temperaturen för den mekaniska kylan följer hela tiden utomhustemperaturen.

Frikyla:

Ingen kall nattluft tas tillvara för att kyla stomme, ingen frikyla kan tillgodoräknas.

Självdrag:

Alla fönster är i grundfallet stängda. Vid för hög lufttemperatur inomhus öppnar människor sina fönster, därför efterliknas självdragsventilation med mekanisk ventilation i simuleringar med IDA.

Självdraget innebär problem i simuleringen då IDA ej har fullständiga modeller. Tiden för vädringen är svår att uppskatta. Dessutom är mängden kylning beroende av hur mycket fönstret är öppnat och vilka utomhusförhållanden som råder.

Sänkt komfort fås till följd av drag vid mycket öppna fönster. Det kan också då tänkas att det är svårt att utföra till exempel pappersarbete i rummet.

5.1.8. Kyla och värme

Ingen mekanisk kylning eller värmning förekommer.

5.2. Utförande

Arbetsgångens första stadium är att finna de mest betydande faktorerna för inomhusklimatet, det vill säga komforten. Beräkningar har visat att rumstemperaturen till absolut största del beror på solinstrålningen. Transmissionen har under de varma sommarmånaderna liten betydelse.

Avgörande för instrålad soleffekt i rummet är solavskärmningen genom antingen solskyddsglas eller solavskärmning. Vårt projekt avgränsas till inre solavskärmning. Soltimmar och solintensitet är kopplat till årstid och väderstreck. Dessa har under tidigare kapitel bestämts.

För att kompensera instrålad soleffekt och hålla acceptabel rumstemperatur ventileras modellen. Detta sker antingen med varierande flöde för att hålla konstant operativ temperatur eller genom ett konstant tilluftsflöde på 20 l/s. Tilluften följer utomhustemperaturen hela dygnet och hela ventilationsmekanismen kan liknas vid ett öppningsbart fönster.

5.3. Slutsats

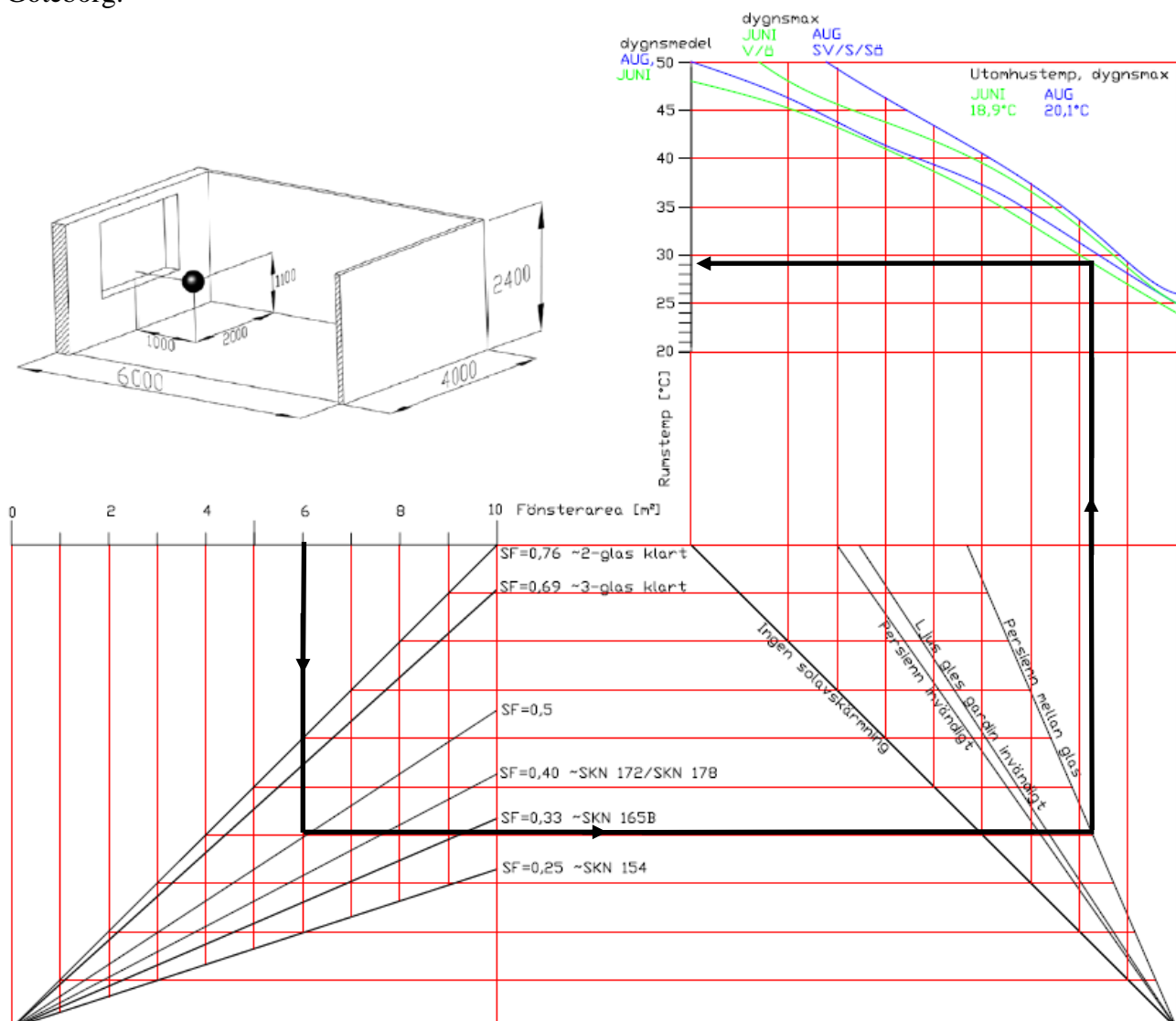
Resultatet av simuleringarna är två diagram representativa för ett standardvardagsrum i Göteborg. Det första diagrammet har fönsterstorlek som "input" och rumstemperatur som "output". Diagrammet visar hur temperaturen stiger med ökad fönsterandel, och hur den reduceras med hjälp av solavskärmningsglas och inre solavskärmning.

Eftersom temperaturerna i många fall är höga i det första diagrammet skapades även ett andra diagram. Här åskådliggörs vilket ventilationsflöde rummet kräver för att klara socialstyrelsens råd på en maximal operativ temperatur på 28°C.

Diagrammen, för rumstemperaturen och erforderligt luftflöde, visas nedan med beskrivning för avläsning och användning. Mätpunkt enligt figur och indata enligt bilaga 1 och 2.

5.3.1. Temperaturdiagram för dimensionerande sommarmånader

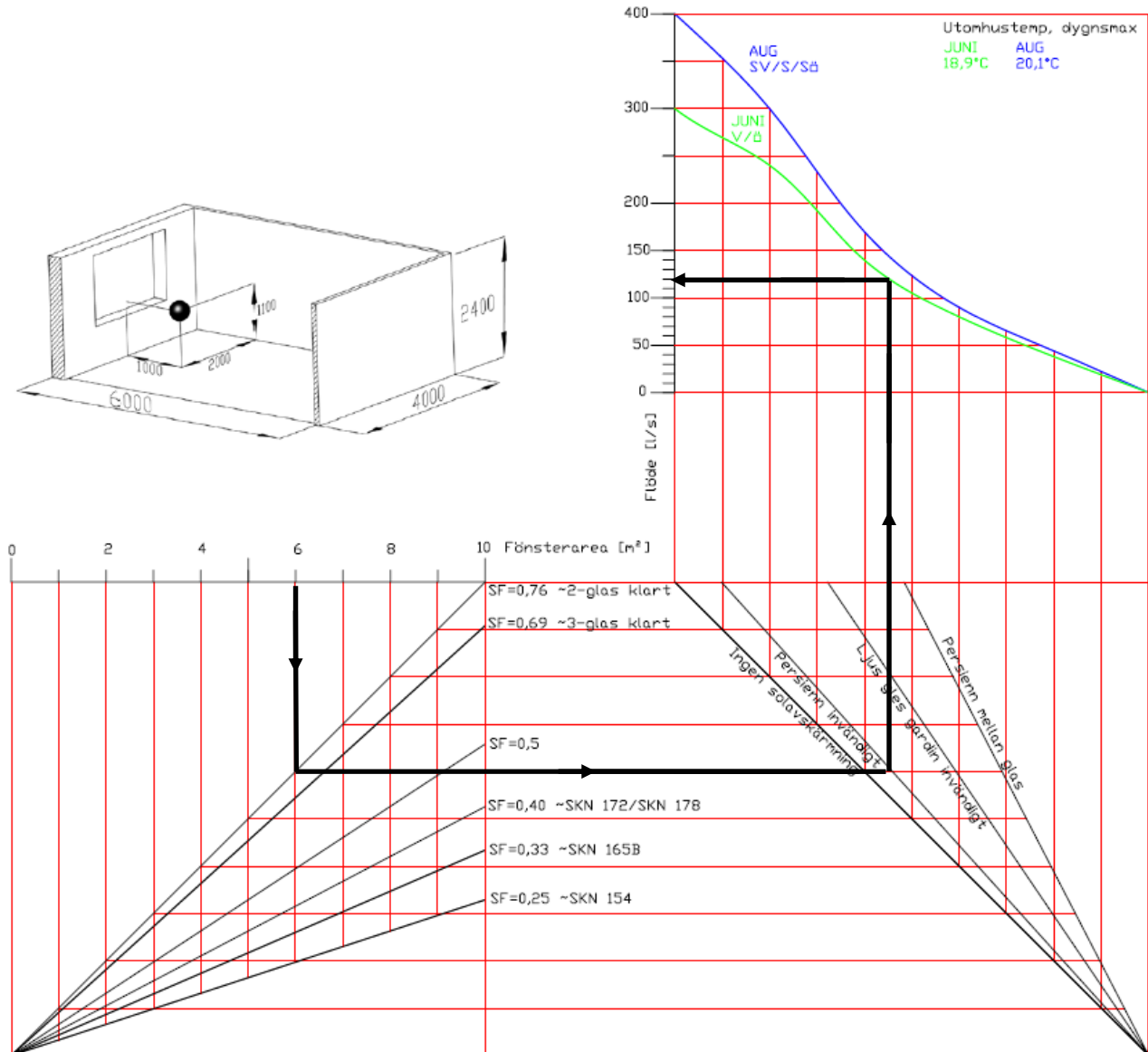
Diagrammet nedan visar ett exempel på hur dygnsmedeltemperaturen blir, för dimensionerande månad, med en fasad mot väst eller öst. Fönsterstorleken är 6 m² med solfaktor 0,5 och en persienn mellan glas som solavskärmning. Temperaturen i rummet hamnar på 29°C. Observera att rummet är helt tillslutet med 20 l/s som enda luftombyte. Diagrammet representerar en klar sommardag i Göteborg.



Figur 5.3 Exempel på tillämpning av rumsluftdiagram

5.3.2. Flödesdiagram för dimensionerande sommarmånader

Exempel på hur information om erforderlig ventilation hämtas, för att hålla en operativ temperatur på 28°C i ett rum med fasad mot väst eller öst. Fönsterkonstruktionen består av ett 6 m² vanligt 2-glasfönster i klarglas och en invändig persienn. Det behövs ett luftflöde på 120 l/s. Detta är möjligt att åstadkomma med ett öppningsbart fönster.



Figur 5.4 Exempel på tillämpning av luftflödesdiagrammet

6. Vinterfallet

Vinterfallet i vår rapport är den del av säsongen som kräver aktiv uppvärmning från värmesystem. Denna period kan även kallas eldningssäsong eller uppvärmningssäsong. Längden på denna period är bunden till geografiskt läge. Varför vi har valt att, precis som i sommarfallet, utföra beräkningarna för Göteborg.

Syftet med beräkningarna är att skapa insikt och förståelse för hur fönsterkonstruktionen påverkar energianvändningen för ett rum. Beräkningarna avser en kall och mulen vinterdag i Göteborg.

Värmeförlusterna för en byggnad är proportionell mot täthet och isolergrad. Värmeförlusterna har också ett direkt proportionellt samband med temperaturdifferensen mellan inne- och uteluften. Ett beräkningsexempel ur en artikel på viivilla.se visar ett enkelt sätt att räkna ut energibesparingen då man byter till ett bättre u-värde i fönsterkonstruktionen. Ekvationen bygger på nyckeltal för olika orter i Sverige. Nyckeltalet multipliceras med differensen mellan u-värdena för den gamla och den förbättrade fönsterkonstruktionen. Slutligen multipliceras fönsterarean in. Räkneexempel för en byggnad i Göteborg nedan:

Exempel 1.

Nyckeltal Göteborg: 80

Förbättrat u-värde: $1,9 - 1,0 = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fönsterarea: 8 m^2

$$0,9 \cdot 80 = 72 \text{ kWh/m}^2$$

$$72 \cdot 8 = 576 \text{ kWh per år för hela huset.}$$

Figur 6.1 Räkneexempel på u-värde

Redovisningen av resultatet är ett PPD-värde som är beroende av operativ temperatur, relativ fuktighet, lufthastighet, klädsel och aktivitet. Av dessa är det främst den operativa temperaturen som väcker intresse. Den operativa temperaturen antas vara ungefär lika med den riktade operativa temperaturen, ROT. ROT tecknas som medelvärdet av luftens temperatur och den riktade strålningstemperaturen i beräkningspunkten i rummet. Den riktade strålningstemperaturen är i sin tur en funktion av en vinkelfaktor och yttemperaturen. Sökt vinkelfaktor är beroende av geometrin mellan fönster- och radiatorandel och mätpunktens läge. Yttemperaturen är en funktion av byggnadens u-värde, Rsi och inomhustemperatur samt utomhustemperaturen. Rsi är ett värmeövergångsmotstånd vid ytor som vätter mot luft.

Geometrin mellan fönster- och radiatorandel är det största problemet. Beräkningsprogram har svårt att genomföra simuleringar där fönster och radiatorer överlappar varandra. Dessutom finns det en uppsjö olika fabrikat och typer av luftvärmare.

Boverket ger råd om maximal och minimal riktad operativ temperatur. Socialstyrelsen däremot framför sina råd som operativ temperatur. Tidigare har det nämnts att ROT är ungefär lika med OT, vilket inte riktigt stämmer. Vi söker därmed ett samband mellan dessa storheter. Syftet är att peka på vilken riktad operativ temperatur som motsvarar den operativa temperaturen som krävs för att få ett acceptabelt PPD och PMV.

6.1. Indata för termisk simulering för dimensionerande vintermånader

Simuleringar i beräkningsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0 kräver att en stor mängd indata bestäms. Dessa parametrar och variabler har i olika stor grad betydelse för resultatet av försöken. Följande text rubricerar och motiverar valda värden.

Mycket av de indata som används i vinterfallet är samma som i sommarfallet. Därför hänvisas läsaren i dessa fall att läsa under kapitel 5.1 *Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader* för att finna information.

6.1.1. Motiv för simulering

Motivet med simuleringen är att analysera främst fönsterstorlekens betydelse för klimatet i vistelsezonen i ett rum under en kall vinterdag i Göteborg. Beräkningarna resulterar i diagram som visar sämsta möjliga u-värde för att klara gällande råd. Även rumstemperaturen varierar. Simuleringar i IDA ger ett mått på den årliga använda uppvärmningsenergin. Modellen avser ett vardagsrum i en lägenhet, ej bottenvåning.

6.1.2. Uteklimat

Utetemperatur Teasler, R. (1972). *Klimatdata för Sverige*. DUT_{20} används. -16°C vilket infaller en gång var 20:e år i Göteborg.

Solmodell -

Faktor för solstrålning: 0,0. Molnig himmel.

Simuleringsperiod 16 januari

6.1.3. Geometri, förenklingar och ritningsunderlag

Se 5.1 *Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader*.

6.1.4. Skuggor och utvändiga solavskärmningar

Ingen betydelse för dimensionerande vinterförhållanden.

6.1.5. Omslutande ytor

Väggar:

Se 5.1 *Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader*.

Intilliggande rum:

Se 5.1 *Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader*.

Fönster:

Ytterfasadens fönster har varierande storlek och konstruktion för olika beräkningar. Till skillnad från simuleringen i sommarfallet är det här u-värdet som varierar för olika beräkningar. Dimensionerande dag inträffar en molnig dag. Något som kan vara intressant att studera vidare är hur stor soleffekt man en klar vintertid kan tillgodoräkna sig för att spara uppvärmningseffekt. Detta behandlas i kapitel 7.2 *Vinterfallet, diskussion och slutsats* och bilaga 14.

Interna massor/mark:

Se 5.1 *Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader*.

6.1.6. Internlaster

Människor:

En människa närvarar ständigt, vilket gör modellen mindre teoretisk och mer praktisk.

Belysning:

En taklampa som är tänd på morgon och kvällar.

Maskiner:

Bestäms till skillnad från sommarfallet till ett lågt värde. Sammanlagt väntas maskiner generera 50W.

6.1.7. Ventilation

Luftflöde:

Se 5.1 Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader.

Tider:

Se 5.1 Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader.

Temperatur:

Se 5.1 Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader.

Frikyla:

Se 5.1 Indata för termisk simulering för dimensionerande sommarmånader.

6.1.8. Kyla och värme

Beräkningar sker för radiatorer med varierande storlek, beroende på fönsterstorlek. Dessutom genomförs simuleringar med golvvärme som blir ett allt mer populärt alternativ vid nybyggnation.

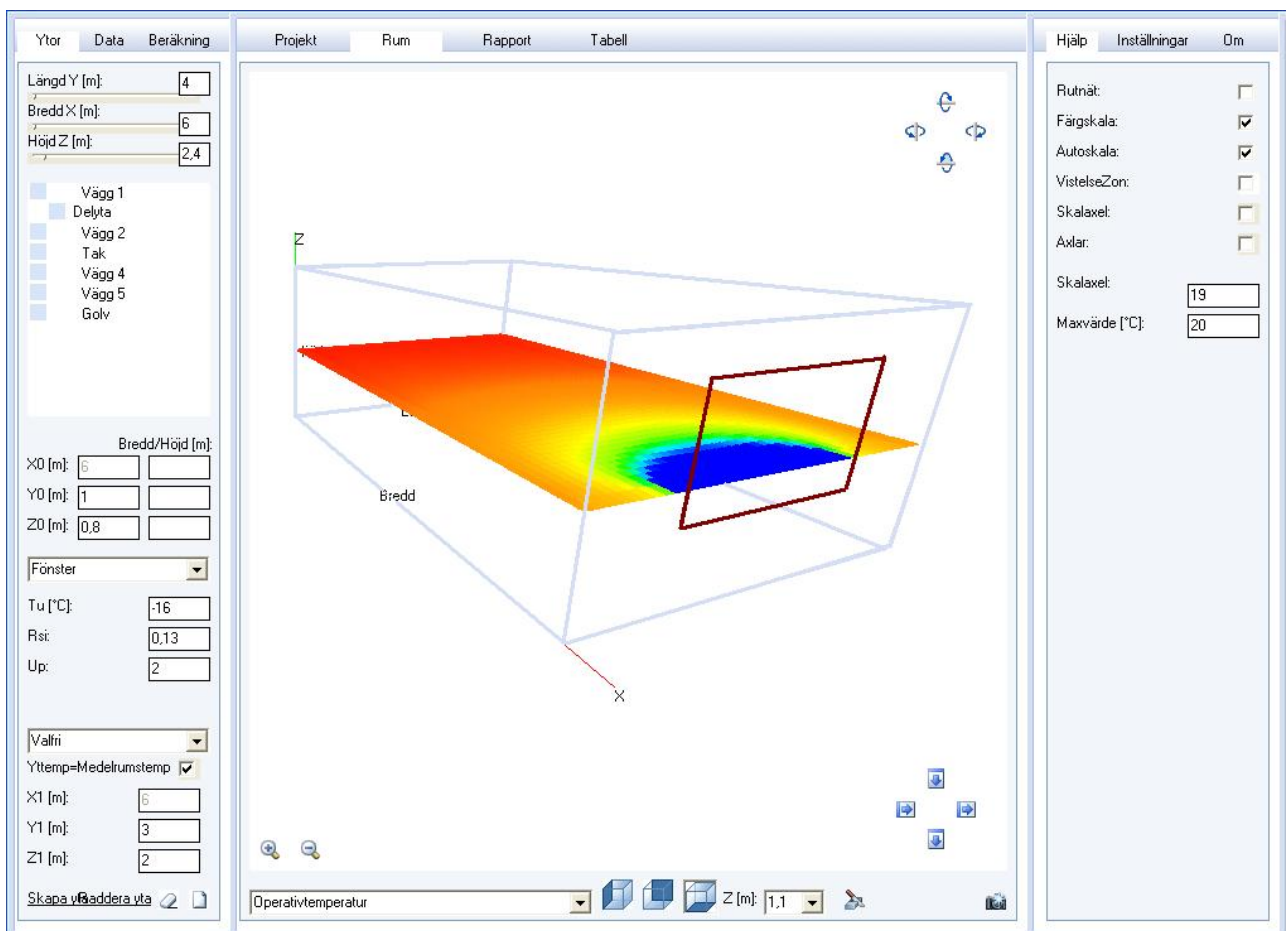
6.2. Utförande

Sambanden mellan u-värdet och operativ- respektive riktad operativ temperatur kontrolleras som första moment. Hjälpmedel är Max Tillbergs program MaxKomfort 0.8. Programmet är konstruerat efter boken *Byggledning 8*. Max Tillberg är utbildad civilingenjör och arbetar som konstruktör på Bengt Dahlgren AB i Göteborg. Programmet är fortfarande under utveckling, och finns därmed inte tillgängligt på marknaden. Programmet är däremot tillräckligt utvecklat för att uppfylla våra behov.

MaxKomfort 0,8 erbjuder till skillnad från IDA Klimat och Energi 3.0 möjligheten att låsa rumstemperaturen. Denna funktion underlättar beräkningarna för vinterfallet då det intressanta är strålningstemperaturerna. Programmet fungerar på så sätt att rummets geometri byggs upp med reglerbara u-värden. Delytor i form av till exempel fönster eller radiatorer går att lägga in i väggkonstruktionen. Indata enligt kapitlet ovan infogas. Programmet beräknar sedan temperaturer i samtliga punkter i rummet med 1 dm mellanrum. Det motsvarar drygt en kvarts miljon beräkningar på ett rum som är 20 m² med normal rumshöjd.

Resultatet presenteras i lufttemperaturer, yttemperaturer, lägsta och högsta operativa respektive riktade operativa temperatur. Dessutom beräknas medelstrålningstemperatur, riktad medelstrålningstemperaturen och strålningstemperatursymmetrin. Observera att de riktade temperaturerna beräknas i samtliga riktningar utifrån punkten.

Figuren nedan visar ett användbart verktyg i MaxKomfort 0,8. Ett färgschema målar upp temperaturfördelningen i rummet i ett valt snitt. Färgskalan är mellan 19°C och 20°C. Röd färg motsvarar alltså 20°C och blå färg motsvarar 19°C.



Figur 6.2 Exempel på beräkning av operativ temperatur med MaxKomfort 0,8

Boverkets råd är att den riktade operativa temperaturen inte får understiga 18°C . Socialstyrelsen har ett annat krav, enligt dem är det den operativa temperaturen som är viktig. Den får inte understiga 20°C .

Inledande uppgiften är att studera sambanden mellan fönsterstorlek, rumstemperatur och u-värde. Beräkningar i MaxKomfort 0.8 resulterar i respektive körningar i ett u-värde och rumstemperatur för att klara råden från Boverket och Socialstyrelsen för olika fönsterareor. Beräkningarna delas upp i tre olika värmekällor, konvektor, golvvärme samt radiator.

Beräkningarna för vinterfallet innefattar även en energistudie. Hela årets energianvändning för uppvärmningen av rummet beräknas. Beräkningarna syftar på att kartlägga den erforderliga energiåtgången, då rumstemperaturen måste höjas till följd av ett högt u-värde eller stor fönsterarea. Att kontrollera energianvändningen över hela året är ett mer rättvisande resultat. Övergångsperioderna mellan eldningssäsongen och värmeöverskottssäsongen gör att lite värme eller kyla lagras i byggnaden. Vår modell kan tillgodoräkna sig värme från sommarhalvåret när eldningssäsongen börjar.

IDA är ett bristfälligt verktyg när det gäller energiberäkningar. Därför är redovisade värden möjligen missvisande. Dock är det sambanden och förhållanden mellan olika fönsterstorlekar och u-värden som är intressant. Diagrammen visar hur stor andel energi som sparas då ett bättre u-värde eller ett mindre fönster väljs.

6.3. Slutsats

När ett rum har konvektorer eller golvvärme som värmekälla är det endast rumstemperaturen, fönsterstorleken och u-värdet som reglerar inomhusklimatet. Detta beror på att konvektorn, till skillnad från radiatoren, inte motverkar strålningstemperaturen från fönsterytan. Golvvärmen har samma temperatur över hela golvytan. Därför motverkar inte heller golvvärmen nämnvärt strålningen från fönstret. I de allra flesta fall är den operativa temperaturen i vår mät punkt högre än rumsluften. Detta beror på att det är högre värmetillskott från golvets strålning än från värmeförlusten från fönstrets strålning.

Anmärkningsvärt är att Socialstyrelsens råd aldrig uppnås då rumsluften värms till 20°C med endast konvektorer. Detta oavsett vilken fönsterstorlek eller vilket u-värde som används, när DUT_{20} används. För att uppnå råden måste därför inomhustemperaturen höjas. Däremot är Boverkets råd uppfyllda för klart rimliga u-värden. I åtanke bör man ha att vi räknade med en utetemperatur på -16°C dygnet runt, vilket självklart är mycket ovanligt att det är i Göteborg. För normala förhållanden bör en byggnad lyckas att uppnå Socialstyrelsens råd.

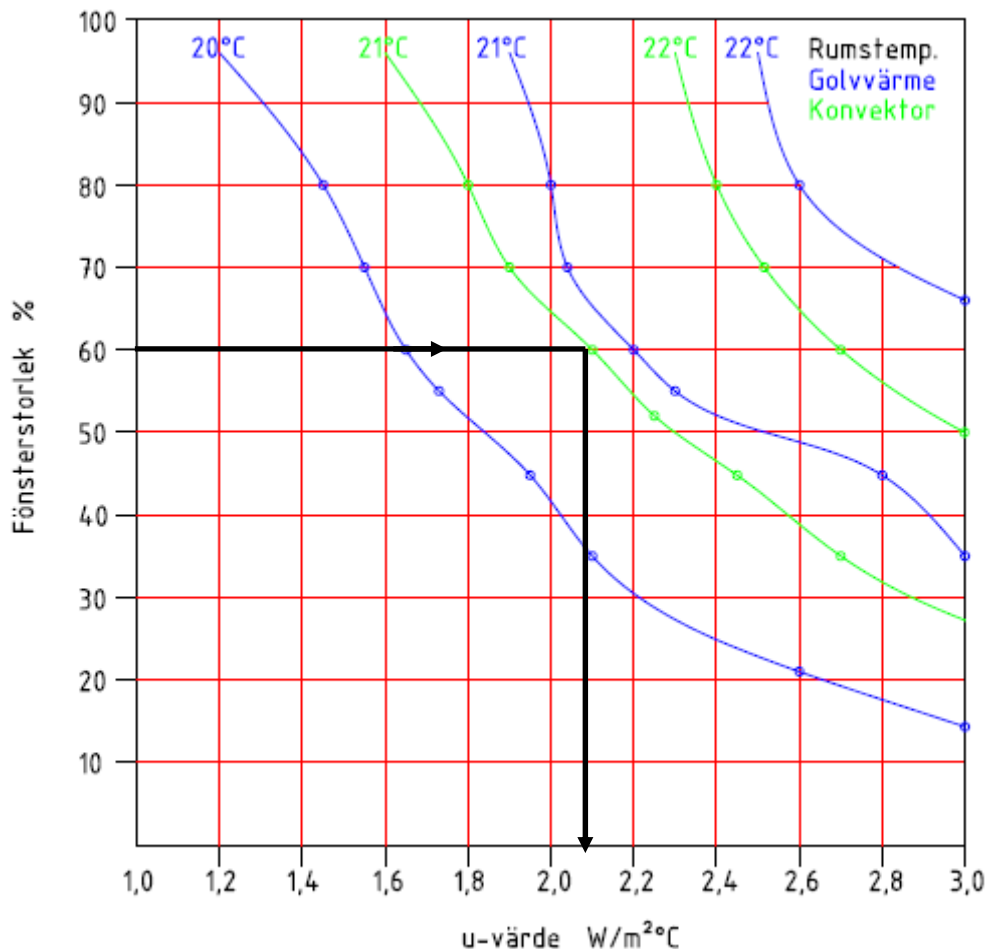
Det kan skilja för olika klimatförhållanden vilket av Boverkets eller Socialstyrelsens råd som är dimensionerande. Överlag är den operativa temperaturen, det vill säga Socialstyrelsens råd, dimensionerande för liten fönsterandel eller bra u-värden, medan den riktade operativa temperaturen är dimensionerande för sämre u-värden i stora fönsterkonstruktioner.

Energiåtgången för ett rum är beroende av byggnadens u-värde och rumstemperatur. Det är intressant att veta hur mycket energi som årligen sparas då ett lägre u-värde väljs på fönstret. Energiagrammet i *bilaga 13* visar skillnaden i energianvändning då ett bättre u-värde används. Dessutom syns det att rumstemperaturen kan hållas lägre i de fall då ett bättre u-värde används.

6.3.1. Temperaturdiagram för ett rum uppvärmt med konvektor eller golvvärme

Diagrammet nedan visar sämsta möjliga u-värde för en fönsterkonstruktion. Fönsterstorlekar, rumstemperaturer och värmesystem varierar. Diagrammet visar erforderliga värden för att uppfylla gällande råd.

Exemplet i figuren nedan visar ett rum värmt till 21°C med konvektor. Rummets yttervägg består av 60 % fönster vilket resulterar i att man måste ha ett u-värde på 2,1 W/m²°C eller bättre.



Figur 6.3 Exempel på tillämpning av u-värdesdiagrammet

6.3.2. Temperaturstudie för ett rum med radiator som värmesystem

Radiatorer visar sig i beräkningar vara mycket fördelaktiga som uppvärmning av rum med fönster. Då kvoten mellan radiator- och fönsterarean är konstant visar beräkningar att u-värdet kan hållas konstant. Tabellen nedan visar resultaten från beräkningar i MaxKomfort 0.8. Då rumstemperaturen hålls till 20°C måste u-värdet varieras med radiatorandelen. Då radiatorarean är 33 % av fönsterarean beräknas erforderligt u-värde vara 2,0 W/m²°C. Sänks radiatorandelen till 28 % visar våra beräkningar att det krävs ett u-värde på 1,0 W/m²°C på fönsterkonstruktionen. Samtliga beräkningar syftar till att uppfylla Boverkets och Socialstyrelsens råd. Mätpunkten är mitt för fönstret, 1,1 m över golvet. Rummets geometri är samma som i sommarfallet, enligt figur 5,1 i kapitel 5.1.3 *Geometri, förenklingar och ritningsunderlag*.

Höjs rumstemperaturen över 20°C visar tabellen nedan att u-värdet inte längre spelar någon roll. Jämfört med konvektorn och golvvärmen är radiatoren mycket effektiv på att motverka den låga strålningstemperaturen från fönstret.

Tabell 6.1 Erforderliga u-värden för att uppfylla Boverket och Socialstyrelsens råd

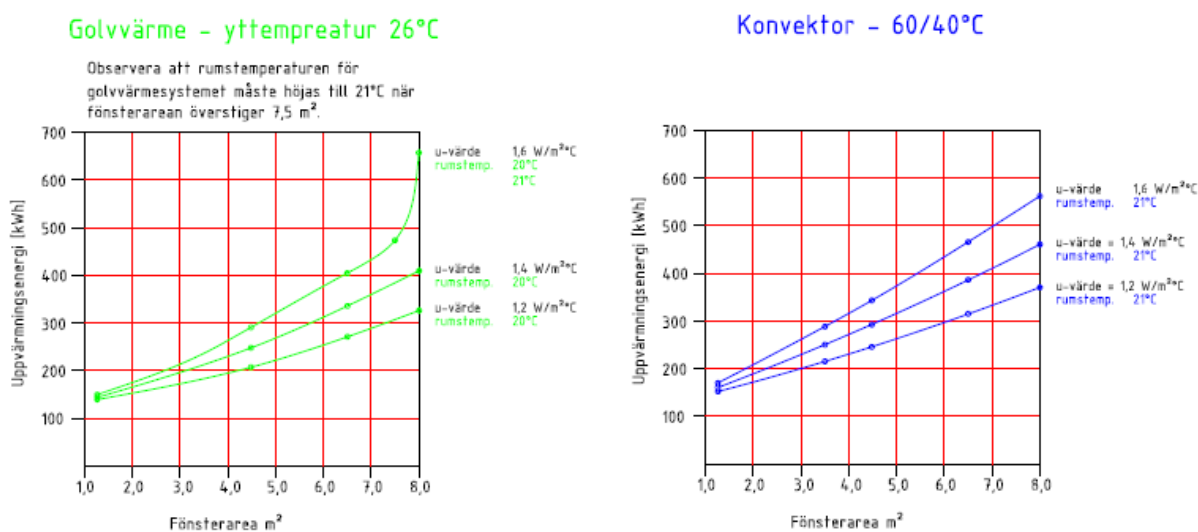
Fönsterstl	Radiatorstl	u-värde	Rumstemp	DUT20	Golvtemp	Yttemp	OT (20°C)	ROT (18°C)
1,26	0,35	1	20	-16	20	15,32	20,0142	20,0276
2,1	0,65	1,5	20	-16	20	12,98	20,0244	19,9569
3,5	1,15	2	20	-16	20	10,64	19,9722	19,6728
4,48	1,5	2	20	-16	20	10,64	19,9994	19,7224
1,26	0,35	>3	21	-16	21	<6,57	<20,697	<19,8057
2,1	0,65	>3	21	-16	21	<6,57	<20,6486	<19,6530
3,5	1,15	>3	21	-16	21	<6,57	<20,6142	<19,4936
4,48	1,5	>3	21	-16	21	<6,57	<20,6044	<19,4647
1,26	0,35	>3	22	-16	22	<6,57	<21,6748	<20,7262
2,1	0,65	>3	22	-16	22	<6,57	<21,6142	<20,4974
3,5	1,15	>3	22	-16	22	<6,57	<21,5668	<20,3456
4,48	1,5	>3	22	-16	22	<6,57	<21,5519	<20,3059

Resultatet från tabellen ovan är inte värt att skapa ett diagram utifrån. Istället konstateras det att u-värdet tappar betydelse med ökande radiatorandel och rumstemperatur.

6.3.3. Energianvändning för årlig uppvärmning

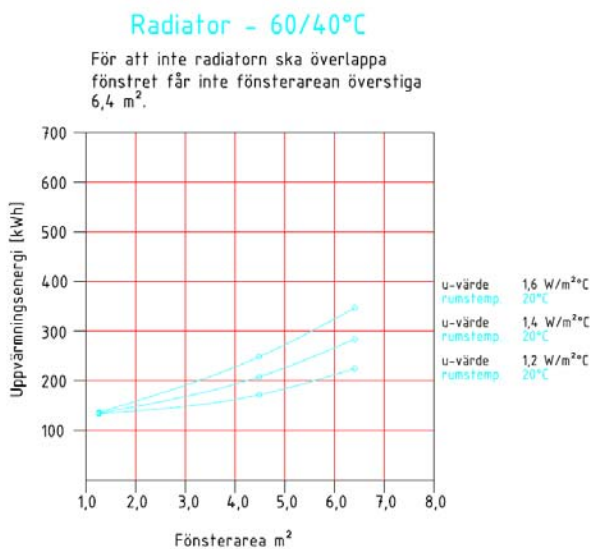
Energianvändningen är komplicerad. Detta på grund av att det finns så oerhört många faktorer som påverkar energianvändningen. Därför ska man inte stirra sig blind på siffrorna från vårt resultat. Det som vi vill lyfta fram och som var målet med denna rapport är istället skillnaden mellan olika u-värden och fönsterareor. Förhållandet mellan dessa blir ju desamma även om kanske inte siffrorna stämmer.

Diagrammen nedan visar den årliga energianvändningen för uppvärmningen av ett rum. Lägsta rumsluftstemperatur har valts till respektive u-värde och fönsterstorlek för att uppnå Boverkets och Socialstyrelsens råd. Diagrammen bli användbara främst när man jämför energianvändningen för olika u-värden eller för olika fönsterareor.



Figur 6.4 Uppvärmningsenergianvändning för ett rum med golvvärme eller konvektor över ett år

Motsvarande diagram med radiator som värmesystem visas nedan. För samtliga behandlade fönsterareor och u-värden räcker det med en rumslufttemperatur på 20°C, för att uppnå Boverkets och Socialstyrelsens råd. Jämförs uppvärmningsenergianvändningen med de övriga värmesystemen i ovanstående diagram konstateras det att radiatoren är ett fördelaktigt alternativ.



Figur 6.5 Uppvärmningsenergianvändning för ett rum med radiator över ett år

7. Diskussion och slutsats

Detta kapitel behandlar rapportens huvudområden. Vi diskuterar och redovisar resultat och slutsatser. Kapitlet är uppdelat i ett sommar- respektive vinterfall. Vi diskuterar våra tankar för att lösa problem vid byggnadsplanering. Dessa värderingar kommer säkerligen inte delas av samtliga parter inom byggnadsindustrin. Det finns idag stort intresse för att bygga med stora fönsterytor. Stora fönsterytor projekteras, vilket leder till försvårade värme- och ventilationsinstallationer.

7.1. Sommarfallet, diskussion och slutsats

Solen har störst påverkan på inomhusklimatet sommartid. Byggnaden dimensioneras efter den månad på året som har den högsta solstrålningseffekten. Effekten bygger på varaktighet och intensitet. Solinstrålningseffekten begränsas av solskyddsglas och solavskärmningar. Temperaturen inomhus regleras även i hög grad av tilluftstemperatur och tilluftsflöde.

Den slutliga diskussionen handlar om fönsterkonstruktionens möjligheter att varieras. Det är inte möjligt att bygga enorma fönster och samtidigt välja klarglas och icke öppningsbara fönster. Många gånger kan det vara ett krav att ha kombinationer med bra solfaktor på fönsterrutan och solavskärmning för att skapa ett bra termiskt klimat inomhus.

Slutprodukten av alla beräkningar och simuleringar är två diagram som vi hoppas ska utnyttjas som ett verktyg i den tidiga planeringen av projekt. Diagrammen visar fönsterstorlekens, solskyddsglasets och solavskärmningens inverkan på inomhusklimatet. Det är mycket utifrån dessa diagram vi för diskussionen och som vi hämtar våra slutsatser från.

Våra diagram bygger på ett bestämt rum, som vi själva konstruerat. Tanken var att efterlikna ett vanligt förekommande vardagsrum. Diagrammen kan därmed tyckas vara låsta till just vårt rum, men väntas fungera även om rummets geometri ändras.

Efter mängder med simuleringar lyckades vi komma fram till att sommarhalvåret hade två olika månader som var dimensionerande för olika väderstreck, vilket kanske kan låta lite märkligt. Anledningen till att det blir olika månader för olika väderstreck är solens rörelse.

IDA Klimat och Energi 3.0 har använts som simuleringsverktyg till i stort sett samtliga beräkningar. Programmet är ett bra hjälpmedel för att skapa en verklighetstrogen bild över de inomhusförhållanden som råder sommartid. IDA innehåller en väl utvecklad solmodell och är ett av de absolut bästa verktygen på marknaden idag, för just de beräkningar vi gjort.

Ska du bygga med stora fönster idag krävs det i regel bra solfaktor på rutan. När det talas om bra solfaktorer är det ofta tonade glas det handlar om. I extrema fall är det till och med helt speglade glas, från utsidan som behövs. Därmed släpper inte fönstret igenom lika mycket ljus som arkitekten kanske vill, och som många gånger är arkitektens grundtanke.

Byggnader med stora fönsterytor i klarglas blir för ljusa. Solen måste därför skärmas bort. Finns det ingen yttre solavskärmning eller mellanglaspersienn måste rummet mörkläggas med en invändig solavskärmning. Detta leder till att de stora fönsterytorna helt tappar sitt syfte. Stora fönster fyller ingen funktion då de, för att skapa acceptabla inomhusförhållanden, tvunget måste vara fördragna under dagens ljusa timmar.

7.2. Vinterfallet, diskussion och slutsats

Det som vi utgick ifrån på vinterfallet var att jämföra Boverkets och Socialstyrelsens råd på lägsta temperatur. Som vi skrivit tidigare hade Boverket en riktad operativ temperatur på 18°C och Socialstyrelsen en operativ temperatur på 20°C. Det vi observerade under våra beräkningar var att dessa temperaturer i de flesta fall följdes åt väldigt bra.

När det gäller energianvändningen i denna rapport så kan vi konstatera att den är mycket svår att beräkna. Eftersom det är så väldigt många parametrar som spelar in så är det svårt att få ett verklighetstroget resultat. Internlaster som exempel, kan skilja mycket beroende på hur många som bor i lägenheten. Det kan vara allt från en ensamstående man eller kvinna till en barnfamilj. Dessa två fall skiljer sig oerhört mycket när det gäller energianvändning.

Barnfamiljen använder mycket mer varmvatten till exempel. De har säkerligen också mer maskiner, apparater och belysning på under dygnet. Detta kompenseras dock genom att en ensamstående kanske behöver mer radiator effekt vintertid. En annan sak som är mycket svårt att förutse vid dimensionering är om det vädras någonting, det vill säga om eller hur ofta folk öppnar sina fönster. Är det minusgrader ute och det öppnas fönster läcker mycket värme ut. Detta behöver kompenseras med mer värmeenergi.

Skillnaden i energianvändning med olika fönstertyper och u-värden syns tydligt. Det intressanta är att se förhållandet mellan dessa värden. Diagrammen visar enkelt vilken betydelse ett bättre u-värde har.

Extrakostnaden under byggnadsprocessen, då en dyrare fönsterkonstruktion väljs, bör ganska fort sparas in till följd av sänkta energianvändningskostnader. Minskad energianvändning är även positivt ur miljösynpunkt.

Solskyddsglas är intressant när energianvändningen för ett helt år studeras. Den positiva effekten sommartid förvandlas till en negativ inverkan under eldningssäsongen. Vintertid vill man ha in så mycket värme som möjligt, för att på så sätt kunna minska på uppvärmningskostnaderna. Våra undersökningar om solens intensitet och varaktighet visar att det under till exempel mars månad är förhållandevis mycket sol. Denna solenergi går man miste om, om man har byggnader med bra solskyddsglas.

Diagrammet i bilaga 14 visar att den årliga energianvändningen för ett rum, med ett solskyddsglas och en ytterfasad mot söder, är så mycket som 60 % högre än rummet med klarglas. Detta gör att det är diskutabelt om det, i Sverige, är fördelaktigt att använda sig av det bästa solskyddsglas. Bostäder har i de allra flesta fall ingen mekanisk kylning sommartid. Detta betyder att det ur energisynpunkt inte går att dra någon nytta av solskyddsglasets solavskärmning. Därmed syns endast den negativa effekten under vinterhalvåret.

I kontor som ofta har mycket internlast och kyls sommartid är solskyddsglas en klar fördel. Det kostar mer att kyla en grad än att värma en grad. Detta leder till att kylkostnaderna för en byggnad är i regel högre än kostnaderna för att värma den.

8. Referenser

8.1. Litteratur

Josefsson, W (1987) *Solstrålning i Sverige – Tids- och rumsfördelning*. R112:1987, Stockholm: Statens råd och byggnadsforskning. ISBN 91-540-4824-9

Hector, M C (1996) *Värmeisolering och termiskt rumsklimat*. Stockholm: Svenskt Tryck AB. ISBN 91-7332-786-7

Pettersson, B-Å (2004) *Tillämpad byggnadsfysik*. (Andra upplagan). Lund: Studentlitteratur. ISBN 91-44-03-706-6

Sternander, J och Thoursie A (2000) *Värme- och kylbehovsberäkning med simuleringssverktöget IDA – Studie av alternativa klimathållningssystem för en universitetsbyggnad*. E 157:2000, Göteborg: Chalmers tekniska högskola, installationsteknik. ISSN 1400-9552

Gavhed, D och Holmér, I (2006) *Det termiska klimatet på arbetsplatsen*. (Redigerad utgåva). Lund: Studentlitteratur ISSN 1401-2928

8.2. Elektroniska källor

<http://www.equa.se> (25-04-07)

<http://www.pilkington.com/europe/sweden/swedish/building+products/glasfakta/default.htm> (25-04-07)

<http://www.emmabodaglas.se/> (15-03-07)

<http://www.smhi.se/> (12-02-07)

<http://www.thermopanel.se/> (23-04-07)

<http://www.socialstyrelsen.se/NR/rdonlyres/3EFC6BDA-2900-4977-815A-BC6197C996E8/4256/20051016.pdf> (19-02-07)

<http://www.boverket.se/templates/Page.aspx?id=2332&epslanguage=SV> (19-02-07)

<http://www.viivilla.se/articles.asp?articleid=1058> (22-04-07)

http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_vxu_diva-892-2__fulltext.pdf (21-02-04)

8.3. Figurförteckning

Kapitel 1

Tabell 1.1 Skattningsskala för upplevelsen av temperaturen

Figur 1.1 PPD % och PMV för ett bestämt rum

Kapitel 2

Figur 2.1 Faktorer som är av vikt i en byggnads värmebalans

Figur 2.2 Temperaturvariationen över ett dygn för en tung respektive lätt stomkonstruktion

Figur 2.3 Definitionen av solhöjd och asimut

Figur 2.4 Solens intensitet för de mest intressanta månaderna

Figur 2.5 Solens varaktighet och intensitet i mars månad

Figur 2.6 Solens varaktighet och intensitet i augusti månad

Figur 2.7 Solens varaktighet och intensitet för de dimensionerande månaderna

Figur 2.8 Modell över solenergitransmittansen genom en enkel fönsterkonstruktion

Figur 2.9 Belagt solskydds- och energisparglas <http://www.pilkington.se> (25-04-07)

Kapitel 3

Tabell 3.1 Rekommendationer för inneklimat enligt SS EN ISO 7730

Kapitel 4

Figur 4.1 Exempel på en simulering i IDA Klimat och Energi 3.0

Kapitel 5

Figur 5.1 Dimensioner för rummet som används vid simulering

Figur 5.2 Ytterväggskonstruktion

Figur 5.3 Exempel på tillämpning av rumsluftsdiagram

Figur 5.4 Exempel på tillämpning av luftflödesdiagrammet

Kapitel 6

Figur 6.1 Räkneexempel på u-värde

Figur 6.2 Exempel på beräkning av operativ temperatur med MaxKomfort 0,8

Figur 6.3 Exempel på tillämpning av u-värdesdiagrammet

Tabell 6.1 Erforderliga u-värden för att uppfylla Boverket och Socialstyrelsens råd

Figur 6.4 Uppvärmningsenergianvändning för ett rum med golvvärme eller konvektor över ett år

Figur 6.5 Uppvärmningsenergianvändning för ett rum med radiator över ett år

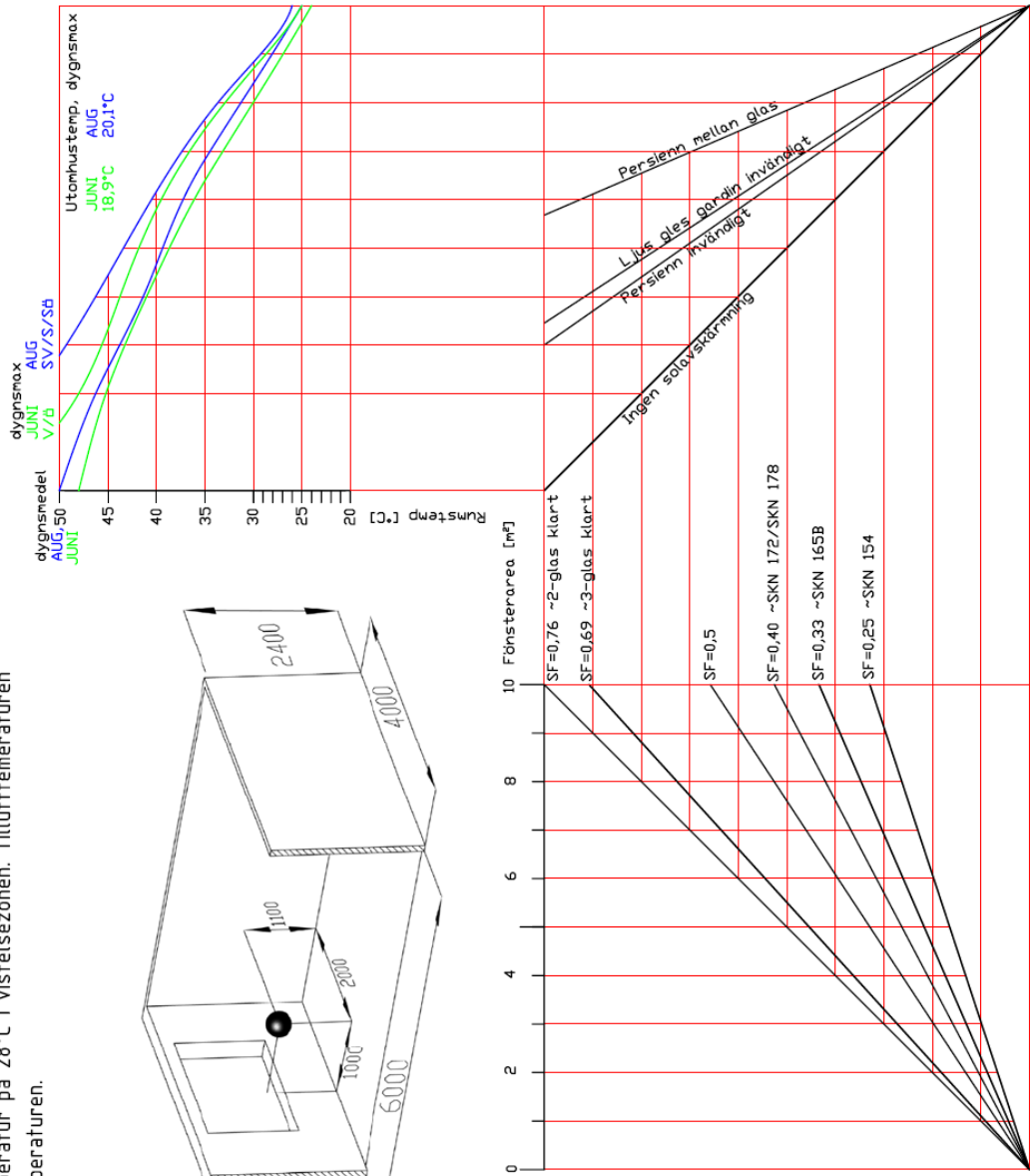
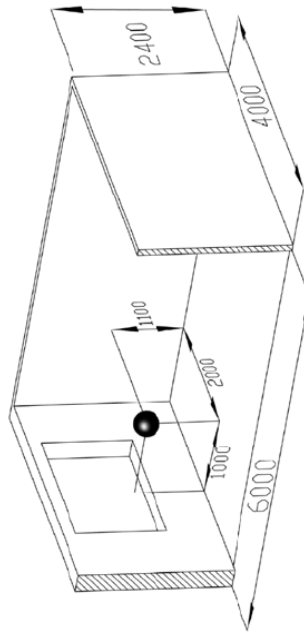
Bilagor

- Bilaga 1** Temperaturdiagram för dimensionerande sommarmånad
- Bilaga 2** Flödesdiagram för dimensionerande sommarmånad
- Bilaga 3** U-värdesdiagram för dimensionerande vintermånad
- Bilaga 4** Solinstrålning månadsvis
- Bilaga 5** Varaktighetsdiagram dimensionerande sommarmånad
- Bilaga 6** Temperatur beroende av fönsterandel
- Bilaga 7** Solinstrålning beroende av solfaktor
- Bilaga 8** Rumstemperatur beroende av fönsterandel och solfaktor
- Bilaga 9** Solinstrålning beroende av fönsterandel och solfaktor
- Bilaga 10** Rumstemperatur beroende av fönsterandel och inre solavskärmning
- Bilaga 11** Solinstrålning beroende av fönsterandel och inre solavskärmning
- Bilaga 12** Temperatur och solinstrålning beroende av fönsterandel och u-värde
- Bilaga 13** Årlig uppvärmningsenergi beroende av fönsterarea och u-värde
- Bilaga 14** Årlig uppvärmningsenergi beroende av väderstreck och fönsterglas

Bilaga 1. Temperaturdiagram för dimensionerande sommarmånad

Göteborg, sommar

Diagram med sambanden mellan solfaktorer för fönster och solavskärmning med avseende på tilluftsflöde för att skapa en operativ temperatur på 28°C i vistelsezonen. Tillufttemperaturen följer utetemperaturen.



Motivet med diagrammet är att ge en fingervisning på hur fönsterkonstruktionens storlek och utformning har för betydelse för inomhusklimatet. Diagrammet visar rumstemperaturen för ett rum i Göteborg en klar sommardag. Observera att rummet är helt tillslutet med endast till- och frånluftslödet som luftombyte. Mätpunkten är placerad enl. figur.

INDATA

INTERNLASTER

En person, en taktampa
Maskiner genererar 150W

OMSLUTANDE YTOR

Yttervägg, lätt konstruktion u-värde = 0,18
Innervägg, lätt konstruktion

UTEKLIMAT

Taalster, R (1972) Klimatdata för Sverige

SOLMODELL

ASHRAE Fundamentals 2001

Ingen härsyn has till inliggande bebyggelse och markförhållanden.

Augusti är dimensionerande månad för SV, S och SO. Juni är dimensionerande för V och Ö.

Norr fasader försummas då de aldrig är dimensionerande för en byggnad sommartid.

Vald solfaktor motsvarar värden på vanliga standardglas på marknaden.

Solavskärmningsförmågan hos de invändiga solavskärmningarna kan variera kraftigt med montage och fabrikat. Tankbara kombinationer av olika solavskärmningar behandlas inte i diagrammet.

TEMPERATURSTUDIE

Vardagsrum, Göteborg

BYGGTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

REDAV

Karl Ahlberg, Marcus Inalien

HANDLÄGGARE

Max Tillberg

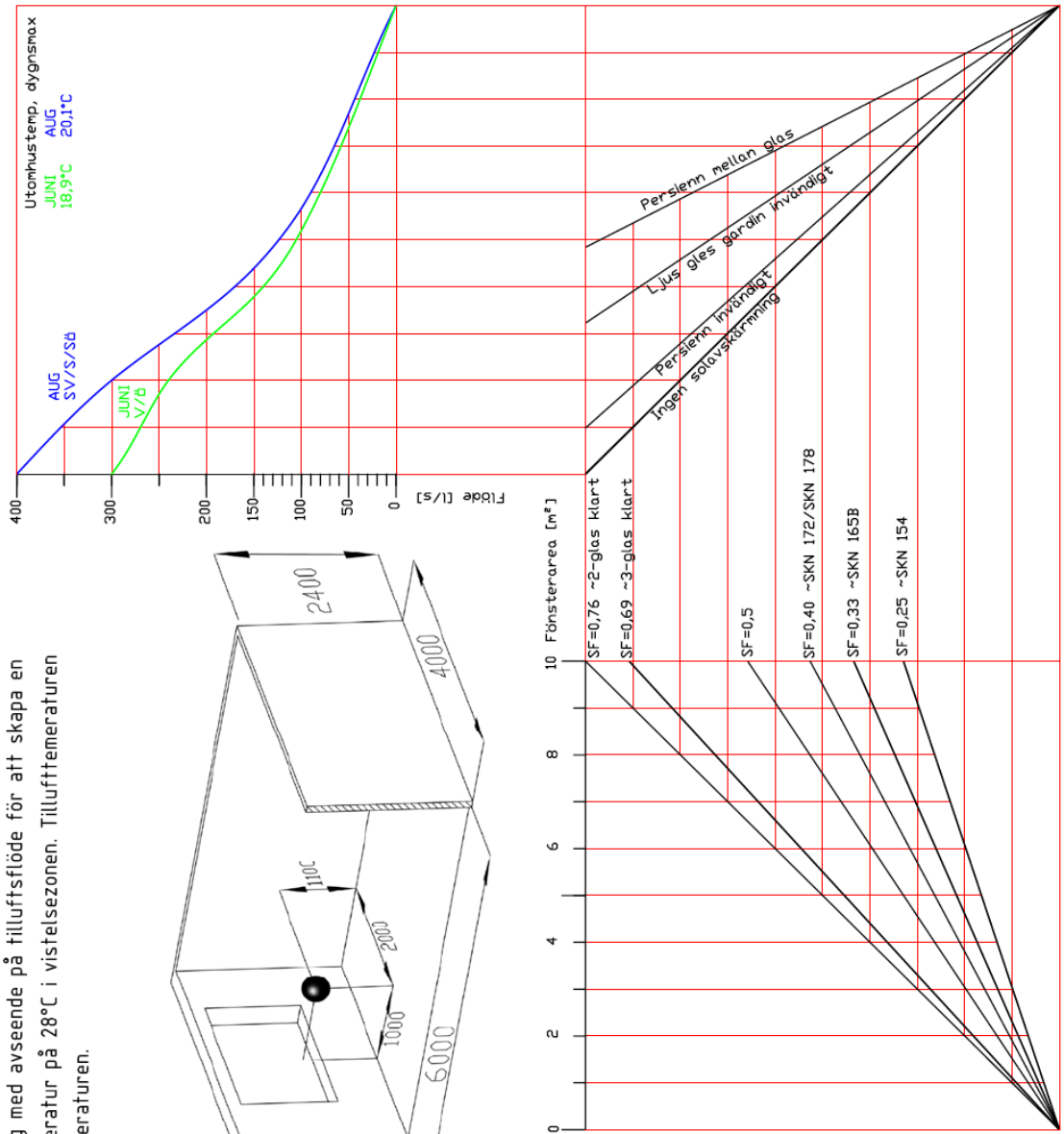
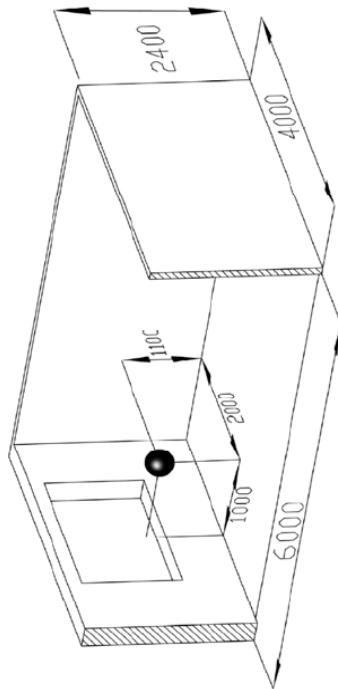
DATUM

2007-05-07

Bilaga 2. Flödesdiagram för dimensionerande sommarmånader

Göteborg, sommar

Diagram med sambanden mellan solfaktorer för fönster och solavskärmning med avseende på tilluftsflöde för att skapa en operativ temperatur på 28°C i vistelsezonen. Tillufttemperaturen följer utetemperaturen.



Motivet med diagrammet är att ge en fingervisning på hur fönsterkonstruktionens storlek och utformning har för betydelse för inomhusklimatet. Diagrammet är konstruerat så att den operativa rumstemperaturen är 28°C, enligt SOS FS 2005:15. Endast tilluftsflödet varierar för att kompensera variationer i fönsterkonstruktionen. Observera att rummet är helt tillslutet med endast till- och frånluftslödet som luftombyte. Mätpunkten är placerad enl. figur.

INDATA

INTERNLÅSTER
En person, en taklampa
Maskiner genererar 150W

OMSLUTANDE YTOR
Yttervägg, lätt konstruktion u-värde = 0,18
Innervägg, lätt konstruktion

UTEKLIMAT

Testler: R (1972) Klimatdata för Sverige

SOLMODELL
ASHRAE Fundamentals 2001

Ingen hänsyn tas till inbilligande bebyggelse och markförhållanden.

Augusti är dimensionerande månad för SV, S och SO. Juni är dimensionerande för V och Ö. Norrfasader försummas då de aldrig är dimensionerande för en byggnad sommartid.

Vald solfaktor motsvarar värden för standardglas på marknaden.

Solavskärmningsförmågan hos de inbyggda solavskärmningarna kan variera kraftigt med montage och fabrikat. Tankbara kombinationer av olika solavskärmningar behandlas inte i diagrammet.

LUFTFLÖDESSTUDIE

Vardagsrum, Göteborg

BYGGTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

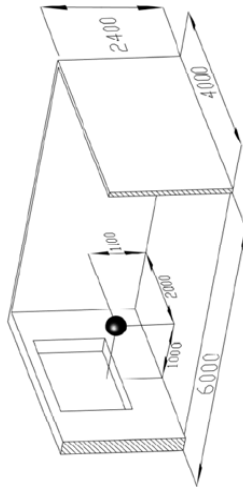
RITAD AV
Karl Arlberg, Marcus Isulin

DATUM
2007-05-07

HANDLÄGGARE
Max Tillberg

Bilaga 3. U-värdesdiagram för dimensionerande vintermånad

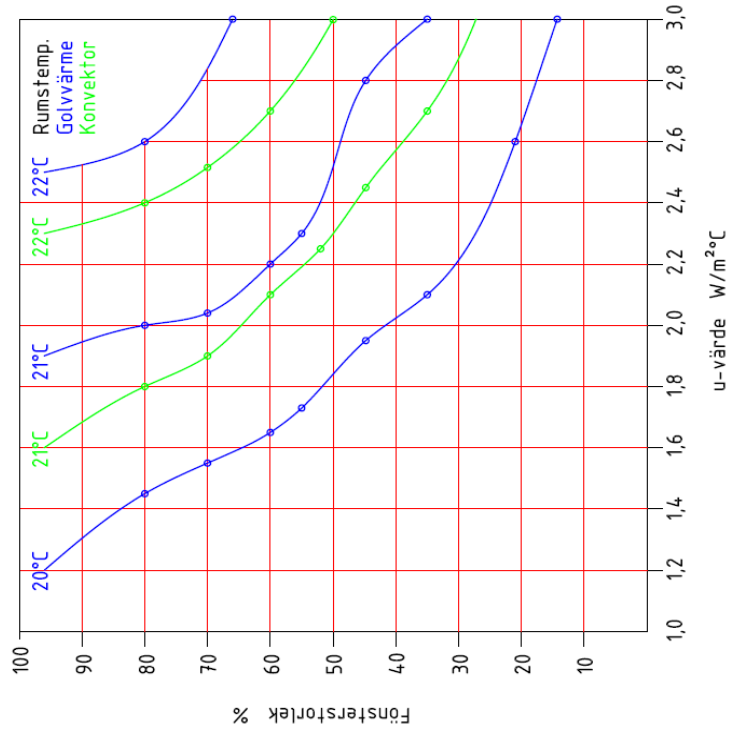
Göteborg, vinter



Sämsta möjliga u-värde för olika fönsterstorlekar då Boverkets och Socialstyrelsens råd för termiskt klimat, uppnås..

Boverket, 18°C riktad operativ temperatur
Socialstyrelsen, 20°C operativ temperatur

Kurvorna visar rumslufttemperaturen för två olika värmesystem.



Diagrammet är tänkt att ge en fingervisning på fönsterarean och u-värdets påverkan på inomhusklimatet. Det visar högsta tillåtna u-värde i fönsterkonstruktionen för ett rum i Göteborg en kall vinterdag. Mätpunkten är placerad enl. figur.

INDATA

OMSLUTANDE YTOR
Ytflervägg, u-värde = 0.2 W/m²K

UTEKLIMAT

Ute temperatur = konstant -16°C.

BERÄKNINGSMODELL

Beräkning enligt SSN-80 (Byggsvårledning 8)
Värmeisolering och termiskt rumsklimat.

Inget strålningsutbyte mellan väggar

U-VÄRDE

Vardagsrum, Göteborg

BYGGTEKNIK

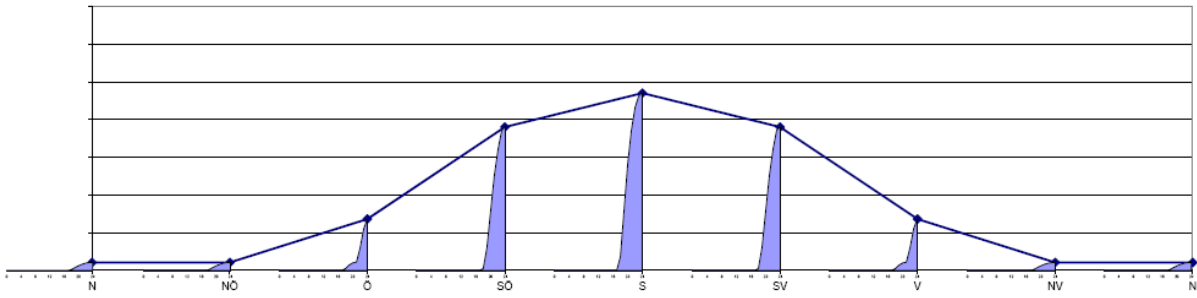
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

BYGGD AV
Karl-Arne Berg, Marcus Insulm
Nils Tibbeng

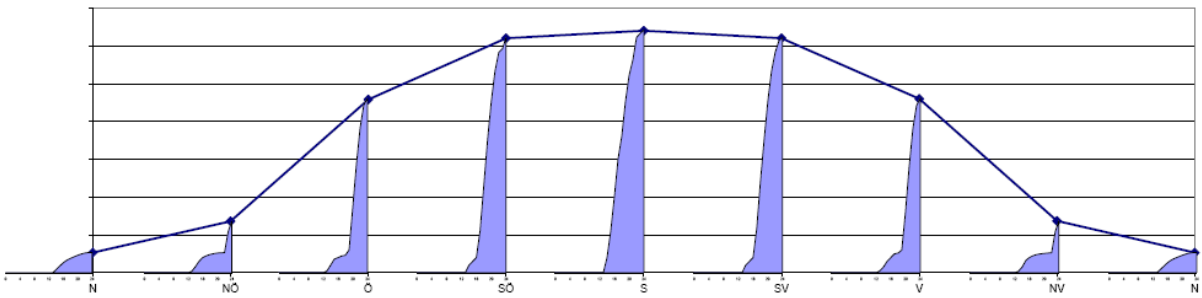
HÄNDELÄGGARE
DATUM
2007-05-04

Bilaga 5. Varaktighet och intensitet för solinstrålningen för olika månader

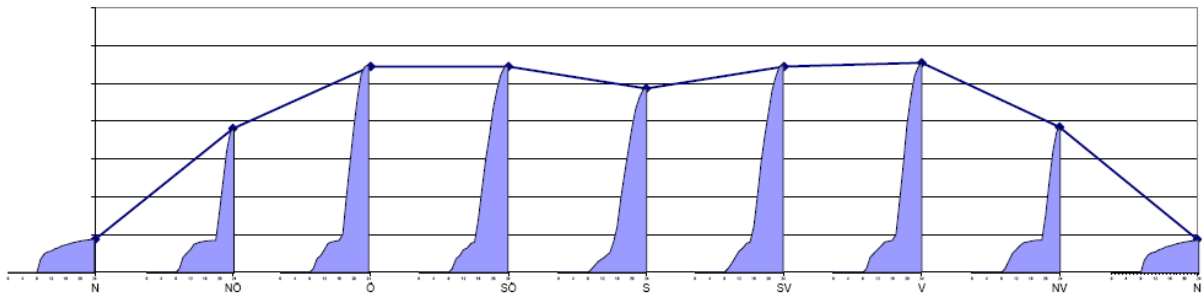
Januari



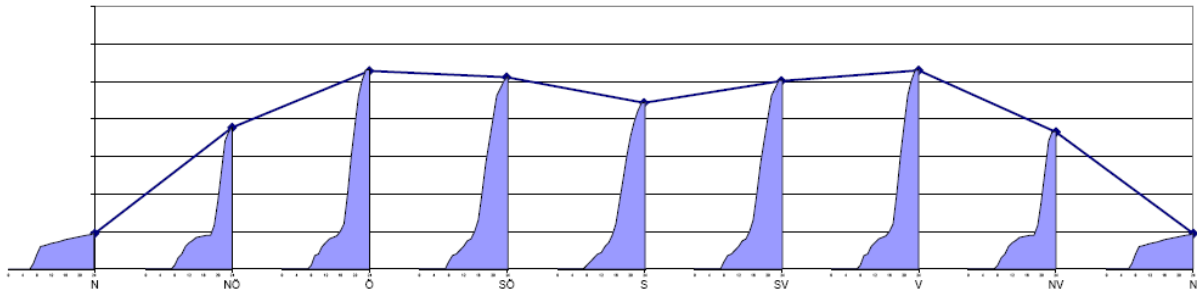
Mars



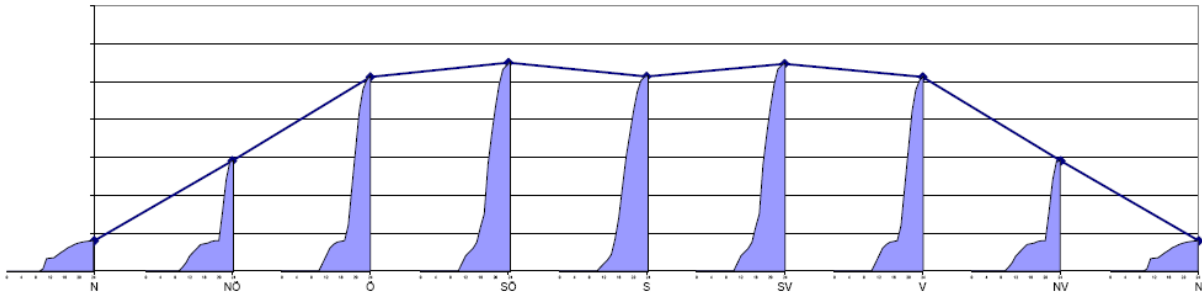
Maj



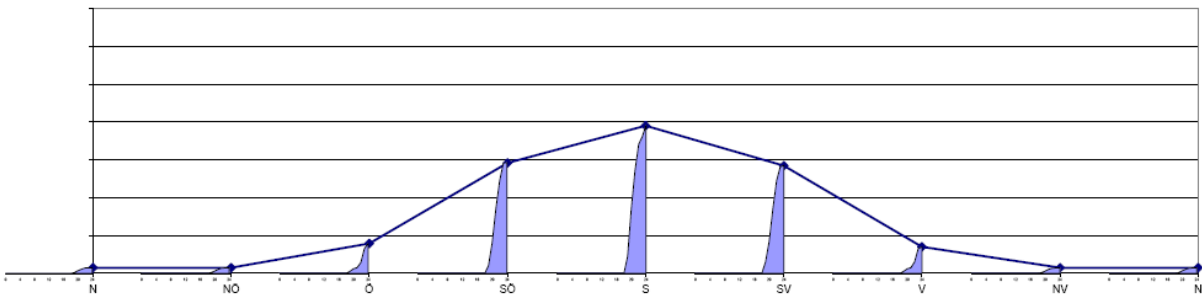
Juni



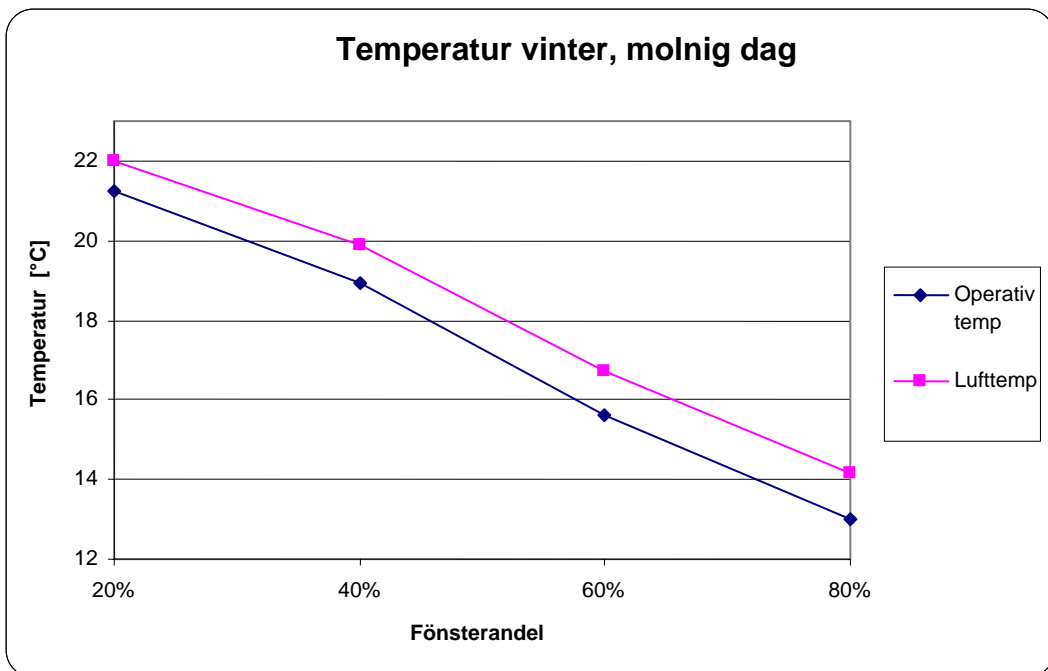
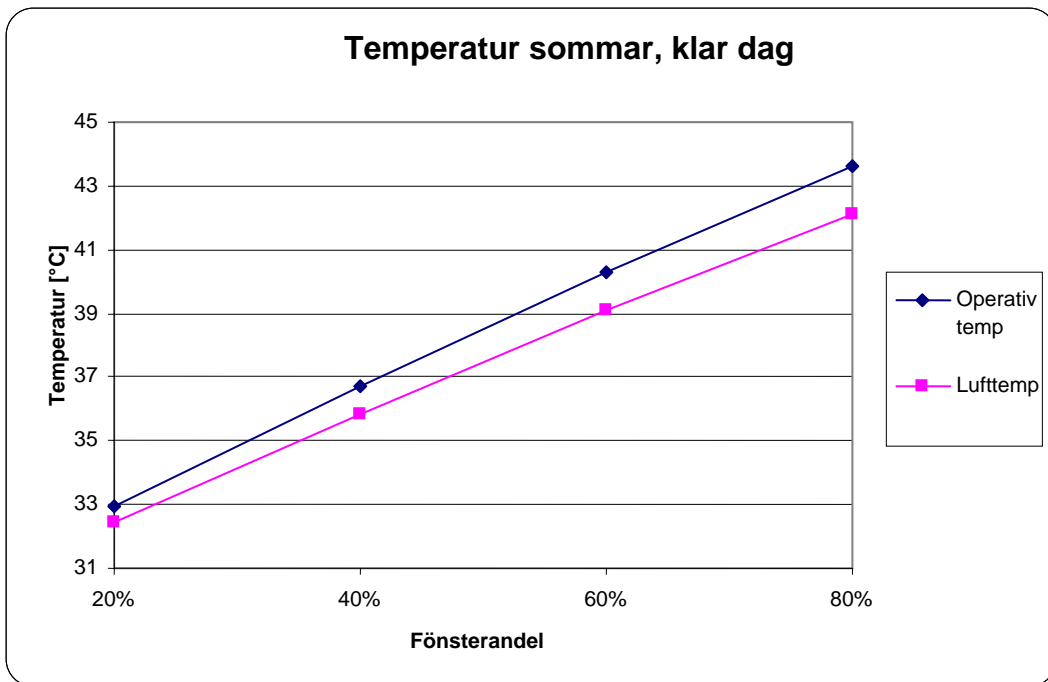
Augusti



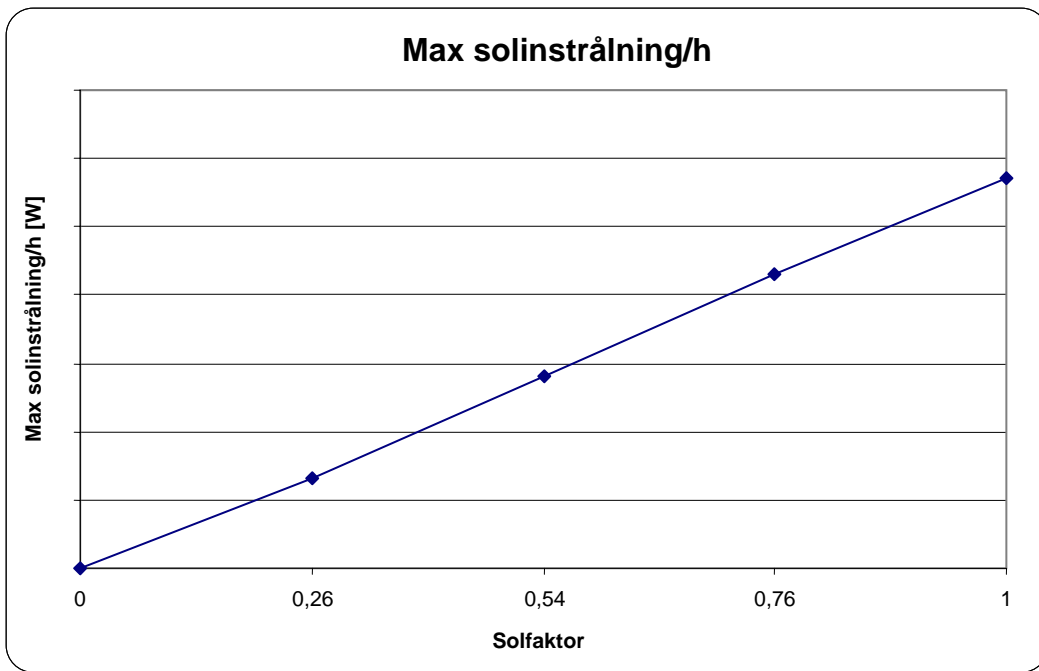
December



Bilaga 6. Temperatur beroende av fönsterandel

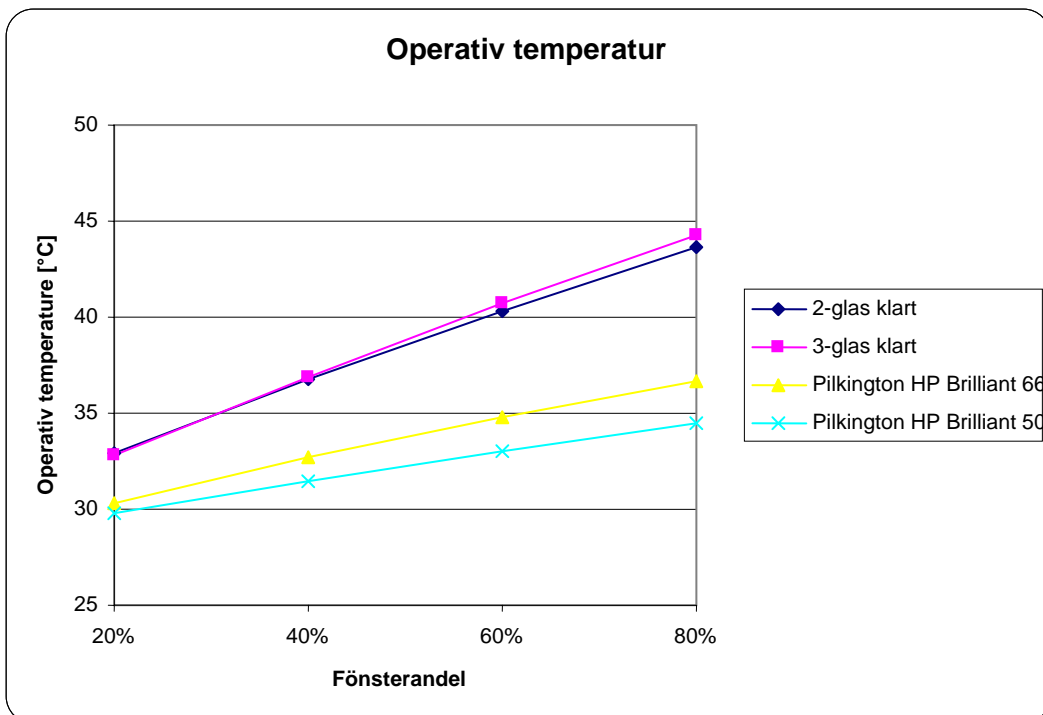
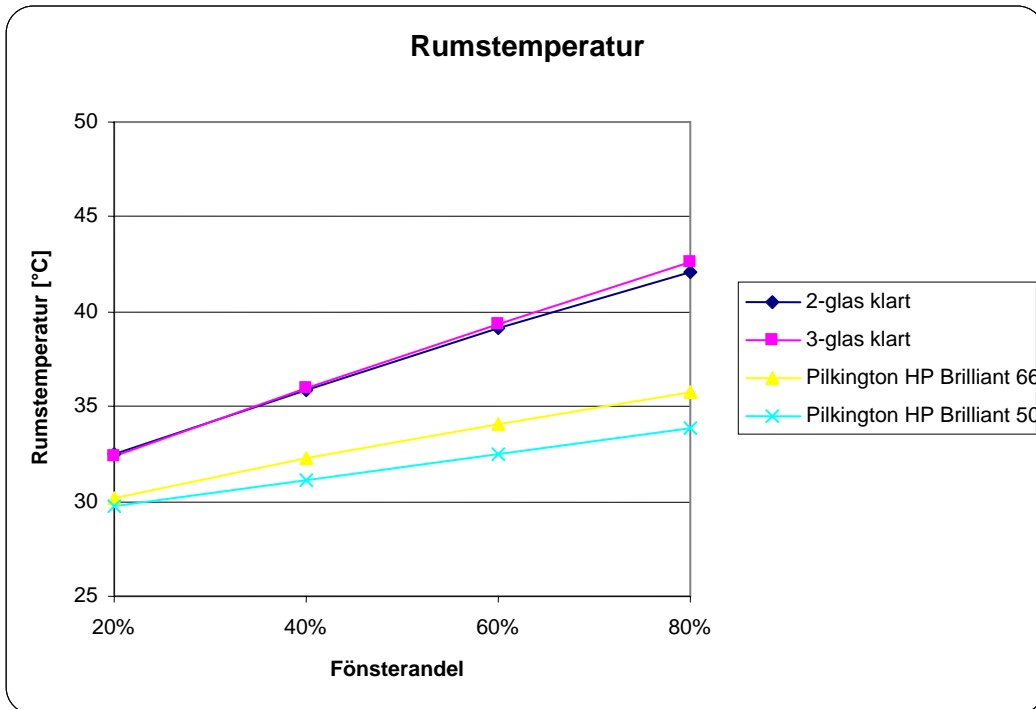


Bilaga 7. Solinstrålning beroende av solfaktor

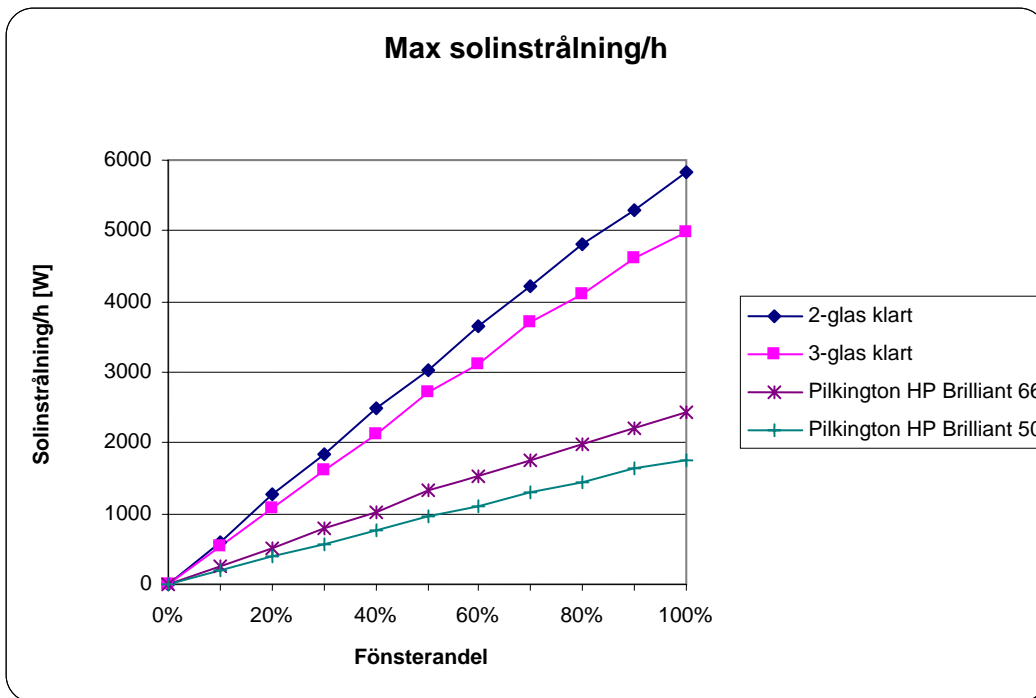


Solfaktor	Glasexempel
0,26	Pilkington HP Suncool Brilliant 50
0,54	Saint-gobain Floatglas
0,76	2-glas klart

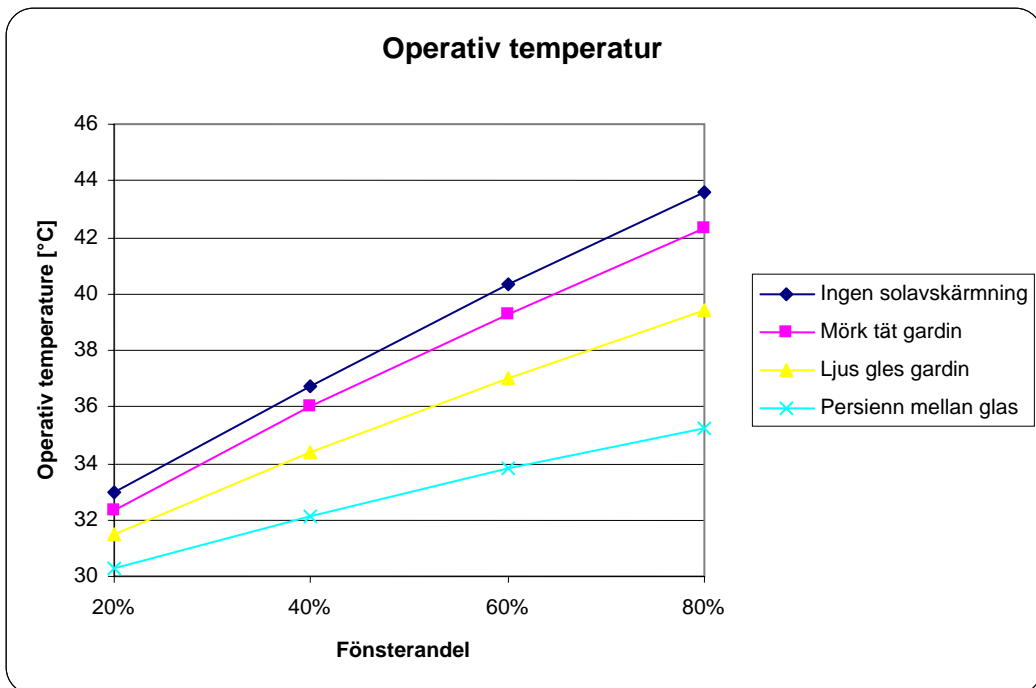
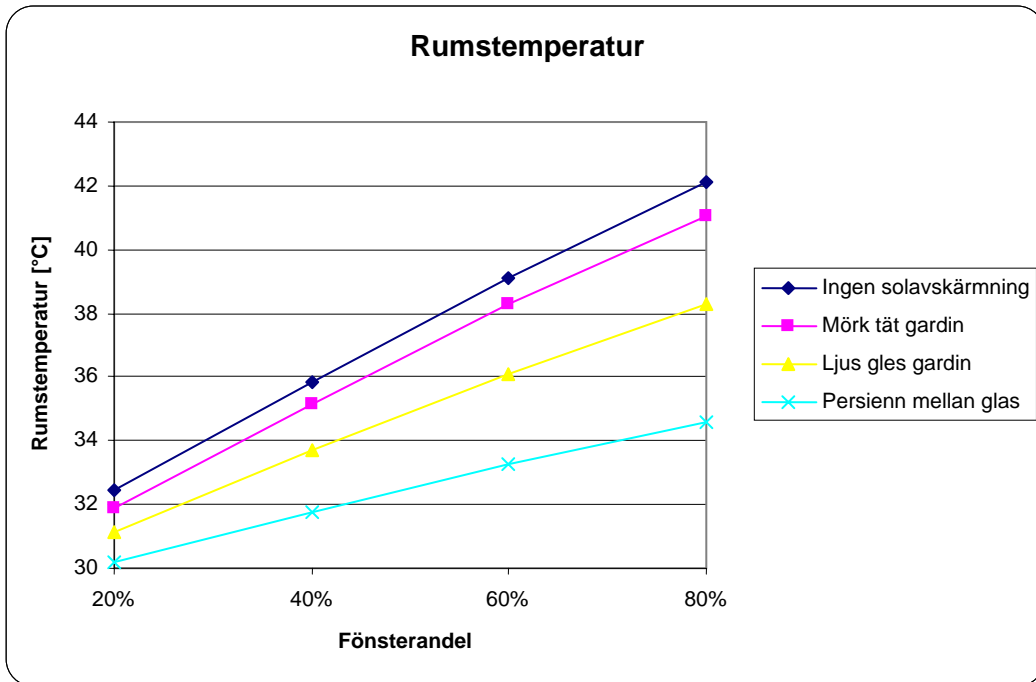
Bilaga 8. Rumstemperatur beroende av fönsterandel och solfaktor



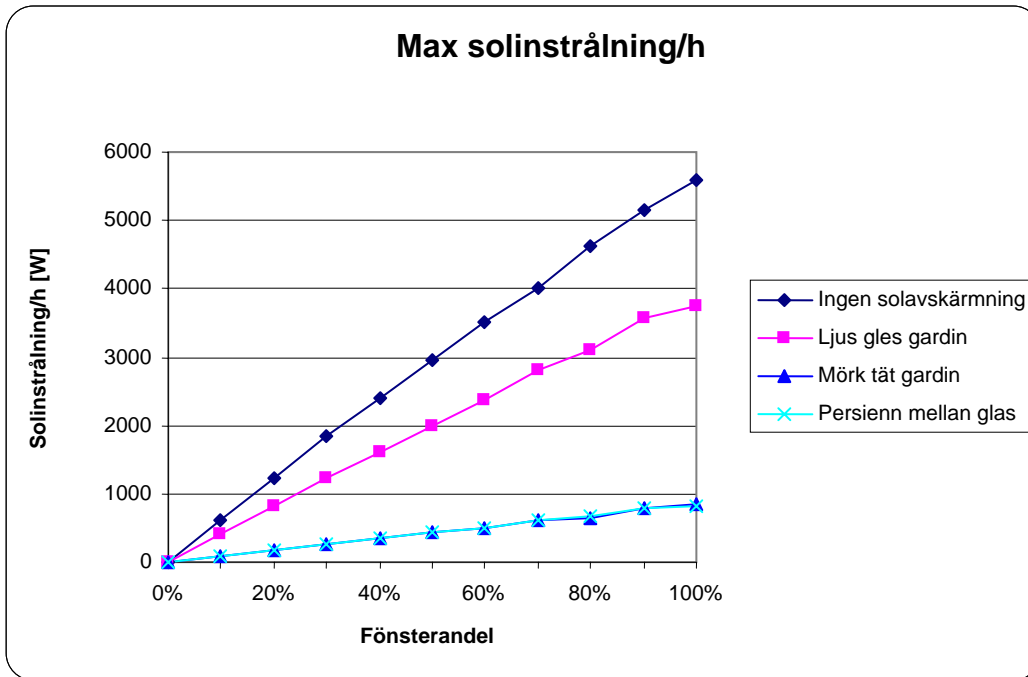
Bilaga 9. Solinstrålning beroende av fönsterandel och solfaktor



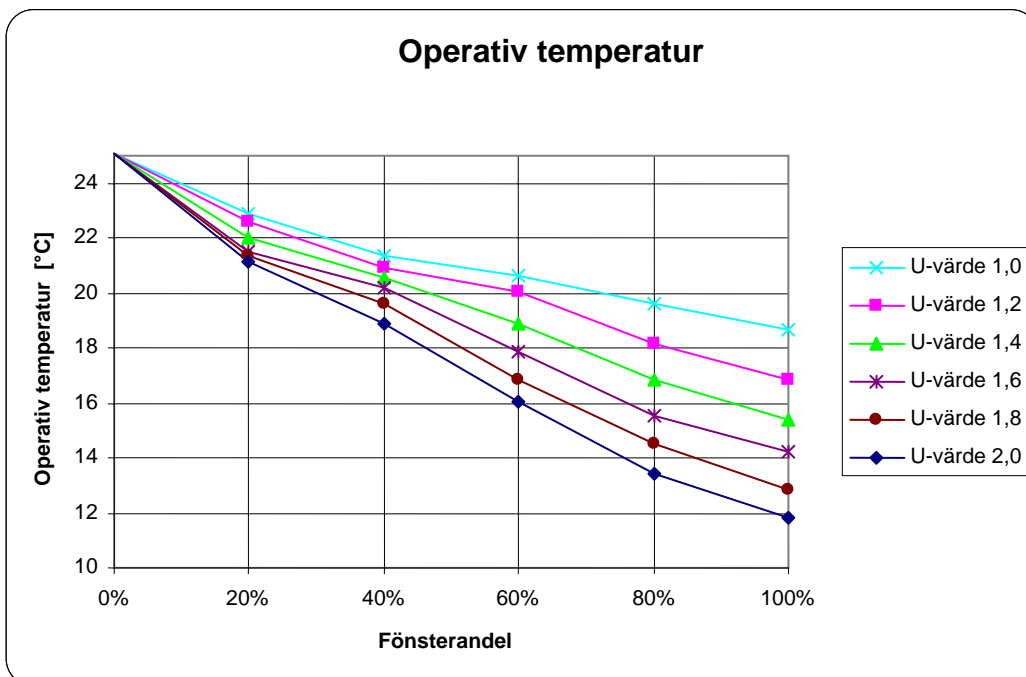
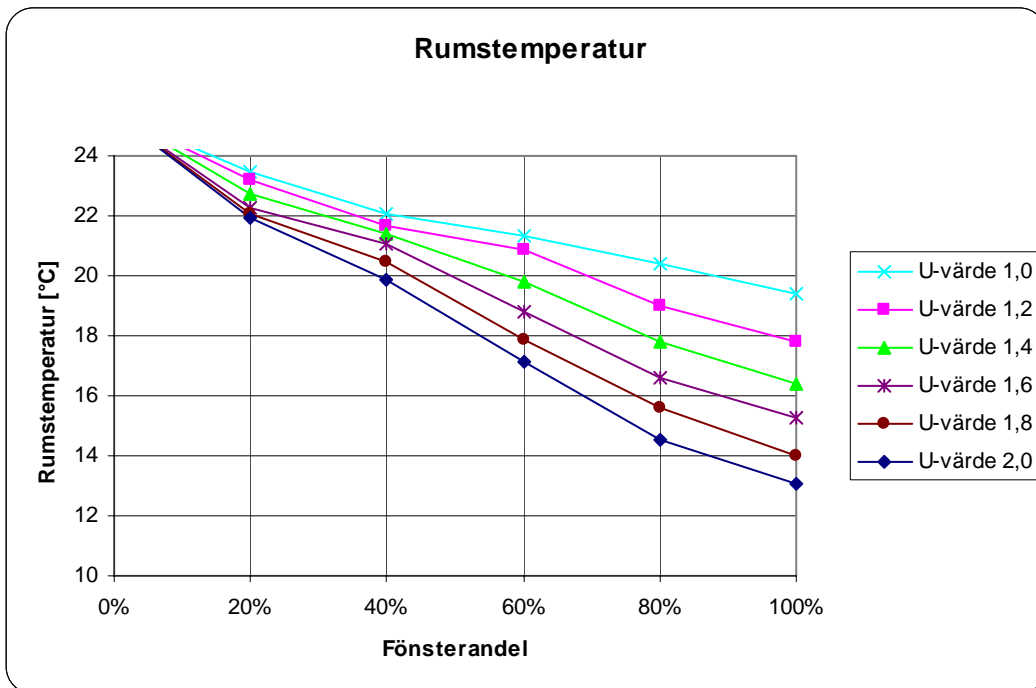
Bilaga 10. Rumstemperatur beroende av fönsterandel och inre solavskärmning



Bilaga 11. Solinstrålning beroende av fönsterandel och inre solavskärmning



Bilaga 12. Temperatur och solinstrålning beroende av fönsterandel och u-värde

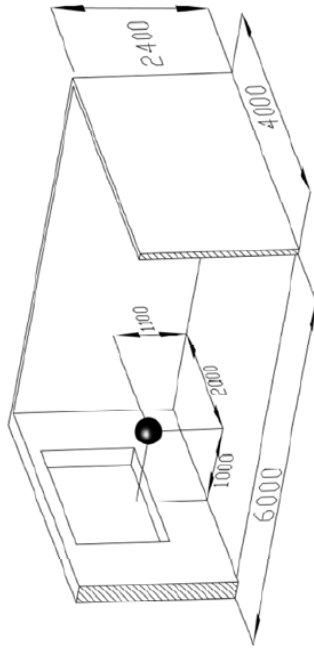


Bilaga 13. Årlig uppvärmningsenergi beroende av fönsterarea och u-värde

Göteborg, vinter

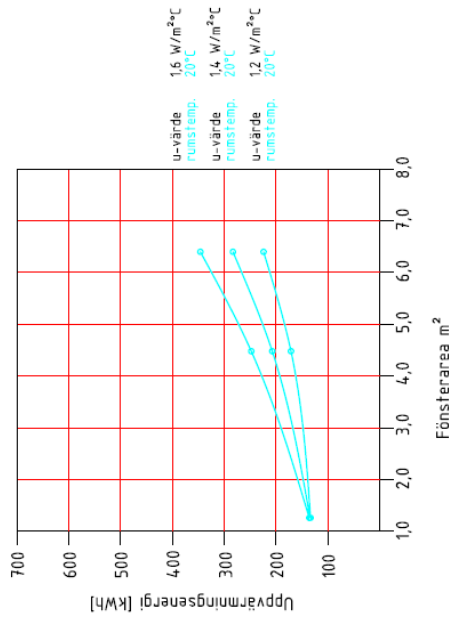
Diagrammen visar förbrukad uppvärmningsenergi över ett år. Linjerna i diagrammet representerar lägsta u-värde vid en bestämd temperatur för att klara Boverkets och Socialstyrelsens råd.

Boverket ROT 18°C
Socialstyrelsen OT 20°C



Radiator – 60/40°C

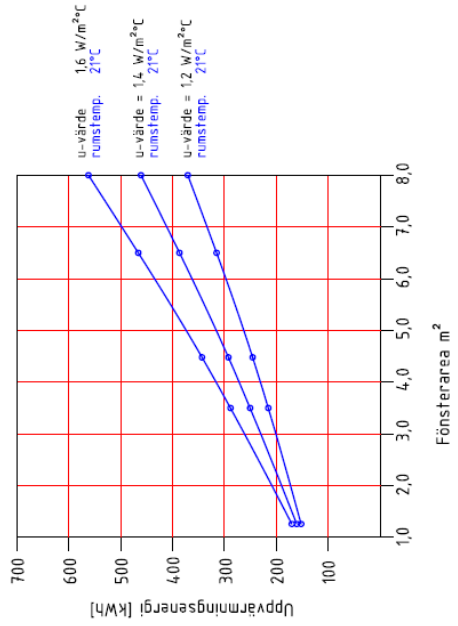
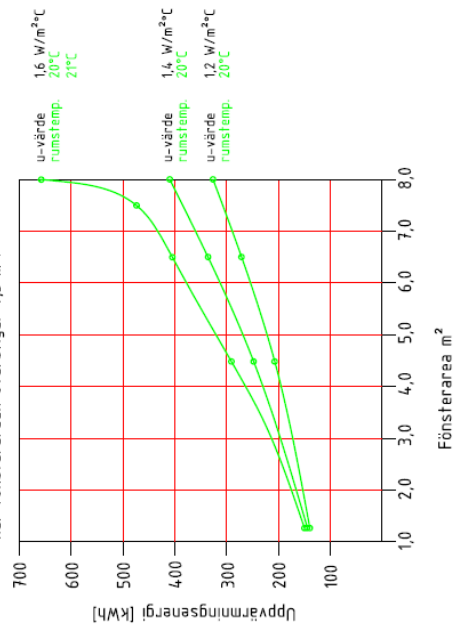
För att inte radiatorn ska överlappa fönstret får inte fönsterarean överstiga 6,4 m².



Konvektor – 60/40°C

Golvvärme – yttretemperatur 26°C

Observera att rumstemperaturen för golvvärmesystemet måste höjas till 21°C när fönsterarean överstiger 7,5 m².



Diagrammet är tänkt att ge en fingervisning på fönsterarean och u-värdets påverkan på den årliga energiförbrukningen. Rummet värms under eldningssäsongen men har ingen mekanisk kylning sommartid. Diagrammet visar sämsta tillåtna u-värde och lägsta möjliga rumstemperatur. Mätpunkten är placerad enl. figur.

INDATA

OMSLUTANDE YTOR
Yttre vägg, u-värde = 0,2 W/m²·K

UTEKLIMAT

Säve 1977 – klimatdata från SMHI

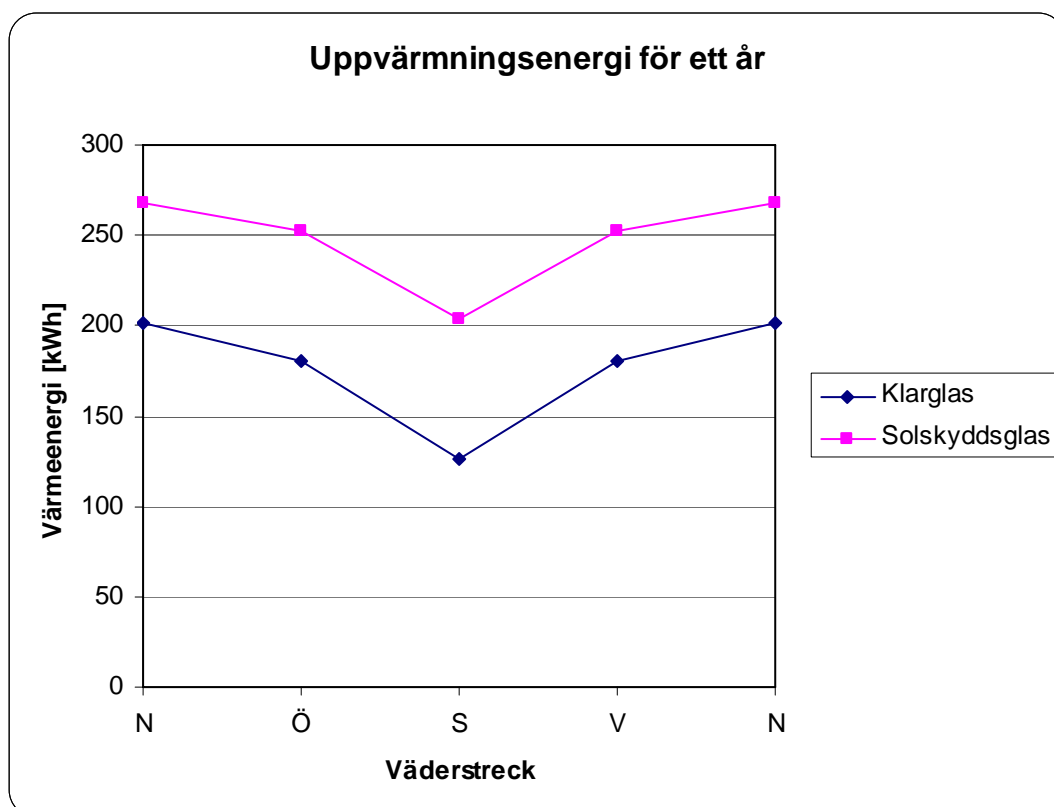
Uppvärmningsenergi

Vardagsrum, Göteborg

BYGGTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

RIFAD AV
Kerf Ahlberg, Markus Isaksson
DATUM
2007-05-14

Bilaga 14. Årlig uppvärmningsenergi beroende av väderstreck och fönsterglas



	Klarglas	Solskyddsglas (Pilkington Suncool HP Brilliant 50)
u-värde	1	1
sofaktör	0,76	0,25