

# Jämförelse av miljöklassningssystem och simuleringsmetoder för bedömning av dagsljus

– tillämpat i ett svenskt passivhus



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Institutionen för Arkitektur och byggd miljö, Avdelning Energi och Byggnadsdesign

Examensarbete:  
Emma Boberg  
Anna Savolainen



© Copyright Emma Boberg, Anna Savolainen

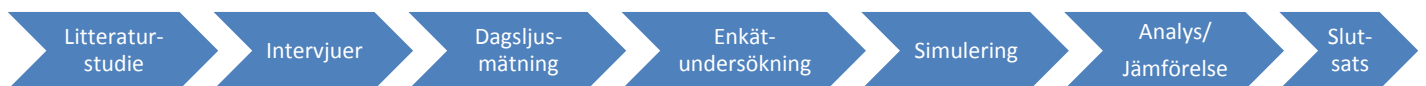
LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

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

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2012

# Sammanfattning

- Titel:** Jämförelse av miljöklassningssystem och simuleringsmetoder för bedömning av dagsljus – tillämpat i ett svenskt passivhus
- Författare:** Emma Boberg och Anna Savolainen, Byggteknik med inriktning Arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola.
- Handledare:** *Helena Bülow-Hübe*, Miljö – och energichef, tekn. Dr, FOJAB arkitekter.  
*Staffan Premmert*, Arkitekt, Sweco.
- Frågeställningar:** Vad har dagsljuset för betydelse för människans hälsa?  
Hur stor betydelse har olika lösningar för en bostad?  
Hur stora är skillnaderna mellan olika simuleringsprogram och dess resultat?  
Hur skiljer sig miljöklassningssystemen?
- Syfte:** Syftet med undersökningen i examensarbetet är att ta reda på om det kommer in tillräckligt med dagsljus i en bostad. Vi tänker också jämföra tre olika miljöklassningssystem för att se hur kriterierna för dagsljus skiljer sig. Undersökningen innefattar även skillnaden i resultatet från tre simuleringsprogram.
- Metod:**



- Slutsatser:** Takfönster släpper in tre gånger mer dagsljus än ett fönster i fasaden, nackdelen är dock att det liknar artificiellt ljus. Ökad reflektans på ytskikten för dagsljuset längre in i rummet. Att ta bort hinder, till exempel skiljeväg och balkong, gör att mer ljus släpps in.
- Daysim är komplicerat och fungerar inte vid dagsljusberäkning av stora byggnader. I Velux Daylight Visualizer kan pedagogiska och verklighetstroga simuleringar av dagsljus i ett rum

utföras, men inte tillförlitliga beräkningar. Autodesk 3ds Max Design fungerar bra vid beräkning av stora komplicerade byggnader och kan rendera bilder som kan användas vid ansökan av miljöklassning och vid kommunikation inom ett projekt. Att räkna för hand med hjälp av boken *Räkna med dagsljus* är gammaldags och tidskrävande och inget att rekommendera.

Jämförelse av resultaten från de olika programmen visar att det inte skiljer speciellt mycket mellan dem. Det kan ändå ha viss betydelse vilket används om man vill bli godkänd vid miljöklassning.

Vid beräkning av dagsljus i BREEAM och LEED använder man sig av olika stora rutnät och räknar därefter ut ett medelvärde. I Miljöbyggnad jämförs två punkter i ett rum. I LEED och BREEAM kan resultatet styras genom olika placering av rutnätet.

**Nyckelord:**

Dagsljus, miljöklassningssystem, BREEAM, LEED, Miljöbyggnad, simulering.

## Abstract

- Title:** Comparison of certification criteria and simulation methods for assessment of daylight conditions – applied in a Swedish passive house
- Authors:** Emma Boberg and Anna Savolainen, Civil Engineering specializing in Architecture at the Faculty of Engineering Lund University, LTH.
- Supervisors:** *Helena Bülow-Hübe*, Environment and Energy Manager, Ph.D, FOJAB Architects.  
*Staffan Premmert*, Architect, Sweco.
- Issue/Problem:** What is the significance of daylight for people's health?  
How important are various residential options?  
How big is the difference between different simulation programs and their results?  
What is the difference between various environmental certification systems?
- Purpose:** The purpose is to study whether there is sufficient natural light in a residential building and to see how much the daylight criteria differentiate between three environmental classification systems. We will also compare the results of three simulation programs.
- Method:**



- Conclusions:** Skylights let in three times the amount of light compared to a façade window; the disadvantage is that it is similar to artificial light. Increased reflectance of the surface layers will bring in natural light further into the room. It is also recommended to remove obstacles such as partitions and balconies to lighten up the room.
- Daysim is complicated and does not work in daylight calculation of large buildings. In Velux Daylight Visualizer you can perform educational and life-like

simulations of daylighting in a room, but you cannot perform correct daylight calculations. Autodesk 3ds Max Design works well in the calculation of large areas and renders images that can be used when applying for the environmental classification. Counting by hand using the book *Räkna med dagsljus* is outdated, time-consuming and not to be recommended. Comparison of results from the various programs shows that they do not vary much. However, it may be significant if a building is approved or not in the application of environmental classification.

When calculating the daylight in BREEAM and LEED you use different grid sizes and calculate a mean value. In Miljöbyggnad you compare two points in a room. It is possible to control the results in BREEAM and LEED with different placement of the grid.

**Keywords:**

Daylight, environmental certification, BREEAM, LEED, Miljöbyggnad, simulations.

## Förord

Det här examensarbetet är den sista pusselbiten i utbildningen Byggteknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Examensarbetet utgör 22,5 högskolepoäng av totalt 180 och har utförts på Institutionen för Arkitektur och byggd miljö, Avdelningen för Energi och Byggnadsdesign. Arbetet är genomfört i trevligt samarbete med handledare på FOJAB arkitekter och Sweco.

Tack till våra handledare Helena Bülow-Hübe, FOJAB arkitekter, och Staffan Premmert, Sweco, som har hjälpt oss med flertalet frågor. Tack till FOJAB arkitekter för att vi fick sitta hos er och vara med i er gemenskap under arbetets gång. Utan er hjälp hade vårt arbete inte blivit möjligt att genomföra. Tack till Fabo som har låtit oss att mäta och utföra våra enkätundersökningar i deras bostadshus. Tack till Paul Rogers på BAU som har hjälpt oss att klura ut miljöcertifieringarna. Tack Olivier Gras, FOJAB arkitekter, och Jon Lierud, Ramböll, för att ni har ställt upp och svarat på frågor om Autodesk 3ds Max Design.

Vi skulle gärna vilja tacka våra nära och kära för att de har ställt upp och korrekturläst och stöttat oss!

Malmö, maj 2012.

Emma Boberg och Anna Savolainen

The image shows two handwritten signatures in black ink on a light background. The first signature is 'Emma Boberg' and the second is 'Anna Savolainen'. Both are written in a cursive, flowing style.



# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte och frågeställning</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Metod</b> .....	<b>3</b>
1.4.1 Källkritik .....	4
<b>1.5 Disposition</b> .....	<b>4</b>
<b>1.6 Begreppsförklaringar</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Teoretisk bakgrund</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Definition</b> .....	<b>9</b>
2.1.1 Ljus .....	9
2.1.2 Dagsljusfaktorn .....	11
2.1.3 Himmelstyper .....	12
2.1.4 Fönster och glas .....	13
2.1.5 Passivhus .....	14
<b>2.2 Fönstrets historia</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3 Dagsljus och hälsa</b> .....	<b>17</b>
2.3.1 Ögat .....	17
2.3.2 D-vitamin .....	18
2.3.3 Dygnsrytm .....	19
2.3.4 Psykisk hälsa .....	20
<b>2.4 Design</b> .....	<b>20</b>
2.4.1 Fönster och utsikt .....	21
2.4.2 Placering och solens bana .....	22
2.4.3 Dagsljusdesign .....	24
<b>2.5 Dagsljusberäkning och – simulering</b> .....	<b>26</b>
2.5.1 Daysim 3.0 .....	26
2.5.2 Velux Daylight Visualizer 2.6 .....	28
2.5.3 Autodesk 3ds Max Design .....	28
<b>2.6 Föreskrifter</b> .....	<b>28</b>
2.6.1 Svensk byggnorm .....	29
2.6.2 Handboken Bygg .....	29
2.6.3 Svensk standard .....	29
2.6.4 Boverkets nybyggnadsregler .....	30
2.6.5 BBR .....	30
<b>2.7 Miljöklassningssystem</b> .....	<b>31</b>
2.7.1 BREEAM .....	32
2.7.1.1 Dagsljusberäkning .....	32
2.7.2 LEED .....	33
2.7.2.1 Dagsljusberäkning .....	33
2.7.3 Miljöbyggnad .....	34

2.7.3.1 Dagsljusberäkning .....	36
2.7.4 Jämförelse .....	37
2.8 Tumregler .....	38
3 Dagsljusmätning .....	40
3.1 Objektbeskrivning .....	40
3.2 Utförande .....	40
4 Enkätundersökning .....	41
4.1 Objektbeskrivning .....	41
4.2 Utförande .....	41
5 Simulering .....	42
5.1 Modellbeskrivning .....	42
5.2 Utförande .....	43
5.2.1 Daysim 3.0 .....	43
5.2.2 Velux Daylight Visualizer 2.6 .....	45
5.2.3 Autodesk 3ds Max Design .....	45
6 Beräkning för hand .....	48
6.1 Objektbeskrivning .....	48
6.2 Utförande .....	48
7 Jämförelse av värden från litteratursökningen .....	51
7.1 Utförande .....	51
8 Resultat .....	52
8.1 Dagsljusmätning .....	52
8.2 Enkätundersökning .....	52
8.3 Simulering .....	53
8.3.1 Daysim 3.0 .....	53
8.3.2 Velux Daylight Visualizer 2.6 .....	54
8.3.3 Autodesk 3ds Max Design .....	55
8.3.4 Jämförelse .....	55
8.4 Beräkning för hand .....	56
8.5 Jämförelse av värden från litteratursökningen .....	56
9 Slutsats .....	57
9.1 Dagsljusets betydelse för hälsan i bostaden .....	57
9.2 Simuleringsprogram och beräkning för hand .....	57
9.2.1 Daysim 3.0 .....	57
9.2.2 Velux Daylight Visualizer 2.6 .....	57
9.2.3 Autodesk 3ds Max Design .....	58
9.2.4 Beräkning för hand .....	58
9.2.5 Jämförelse .....	58
9.3 Slutsatser från resultat .....	59
9.4 Miljöklassningssystem och föreskrifter .....	60
9.5 Förslag på fortsatta studier .....	60

<b>10 Referenser .....</b>	<b>61</b>
<b>11 Bilagor .....</b>	<b>68</b>



# 1 Inledning

*I detta kapitel finns de inledande delarna av rapporten, som bakgrund, syfte, frågeställningar, avgränsningar och metod. Kapitlet avslutas med begreppsförklaringar.*

”The trend is away from daylight design”, enligt Paul Rogers<sup>1</sup>. Det innebär att betydelsen av bra dagsljusinsläpp verkar minska.

## 1.1 Bakgrund

Från början var tanken med examensarbetet att undersöka dagsljusets betydelse för hälsan i passivhus, men det finns väldigt lite undersökningar sedan tidigare och enkätundersökningen som vi utfört gick inte som vi tänkt. Därför gick vi över till att undersöka dagsljussimuleringar och -beräkningar med hjälp av dator för att undersöka ljusnivån i ett passivhus. Detta ger också möjlighet att lära sig ett nytt verktyg.

Tidigare, när det inte fanns artificiellt ljus, var man tvungen att designa en byggnad utefter brukarens behov av dagsljus, men sedan det elektriska ljuset har börjat användas är fönstrets storlek inte av samma betydelse. Det fanns en tid då fönstren var små och högt placerade i skolor för att eleverna skulle fokusera på skolarbetet, men detta visade sig ha en negativ effekt på deras prestation. Därefter har fönsterareorna gjorts större, men nu börjar fönstren minska igen då vi blir mer och mer energimedvetna. I dagens samhälle befinner vi oss mest inomhus, ungefär 90 % av tiden (västvärlden). Därför blir det extra viktigt att få in dagsljuset i byggnaden, både ur hälso- och energieffektiv synvinkel. Idag finns bättre fönster med lägre U-värde, vilket gör att större fönster kan tillåtas utan att det nödvändigtvis blir ökad energiåtgång.

Nackdelar med för mycket dagsljus finns men fördelarna överväger. Bland annat skyddar det mot vissa sjukdomar men framför allt ser det till att dygnsrytmen har en jämn period på 24 timmar.

Många undersökningar finns som beskriver hur dagsljuset upplevs på arbetsplatser men mycket lite information går att hitta om ljuset i bostaden. Det som finns att läsa är i föreskrifter, som inte har uppdaterats speciellt mycket under åren som gått. På senare år har nya miljöklassningssystem formats i andra länder och vissa av dem används i hela världen.

---

<sup>1</sup> Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor Paul Rogers, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

## 1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med undersökningen i examensarbetet är att ta reda på om det kommer in tillräckligt med dagsljus i en bostad. Vi tänker också jämföra tre olika miljöklassningssystem för att se hur kriterierna för dagsljus skiljer sig.

Undersökningen innefattar även skillnaden i resultatet från tre simuleringsprogram. Målet är att vi ska kunna räkna ut om tillräckligt med dagsljus kommer in i en bostad samt vilket program som är mest lämpligt för simulering av dagsljus.

Frågeställningar:

- Vad har dagsljuset för betydelse för människans hälsa?
- Hur stor betydelse har olika lösningar för en bostad?
- Hur stora är skillnaderna mellan olika simuleringsprogram och dess resultat?
- Hur skiljer sig miljöklassningssystemen?

## 1.3 Avgränsningar

Denna rapport avgränsas till en bostad med invändiga ytskikt enligt det mätobjekt vi valt. Då programmet Daysim endast klarar en enkel modell har vi valt att avgränsa oss till ett vardagsrum/kök/matsal (ett rum). Vi har också valt att utföra jämförelser mellan valda simuleringsprogram, beräkning för hand och dagsljusmätningar för samma rum. Som en förenkling används endast klarglas på balkongen (att använda frostat och färgat glas gör lägenheten ännu mörkare och det är inte möjligt att hantera effekten i till exempel handberäkningen).

Vi behandlar inte överhettning i bostaden. Vi fokuserar på dagsljusinsläpp då vi förutsätter att möjligheter till solskydd finns. Elektriskt ljus beaktas inte, utan bara dagsljus. Vid beräkning av dagsljusfaktor tar vi inte hänsyn till omkringliggande byggnader. I handberäkningen försummas även effekten av ett litet sidofönster.

Det finns en del program att välja på för att genomföra dagsljussimuleringar. Vi har avgränsat oss till tre stycken på grund av begränsad tid för att utföra examensarbetet. Vi har valt att modellera i Google SketchUp Pro 8 och Autodesk Revit 2012 och simulera i Daysim 3.0, Velux Daylight Visualizer 2.6 och Autodesk 3ds Max Design 2013.

Avgränsningen sker till de två största internationella miljöklassningssystemen, BREEAM och LEED, samt det svenska miljöklassningssystemet, Miljöbyggnad. Endast kriterier för dagsljus undersöks. Simuleringarna genomförs med miljöklassningssystemens olika kriterier för punkter och

rutnät, inte hela metoden. Detta för att undersöka skillnaderna i resultaten, inte för att se vad som ger godkänt eller inte.

Vid analys av olika lösningar simulerar vi enbart dagsljusfaktorn enligt LEED. Detta har vi valt därför att man kan utföra simuleringar och beräkningar enligt detta miljösystem i alla program som vi använt.

Vid mätningen av rummet valde vi att mäta på sju punkter i rummet, istället för att göra ett rutnät då det skulle ta alldeles för lång tid. Men vi mätte i tillräckligt många punkter för att få en uppfattning av ljusfördelningen i rummet.

#### **1.4 Metod**

Alla delar i arbetet har utförts jämnt fördelat, vad gäller allt från litteratursökning och dagsljusmätning till att göra enkäten, simulera och räkna för hand. Under arbetets gång har vi hjälpts åt att skriva rapporten och med jämna mellanrum korrekturläst och förbättrat varandras texter.

En litteraturstudie av vetenskapliga artiklar har utförts för att komma fram till frågeställningar och för att få en förståelse av tidigare forskning. För djupare kunskap om frågeställningarna har informationskällor som Campus Helsingborgs bibliotek, Lunds Stadsbibliotek, Universitetsbiblioteket i Lund samt olika sökmotorer varit användbara. Information har också hämtats från olika regelverk, manualer och organisationers hemsidor. Materialet har handlat om dagsljus i allmänhet och föreskrifter, byggnader, fönster, hälsoaspekter, simuleringsprogram i synnerhet. Under inläsningsskedet antecknades och gallrades informationen i materialet, vilket sammanställdes till den teoretiska bakgrunden.

Intervjuer har genomförts med Thorbjörn Laike<sup>2</sup> och Paul Rogers<sup>3</sup>. Thorbjörn Laike hjälpte oss att diskutera hur en enkät om dagsljus kan se ut, och bidrog med två av enkätens fyra sidor. Han visade också hur enkätsvaren skulle sammanställas. Paul Rogers berättade för oss om miljöklassningssystemen BREEAM, LEED och Miljöbyggnad – jämförde dem och talade om för- och nackdelar.

En dagsljusmätning genomfördes i Kv. Drivbänken, Falkenbergs Bostäder, för att kunna jämföra våra simulerade värden med verkligheten. Mätpunkter sattes ut för varje hel meter från fönstret och inåt i rummet, samt en meter från sidoväggarna på halva rumsdjupet, det senare enligt Miljöbyggnad.

---

<sup>2</sup> Thorbjörn Laike, Ljusforskare och docent i miljöpsykologi vid Lunds Tekniska Högskola, möte 2012-03-07.

<sup>3</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

Vi gjorde en enkät som vi delade ut i Kv. Drivbänken. Vi åkte till Falkenberg, presenterade oss själva och förklarade hur den skulle utföras. Enkäterna låg i kuvert som var frankerade i förväg vilket gjorde att de deltagande enkelt kunde posta dem.

Modeller över lägenheten i Kv. Drivbänken ritades upp i Autodesk Revit 2012 och Google SketchUp Pro 8. Modellerna simulerades sedan i Autodesk 3ds Max Design 2013, Daysim 3.0 och Velux Daylight Visualizer 2.6.

Simuleringarna har gjorts i olika versioner av ursprungslägenheten för att vi ska se vilket alternativ som släpper in mest dagsljus. För Autodesk 3ds Max har instruktioner från en Youtube-video av Jake Osborne<sup>4</sup> använts med olika inställningar enligt Autodesk's manualer och en undersökning skriven av Christoph Reinhart. Simulering i Daysim 3.0 har genomförts med handledning av Marie-Claude Dubois<sup>5</sup> och Helena Bülow-Hübe<sup>6</sup>. I Velux Daylight Visualizer 2.6 finns kontinuerliga instruktioner som vi följt. Beräkningssättet kommer från manualerna för respektive miljöklassningssystem. Även beräkning för hand har gjorts efter instruktion i Svensk Standard, vilken hänvisar till boken *Räkna med dagsljus* av (Löfberg, 1987).

Utifrån det vi läst och lärt oss från litteraturstudien har vi gjort en jämförelse av värden och tumregler från litteraturundersökningen med lägenheten i Kv. Drivbänken.

#### 1.4.1 Källkritik

De vetenskapliga artiklarna kan ses som tillförlitliga källor då de skrivits av forskare och har blivit granskade och vetenskapligt publicerade. Likaså texter från regelverk och liknande samt information från större organisationers hemsidor anses som källor att lita på. Däremot har informationen från allmänna hemsidor från företag och tidskrifter inte alltid någon referens att hänvisa till och texterna kan vara vinklade till deras fördel. De muntliga källor vi har anser vi vara mycket tillförlitliga för att de är specialister inom sina områden.

### 1.5 Disposition

#### Kapitel 1 Inledning

I detta kapitel finns de inledande delarna av rapporten, som bakgrund, syfte, frågeställningar, avgränsningar och metod. Kapitlet avslutas med begreppsförklaringar.

#### Kapitel 2 Teoretisk bakgrund

---

<sup>4</sup> Jake Osborne, Freelance 3D Artist at Self, Youtube-video 2012-04-10.

<sup>5</sup> Marie-Claude Dubois, M. Arch. PhD, Lunds Tekniska Högskola. Examinator 2012.

<sup>6</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.



I detta kapitel definieras begreppet dagsljus och hälsoaspekterna behandlas, därefter kunskap om dagsljus och passivhus. Kapitlet avslutas med certifieringar, föreskrifter och tumregler. Dagsljusets historia, certifieringar och föreskrifter är i kronologisk ordning.

### **Kapitel 3 Dagsljusmätning**

Beskrivning hur utförandet av de fysiska dagsljusmätningarna genomfördes, samt en redogörelse av objektet.

### **Kapitel 4 Enkätundersökning**

Under detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet under enkätundersökningen. Se enkäten under bilagor.

### **Kapitel 5 Simulering**

Utförligare beskrivning av tillvägagångssättet för simuleringar med de olika programmen.

### **Kapitel 6 Beräkning för hand**

I Kapitel 6 kan man läsa om modellen och metoden för manuell beräkning, där beräkningen gjorts enligt Svensk Standard. Beräkningarna finns som Bilaga 4.

### **Kapitel 7 Jämförelse av värden från rapporten**

I detta kapitel jämför vi de normer, regler, tumregler samt rekommendationer som vi har stött på under resans gång. Se bilagor för beräkning.

### **Kapitel 8 Resultat**

I detta kapitel finns resultatet av undersökningar, simuleringar och beräkningar som utförts.

### **Kapitel 9 Slutsatser**

I det här kapitlet presenteras de diskussioner som leder fram till de slutsatser vi dragit utifrån litteraturundersökning, resultat med mera.

## **1.6 Begreppsförklaringar**

*Belysningsstyrka:* Det flöde av synligt ljus som träffar en yta per kvadratmeter. Enheten uttrycks i lux eller lumen per kvadratmeter (Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*CIE Standard Overcast Sky (CIE=Commission Internationale de l'Eclairage):* En standardiserad himmelstyp som är tre gånger ljusare i Zenith (toppen) än runt horisonten (Larson & Shakespeare, 2003).

*Dagsljus, synligt ljus:* Med dagsljus menar man solljus, diffust himmelsljus samt markreflekterat ljus (Bülow-Hübe, 2008). Strålning i våglängdsområdet 380-780 nm (Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*Dagsljusautonomi (DA [%]):* är procent av tiden då belysningsstyrkan (lux) från dagsljus är större än ett visst önskat belysningsvärde, dvs. den andel av tiden då dagsljus ensamt kan stå för den önskade belysningen (Bülow-Hübe, 2007).

*Dagsljusfaktor:* Förhållandet mellan den belysningsstyrka dagsljuset ger i ett visst plan inomhus och den samtidiga belysningsstyrkan utomhus från fri himmel under en CIE Standard Overcast Sky (se ovan)(Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*Dagsljuszon:* Den totala golvarean som uppnår krav för dagsljuset (LEED).

*Direkt dagsljus:* Ljuset genom fönster direkt mot det fria.

*Direkt solljus:* Solljus som lyser in i rum utan att ha reflekterats (BBR).

*Effektiv solhöjd:* Solhöjden projicerad på ett vertikalplan vinkelrätt mot fasaden (Bülow-Hübe).

*Fönsterbåge:* Glaset sitter i fönsterbågen som hänger i karmen som i sin tur sitter fast i väggen.

*Fönsterluft:* En båge (se fönsterbåge) med glas kallas en luft (Stockholms stadsbyggnadsnämnd, 1987).

*Himmelskomponent HK:* ”Den del av dagsljusfaktorn som beror på direkt himmelsljus mot den studerade punkten i rummet” (Löfberg, 1987).

*Indirekt dagsljus:* Ljus från det fria som kommer in i rum utan fönster mot det fria (BBR).

*Innereflekterad komponent IRK:* ”Den del av dagsljusfaktorn som beror på ljus som når punkten efter att ha reflekterats en eller flera gånger i rummet” (Löfberg, 1987).

*Ljustransmittans:* Transmittansen för synligt ljus (solinstrålningen viktad mot ögats relativa känslighet) kallas för ljustransmittans, LT eller  $T_{vis}$ .

*Luminans:* Ett mått på hur ljus en yta är, t ex en lysande yta (ljusarmatur) eller en belyst reflekterande yta (vägg eller arbetsbord). Luminansen på en belyst yta beror av det infallande ljusets riktning mot ytan, belysningsstyrkan på ytan och ytans ljusreflekterande egenskaper. Luminansen anges, och mäts i candela per kvadratmeter,  $\text{cd/m}^2$ .

*Lux:* Enhet för belysningsstyrka.

*Reflektans (reflektionsfaktor):* Förhållandet mellan den strålning som reflekteras från en yta och infallande strålning.

*Reflektion:* Allmänt uttryck för den process som innebär att strålning reflekteras mot en yta.

*Solenergi, solstrålning:* Strålningsenergi från solen huvudsakligen inom våglängdsområdet 300-2 500 nm. Kallas ibland kortvågig strålning. Strålningen når en byggnad genom direkt solstrålning, som diffus strålning från himlen genom strålning som sprids genom atmosfären, moln m.m., samt från marken via markreflekterad strålning (Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*Syftlinje:* Den räta linje, som tänks dragen från en observatörs öga till det observerade föremålet och som anger den riktning, i vilken föremålet synes beläget (Svensk Uppslagsbok).

*Termisk komfort:* Innemiljö som varken upplevs som för varm eller för kall, eller ger annat termiskt obehag, till exempel drag.

*Transmission:* Allmänt uttryck för den process som innebär att strålning passerar ett genomskinligt material som glas eller en väv (Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*Transmissivitet:* Ett begrepp som beskriver hur mycket av ljuset som passerar genom själva glasmassan, dock inte direkt synonymt med transmissionen. Förekommer i simuleringsprogram för ljus, enligt Bülow-Hübe<sup>7</sup>.

*Transmittans:* Kvoten mellan den transmitterande och den infallande strålningen (Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*Utreflekterad komponent URK:* ”Den del av dagsljusfaktorn som beror på ljus som når punkten efter att ha reflekterats som ytor utanför fönstret vilka skärmar av hela eller en del av himlen” (Löfberg, 1987).

---

<sup>7</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

*UV-ljus:* Förkortning av ultraviolett ljus. Mindre än 380 nm och inte synligt (Bülow-Hübe).

*U-värde:* Ett mått på värmeförlusterna genom en byggnadsdel ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ). U-värdet (eller värmegenomgångskoefficienten) anger värmeflödet (i W) per kvadratmeter av ytan ( $\text{m}^2$ ) vid en temperaturskillnad mellan ute och inne på en grad (K eller C). Ju lägre U-värde, desto bättre är således isolerförmågan (Bülow-Hübe & Lundgren, 2005).

*Våglängd:* ”för en enkel våg avståndet i vågens utbredningsriktning mellan två punkter med samma fas, t.ex. mellan två maxima” (NE2, 2009).

## 2 Teoretisk bakgrund

*I detta kapitel definieras begreppet dagsljus och hälsoaspekterna behandlas, därefter kunskap om dagsljus och passivhus. Kapitlet avslutas med certifieringar, föreskrifter och tumregler. Dagsljusets historia, certifieringar och föreskrifter anges i kronologisk ordning.*

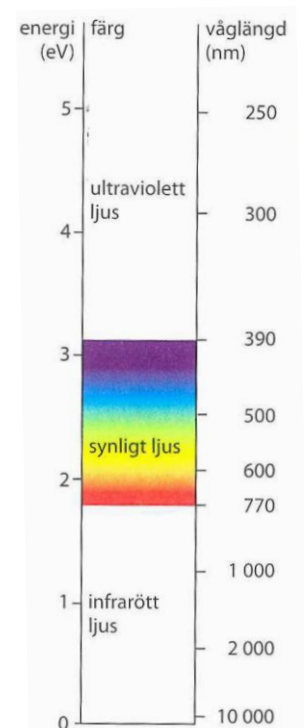
Dagsljus är gratis och en slags förnybar belysning. Under sommartid kan elektriskt ljus ersättas helt och hållet (Bülow-Hübe, 2008). Det kräver ingen elektricitet och det är inget fossilt bränsle, vilket är bra ur energisynpunkt. Dagsljuset visar oss den naturliga världen. Dagsljus ökar vår energinivå och gör så att man kan undvika depression och producera D-vitamin. Viss typ av solljus kan till och med hjälpa oss att slappna av (Russell, 2008).

Dagsljusets variation påverkar vår uppfattning av färger och skapar olika stämningar, som vi uppskattar och som stimulerar oss. Det skapar också minnen, till exempel när vi besöker en kyrka där dagsljuset lyser in genom de gamla kyrkfönstren och den trivsamma stämningen vid jul då vi tänder stearinljus (Hjertén et al, 2001).

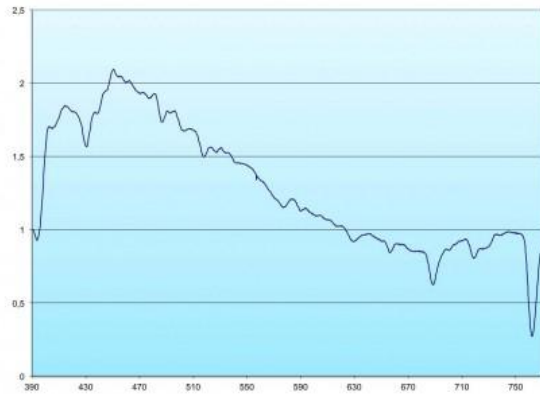
### 2.1 Definition

#### 2.1.1 Ljus

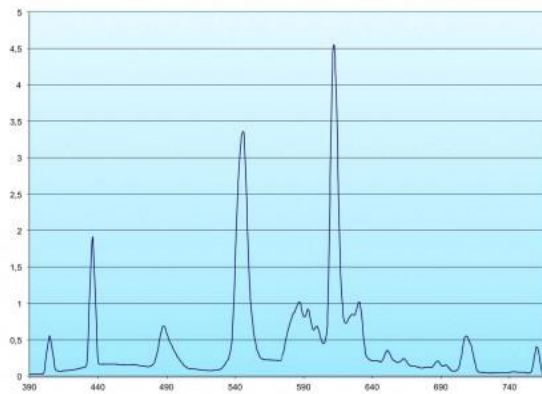
Ljusets våglängder kan delas in: ultraviolett ljus (UV-ljus) mindre än 380 nm, 380 – 780 nm synligt ljus, 780 – 2 500 nm nära-infraröd strålning och mer än 2 500 nm infraröd strålning (IR-strålning) (Bülow-Hübe, 2006). Den spektrala ljuskomponenten bestäms av det direkta ljuset både från solen och himlen. Morgonljus har som mest 530 nm (i det gula fältet) och kvällsljus har som mest 460 nm (i det blå fältet) (Gochenour och Andersen, 2009). Ljuset sprids linjärt (Augustesen et al, 2006).



Figur 1 Ljusets spektrum (NE1).



Figur 2 Dagsljusets spektrum (Kruuse)



Figur 3 Lysrörs spektrum (Kruuse)

En solig dag med ljusa moln kan ljusstyrkan bli upp till 120 000 lux och en jämmulen mörkare dag kanske bara 5 000 lux (Hjertén et al, 2001). För att få en uppfattning av ljusstyrka i enheten lux (mätt på ett avstånd på 1 m) ger ett stearinljus ca 1 lux och en skrivbordslampa kan ge ca 1 000 lux (Kruuse).

IESNA:s (Illuminating Engineering Society of North America) Quality of the Visual Environment Committee har identifierat tio faktorer som bidrar till ljusets kvalitet (vilka även fungerar för dagsljus):

- Ljushet
- Aktivitetens kontrast
- Aktivitetens belysningsstyrka
- Källans ljusstyrka
- Färgspektrum och färgrendering
- Dagsljus (utsikt)
- Rumslig och visuell tydlighet
- Visuellt intresse
- Psykologisk orientering
- Personens kontroll/styrning och systemets flexibilitet (Dubois, 2001).

Visuellt intresse, psykologisk orientering och personens kontroll kan inte bli bedömda utan att använda sig av beteendeundersökningar. Luminans, aktivitetskontrast, belysningsstyrka och källans ljusstyrka kan undersökas med hjälp av simuleringar och/eller modeller. Detta ger en mycket lättare strategi för att utvärdera ljuskvalitén där många alternativ måste studeras (Dubois, 2001). Fördelarna med ett välplanerat dagsljusbegrepp är allt från förbättrad visuell komfort för brukarna till en reducerad artificiell ljuskonsumtion. Då naturligt ljus är väldigt dynamiskt och inte kan lagras är förverkligandet av ett lämpligt dagsljusbegrepp viktigt i utvärderingen av den årliga inomhusbelysningen. Belysningsprofilen består både av designen och klimatförhållandena och kan förutspå hur dagsljuset kan uppfattas av

brukarna, vilket i sin tur beror på brukarnas uppgifter samt deras personliga och kulturella önskemål (Reinhart & Walkenhorst, 2001).

### 2.1.2 Dagsljusfaktorn

Dagsljusfaktorn definieras som förhållandet mellan belysningsstyrkan inne i en punkt och en oskuggad horisontell belysningsstyrka under en CIE mulen himmel (AI2). Om det är 5 000 lux ute och 250 lux inne är dagsljusfaktorn 5 % (se Formel 1) (Hjertén et al, 2001).

**Formel 1 Beräkning av dagsljusfaktorn.**

$$DF = \frac{\text{dagsljus inne (lux)}}{\text{dagsljus ute (lux)}} \times 100 [\%]$$

”Dagsljusfaktorn beror på glasarean, mätpunkt, golvarea, horisontavskärmning, fönsterglasets ljustransmission och rumsytors reflexionsförmåga” (Löfberg, 1987). Dagsljusfaktorn är den äldsta dagsljusparametern. År 1909 presenterade Waldram dagsljus i ett förhållande snarare än absoluta värden. Dagsljusfaktorn är oberoende av byggnadens orientering och klimat, vilket betyder att ett kontor i Florida i söderläge har samma dagsljusfaktor som ett norrliggande klassrum i Alaska om byggnaderna har identisk geometri och materialegenskaper. Som en designparameter fungerar dagsljusfaktorn på så sätt att man kan se till att dimensionerna på fönster och takfönster samt geometrin på insidan gör så att det kommer in tillräckligt med dagsljus under en mulen dag. En dagsljusanalys kan vara underlag för beslut som rör byggnadens geometri, omgivande landskap och byggnader samt ytegenskaper hos material (nyans, diffus, spegling, transmittans och reflektans). Det finns ett antal sätt att beräkna dagsljusfaktorn, allt från enkla kalkylblad till avancerad beräkning (AI2). I miljöklassningarna används olika mätvärden av dagsljusfaktorn, eller snarare olika områden för vilken DF beräknas:  $DF_{\text{point}}$ ,  $DF_{\text{ave}}$  och  $DF_{\text{min}}$ .  $DF_{\text{point}}$  innebär dagsljusfaktorn mäts i en punkt, vilket görs i Miljöbyggnad.  $DF_{\text{ave}}$  är ett medelvärde av flera olika mätpunkter över en yta i ett rutnät, en metod som används i LEED och BREEAM.  $DF_{\text{min}}$  är minimumkravet på dagsljusfaktorn i BREEAM och LEED.

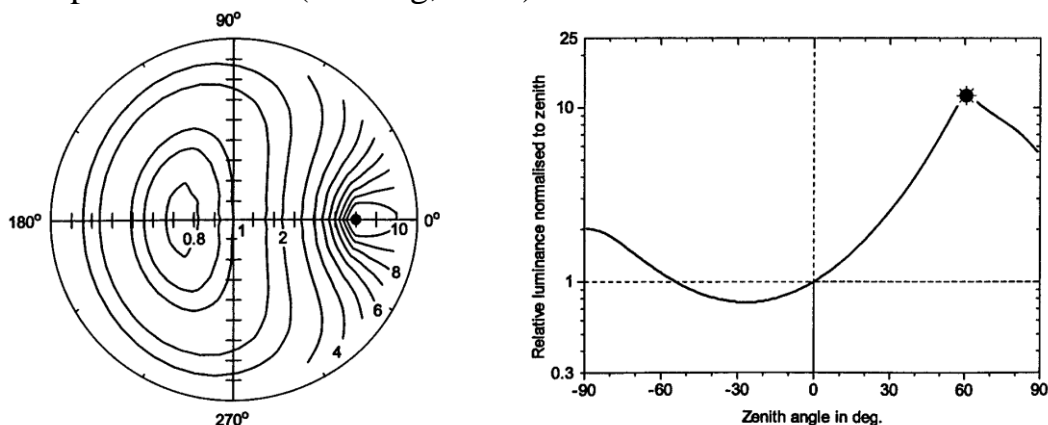
Dagsljuskoefficienten definierades 1983 och omvandlar luminansutbredningen på himlen till belysningsstyrkan i en punkt i ett rum. Nu kan man bland annat med hjälp av Radiance och Daysim programvara modellera dagsljuset inomhus för ett helt år på ett tidseffektivt sätt (Li et al, 2005).

### 2.1.3 Himmelstyper

”Dagsljusförhållanden i Norden:

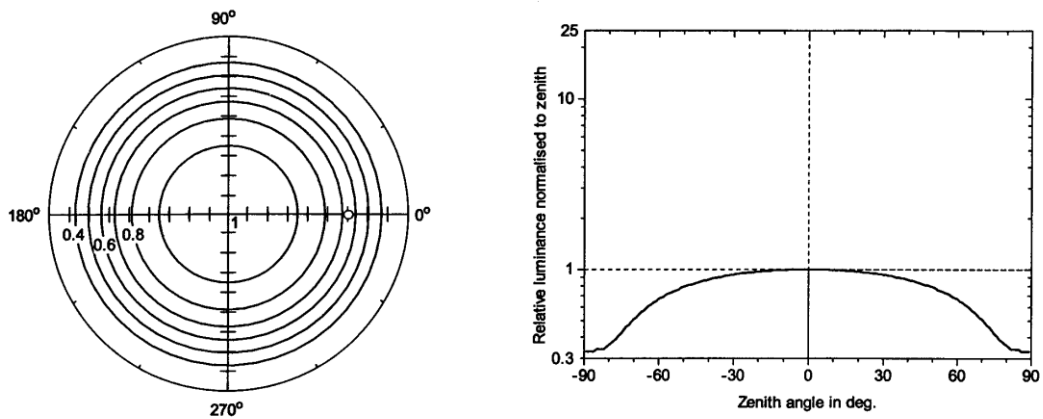
- Många mulna dagar.
- Få timmar med dagsljus under vintern.
- Många timmar med dagsljus under sommaren.
- Längst i norr saknas dagsljus under en period.
- Snö kan reflektera solljuset som kan påverka ljuset inomhus.
- Lågt stående sol.
- Lång gryning och skymning.
- Lång uppvärmningssäsong” (Hjertén et al, 2001).

Ideala *himmelstyper* har tagits fram genom ljushetsmönster. Himlens ljushetsmönster (luminansfördelning) kan vara svår att specificera för allt utom mulna förhållanden. Både solen och himlen behandlas som avlägsna ljuskällor. Himlens ljusstyrka beror på parametrar som är svåra att bestämma, så som meteorologiska och säsongsbundna parametrar. Den geometriska parametern däremot är lätt att bestämma då himlen alltid har samma form och position. *CIE Overcast Sky* utformades för att ge ett bättre ungefärligt värde än tidigare modeller på ljusutbredningen för en mulen himmel (Larson & Shakespeare, 2003). Anledningen till att beräkningar görs med jämnmulen himmel är dels för att det är det sämsta tänkbara fallet (klaras minimumbelysningen då klaras den även vid klart väder) och dels för att det blir lättare att beräkna ”eftersom den helmulna himlen är rotationssymmetrisk”. Det innebär att luminansen bara beror på höjdvinkeln och inte på väderstreck (Löfberg, 1987).



Figur 4 Vy upp mot himlen (t v) samt tvärsnitt (t h) för CIE Clear Sky with Sun. Ljusast längst till höger och mörkast till vänster om mitten (Helena Bülow-Hübe).

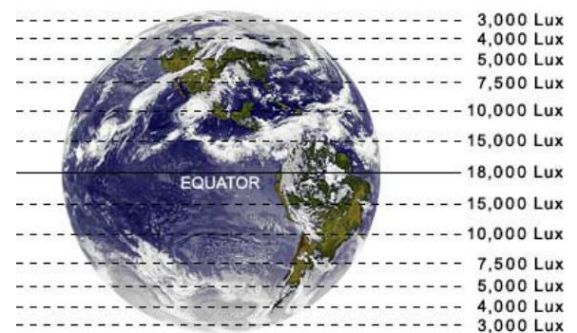




Figur 5 Vy upp mot himlen (t v) samt tvärsektion (t h) för CIE Overcast Sky (Helena Bülow-Hübe).

CIE Overcast Sky består av en halvsfär som är tre gånger ljusare högst upp än vid marknivå. Belysningsstyrkan ändras hela tiden men förhållandet i modellen är hela tiden detsamma, enligt Bülow-Hübe<sup>8</sup>.

*Perez All-weather Sky Model* har en jämn fördelning över hela halvsfären förutom att en starkare ljuskälla i en punkt (motsvarande solen) också är med i modellen och flyttar sig med tiden. Runt den ljusa punkten finns en cirkel med starkare ljus än himlen men svagare än punkten, då ljuset är starkare precis i solens omgivning, se Figur 4 och 5, enligt Bülow-Hübe.



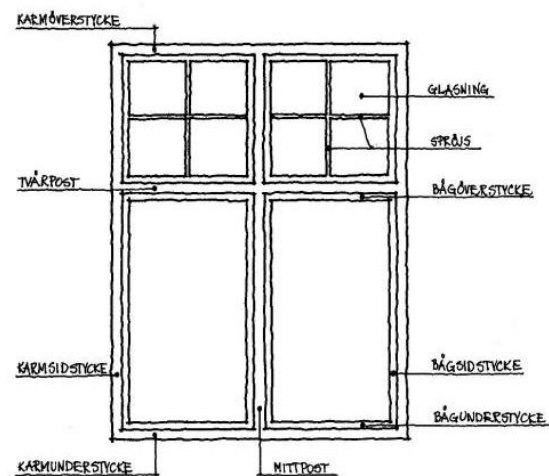
Figur 6 Tregenzas standardbelysningsstyrka (AI2).

I en formel av *Tregenza* väljs en standardbelysningsstyrka utomhus för olika breddgrader enligt Figur 6 (AI2).

#### 2.1.4 Fönster och glas

Fönstrets funktion är att:

- Ge möjlighet att se ut och få en kontakt med omvärlden
- Ge möjlighet att se in
- Släppa in dagsljus som ger variation allt efter tid och väder
- Vara klimatskal för att hålla ute bland annat vind, regn, snö
- Ge möjlighet till ventilation och vädring
- Ge möjlighet att känna dofter, höra ljud med



Figur 7 Fönsterbegrepp (Fönster, Fukt och innemiljö).

<sup>8</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

mera utifrån

- Vara bullerskydd
- Ge ett visst inbrottsskydd (Hjertén et al, 2001).

Det är fönsterkonstruktionen som styr dess U-värde med karm och båge, antal glas, spalter med till exempel luft eller ädelgaser som fungerar som isolering eller ett eller flera lågmissionsskikt (Olsson-Jonsson & Ekstrand-Tobin, 2006). Ungefär 90 % av det ljus som träffar ett vanligt fönsterglas vinkelrätt transmittteras, ca 8 % reflekteras och resten absorberas i glaset som värme (ELFOR, 2004; Bülow-Hübe, 2006; Hjertén et al, 2001). Ju fler glas desto lägre transmission (ELFOR, 2004; Bülow-Hübe, 2006).

Antalet fönsterglas bestämmer vi efter energi och kostnader. Både stora och små fönster kan påverka energiförbrukningen negativt. Fönster har sämre U-värde än ytterväggarna och ju större ytorna med fönster är desto större blir värmeförlusterna vilket betyder att värmeförseln i huset måste ökas. Samtidigt måste man på sommaren ventileras bort värmen som kommer från solljuset. Om fönstren är för små innebär det att mer elektriskt ljus måste användas vilket bildar värme som måste ventileras bort (Hjertén et al, 2001).

Tack vare den teknologiska utvecklingen de senaste decennierna har vi fått bättre möjlighet att designa byggnader med stora glasfasader som tillåter dagsljus att komma in samt ger utsikt (Boubekri, 2008). Idag finns metoder för att få in dagsljus utan fönster och en av dem är att ha en solfångare som sitter på utsidan som leder in ljuset genom fiberoptik av plast. Genom denna metod kan ljus transporteras in upp till 20 meter in i byggnaden (Gustafson, 2003). Hälsoaspekterna av dagsljusspektrat i form av produktion av vitamin D försvinner dock genom plastfibern. Därför forskas det på Uppsala universitet för att få fram en glasfiber som bibehåller en större del av spektrat och som kan få in dagsljuset ca 70 meter i byggnaden (Rökæus, 2011).

### 2.1.5 Passivhus

Krav för passivhus finns i bland annat FEBYs kravspecifikation för passivhus (FEBY, 2012), men det finns ytterligare krav som måste uppfyllas till exempel i Boverkets Byggregler, BBR. Resurseffektivitet kan beaktas och hanteras genom att ställa krav på levererad energi för att begränsa den totala användningen av köpt energi eller gynna energiformer av lågvärdig kvalitet, exempelvis fjärrvärme (FEBY, 2009). Byggnader av typen passivhus ska erhålla ”hög komfort och bra inomhusmiljö till en låg energianvändning”. Ventilationen är mekanisk med värmeåtervinning luft till luft.

Lufttemperaturen uppnås genom att tilluften tempereras utan att luften återcirkuleras. Samtidigt ska värmeförlusterna minimeras vilket uppnås genom ett välisolerat och lufttätt klimatskal (Marknadsöversikt för passivhus och lågenergihus i Sverige 2006). Effektbehovet ska vara max

10-16 W/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> i tillförd värme (FEBY, 2009). Det genomsnittliga U-värdet för fönster ska inte överstiga 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Andrén & Tirén, 2010), vilket dock skärpts till 0,8 i den senaste versionen av kriterierna från 2012 (FEBY, 2012). Passivhus behöver konventionell uppvärmning endast under de allra kallaste dagarna. Värmen kommer annars från allt i hemmet som avger värme, som elektriska apparater, människor som vistas där, installationer och välplacerade fönster (Isover, 2008). En bra planlösning, husform, placering och orientering är viktiga detaljer för att kunna ta vara på spillenergin (Andrén & Tirén, 2010). I södra Sverige är kravet att man kommer ner till max 50 kWh/m<sup>2</sup> och år jämfört med BBR:s krav på högst 110 kWh/m<sup>2</sup> (FEBY, 2012). Enligt Helena Bülow-Hübe<sup>9</sup> ställer passivhusen i sig inga krav på vare sig dagsljus eller fönsterytor. Däremot kommer de tufft ställda effekt- och energikraven att vara begränsande för hur stora fönster som kan tillåtas i passivhus. Med en kompakt geometri (liten omslutningsyta i förhållande till uppvärmd yta) ökar dock arkitektens frihetsgrad i fönstersättningen och fönsterstorlekarna kan ökas. En vanlig tumregel är annars att börja skissa på en fönsteryta som är max 15 % av den uppvärmda golvytan.

En annan variant på energieffektivt byggande är danska Home for Life som är ett så kallat Active house. Det sägs vara mer användarvänligt och bättre anpassat för våra nordliga breddgrader med tillhörande klimat. Till exempel sätter man sig emot de små fönstren i passivhus och tycker att vi i norr är mer beroende av att få in ljus i bostaden. Därför vill upphovsmännen öka andelen fönsteryta i bostaden till 40 %, jämfört med vanliga bostäders 20-25 %, och placera fönstren så att dagsljusinsläppet och utsikten maximeras. De vill också installera golvvärme. Annars är det många likheter med passivhus, såsom isoleringsmängden, fönster med låga U-värden, solavskärmning och stort takutsprång. Tanken med Active house är att skapa ett hälsosamt inneklimat och en positiv påverkan på miljön under husets livstid (Rudolfsson, 2010).

## 2.2 Fönstrets historia

Under flera tusen år var det önskvärt att få in dagsljus i byggnader då tillgången till artificiellt ljus inte existerade, mer än elden och facklan. Ibland blev dock fönsteröppningarna inte så stora för att man ville skydda sig mot inbrott och ett kallt klimat (Ejhed et al, 1988).

Fönstrets utformning har under historien varit beroende av materialtillgång, framförallt glas. Från början, 1500-1600-tal, var fönster exklusivt och fanns därför bara i slott och kyrkor i form av små gröna och bruna glas som satt fast med blyspröjs. Så småningom kunde större glas framställas, vilka fästes med kitt och järnstift. Detta ledde till en stadigare konstruktion vilket gjorde att

---

<sup>9</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

bågen kunde göras större. Vid slutet av 1700-talet kunde större glas framställas genom blåsning. De kunde även göras klarare. Fönstren var enkla och utåtgående (öppnades utåt), samt placerade i fasadliv, dvs. inte indraget från fasaden. Under 1800-talet användes innanfönster på vinterhalvåret med mossa eller halm emellan som tätning. Vid mitten av seklet började man med 2-luftsfönster, och vädringsbåge för ventilering blev allt vanligare. Bågvirket valdes med stor omsorg. Vid 1800-talets slut kunde ytterligare större glas blåsas vilket gav nya möjligheter och fönstren placerades indragna från fasadliv (Stockholms byggnadsnämnd, 1987).

Då industrialiseringen kom till Sverige gjordes byggnader djupare och större vilket ledde till att man inte använde sig av dagsljuset som förut. Lamporna i byggnaderna värmdes upp så pass mycket att ventilationssystem var tvunget att installeras vilket innebar behov av innertak. Detta hade till följd att höjden på fönstren sänktes (Hjertén et al, 2001).

Från sekelskiftet 1900 började kopplade bågar användas, vilket betyder att två eller flera enkelbågar är hopsatta med varandra, men de enkla var fortfarande vanligast. De smårutade fönstren blev populära igen av arkitektoniska skäl, och de delades upp med spröjs. Fönstren målades för första gången i stadsbebyggelse, i brutet vitt. På 1920-talet börjar glas maskintillverkas och fönstren blir lägre än tidigare, precis som våningshöjden. Under 1930-talet ”uppträder fönster om två eller tre lufter av varierande storlek”. Fönstren går ibland över hörn och i kombination med balkonger (Stockholms byggnadsnämnd, 1987).

1950-1965 försvann prioriteringen av dagsljus hos arkitekterna. Det artificiella ljuset blev vanligare och präglade bland annat kontor och skolor. Många undersökningar utfördes och det visade sig att de som arbetade i kontor med övervägande tillgång till elektriskt ljus mådde sämre och klagade mycket på oljud, vilket eventuellt kunde bero på ljusets betydelse för våra hormoner, då de som hade tillgång till dagsljus mådde betydligt bättre (läs mer under rubrik 2.3 Dagsljus och hälsa) (Çakir, 2008). Storleken på fönstren blev även drabbade på 80-talet då man ville minska energikostnaderna (Hjertén et al, 2001).

Nu utnyttjas solen som energikälla och till uppvärmning. Fönsterkonstruktioner med lägre U-värde har utvecklats för att kunna ha mer glasyta samt utnyttja ytskikt med större reflektans för att få in solljuset längre in i byggnader (Hjertén et al, 2001).

## 2.3 Dagsljus och hälsa

Det finns olika sätt att definiera hälsa, dels som frånvaro av sjukdom dels som svaghet. Vissa lägger dessutom till ett komplett fysiskt, mentalt och socialt välmående eller hälsa, lycka och framgång (Boyce, 2010). Eftersom de flesta tillbringar 80-90 % av livet inomhus blir det extra viktigt att få in dagsljuset i byggnaderna, då det har bevisats gång på gång att vi behöver dagsljus och solljus för att leva (Boubekri, 2007).

Solljuset är grundläggande för allt liv på jorden och gör att vi kan se, men innehåller även strålning i form av IR-ljus (värme) och UV-ljus som kan skada huden, ögonen och vårt immunförsvar. Samtidigt kan ökad exponering för solljus skydda mot sjukdomar som diabetes, MS och cancer (Affleck, 2005).

Dagsljuset kan påverka kroppen på tre olika sätt: genom strålning mot ögon och hud, genom det visuella systemet och påverkan på dygnsrytmen. Strålning på ögon och hud kan i stora mängder orsaka vissa skador men de är sällan långvariga. Visuellt sett är det nödvändigt med rätt mängd ljus för att vi inte ska anstränga ögonen på grund av för mycket eller för lite ljus eller blänk och flimmer (Boyce, 2010). En interiör borde ha inslag av ljus och skugga och inte det jämna ljus som kommer av elektriskt ljus. Det viktigaste för visuell komfort är att ljusstyrkan finns inom det visuella fältet. Resultatet av en analys var att människor föredrar en hög dagsljusfaktor, ju högre faktor desto fler nöjda (Dubois, 2001). De flesta föredrar också direkt solljus in i ett rum då det ger variationer i rummet, skuggor och klarare färger samt att strukturer kan urskiljas. Dock måste solen kunna skärmas av vid behov (Hjertén et al, 2001). Det finns flera olika parametrar när det kommer till ljus och välmående. Ljusets mängd och kvalité spelar stor roll men även utsikten mot omgivning och natur genom fönstret (Norlux fönster).

### 2.3.1 Ögat

På näthinnan finns receptorer, så kallade *tappar* och *stavar*, som på kemisk väg omvandlar strålningsenergin till elektriska nervsignaler som skickas genom synnerven till syncentrum i hjärnan. Tapparna är grunden till färgseendet då de registrerar ljusstrålningens balans över spektrum. Denna process sker genom tre typer av tappar; känsliga för kortvågig, mellanvågig och långvågig strålning. Stavarna registrerar ljushetskillnader, som en svartvit bild. De ser också till så att vi ser i mörker, det skapar det vi kallar *mörkerseendet*. Stavarna ansvarar alltså för den svartvita bilden och tapparna färglägger den (Ejhed et al, 1988).

Vårt synfält upptar ca 170°. Det är enbart 2° inom en rymdcirkel (ungefär storleken av en tumnagel på ett avstånd av en armlängd) där vi ser skarpt. Detta skarpa seende kallas *detaljseendet* eller det centrala seendet. Det övriga

seendet kallas *omgivningsseendet* eller det perifera seendet inom vilket vi ser ganska oskarpt. 90 % av synintrycken kommer till hjärnan via omgivningsseendet. *Gula fläcken* (fovea) är ett litet område på näthinnan där det finns en hög koncentration av tappar, vilket utgör detaljseendet. Receptorerna ligger glest på resten av näthinnan vilket gör att konturskärpan minskar i denna del av synfältet. Det är omgivningsseendet vilket hjälper oss att orientera oss, bestämma riktning och läge. Genom ofrivilliga ögonrörelser söker vi av vår omgivning. När vi kisar med ögonen använder vi oss bara av omgivningsseendet, som leder till att kontrasterna blir tydligare. Synen påverkas både positivt och negativt vid ökad ljusstyrka. Ökad belysningsstyrka leder till att detaljens kontrast skärps och detta leder i sin tur till att synprestationen förbättras. Omgivningsseendet uppfattar helheten av kontrasterna i synfältet och kan därför försämrats vid en ökning av belysningsstyrkan. De ljuskänsliga cellerna i ögat kräver variation och de skickar information till hjärnan bland annat om ljushet, kontrast och färg. Om man inte får de variationer som dagsljuset skapar kan detta leda till negativa reaktioner (se kap. 2.3 Dagsljus och hälsa). Vilken kvalitet på ljuset som ska vara i ett rum beror på den aktivitet som ska utföras (Ejhed et al, 1988).

Ögat kan anpassa sig till ljuset för att det inte ska kännas obehagligt. Om man går från ett ljust rum till ett mörkt eller tvärtom eller om skillnaderna i luminansen i ett rum uppfattas som bländande vill man gärna tända eller släcka för att jämna ut skillnaderna (Hjertén et al, 2001). Bländning kan undvikas och ett behagligare ljus fås med hjälp av profilerade karmar, bågar och spröjs, ljusa snickerier och en matt färg. Öppningar från flera håll i rummet ger ett mjukare ljus (Norlux fönster).

### 2.3.2 D-vitamin

1921 upptäcktes att vitamin D bildas i huden när man utsätts för UV-ljus, närmare bestämt 90 % av den mängd vi behöver kommer från UVB-strålning (Boubekri, 2007). Solljuset och huden bildar tillsammans D-vitamin genom fotosyntes (Boubekri, 2008). Men då UV-strålning inte kan transporteras genom glas är det inte möjligt att producera vitamin D inomhus, enligt Marie-Claude Dubois<sup>10</sup>. Bristen på vitamin D kan kopplas till många sjukdomar, som högt blodtryck, olika former av cancer, autoimmuna sjukdomar och infektionssjukdomar (Ajanki, 2012). Mängden vitamin D som kroppen behöver varierar beroende på geografisk placering, årstid och hudtyp. Till exempel behöver de med lägst behov 15 minuter solljus om dagen tre till fyra dagar i veckan medan en mörkhyad person bör få upp till tre till fyra timmar om dagen lika många gånger i veckan. Högre breddgrader och tätare städer bidrar till att mindre UV-strålning kommer in i städerna vilket bidrar till ökad risk för cancer (Boubekri, 2008). En lagom mängd dagsljus är det bästa.

---

<sup>10</sup> Marie-Claude Dubois, M. Arch. PhD, Lunds Tekniska Högskola. Examinator 2012.

Överexponering kan orsaka skador på huden medan underexponering kan leda till låga nivåer av vitamin D vilket i sin tur kan leda till en hel del andra sjukdomar, till exempel benskörhet (Boubekri, 2007).

### 2.3.3 Dygnsrytm

Solljuset styr vår dygnsrytm genom att det påverkar utsöndringen av olika hormoner i kroppen, till exempel *kortisol*, *serotonin* och *melatonin*.

Variationen av dessa under dygnet bestämmer när vi ska vara vakna eller sova. När solen träffar ögat aktiveras kortisol och produktionen av sömnhormonet melatonin stängs av. Hjärtfrekvensen ökar och hormoner, bland annat serotonin som bättrar på vår sinnesstämning, aktiveras (Sjösten, 2001; Toikkanen, 2006). Melatonin gör oss trötta medan en låg nivå av serotonin kan leda till depressionsliknande symptom. Ett annat hormon som påverkas av solljuset är stresshormonet kortisol, som håller oss vakna. Kortisolet produceras mer på sommaren än på vintern (Boubekri, 2008). Melatonin är väsentligt för upprätthållande av dygnsrytmen. Utan det skulle vår inre pendel fungera under perioder som vanligtvis är längre än 24 timmar. Med hjälp av yttre stimulans, till exempel den cykel som styr ljus och mörker, anpassas perioderna till dygnet och årstiderna. Man behöver minst 400 lux mot ögat som kommer från en vit ljuskälla med många korta våglängder (dagsljus är ett bra exempel på detta) för att man ska vara vaken och att dygnsrytmen ska fungera (Boyce, 2010). Det är allmänt känt att den maximala känsligheten för dygnsrytmen och nervsystemet är i den blå-gröna delen av det visuella spektrat (Tonello, 2008). Serotoninet gör också att vi äter mindre, framförallt kolhydrater (Sjösten, 2001; Toikkanen, 2006). Då ljuset styr dygnsrytmen och det i nordliga länder är många mörka månader och dagar med väldigt lite ljus kan det bli så att många inte orkar med omställningen då dagarna blir ljusare igen. Den så kallade vårtröttheten kan motverkas genom man utsätts för dagsljus, gärna på morgonen, för att anpassa sig till de ljusare dagarna (Söderström, 2011). Dygnsrytmen är en 24 timmar lång period som inkluderar aktivitet, vakenhet, ämnesomsättning och blodtryck. Om man inte exponeras för ljus under en längre period kan serotoninet bli omvandlat till melatonin (Tonello, 2008). Om dygnsrytmen får styras av dagsljuset vaknar vi en till två timmar efter att kortisolet har börjat utsöndras och vi blir trötta en till tre timmar efter att melatonin har börjat produceras. Den tid då vi utsätts för ljus och mörker är väsentlig men intensiteten spelar också roll. När dagljuset kommer in i sovrummet på morgonen förbereder det oss inför aktiviteter, både mentala och fysiska (Gochenour & Andersen, 2009).

### 2.3.4 Psykisk hälsa

Närvaron av dagsljus gör oss positiva och ger oss en känsla av att vara vakna och alerta. Utsikten spelar stor roll. Studier visar att människor som bor och jobbar i fönsterlösa lokaler har mer visuella material med landskap och naturrelaterade teman på sina skrivbord (Boubekri, 2008). Det allra viktigaste inslaget för komfort är utsikten (Augustesen et al, 2006). 1972-1981 genomfördes en studie med 46 patienter där hälften hade utsikt mot natur och vegetation och den andra hälften mot en tegelvägg. Patienterna med natur utanför fönstret tillfrisknade fortare och hade en kortare sjukhusvistelse. Detsamma gäller om man befinner sig högre upp i en byggnad. Där upplevs inte lika lätt stress som på första våningen för att man får en bättre överblick (Boubekri, 2008; Ejhed et al, 1988).

Seasonal affective disorder (SAD) är vanligt förekommande i nordliga länder och kännetecknas av mindre energi, trötthet, humörsvängningar och depression. Symptomen kan minskas genom ljusterapi, där man sitter några timmar i ett väl upplyst rum där spektrat är brett och intensiteten stor, precis som dagsljuset, men är bara effektivt om det sker under en längre tid (Boubekri, 2008). Antalet SAD-fall ökar med ökad latitud och är vanligare bland kvinnor än män (Boyce, 2010). Det finns två varianter av SAD, så kallad vinter-SAD som är återkommande depressioner på hösten och vintern med återfall på våren och så kallad sommar-SAD som är återkommande depressioner på sommaren. Vinter-SAD kommer av den minskande mängden ljus och leder till ökad trötthet och aptit. Patienterna med sommar-SAD riskerar däremot att sova mindre och få minskad aptit. Den viktigaste orsaken till symptomen är de olika årstidernas dagslängder (Tonello, 2008).

## 2.4 Design

Det finns många saker att tänka på vid dagsljuset som ljuskälla i ett hus, bland annat byggnadens orientering, hinder utanför fönster och reflektans. Var byggnaden är belägen har också betydelse, till exempel vid kust eller inland, latitud. Klimat och luftkvalité spelar också stor roll (Hjertén et al, 2001).

Det finns tre olika typer av dagsljus som kommer in i byggnader:

- Direkt solljus: det här ljuset vill man undvika eftersom att det kan generera starkt och bländande ljus orsakat av olika kontraster samt överhettning och UV-strålning.
- Diffust solljus: det är det solljus som har passerat ett diffust material. Ljuset som kommer igenom ett tonat eller frostat glas blir betydligt mer behagligt.
- Himmelsljus: har olika kvalité beroende på olika väderförhållanden, årstid och tid på dygnet samt atmosfäriska förhållanden, från klarblå



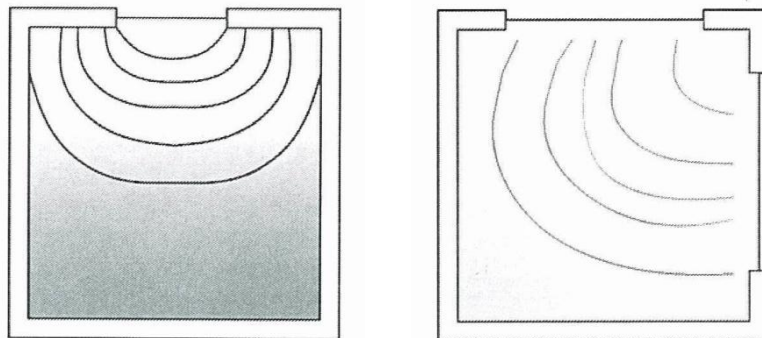
himmel till diffust molnigt. Detta ljus är behagligt för oss (Russell, 2008).

#### 2.4.1 Fönster och utsikt

Om ett fönster placeras bara med tanke på utsikten ska det finnas något att ”vila blicken på”, man ska se något som är intressant. Takfönster ger bra ljusinsläpp, men det liknar artificiellt ljus och ger ingen vidare utsikt (Ejhed et al, 1988). Vid jämnulnen himmel får kommer det in tre gånger så mycket ljus genom ett takfönster som ett horisontellt fönster i ytterväggen (Hjertén et al, 2001). Takfönstersystem ger maximalt med ljus precis nedanför och minskar mer och mer längre bort från fönstret. När flera takfönster används, och under mulna himmelsförhållanden, rekommenderas att avståndet mellan fönstren är detsamma som takhöjden, för att behålla en jämn spridning över ytan (Boubekri, 2008). Motiven utanför fönstret ska helst ha ett varierande avstånd. Även inramningen av fönstret har betydelse för utsikten, precis som färgade fönsterglas eller vissa solavskärmningar (Ejhed et al, 1988). Dagsljusets insläpp genom ett fönster beror på placering, storlek, antal glas och lågmissionsskikt samt rummets geometri. Reflektansen på ytskikten i rummet är också en bidragande faktor. Vad som finns utanför fönstret har betydelse, till exempel vegetation eller byggnader som blockerar dagsljuset och hindrar det från att komma in (Olsson-Jonsson & Ekstrand-Tobin, 2006).

Det finns många olika former på fönster. Vissa påstår att höga och smala fönster ska användas för att kunna se objekt på olika avstånd medan andra menar att utsikten blir bättre genom ett horisontellt placerat fönster. Där barn vistas och kryper på golvet ska fönstren helst gå ner till golv (Ejhed et al, 1988). Dagsljusstrategier kan delas in i två grupper: sidbelysande system där ljuset kommer från sidan på en byggnad in i interiören. Ett vanligt fönster är det enklaste exemplet. Den andra gruppen är takfönstersystem där ljuset kommer in uppifrån. Ett bra sidobelysande system reducerar överflödiga dagsljusnivåer nära fönstret och ökar nivåerna längre från fönstret för att ge en mer balanserad spridning genom rummet. Traditionella fönster tenderar att släppa in för mycket ljus precis vid fönstret och svagare ljus i övrigt, speciellt om rummet är djupt. Spridningen varierar och beror på himlen. Klara dagar tillåter inte det diffusa ljuset att tränga in lika långt i rummet, och det ger skarpare skuggor. Ljusets spridning och djup beror också på fönstrets orientering, fönsterplaceringen i väggen samt bredd och höjd på fönstret (Boubekri, 2008). Ju högre fönstren placeras desto mer ljus fås in i bostaden. Placering av fönster har betydelse för mängden och kvalitén på dagsljuset (ELFOR, 2004). I ett ljuslabb i Haninge kom man bland annat fram till att den vanliga placeringen av fönster mitt på väggen var den minst stimulerande placeringen (Persson, 2008). Ett ensamt fönster kan skapa bländning av kontrasten mellan ljuset från fönstret och en mörkare bakgrund runt öppningen. En mer balanserad spridning kan uppnås genom att ljuset kommer

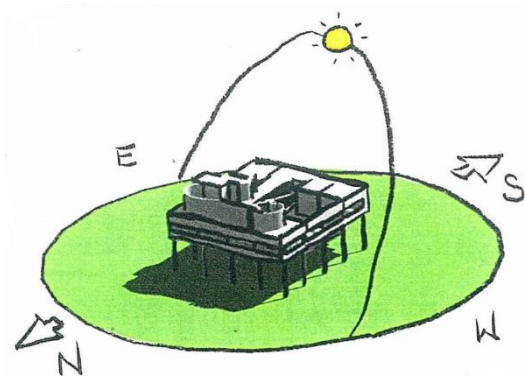
in från två olika sidoväggar. Djupet på dagsljuszonen beror av höjden, bredden och längden på överfönstret. Kombinerade sidosystem där ett sidofönster ingår ger en mer balanserad spridning än ett ensamt sidofönster eller överfönster (Boubekri, 2008).



Figur 8 Dagsljuszon från ett respektive två fönster (Boubekri, 2008).

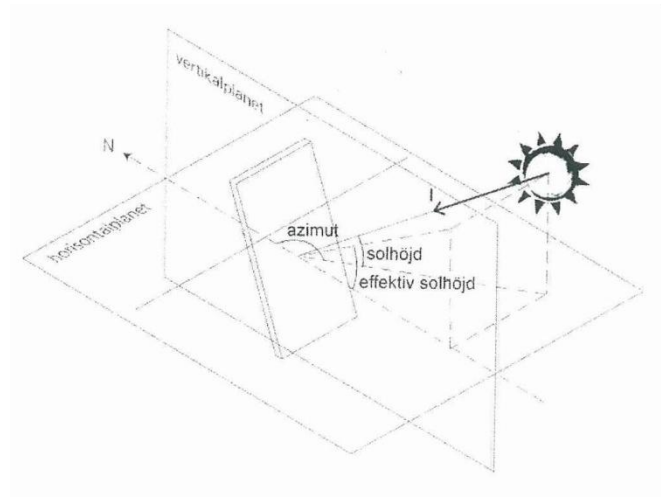
#### 2.4.2 Placering och solens bana

Ju närmare byggnaden är Nord- och Sydpolen desto lägre kommer solen att stå under större delen av året. Det vill säga att en byggnad som befinner sig nära ekvatorn kommer mestadels att få solljus direkt uppifrån och ju närmare polerna byggnaden kommer desto mer horisontellt solljus. De fönster som är mot öst och väst kommer att få direkt solljus morgon och kväll då solen går upp och ner i dessa väderstreck (se Figur 9). Något som kan bidra till att ljusinstrålningen varierar i ett rum är intelliganda byggnader och marken utanför, samt reflektion från vattenytor som dammar och sjöar. Ibland kan det till och med vara så att solljuset som reflekteras från en byggnad kan vara större än den förlust som byggnaden orsakar när den skymmer för solen (Russell, 2008).



Figur 9 Solbana (Russell, 2008).

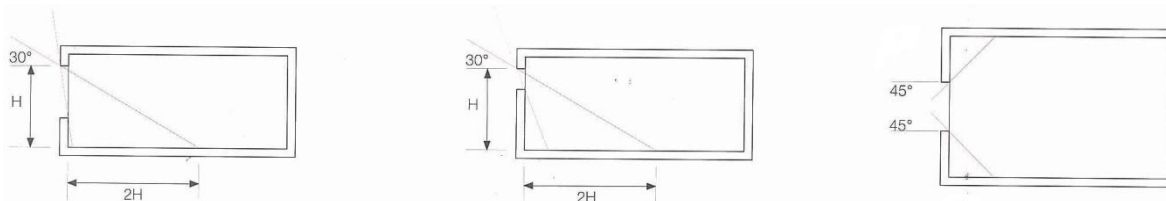
Fasadreflektionen kan speciellt användas om det finns hinder utanför fönstret. Då man inte ser himlen finns det enbart reflekterat ljus i rummet (Russell, 2008). På sommaren är den effektiva solhöjden som lägst klockan 12 och på vintern är den som störst klockan 12 och når då som längst in i rummet. Vid vår- och höstdagjämning är den effektiva solhöjden konstant mot söder vilket innebär att solfläcken når lika långt in hela dagen, mätt från fasaden (Bülow-Hübe, 2006).



Figur 10 Effektiva solhöjden (Bülow-Hübe, 2006).

I rum mot söder och väster kommer solen ibland att lysa med skarpt och hett ljus mot byggnaden och för att undvika detta bör takfönster placeras nära nock så att ljuset kan reflekteras mot en vägg och därmed ge ett mjukare ljus. Vid fönster mot norr är det bättre att placera takfönstret lågt för att också få utsikt. Fönster mot öster kan ge ett skarpt morgonljus och därför placeras fönstret ”med hänsyn till solens vinkel och bana” (V1).

Det är inte speciellt stor skillnad mellan den årliga mängden solinstrålning i olika delar av Sverige. En horisontell yta eller vertikal yta mot öster, väster eller söder tar som mest emot  $800-850 \text{ W/m}^2$  medan en vertikal yta mot norr tar emot ca  $300 \text{ W/m}^2$ . På vintern kommer solinstrålningen främst från den diffusa himmelsstrålningen. ”En riktigt klar dag kan teoretiskt den vertikala instrålningen mot söder bli högre om vintern än om sommaren. Detta beror på att solen står så lågt på himlen om vintern och infallet blir nästan vinkelrätt mot fönstret. Omvänt gäller att när solen står högt blir intensiteten på den vertikala ytan lägre. [...] En inte försumbar andel av strålningen kommer vid mycket låga solhöjder” (Bülow-Hübe, 2006). Om en stor del av himlen syns fås ett bra ljus (ELFOR, 2004), (Augustesen et al, 2006). Det uppnås genom att ljusets strålar inte döljs av byggnader intill eller genom transparenta fasader. Ljuset i ett rum är tillräckligt om överdelen av fönstret är synligt i en vertikal vinkel på minst 30 grader (se Figur 11). Det betyder att tillräckliga mängder dagsljus kan komma in i rummet på ett avstånd som är lika med två gånger höjden av överdelen av fönstret. 45-gradersregeln (se Figur 11) gäller lateral fördelning av ljuset. Enligt 30-gradersregeln skymmer en balkong lika mycket inomhus på våningen under som balkongens egen area (Augustesen et al, 2006). Fast solavskärmning ska undvikas, som till exempel solavskärmningstak och balkonger för att inte hindra ljuset från att komma in under mulna dagar. Under vår och höst kan solvärmen utnyttjas för att värma rummet, men då solen står lågt måste det finnas tillgång till solskydd (Russell, 2008).



Figur 11 Ljuset i ett rum (Augustesen et al, 2006).

Solens bana påverkas också av årstid, på sommaren står solen högt på himlen och vintertid lägre. Med några undersökningar kan utsprång och solavskärmningar skapas som fungerar olika vid olika årstider. Bor man på norra halvklotet betyder det att solen kommer att gå i en båge lutad mot söder (se Figur 9). Det innebär att den södra fasaden har störst chans att få direkt solljus hela dagen, medan de norra enbart får skylight (Russell, 2008).

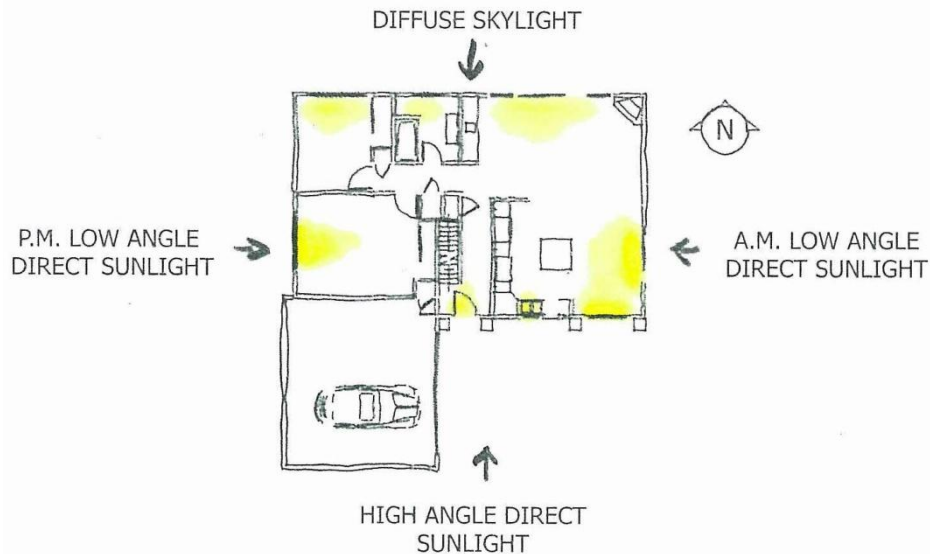
### 2.4.3 Dagsljusdesign

Det finns två olika typer av dagsljus vid design och dagsljus.

- Functional Daylight: noggrant placerat dagsljus som har som uppgift att belysa arbetsytor. Det är oftast diffust och bekvämt långsiktigt.
- Daylight Accenting: är mer dramatiskt och används för att få en viss stämning i rummet (Russell, 2008).

Breda fönstersmygar och spröjs begränsar ljusinsläppet precis som stora buskar och träd utanför och höga krukväxter. Ljusa eller vita fönsterbågar och väggar vid fönstret utnyttjar ljuset som bäst och gör att ljuset inte bländar lika mycket. En jämn övergång önskas av dagsljusnivå från fönster till det mörkaste hörnet, takfönster ger ett mer jämnfördelat dagsljus. Börja alltid med att se på dagsljusinsläppet innan du möblerar (ELFOR, 2004).

Det första att tänka på vid design med avseende på dagsljus i ett projekt är orienteringen och proportionerna av byggnaden. Det finns några snabba regler angående geometrin för att få ut den största potentialen av dagsljus. Redan när geometrin utformas måste dagsljuset finnas i tankarna. Höjden och bredden på formen samt fasaden har stor betydelse för hur mycket dagsljus som kommer in. Glasning måste utformas både efter dagsljus och utsikt. Syftlinjerna och skugglinjerna måste också tas hänsyn till då man bestämmer hur och var projektet ska placeras. Det är bra att göra ett diagram över orienteringen för att kunna se vilka ljus som kommer in och då även få reda på olika problem som kan dyka upp. Det går också att rita upp en planlösning med väderstrecken utritade för att ta reda på vilka delar som inte nås av dagsljus och där bör ha med den fasta inredningen som eventuellt kan leda till skuggning (se Figur 12). För att göra en mer noggrann analys kan man ta reda på hur solen rör sig på just den latituden där projektet befinner sig. För att dagsljusnivån ska bli bra hela året är det bra att "think the project through morning and night, sunny and cloudy, and winter to summer" (Russell, 2008).



Figur 12 Exempel på en dagljusanalys i ett tidigt stadium i projektering (Russell, 2008).

Ljuset blir mer behagligt ju mer det har reflekterats. Några viktiga saker att tänka på för att utnyttja detta är fönsternischer, fönsterbågar, persienner och gardiner, samt ytskikt på väggar, golv, tak och inredning. Ytbehandling och färgsättning påverkar också reflektansen. Om en yta har en hög reflektans kommer ljuset längre in i ett rum än om ytan har låg reflektans (ELFOR, 2004; Augustesen et al, 2006).

Ett råd till arkitekten är att ta hänsyn till att den största delen av tiden tillbringas inomhus idag pga. väder eller arbete. Därför är det viktigt för arkitekten att designa byggnader med tillräckliga ljusnivåer, som helst ska komma från dagsljus. Dagsljusnivån sjunker snabbt när vid förflyttning från fönstret. Den kan halveras eller mer bara genom att flytta sig en liten bit. Dagsljuset borde därför vara rikligt i hela interiören och inte bara längs kanterna. Tanken borde också vara att möbleringen riktas mot fönstret istället för mot en vägg. Dagsljus är ofrånkomligen förenat med fönster och öppningar i klimatskalet. De kan inte separeras från varandra även om det idag är tekniskt möjligt att få in dagsljus ändå. Fönster spelar en stor roll och har mer än en effekt på rummet och användarna. Det ger dynamisk ljuskvalité, diffust ljus och solljus och samtidigt utsikt och en känsla av öppenhet, rymd och orientering (Boubekri, 2008).

Fönsters orientering mot de olika väderstrecken och årstid (solens höjd) (se Kapitel 2.5.2 Placering och solens bana) har betydelse, precis som reflektion från närliggande byggnader. Om grannen har en ljus fasad kan detta bidra till att det kommer in mer ljus (ELFOR, 2004). Det är viktigt att se till hur ljuset rör sig i designen och tänka på hur människan rör sig i lägenheten för att dygnsrytmen ska bli "effektiv". Då morgonljuset är viktigt för hur pigg man är under dagen är det av vikt att sovrummet och köket är orienterade i öst, för att

ta vara på det ökande ljuset på morgonen. Till detta kan arbetsytorna placeras i köket på den östra väggen. Det viktigaste, och lättaste, att förändra för att få en lång period av ljus är högre reflekterande väggar. Det andra är avståndet från fönstret. Därför vore det bättre att placera "service"-ytor såsom garderober, badrum, pentry och andra ytor där inte speciellt mycket tid spenderas i mitten av lägenheten. Genom detta borde också de "levande" ytorna som sovrum, vardagsrum och kök placeras närmast fönster och de dominerande levande ytorna i sydligt läge. Bostadsytor borde inte placeras i källaren då det inte kommer in tillräckligt med ljus där (Gochenour & Andersen, 2009).

Arkitekturen blir viktig då de livsviktiga dagsljuskomponenterna (intensitet, spektrum och tid) går genom de omgärdade strukturerna. Intensiteten bestäms av storleken och formen på öppningarna, glaset, närvaron och storleken på skuggning, storleken och formen på ytan som blir upplyst, lokaliseringen och orientering av byggnaden och formen på öppningarna då till exempel en sydostlig fasad på norra halvklotet får mycket mer morgonljus än kvällsljus (Gochenour & Andersen, 2009).

Höga smala fönster utan transparenta ytor mellan dem resulterar i bättre ljus än ett horisontellt fönster i samma storlek på medelhöjd. Ett fönster i brösthöjd ger inget ljus till djupet av rummet, ett likadant fönster på medelhöjd ger mycket ljus i främre delen av rummet men inte tillräckligt i bakre delen medan ett högt placerat fönster, om möjligt utan överstycke, ger det bästa ljuset. Spridningen blir då jämn och ljuset kommer djupt in i rummet. För en gynnsam layout är fönsterkvoten 50 % tillräckligt för bästa resultat. Om det finns möjlighet till takfönster kan ytan precis under få tillräckligt med dagsljus (Augustesen et al, 2006).

## **2.5 Dagsljusberäkning och – simulering**

I en undersökning om användning av dagsljusberäkningsverktyg av (Reinhart & Fitz, 2006) konstaterades att många designers, ingenjörer och forskare upplever simuleringsprogram för belysning och dagsljus som svåra att använda och de efterfrågar därför bättre dokumentation, definitioner och exempel. En stor del av dem vet inte heller vilket verktyg de ska använda, men en liten grupp använder sig av program sen tidigare. De flesta använde simuleringsprogram under de tidigaste skedena av projekteringen. De börjar få förståelse för att verktygen kan ge bra resultat och att simuleringsfel beror på indata snarare än något annat. Simuleringsprogrammen har blivit mer populära för att få fram en detaljerad analys av en byggnad.

### **2.5.1 Daysim 3.0**

Daysim är ett dagsljussimuleringsverktyg som baseras på Radiance och använder sig av dagsljuskoefficienter enligt *Tregenza* och *Perez All-weather Sky Model* (se kapitel 2.1.3 Himmelstyper) för att simulera belysningsstyrkan



inomhus. Radiance är ett program som på ett så fysiskt korrekt sätt som möjligt kan beräkna och visualisera ljusfördelningen inomhus. Både diffusa, speglade och delvis speglade ytor kan hanteras. Beräkningsmetoden bygger på upprepad strålgångsföljning, s.k. back-ward ray-tracing. En beräkning i Radiance ger dock bara en ögonblicksbild av ljusförhållandena inne vid ett visst dagsljus ute. För att få reda på något om årsvariationerna skulle en mängd beräkningar behöva utföras, enligt Bülow-Hübe<sup>11</sup>. I Daysim har man kommit på ett smart sätt att hantera detta genom att programmet med hjälp av Radiance förberäknar ett antal dagsljuskoefficienter för ett begränsat antal fall, som sedan kopplas till ett helt års beräkning som då kan genomföras väldigt fort. Daysim skiljer på bidragen från diffust ljus, direkt ljus och reflektioner från marken. För att få fram verklighetstrogna värden behövs ingångsvärden som geometri, material, platsens koordinater och en tidsserie för direkt och diffus strålning (Dubois, 2001).

I programmet beräknas dagsljusautonomin (DA [%]) i en punkt. Det är användbart då den visar på andelen av en förutbestämd tid som en minsta andel belysningsstyrka kan skapas av dagsljuset självt, och artificiellt ljus kan undvikas. Oftast handlar det om antalet timmar per år under normal kontorsarbetstid. Beroende på vilka föreskrifterna är och vilka uppgifter som ska utföras varierar belysningsstyrkan mellan 150 och 1 000 lux (Reinhart & Walkenhorst, 2001). Radiance metod innebär att strålar följs från ett virtuellt öga genom pixlar in i miljön. Med upprepad menas att problemet omformuleras till en lättare version så att värdet av en stråle fås genom att spåra andra strålar tills den skär en yta. Där kan den framkalla fler strålar tills tillräckligt många har blivit beräknade. Programmet är också en blandning av bestämmande och slumpmässig strålsparning vilket innebär att en slumpmässig algoritm väljer ut en riktning att skicka sin stråle i. Den når på så sätt ljuskällan, ett objekt eller kan vika av i en helt annan riktning vilket visar sig som brus i bilden. Flera försök ger olika resultat. Det genomsnittliga resultatet är det som är närmast verkligheten då den slumpmässiga strategin liknar det sätt som ljus beter sig på i naturen där fotoner studsar omkring. Det finns inga virtuella gränser hos programmet. Det ger en tredimensionell beskrivning av ett rum och en fysisk beskrivning av ytorna vilket gör det möjligt att studera till exempel skuggning samt simulera för aktuell tid och plats då den innehåller matematiska modeller för olika himmelstyper. Det är också viktigt att rätt inställningar används för att få rätt exakthet i resultatet. Det bästa vore att mäta varje timme under ett år, men då detta är en mycket tidskrävande uppgift är det bättre att välja ut några dagar på ett år (Dubois, 2001).

---

<sup>11</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

### 2.5.2 Velux Daylight Visualizer 2.6

Velux Daylight Visualizer är ett enkelt simuleringsprogram där man kan se hur ett projekt kan se ut i verkligheten innan det verkställs. En modell kan ritas direkt i programmet eller så kan en CAD-modell importeras för att underlätta arbetsflöde och geometrier. Information som kan fås ut ur programmet är luminans, ljusstyrka, dagsljusfaktor och dagsljus- och solljusanimationer (V2). Enligt en undersökning fås med anpassade inställningar ett maximalt fel mindre än 5,13 % och ett medelfel lägre än 1,29 % (V3).

### 2.5.3 Autodesk 3ds Max Design

3ds Max Design gör det möjligt för bland annat designers och arkitekter att förmedla tanken bakom sina projekt genom modelleringar, simuleringar och renderingar (AI3). 3ds Max Design är ett simuleringsprogram som kan utföra exakta 3D-simuleringar med dagsljus och/eller artificiellt ljus. Programmet har utvecklats för att kunna ge designers en möjlighet integrera ljus i deras projekt. Simuleringar kan genomföras med olika dagljusförhållanden, mulen eller klar CIE himmel och Perez himmel (se Kapitel 2.1.3 Himmelstyper). De olika himmelstyperna tillåter användaren att utvärdera sina projekt enligt miljöklassningen LEED, BREEAM och Miljöbyggnad (se kap 2.7.2 LEED) (AI1; AI2).

## 2.6 Föreskrifter

Dagsljuset är inte det vanligaste arkitektoniska kännetecknet i byggnader. Argumenten för dagsljus borde inte längre ha med energibesparingar att göra utan med fördelarna hälsa och välmående, vilket inte tas hänsyn till idag. Den stora kvalitén av dagsljus är svår att få till med artificiellt ljus. Därför behövs en mindre mängd dagsljus än elektriskt ljus för att utföra samma visuella uppgift. Föreskrifterna måste anpassas till att dagsljuset är dynamiskt och hela tiden ändrar sin intensitet, färg och riktning samt att mängden ljus är beroende av tid, plats och orientering (Boubekri, 2008).

Tre olika sätt att lagstifta om dagsljus:

1. Lag om dagsljuszon: garantera att byggnaden och användarna får ljus under en förutbestämd tid. Varierar mellan olika länder men är resultatet av kulturella, ekonomiska och sociala synsätt.
2. Kravet på fönster och dess storlek.
3. Mängden ljusstyrka inuti ett rum (Boubekri, 2008).

Den mest förekommande är den som har en specifik fönsterstorlek för olika utrymmen. Dessa krav är dock inte skapade för dagsljus utan är till för att ventilera ut rök eller agera nödutgång. Vanligtvis beskrivs en minsta andel av golv- eller väggarean i ett rum. Standarder med krav på ljusstyrkan är vanligtvis rekommenderade minsta nivåer för att kunna utföra bestämda



uppgifter. Standarder med dagsljusfaktor definieras som kvoten mellan den horisontella ljusstyrkan inomhus och ljusstyrkan utomhus på marken under en jämnmulen himmel, vilken definieras av CIE (se Kapitel 2.1.3 Himmelstyper). Lagar om dagsljus borde föreskriva ljusnivåer i ett rum under en bestämd varaktighet under dagen enligt säsong, klimat och vad rummet ska användas till. En sådan lag skulle verkligen tänja på kreativitetsgränserna och uppmuntra designers och arkitekter till att placera fönster och ge dem rätt storlek. Bara då kan fönstret anses ha en roll för dagsljuset jämfört med den traditionella anledningen att ha det till ventilation eller att se ut genom (Boubekri, 2008).

Ett förslag för att få ett bättre underlag för lagstiftningen är att understryka hälsoeffekterna. Oftast ses solljus (dagsljus) med lätthet i bostäder och på arbetsplatser. Forskning visar att elektriskt ljus inte själv kan uppnå behoven för hälsa utan snarare skapa hälsoproblem (se kap. 2.3 Dagsljus och hälsa) (Boubekri, 2007).

### 2.6.1 Svensk byggnorm

Tidigare krav finns att läsa i Svensk Byggnorm från 1967, där det står att ”boningsrum och matlagningsutrymme i bostadslägenhet av sådan storlek att en person kan vistas däri förses lämpligen med väggfönster”. Med väggfönster menas fönster i yttervägg.

Enligt Svensk Byggnorm från 1980 ska bostadsrum ”anordnas så, att de får ett tillfredsställande dagsljus”. Ljushöjden i ett rum ska minst vara 1 %.

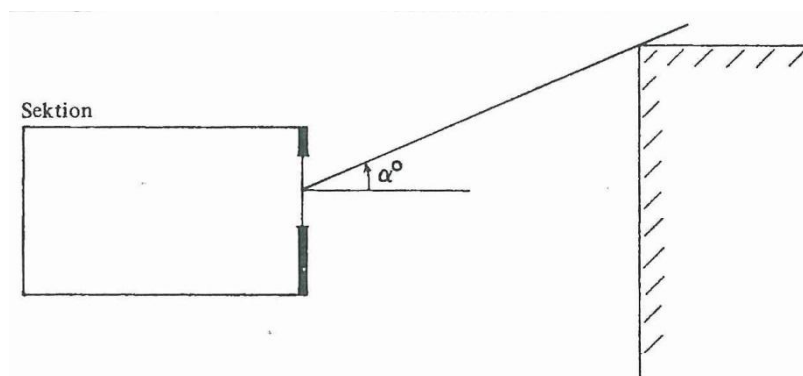
### 2.6.2 Handboken Bygg

I Handboken Bygg, del H Husbyggnader och installationer, från 1982 definieras fönster som ”byggnadsdel, vanligen i form av glasat ramverk, som täpper till öppning i vägg eller tak; väsentlig funktion är att släppa in dagsljus”. Handboken Bygg hänvisar till SBN som ger ut ”specifika bestämmelser för fönster såsom krav på lufttäthet, regntäthet, säkerhet mot vindlast och värmeisolering”. Det finns tre klasser för fönster, A, B och C där C är den högsta klassen. Här kan man läsa att de viktigaste funktionerna för ett fönster är att släppa in ljus och ”att förmedla kontakten mellan ute och inne”, samt att det har vikt för det estetiska uttrycket. Det står också att ”bostadsrum [...] anordnas så att tillfredsställande dagljus erhålls. [...] Vidare anges att dagsljus godtas med dagsljusfaktorn 1,0 %”. Det skrivs också om fönsterplacering för olika ögonhöjd beroende om man ligger, sitter eller står.

### 2.6.3 Svensk standard

SIS förklarar hur fönster i en sidovägg kan ge ”förutsättningar för tillfredsställande dagsljusbelysning”.

Det finns olika förutsättningar för att formeln för beräkning av fönsterglasarean ska gälla. Bland annat ska vinkeln mellan horisontalplanet och en linje mitt i fönstret till högsta avskärmade punkt på annan byggnad eller liknande vara som mest 30 grader. Rumsmåtten ska vara  $2,5 \leq \text{bredd} \leq 6,0$  m,  $2,0 \leq \text{djup} \leq 6,0$  m och rumshöjden  $\geq 2,1$  m. Fönstren ska vara klara med 2 eller 3 glas och vara max fyra stycken i rad. Den glasyta som är under 0,8 m höjd över golvet räknas inte. Måttens förutsättningar är  $0,6 \leq \text{höjd} \leq 1,4$  m och  $0,9 \leq \text{bredd} \leq 1,5$  m. Utöver detta ska golvet, väggarna och taket vara normalt ljusa.



Figur 13 Avskärmning, vinkel ( $\alpha$ ) mellan horisontalplanet och en linje från fönstrets mittpunkt till högsta skärmade punkten på en annan byggnad eller dylikt (SIS).

Utifrån förutsättningarna fås att fönsterglasarean är tillräcklig om  $A_{\text{glas}} \geq f * A_{\text{golv}}$  där  $A_{\text{golv}}$  = rummets golvarea i  $\text{m}^2$ ,  $A_{\text{glas}}$  = fönsterglasarean i rummet i  $\text{m}^2$  och  $f$  är värdet vid olika avskärmningsvinklar (tabell med värden för  $f$  finns i SS 91 42 01).

Om dessa förutsättningar inte uppfylls måste dagsljusfaktorn beräknas istället.

#### 2.6.4 Boverkets nybyggnadsregler

I upplagan från 1988 finns att läsa att ”en bostad ska ha tillgång till direkt solljus” samt att om bostaden har två rum och kök eller större ska den ha fönster åt minst två håll där minst ett fönster ska vara öppningsbart.

#### 2.6.5 BBR

I regelsamling för byggande, BBR 2012, finns normer för dagsljus under kap 6:3 Ljus.

##### Kap 6:31 Allmänt

”Byggnader ska utformas så att tillfredsställande ljusförhållanden är möjliga att uppnå, utan att skaderisker och olägenheter för människors hälsa uppstår. Ljusförhållandena är tillfredsställande när tillräcklig ljusstyrka och rätt ljushet (luminans) uppnås samt när ingen störande bländning eller inga störande reflexer förekommer och därmed rätt belysningsstyrka och luminansfördelning föreligger.”

### Kap 6:322 Dagsljus

”Rum eller avskiljbara delar av rum i byggnader där människor vistas mer än tillfälligt ska utformas och orienteras så att god tillgång till direkt dagsljus är möjlig, om detta inte är orimligt med hänsyn till rummets avsedda användning. I bostad avsedd för endast en studerande ska avskiljbar del av rum för matlagning minst ha tillgång till indirekt dagsljus.”

*Allmänt råd* ”Som ett schablonvärde kan gälla att fönsterglasarean bör ge motsvarande ljusinsläpp som uppnås då fönsterglasarean är minst 10 % av golvarean när fönstret har 2 eller 3 klarglas.”

### Kap 6:323 Solljus

”I bostäder ska något rum eller någon avskiljbar del av rum där människor vistas mer än tillfälligt ha tillgång till direkt solljus.”

### Kap 6:33 Utsikt

*Allmänt råd* ”Minst ett fönster per rum eller avskiljbara delar av rum där människor vistas mer än tillfälligt bör vara placerat så att utsikten ger möjligheter att följa dygnets och årstidernas variationer. I bostäder bör inte takfönster utgöra enda dagsljuskälla i de rum där människor vistas mer än tillfälligt.”

## 2.7 Miljöklassningssystem

Idag är det populärt med någon form av klassning. Vissa hanterar bara energianvändning och andra tar med flera aspekter på byggnader, till exempel miljö och hälsa, enligt Helena Bülow-Hübe<sup>12</sup>.

Paul Rogers<sup>13</sup> menar att ”the trend is away from daylight design” vilket innebär att betydelsen för dagsljusinsläpp minskar. Det är vanligt att pengarna används till något annat för att spara energi och få klassificeringspoäng istället för att göra en dagsljusberäkning som är kostsam. Det kan leda till att byggnaden inte blir godkänd vilket inte ger några poäng alls. Jämfört med de andra kriterierna i klassificeringssystemen fås för lite poäng jämfört med vad det är värt för dagsljus inomhus. Det är kunderna som bestämmer vilken klassning som de vill ha, men de förstår oftast inte vad den innebär.

På BAU, Byrån för arkitektur och Urbanism, har en dagsljusgrupp startats. Den består av människor som är kunniga inom området och är tänkt ” för att utbyta idéer som ett sätt att garantera att dagsljusberäkningar utförs till en lämplig standard”. Gruppen är också tänkt att diskutera och prova nya ”metoder för dagsljussimulering och tekniker” (BAU).

<sup>12</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

<sup>13</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

## 2.7.1 BREEAM

BRE Environmental Assessment Method (BREEAM) kommer från Storbritannien och utvecklades av BRE som var ett statligt byggforskningsinstitut men som numera ägs av olika branschaktörer. Systemet har funnits sen 1990 och är det äldsta av miljöklassningssystemen. BREEAM kan användas på befintliga byggnader som är under projektering och ställer krav på bland annat inomhusklimat såsom belysning (SGBC 1). Under kategorin *Health & Wellbeing* finns kriterier för dagsljus och för hela kategorin kan en byggnad få upp till 14 poäng eller 15 %. Totalt kan 112 poäng och maximalt 110 % uppnås (Arnesson, 2011). Byggnaden måste uppnå minst 30 % av den maximala poängsumman för att bli certifierad, och för att få högsta betyg krävs 85 % samt goda innovativa lösningar och en godkänd uppföljning efter tre år. Betygen som kan fås kallas Pass, Good, Very good, Excellent och Outstanding. Vid klassning av byggnader i Sverige används manualen BREEAM International Europe eller BREEAM International Bespoke. ”Sweden Green Building Council arbetar aktivt för att få en svensk anpassning av BREEAM” (SGBC1). I den svenska versionen av BREEAM finns inte den svenska standarden med, Miljöbyggnad, enligt Paul Rogers.

### 2.7.1.1 Dagsljusberäkning

Kategori 7: *Health and Wellbeing* handlar om bostäder. Här finns ett underkapitel *Hea 1 – Daylighting* vars syfte är att förbättra livskvalitén i bostaden, bland annat genom bra dagsljus (BREEAM). Här behövs inte många och långa beräkningar utan oftast kan den mörkaste arean direkt avgöras eller beräknas för att se om gränsen för godkänt passeras, enligt Paul Rogers<sup>14</sup>. Utöver beräkningar måste byggnaden antingen få ett godkännande av en utvärderare eller göra mätningar på plats (BREEAM).

BREEAM använder dagsljusfaktorn. Kriterierna är för en yta, dvs. ett medelvärde, och därför används  $DF_{ave}$  i denna metod (Se Kapitel 2.1.2 Dagsljusfaktorn). Används den kan rummet med lägst värde bortses. I BREEAM används ett rutnät på 50 cm som utgår 50 cm från väggen, men enligt Paul Rogers kan ett rutnät på 20 cm eller 25 cm användas för att få en mer noggrann översikt. Vid beräkning av dagsljusfaktorn placeras rutnätet på 0,85 meters höjd från golvet då värdena gäller arbetsytor som bord eller köksbänk. För hus gäller kriterierna att köket minst ska ha 2 % och vardagsrum och matsal 1,5 %. Dessutom måste 80 % av arbetsytorna i kök, vardagsrum, matsal och studieplats belysas med direkt solljus. Även position och beräkning för *no-sky line* ska anges vilken visar hur bra ljuset sprids i rummet (BREEAM).

---

<sup>14</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

Omkringliggande byggnader beaktas i beräkningarna. I British Standard hittas olika värden för detta. Man kan räkna med smutsiga fönster och dylikt vilket ger ett sämre värde ur dagsljussynpunkt. BREEAM gäller för hela byggnaden och därför måste beräkningarna utföras för olika våningar och orienteringar. Rummet kan delas in i mindre delar så att det blir färre beräkningar.

### 2.7.2 LEED

Den första versionen av LEED, Leadership in Energy and Environmental Design, kom ut 1999 och utvecklades av föreningen U.S. Green Building Council och är det mest kända och spridda bedömningsystemet i världen. Systemet kan användas både vid projekterings- och driftstadiet samt för befintlig byggnad (SGBC 2). Även här bedöms bland annat *Inomhusmiljö* (Indoor environmental quality) och där ingår kriterier för dagsljus och utsikt. 15 poäng kan fås för denna kategori (Arnesson, 2011). Tanken med att ha kriterier för dagsljus är att människor i byggnaden ska få kontakt med omvärlden genom dagsljus och utsikt, ge brukarna dygnsrytmstimulans samt att reducera förbrukningen av elektriskt ljus. Dock finns inga kriterier för bostäder, därför har vi räknat som om vi hade en kontorsbyggnad. För att bli certifierad måste ett av tre alternativ utföras (se Options nedan) (LEED). Den maximala poängen som kan uppnås i alla versionerna av LEED är 100 poäng plus ”eventuella bonuspoäng för innovation och regional hänsyn”. För att bli certifierad måste minst 40 poäng uppnås och för att nå högsta nivån minst 80. Nivåerna som kan uppnås är Certifierad, Silver, Guld och Platinum. Kanada, Indien och Kuba har gjort egna versioner av systemet. Övriga länder måste gå via U.S. Green Building Council vilket betyder att de amerikanska standarderna följs (SGBC 2). De kallas ASHRAE’s standards och går att jämföra med svenska BBR. För att LEED-certifiera krävs mycket dubbelarbete för att översätta (Arnesson, 2011). ”Sweden Green Building Council kommer att göra anpassningar för LEED till svenska förhållanden, så kallade ACPs (Alternative Compliance Paths)” (SGBC 2).

#### 2.7.2.1 Dagsljusberäkning

Enligt Paul Rogers<sup>15</sup> kan dagsljus visas genom simulering men då måste mycket specifika inställningar användas, bland annat dag och tid. Beräkningen genomförs för olika tider en dag i september och slås ihop vilket leder till slutresultatet. Den här beräkningsmodellen kan vara lite svår för Sverige då vår sol står väldigt lågt emellanåt och därför måste vi ha någon typ av solskydd. Denna modell innebär mycket arbete och det kan vara så att kunden inte läser det för att det innehåller för mycket text, utan bara kastar det vid ansökning.

I LEED mäts en medeldagsljusfaktor på punkter 30 inches (76,2 cm) över golv i ett rutnät på 3 feet (ca 1 meter), vilket Paul Rogers tycker är för grovt. LEED

---

<sup>15</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

är svårt att tolka och därför berättade Rogers hur han uppfattar metoden utifrån manualen:

#### Option 1 (2-3 p)

Handlar om simulering. ”Daysim 3.0. Detta kommer att användas fast folk leker bara med det just nu.”

#### Option 2 (1-2 p)

Två dagar väljs, september och mars den 21:e. Därefter ska 15 dagar framåt och bakåt vid datumen beräknas. Vilka är de mörkaste och ljusaste tiderna under dessa 30 dagarna runt mars och september? Därefter görs ett medelvärde av de båda månaderna och för de olika klockslagen dvs. 09.00 och 15.00. Detta ger fyra stycken beräkningar som sedan överlappas.

#### Option 3 Measurement (1p)

Detta borde inte finnas och kommer troligtvis att strykas. Den som utför mätningen kanske har på sig en ljus tröja vid mätningstillfället och detta kan påverka resultatet. Och det går inte då mätningen inte är möjligt under två olika månader, då huset brukar flyttas in i senast två veckor efter det att det är färdigt.

### 2.7.3 Miljöbyggnad

Miljöbyggnad, tidigare Miljöklassad byggnad, bygger på bygg- och myndighetsregler och svensk byggpraxis. Det används både för nya och befintliga byggnader oavsett storlek och ger ett bevis på kvalitéerna hos en byggnad när det kommer till energi, inomhusmiljö och material (SGBC 3). För att ansöka om Miljöbyggnad skickas en enkät in. Det är inte så bra då det är lätt kan ljuga, muta med mera, enligt Paul Rogers, men enligt Helena Bülow-Hübe<sup>16</sup> krävs bara enkäten för betyget Guld.

Nivåerna som kan uppnås är Brons, Silver och Guld (Arnesson, 2011; SGBC 3). En enkätundersökning visar att mer än 80 % tycker att Guld-nivån är ett mycket bra eller accepterat dagsljus (SGBC, 2012). Om Bronskriterierna uppfylls uppnås den svenska byggnormen (Arnesson, 2011).

---

<sup>16</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

Tabell 1 Bedömningskriterier för Miljöbyggnad (SGBC, 2012).

	Brons	Silver	Guld
Dagsljusfaktorn DF	≥ 1 %	≥ 1,2 %	≥ 1,2 % ink. Datasimulering
Fönsterandel AF	≥ 10 %	≥ 15 %	-

Miljöbyggnad är uppdelad i olika områden, bland annat *Innemiljö* där dagsljuset är en egen rubrik (SGBC 4). ”Syftet är att premiera byggnader som utformats, projekterats och byggts för god tillgång till dagsljus.” Vid användning av denna klassificeringsmetod bedöms enskilda rum och inte hela byggnader genom två stycken metoder: dagsljusfaktor och fönsterglasandel (se nedan) (SGBC, 2012). Certifikatet är preliminärt tills en verifiering är utförd, vilket ska ske inom 2 år efter att byggnaden tagits i bruk. Certifieringen är giltig i max 10 år (SGBC 5).

Tabell 2 Inom området Innemiljö finns det sex aspekter med sammanlagt nio indikatorer (IMBTR, 2010).

Aspekt	Indikator	Klassningsmetod	Klassning som kan uppnås
Ljudmiljö	5.Ljudklass	Beräkning av ljudklass för ljudparametrarna.	GULD
Luftkvalitet	6.Radonhalt	Kartläggning av risken för radon i inomhusluften	GULD
	7.Uteluftsflöde och teknisk utformning	Kontroll av projekterade flöden och styrning av ventilation	GULD
	8.Kvävedioxidhalt inne	Kartläggning av risken för kvävedioxid i utomhusluften	GULD
Fuktsäkerhet	9.Åtgärder mot fukt	Bedömning av fuktsäkerhetsarbetet	GULD
Termiskt klimat	10. Transmissionsfaktor/Max- och mintemperaturer	Beräkning av transmissionsfaktorn	SILVER
		Beräkning av innetemperaturer	GULD
	11. Solvärmefaktor/Operativ temperatur	Beräkning av solvärmefaktorn	SILVER
Dagsljus	12. Fönsterglasarea genom golvarea/Dagsljusfaktor	Beräkning av glasarea/golvarea	SILVER
		Beräkning av dagsljusfaktor	GULD
Risk för legionella	13. Tappvattentemperaturer	Kontroll av åtgärder för att krävda temperaturer i tappvattensystem inte under-/överskrids	GULD

Tabell 3 Exempel på hur det kan se ut klassificering (IMBTR, 2010).

Byggnad	Områden	Klass	Aspekter	Klass	Indikatorer	Klass
SILVER	Energi	SILVER	Energianvändning	GULD	Köpt energi	GULD
			Energibehov	BRONS	Värmeförlusttal	BRONS
			Energislag	GULD	Solvärmelasttal	GULD
	Innemiljö	GULD	Ljudmiljö	GULD	Andelar av olika energislag	GULD
			Luftkvalitet	SILVER	Ljudklassning	GULD
					Radonhalt	GULD
					Uteluftsflöde och teknisk utformning	GULD
			Fuktsäkerhet	SILVER	Kvävedioxidhalt	SILVER
			Termiskt klimat	GULD	Åtgärder mot fukt	SILVER
					Transmissionsfaktor alt. Max- och mintemp.	GULD
	Dagsljus	GULD	Solvärmefaktor alt. Operativ temperatur	GULD		
	Risk för legionella	SILVER	Fönsterglasarea genom golvarea alt. Dagsljusfaktor	GULD		
	Material och kemikalier	GULD	Dokumentation av byggvaror	SILVER	Tappvarmvattentemperatur	SILVER
			Utfasning av ämnen med farliga egenskaper	GULD	Krav på dokumentationen	SILVER
					Dokumentation av farliga ämnen	GULD

### 2.7.3.1 Dagsljusberäkning

Dagsljusfaktorn kan beräknas enligt en bok, *Räkna med dagsljus*, eller simuleras i Daysim eller Velux Daylight Visualizer. Ljusmätningarna ska vara 0,8 m över golv, enligt Svensk standard. Omkringliggande byggnader ska tas hänsyn till. Den andra metoden är

Formel 2 AF fönsterandel (SGBC, 2012).

$$AF = \frac{A_{glas}}{A_{golv}} * 100 [\%]$$

Enligt Paul Rogers<sup>17</sup> fungerar denna klassning i små projekt. Två olika metoder används, dagsljusfaktor och kvoten mellan fönster- och golvarea. Den sistnämnda är inte en riktig metod enligt Svensk standard (se Kapitel 2.7.3 Miljöbyggnad), som kommer att uppdateras. Dagsljusgruppen vill ändra de Svenska standarderna som Miljöbyggnad bygger på och det förväntas att ske 2012.

Enligt Paul Rogers är problemet med dagsljusfaktorn placeringen av fönster och olika geometri på rummet. Dessutom, tillägger han, att mätvärdena ligger

<sup>17</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.



så nära varandra i Brons, Silver och Guld visar att de som kommit fram till gränserna inte vet något om dagsljus.

Enligt Paul Rogers kan ett dåligt rum kompenseras med ett bra rum för att få ett högre betyg. Problemet är till exempel ett mötesrum som oftast ska vara mörkt pga. olika utrustningar, samt att det blir varmt då det vistas många människor och maskiner. Istället är det bättre att en area används än en punkt och detta kommer troligtvis att ändras nästa år, eller förhoppningsvis.

I Miljöbyggnad används  $DF_{point}$ . Man utgår från halva rumsdjupet och beräknar DF en meter från sidovägg. Den mörkaste punkten gäller (se Kap 2.1.2 Dagsljusfaktorn).

## 2.7.4 Jämförelse

Tabell 4 Jämförelse mellan olika klassningssystem (Arnesson, 2011; <http://www.gamenetwork.se/wp-content/uploads/2010/11/Michael-Gustafsson-Skanska.pdf>).

Område	LEED (NC)	BREEAM International	Miljöbyggnad
Akustik		X	
Avfall (BP= byggprocessen, B= brukare)	X (BP, B)	X (BP, B)	
Byggskede	X	X	
Certifieringspart	3:e	3:e	2:a
Energi	X	X	X
Fukthantering	X		X
Information om byggnaden	X	X	X
Innovativa lösningar utöver metoden	X		
Inomhusmiljö	X	X	X
Ledarskap		X	
Markanvändning	X	X	
Material	X	X	X
Regionala prioriteringar	X		
Rökning	X		
Transporter (BP = byggprocessen, B = brukare)	X (B)	X (B)	
Uppföljning	X	X	X
Uppvärmning av mikroklimat	X		
Vattenanvändning	X	X	
Översvämning	X	X	

LEED liknar BREEAM. Det går dock inte att jämföra systemen rakt av då mätning och poängsättning sker på olika sätt. Om en byggnad har full poängsättning med LEED räcker det bara till Very good enligt BREEAM (SGBC 1). Internationellt gäller LEED och BREEAM och de tar inte hänsyn till det svenska systemet Miljöbyggnad. Miljöbyggnad borde utvecklas så att det går att använda mer internationellt. Eftersom det bygger på svenska normer och lagar blir det ganska ointressant för andra länder. LEED har grundkriterier som måste uppfyllas innan certifiering, men det har inte BREEAM (Arnesson, 2011).

Paul Rogers anser att projekt ska matchas med metod, till exempel fokuserar Miljöbyggnad mycket på energi. LEED är baserat på amerikanska förhållanden. Det vore konstigt att använda amerikanska verktyg i Sverige. Den svenska versionen av BREEAM bygger till stor del på Skanska och amerikanska investerare.

Paul Rogers berättar att det finns cirka 10 stycken så kallade "LEED APs" (Accredited Professional), det vill säga godkända certifierare, och de arbetar alla inom Skanska. LEED fokuserar på Indien och Kina, men inte lika mycket på oss då vi använder oss av andra miljöklassningssystem. I BREEAM ska bland annat logistiken kontrolleras, att det ska gå smidigt utan att behöva vänta med motorn igång på ett annat fordon som också har motorn på. Rogers berättar att det är lätt att missa i beräkningarna.

## 2.8 Tumregler

Enligt en studie av ett arbetsrum är den optimala kvoten mellan storleken på området som solen belyser och rummets golvyta 25-40 % (Boubekri, 2008).

"Enligt undersökningar i England så borde fönsterytan i arbetslokaler vara minst 30 % av fönsterväggens yta för att möjliggöra bästa synkontakt med omvärlden" (Ejhed J et al, 1988).

Rekommenderade fönsterstorlekar för att ge en bra utsikt:

- nedre del av glaset  $\leq 0,9$  m över golvytan
- övre del av glaset  $\geq 2,2$  m över golvytan
- glasbredd  $\geq 1,0$  m, i rum som är mer än 5 m djupt  $\geq 1,15$  m
- totala glasbredden av alla fönster  $\geq 55$  % av bredden på rummet (Augustesen et al, 2006).

Om det finns möjlighet till takfönster kan ytan precis under få tillräckligt med dagsljus. Det finns i två varianter, vertikal eller horisontell. Beroende av typ

av glas behövs bara 7-15 % av takytan för att uppnå en dagsljusfaktor på 4 % (Augustesen et al, 2006).

Enligt BREEAM, dvs.  $DF_{ave}$ , är 2 % ett trevligt rum, 5 % mycket bra ljus och över 5 % blir för varmt och ger ett obehagligt ljus. Kriterierna för bostäder, enligt Rogers, är 1,5 % för kök, 2 % för vardagsrum och 1 % för sovrum, enligt Paul Rogers<sup>18</sup>.

En tumregel är att ett 2-glasfönster släpper in ca 80 % och ett 3-glas ca 70 % av dagsljuset till skillnad från då fönstret står öppet. Tonade och blyinfattade fönster kan släppa in så lite som 20 % och gör att färgen på interiören i rummet kan få en markant förändring (ELFOR, 2004).

”I ett 3-glasfönster med klara glas är dagsljustransmittansen 75 %. Med isolerglas och två emissionsskikt är den 65 % ” (Norlux fönster).

Djupet för det ”användbara” ljuset ligger mellan 1,5 och 2,0 gånger fönstrets höjd, men även fönstrets bredd spelar roll (Boubekri, 2008).

Beroende på typ av glas behövs bara 7-15 % av takytan vara fönster för att uppnå en dagsljusfaktor på 4 % (Augustesen et al, 2006).

”[...] minst 63 procent av dagsljuset och 52 procent av den inkommande solenergin släppas in.” enligt Energimyndigheten.

**Tabell 5 Gräns för minsta reflektans på ytor beroende av rumsdjup och fönsterhöjd för att inte behöva beräkna och/eller simulera dagsljus (BREEAM).**

Reflectance ( $R_B$ )	0.4		0.5		0.6	
Room Width (m)	3.0	10.0	3.0	10.0	3.0	10.0
Window Head Height (m)						
2.5	4.5	6.7	5.4	8.0	6.8	10.0
3.0	5.0	7.7	6.0	9.2	7.5	11.5
3.5	5.4	8.6	6.5	10.4	8.1	13.0

(BREEAM code for sustainable homes, 2009)

<sup>18</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

### 3 Dagsljusmätning

Beskrivning hur utförandet av de fysiska dagsljusmätningarna genomfördes, samt en redogörelse av objektet. Bilder och resultat från mätningen finns som bilagor.

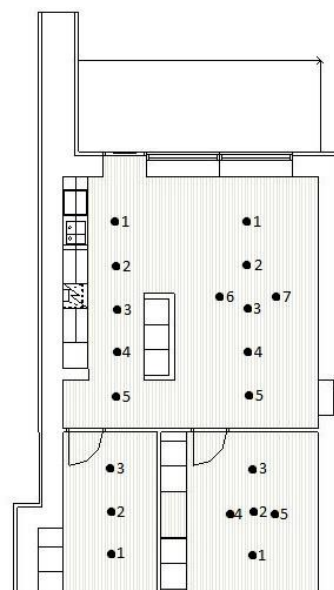
#### 3.1 Objektbeskrivning

Objektet finns hos Falkenbergs bostäders, FaBo, alldeles nybyggda passivhus i kvarteret Kv. Drivbänken. Anledningen till att vi valde att göra mätningarna för det objektet är att vår handledare Helena Bülow-Hübe<sup>19</sup> var involverad i det projektet och det var dessutom tillgängligt och omöblerat, då vi kunde komma till precis före inflyttning. Det består av tre huskroppar med mörkgrått tegel med inglasade balkonger med delvis frostade och delvis ljusgrönt färgade partier. Mätningen genomfördes i en trea på andra våningen i den västra delen av det mellersta huset. Lägenheten är orienterad med balkongen mot söder och har ljusa invändiga ytskikt och ekparkettgolv. Köket och vardagsrummet är sammanhängande med kyl, frys och skafferier som en ö i mitten, som agerar skiljevägg mot vardagsrummet.

#### 3.2 Utförande

Vi markerade ut samtliga mätpunkter på golvet med tejp. Därefter mätte vi belysningsstyrkan med en luxmätare inomhus, på en 800 mm hög hylla som sattes ovanför utsatta mätpunkter. Samtidigt mätte vi med en annan luxmätare ute på taket (oskuggat) och höll kommunikation med hjälp av telefon. Efter det mättes reflektans genom att jämföra varje yta med ett vitt papper med hjälp av en luxmätare. Transmittansen för fönster- och balkongglasen räknade vi ut genom att använda Pilkingtons produktkatalog och ritningsförteckningar.

Transmissiviteten för glasen räknade vi ut med hjälp av Formel 3 där  $t_n$  = transmissivitet och  $T_n$  = transmittans.



Figur 14 Mätpunkter i lägenheten.

Formel 3 Beräkning av transmittans.

$$t_n = \frac{(\sqrt{0.8402528435 + 0.0072522239 \times T_n \times T_n} - 0.9166530661)}{T_n}$$

<sup>19</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

## 4 Enkätundersökning

*Under detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet under enkätundersökningen. Se enkäten under bilagor.*

### 4.1 Objektbeskrivning

Se Kapitel 3.1 Objektbeskrivning. De flesta boende är pensionärer.

### 4.2 Utförande

Under ett möte med Thorbjörn Laike<sup>20</sup> fick vi färdiga formulär, *Hur upplever du ljuset i det här rummet?*, Miljöpsykologi, LTH, 1995, 2 sidor. Enkäten bestod av formuläret tillsammans med egna formulerade frågor (granskade av Helena Bülow-Hübe<sup>21</sup>). Varje lägenhet fick ett kuvert med 6 stycken enkäter som de skulle fylla i 3 gånger per dag under en jämnmulen dag och en klar dag, vilket Thorbjörn Laike rekommenderade. Kuverten var frankerade och därför var det bara för deltagarna att lägga svaren på brevlådan. Efter att vi fått tillbaka enkäterna fick vi hjälp av Thorbjörn Laike att sammanställa dem genom att räkna ut medelvärden av de olika dagarna och tiderna.

---

<sup>20</sup> Thorbjörn Laike, Ljusforskare och docent i miljöpsykologi vid Lunds Tekniska Högskola, möte 2012-03-07.

<sup>21</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

## 5 Simulering

*Utförligare beskrivning av tillvägagångssättet för simuleringar med de olika programmen.*

### 5.1 Modellbeskrivning

Modeller som simulerats:

1. Ursprunglig lägenhet i Falkenberg (Kv. Drivbänken). Där vi har gjort mätningar (fönster-/golvarea = 27 %).
2. Modell 1 utan inglasning på balkongen, samt utan skuggande yttervägg.
3. Modell 1 helt utan balkong.
4. Modell 1 utan köksö.
5. Modell 1 med annan reflektans på ytskikten (Google SketchUp modell 1 används då reflektanserna ändras i simuleringsprogrammen) uppmätta reflektanser halveras (inte transmittansen på fönster).
6. Modell 1 fast en mindre fönster- genom golvarea (tar bort sidofönster) (f/g = 24 %).
7. Modell 4 med en annan fönsterplacering (takfönster i rummets mitt 1\*1 m) (f/g = 30 %).
8. Modell 1 med annan orientering (roterad 180°).

Samma färgsättning används i alla simuleringar, utom i modell 5 där halva reflektansvärdena används. Som en förenkling används endast klarglas på balkongen, att använda frostat och färgat glas gör lägenheten ännu mörkare.

Tabell 6 Materialegenskaper.

	Material/färg	Reflektans
Balkong (tak och golv)	Betong	0,70
Fönsterbänk	Granit	0,50
Golv	Ekparkett	0,29
Köksbänk	Granit	0,06
Köksinredning	Vitt	0,60
Stänkskydd	Ljusblå kakel	0,70
Tak	Vitt	0,90
Fasad	Mörkgrått tegel	0,70
Vägg	Vitt	0,86

Tabell 7 Glastransmittans, räknades ut med Formel 3.

Typ	Transmittans
Fönster Pilkington Trippel 4S(3)-12-4-12-S(3)4	0,71
Balkong Lumon inglasningssystem nr 5	0,67

Velux Daylight Visualizer avrundar till 2 decimaler, 3ds Max till 3 decimaler och i Daysim finns det inte någon begränsning.

## 5.2 Utförande

### 5.2.1 Daysim 3.0

Simuleringarna med modell 1 är gjorda med de olika certifieringarnas system, för placering av mätpunkterna, för att kunna jämföra hur stor skillnaden är mellan systemen och vilket som är närmast verkligheten, dvs. våra mätvärden. Övriga modeller görs enbart med rutnät enligt LEED:s metod för att jämförelse ska kunna göras mellan programmen, då Velux Daylight Visualizer använder det systemet.

En ny simulering påbörjas genom att skapa en ny mapp under mappen Daysim, som skapas när programmet laddas ned. När ett nytt projekt (hea-fil) startas läggs detta i den nyskapade mappen. Detta ska göras för att nya mappar skapas som tillhör just det projektet. Nästa steg är att lägga in en klimatfil (epw-fil), som kan laddas ned från internet. Klimatfilen som vi använt är för Landvetter, Göteborg, då det är närmast Falkenberg av de orter som går att välja på. Upplösningen som tidsserien ska ha kan väljas, dvs. hur ofta mätningen (beräkningen) ska ske, intervallen kan väljas mellan 1 och 60 minuter. Programmet kan inte uppskatta värdet för ”månad 12”, december, på grund av för mycket moln eller otillräckliga uppgifter.

Modellen, som är exporterad från Google SketchUp i 3ds-format, importeras till programmet. Den rätta pts-filen läggs in, vilken består av koordinater för rutnätet med bestämda punkter där vi vill veta dagsljusfaktorn. De är gjorda utifrån de tre certifieringssystem vi valt att jämföra mellan, våra egna mätpunkter samt enligt det rutnät som Paul Rogers<sup>22</sup> brukar använda. pts-filerna talar om x-, y- och z-koordinaterna för mätpunkterna samt åt vilket håll mätaren är riktad. Alla våra punkter är riktade uppåt.

Eftersom Daysim bygger på beräkningar i Radiance är det bra att ha kunskaper om hur Radiance arbetar och hur material definieras eftersom en del manuella justeringar krävs. De viktigaste momenten går igenom nedan:

---

<sup>22</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

Tabell 8 Inställningar Daysim.

Flik	Rubrik	Parameter	Orsak
Site	Simulation Time Step	5 min	Rekommendation
Building	Shading Device	Static Shading Device	Vi har ingen rörlig solavskärmning
Simulation		Scene Complexity 2	Tyngre inställning
Run simulation	Annual Illuminance Profiles	Use DDS file format	Tyngre inställning
		Båda rutorna i-kryssade	
Analysis	Arrival Time	8.00	
	Departure Time	23.00	Ljuset ska vara bra hela dagen
	Lunch&Intermediate Breaks	inte ikryssad	
	Minimum Illuminance Level	300 lux	Tillräckligt för bostad
	Installed Lighting Power Density	0.0	Vill veta hur man klarar sig med endast dagljus

I rad-filen som heter *material* och som skapas i projektets mapp, ändrades RGB-värdena (red, green, blue) till våra egna reflektansvärden. I vårt fall räknar vi i ”gråskala” varför värdena sätts lika för R, G och B och samma som den uppmätta reflektansen. Indata-parametrarna är fem stycken för ”vanliga” färger och material och benämns som *plastic* (se Radiance manual). De tre första är RGB-värden och de två sista står för *roughness* och *specularity*, vilka vanligtvis sätts till 0 då man inte räknar med att ytan är ojämn eller speglande. De material som kommer in som *trans* (translucent), genomskinliga, har sju parametrar men ska ändras till *glass* (se Radiance manual) med tre parametrar då fönsterglas inte har fler. I Radiance finns också ett speciellt sätt att mata in transmissionen hos fönsterglasningen. Istället för det som vi brukar ange som glasningens ljustransmittans, ska en egenskap som kallas transmissivitet beräknas. Denna anges i Radiance manual ungefär som den mängd ljus som bevaras när ljuset rör sig en gång genom glasrutan. Detta innebär att Radiance på egen hand räknar ut den transmittansen med hänsyn till multipelreflexer i glasskivan och till ljusets infallsvinkel. En annan viktig sak att tänka på är hur glaset ritas in i modelleringsprogrammet. Istället för att glaset ritas som tre stycken glasskivor förenklar vi det till en enda yta och anger en transmissivitet



som passar till denna modell av fönstret. Transmissiviteten räknades ut med hjälp av Formel 3.

Här sätts de värden på transmissivitet in som räknats ut. De olika inställningarna under fliken Simulation behandlar bland annat reflektioner och omgivningen på olika sätt. Till sist sätts dagsljusanalysen igång.

En batch (kommando-fil) för varje simulering kan skapas vilket gör att flera simuleringar kan förberedas och sättas igång vid ett senare tillfälle. Resultatet fås i form av en tabell med de olika punkterna från pts-filen och dess olika värden på bland annat dagsljusfaktorn och dagsljusautonomin. Det visar också hur många timmar/år som artificiellt ljus skulle behövas.

Inställningarna vi använt är i Tabell 8. De övriga är enligt förinställningar.

### 5.2.2 Velux Daylight Visualizer 2.6

Google SketchUp-filen importerades (skp). Därefter sattes en skala och enhet in (millimeter). Färgsättningen från Google SketchUp följde med modellen och in i Velux Daylight Visualizer. Bilder på materialet laddades upp för att få realistiska och snygga bilder. Men vid beräkning av dagsljus sattes reflektansen på de olika ytorna med hjälp av RGB. När reflektansen sattes på en yta valdes ett material, *Plastic*, men när transparenta glasytor skulle användas valdes *Window glass* där den rätta transmittansen på glaset lades in genom RGB. Därefter ändrades *Location* samt orientering på byggnaden och koordinaterna, longitud och latitud, för Falkenberg är  $12^{\circ}30' E$ ,  $56^{\circ}54' N$  (Maps of World).

Olika kameravinklar sattes in för att analysera luminans och/eller illuminans samt med hjälp av datorn beräkna, rendera, verklighetstroga bilder med dagsljus. Vid analys av dagsljusfaktorn behövs ingen kamera då bilden automatiskt ändras till en planvy. Efter rendering kan ett medelvärde för dagsljusfaktorn fås fram genom att markera en yta på den renderade bilden. Proceduren upprepades med de olika modellerna. Olika renderade bilder för dagsljusfaktorn skapades ur programmet. Dessa innehåller färg, gränser, punkter och medelvärde för en yta.

### 5.2.3 Autodesk 3ds Max Design

För att få dagsljus i simuleringen skapades ett *Daylight system*. I dagsljusystemet kan himmelstyper väljas, bland annat Perez All-weather Sky Model. Därefter laddades en *Weather Data File* ner (Falkenberg användes, samma som används i Daysim).

Man kan välja att simulera ett klockslag eller att göra en animation över en period, till exempel ett år. En dag i juni valdes (samma som i Velux Daylight

Visualizer). Innan importeringen av modellen skapades en cylinder med en stor diagonal (ca 40 m enligt Jake Osborne<sup>23</sup>) för att representera markens reflektans utanför fönstret som bidrar till ljusinsläppet. Marken sattes under origo i koordinatsystemet (-50.0 mm enligt Jake Osborne) för att den inte skulle komma i konflikt med modellen i ett senare skede. Olika material skapades för att kunna sättas in i modellen. Reflektanserna kommer från uppmätta värden från lägenheten i Falkenberg, markens reflektans sätts till 0,2 enligt Jake Osborne och Autodesk's manual. *Arch and Design* material valdes enligt Autodesk manual för att sedan följa glasinställningarna enligt manualen *Daylight Simulation in 3ds Max Design 2009 – Advanced Concepts* sida 7 (se Tabell 9).

Tabell 9 Parametrar för att skapa glasmaterial (*Daylight Simulation in 3ds Max Design 2009 – Advanced Concepts* sida 7).

3ds Max	Section	Parameter
Main material parameters	Diffuse	Diffuse Level: 0.0
	Reflection	Reflectivity: 1.0
	Refraction	Transparency: 1.0
		Color: (sätt R,G,B enligt transmittans på glaset)
		IOR: 1.5
BRDF		By IOR (fresnel reflections)
Advanced Rendering Options	Advanced Transperency Options	Thin-walled (can use single faces)
		Use Transparent Shadows
		Transparency propagates Alpha chanel

Vår Revit-modell importerades. Lagren följde med från Revit och de tilldelades material med rätt reflektans. En kamera skapades som sattes in i modellen för att kunna simulera en bild inuti byggnaden. Ljusbildare sattes ut genom att markera ett nät. Koordinaterna för nätet ändrades, dvs. bland annat höjden över golv enligt kriterier för klassningssystem. Därefter antalet ljusbildare bland annat så att vi fick ett rutnät på 1\*1 m enligt LEED. Renderingsinställningarna som ändrades finns i Tabell 10.

<sup>23</sup> Jake Osborne, Freelance 3D Artist at Self, Youtube-video 2012-04-10.

Tabell 10 Renderingsparametrar enligt Reinhart C. Experimental Validation of Autodesk® 3ds Max® Design 2009 and Daysim 3.0 sida 14.

3ds Max Render Dialog Rollout	Section	Parameter
Rendering Algorithms	Scaneline	Enable: Off
Rendering Algorithms	Raytracing	Enable: On
		Max Trace Depth: 10
		Max Trace Reflections: 10
		Max Trace Refractions: 10
Shadows & Displacement	Shadows	Enable: On
		Mode: Simple
Final Gather	Basic	Enable Final Gather: On
		Multiplier: 1.0
		Initial FG Point Density: 1.0
		Rays per FG Point: 2500
		Interpolate Over Num. FG Points: 5
		Diffuse Bounces: 6
		Weight: 1.0
Final Gather	Advanced	Noise Filtering: None
		Max Depth: 10
		Max Reflections: 10
		Max Refractions: 10
		Use Falloff (Limit Ray Distance): Off
Final Gather	Advanced	Use Radius Interpolation Method: Off
Caustics & Global Illumination (GI)	Caustics	Enable: Off
	Global Illumination	Enable: Off

*Lightning Analysis Image Overlay* lades till för att få in värdena i renderingen och få pedagogiska bilder dvs. renderade snygga bilder med värden (lux).

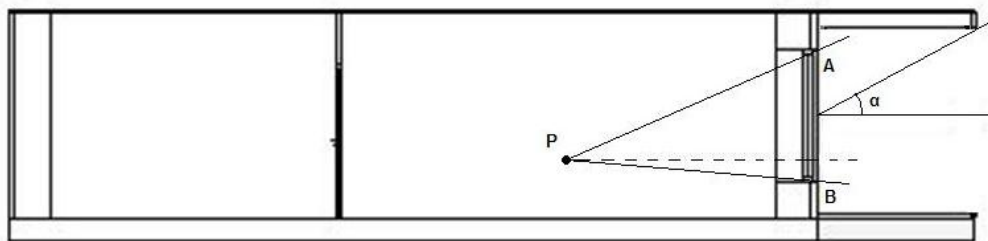
Himmelstypen ändrades till CIE och till mulet väder. Inställningarna för himlen ändrades manuellt till 10 000 lux och direkt solljus till 0 lux. För att kunna analysera ljusmätarna exporterades en CVS-fil över värdet i varje virtuell ljusmätare.

## 6 Beräkning för hand

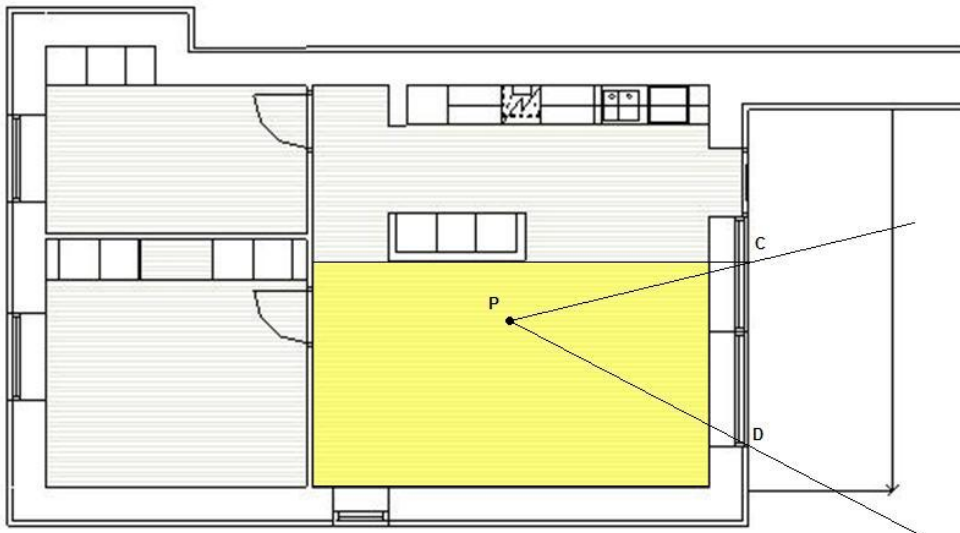
I Kapitel 6 kan man läsa om modellen och metoden för manuell beräkning, där beräkningen gjorts enligt Svensk Standard. Beräkningarna finns som Bilaga 4.

### 6.1 Objektbeskrivning

Uträkningen är genomförd i vardagsrumsdelen av det gemensamma rummet för kök och vardagsrum då metoden i sig förutsätter ett rektangulärt rum med fyra väggar, golv, tak och ett fönster. En tänkt vägg, med samma reflektansvärden som övriga väggar, i linje med köksöns ena sida delar köket från vardagsrummet (se Figur 16). Därmed blir också fönstret mindre, samtidigt som det lilla fönstret försummas. Reflektionsvärdena är desamma som i våra mätningar.



Figur 15 Sektion av lägenheten.



Figur 16 Planritning av rummet. Det gula markerade området har beräknats.

### 6.2 Utförande

För att beräkna dagsljusfaktorn behövs en plan och en sektion över rummet som visar fönstrets eller fönstrens storlek och placering samt den studerade punktens läge. För att räkna ut dagsljusfaktorn DF läggs de enskilda bidragen från himmelskomponent HK, utereflekterad komponent URK och innereflekterad komponent IRK ihop enligt Formel 4.

**Formel 4 Dagsljusfaktorn.**

$$DF = HK + URK + IRK$$

Beroende på om det finns hinder utanför eller inte görs olika beräkningar. Inverkan av nedsmutsning, specialglas och annat antal glas i fönstren kan också hanteras (Löfberg, 1987). För utförlig beräkning, se Bilaga 4.

1. Syftningslinjer drogs från punkten P i *sektionsritningen* till A och B. Gradskivan lades med centrum i P och 0 åt sidorna. P ska vara på halva rumsdjupet.
2. Himmelskomponenten för A och B lästes av. Den nedre vinkeln sätts till 0 då den är lägre än bröstningen, enligt Helena Bülow-Hübe<sup>24</sup>. Skillnaden mellan punkterna räknades ut.
3. Höjdvinklarna lästes av och medelhöjdvinkeln räknades ut.
4. Gradskivan lades på planritningen med centrum i P och 0 uppåt och nedåt. Korrektionsfaktorerna för C och D lästes av för medelhöjdvinkeln.
5. För att få fram HK adderades korrektionsfaktorerna och multiplicerades med  $HK_{\infty}$ .
6. Då det inte finns några hinder utanför sätts URK till 0.
7.  $\alpha$  lästes av med hjälp av dagsljusgradskivan. C räknades ut med hjälp av

**Formel 5 Faktor C.**

$$C = 39 - \frac{\alpha \left( 13 + \frac{\alpha(98 - \alpha)}{360} \right)}{40}$$

8. Medelvärdet av alla reflektionsfaktorer räknades ut. Reflektionsvärdena som användes var enligt våra egna mätningar, förutom fönster som enligt boken ska ha 0,15.

**Formel 6 Reflektionsmedelvärde.**

$$R = \frac{A1R1 + A2R2 + A3R3 + \dots}{A1 + A2 + A3 + \dots}$$

9. Reflektionsmedelvärdet för den övre halvan  $R_{tv}$  och nedre halvan  $R_{gv}$  av rummet räknades ut.
10. Medelvärdet för IRK räknades ut med Formel 5.

---

<sup>24</sup> Helena Bülow-Hübe, Miljö- och energichef, tekn.dr. FOJAB Arkitekter.Handledning 2012.

**Formel 7 Medelvärdet av inre reflektionskoefficient.**

$$\text{IRK}_{\text{medel}} = \frac{(0,95 - 0,1 * N)G}{A(100 - R)} * (C * R_{\text{gv}} + 5 * R_{\text{tv}})$$

där N = antal rutor i fönstret (1-3 st), G = glasarean, A = arean av alla rummets begränsningsytor, R = medelvärdet av alla ytornas reflektionsfaktorer, C = en faktor som beror av himlens luminansfördelning och skärmvinkeln till angränsande byggnader (enligt ovan),  $R_{\text{gv}}$  = ”medelvärdet av reflexionsfaktorerna på golvet och de delar av väggarna som ligger under fönstrets medelhöjd (exklusive fönsterväggen själv)” och  $R_{\text{tv}}$  = ”motsvarande medelvärde av reflexionsfaktorerna på tak och väggarna över fönstrets medelhöjd”.

11.Slutligen räknades DF ut enligt Formel 4.

## **7 Jämförelse av värden från litteratursökningen**

*I detta kapitel jämför vi de normer, regler, tumregler samt rekommendationer som vi har stött på under resans gång. Se bilagor för beräkning.*

### **7.1 Utförande**

Under informationssökningen har vi samlat olika värden från BBR, Energimyndigheten, böcker m.m. som är konkreta och går att jämföra med lägenheten. Värden som vi har jämfört med samt beräkning ligger som Bilaga 5.

## 8 Resultat

I detta kapitel finns resultatet av de undersökningar, simuleringar och beräkningar som utförts.

### 8.1 Dagsljusmätning

I Tabell 11 redovisas den uppmätta dagsljusfaktorn. Se placering av mätpunkter i Figur 14.

Tabell 11 Resultat från mätning.

Rum	Punkt	DF <sub>point</sub> [%]
Vardagsrum	1	51,6*
	2	18,6*
	3	6,7
	4	6,2
	5	5,7
	6	6,8
	7	7,2
Kök	1	4,3
	2	3,4
	3	2,2
	4	1,5
	5	1,6

\* Värdet på Punkt 1 och 2 i vardagsrummet är mycket högre vilket beror på att solen började skina vid mättillfället och mätpunkten var i solfläcken.

### 8.2 Enkätundersökning

Resultatet från enkätundersökningen har sammanfattats i Tabell 12. Hela sammanställningen finns i Bilaga 3.

Resultatet för varje kategori kan maximalt bli 7,0, där resultat över 4,0 är positivt förutom vid flimmer.

Tabell 12 Resultat enkätundersökning

Rubrik	Betyg
Trivsamt	5,0
Styrka	4,0
Spridning	4,3
Kulör	2,9
Flimmer	1,8



## 8.3 Simulering

Modellerna är enligt Kapitel 5.1 Modellbeskrivning. Punkterna är samma som i Figur 14.

### 8.3.1 Daysim 3.0

I Tabell 13 visas resultatet från simulering i Daysim. Där har de specifika punkterna från Miljöbyggnad och vår dagsljusmätning fått varsitt värde på dagsljusfaktorn. I de internationella systemen har ett dagsljusmedelvärde räknats ut. Med kolumnen klassificeringsmetod menas att rutnätet eller punkterna är genomförda enligt respektive miljöklassningssystem.

Tabell 13 Resultat för dagsljusfaktorn från simulering i Daysim.

Modell	Klassificeringsmetod	Punkt	DF [%]	
1	Miljöbyggnad	6	1,40	
		7	1,30	
1	BREEAM	DF <sub>ave</sub>	1,66	
1	LEED	DF <sub>ave</sub>	1,83	
1	Paul Rogers <sup>25</sup>	DF <sub>ave</sub>	1,60	
1	Enligt dagsljusmätning	1	2,20	Vardagsrum
		2	1,60	
		3	1,40	
		4	1,50	
		5	1,80	
		6	1,50	
		7	1,30	
		1	1,60	Kök
		2	1,20	
		3	0,80	
		4	0,60	
		5	0,70	
2	LEED	DF <sub>ave</sub>	3,15	
3	LEED	DF <sub>ave</sub>	4,67	
4	LEED	DF <sub>ave</sub>	1,81	
5	LEED	DF <sub>ave</sub>	1,11	
6	LEED	DF <sub>ave</sub>	1,21	
7	LEED	DF <sub>ave</sub>	3,43	
8	LEED	DF <sub>ave</sub>	1,84	

<sup>25</sup> Paul Rogers, Arkitekt M. Arch. Certified BREEAM Assessor, BAU Arkitekter AB, intervju 2012-03-29.

Diagram 1 visar skillnaden mellan miljöklassningssystemen i modell 1. Bidraget från sidofönstret är anledningen till att linjen för punkt 1-5 i vardagsrummet går uppåt på slutet (se Tabell 13).

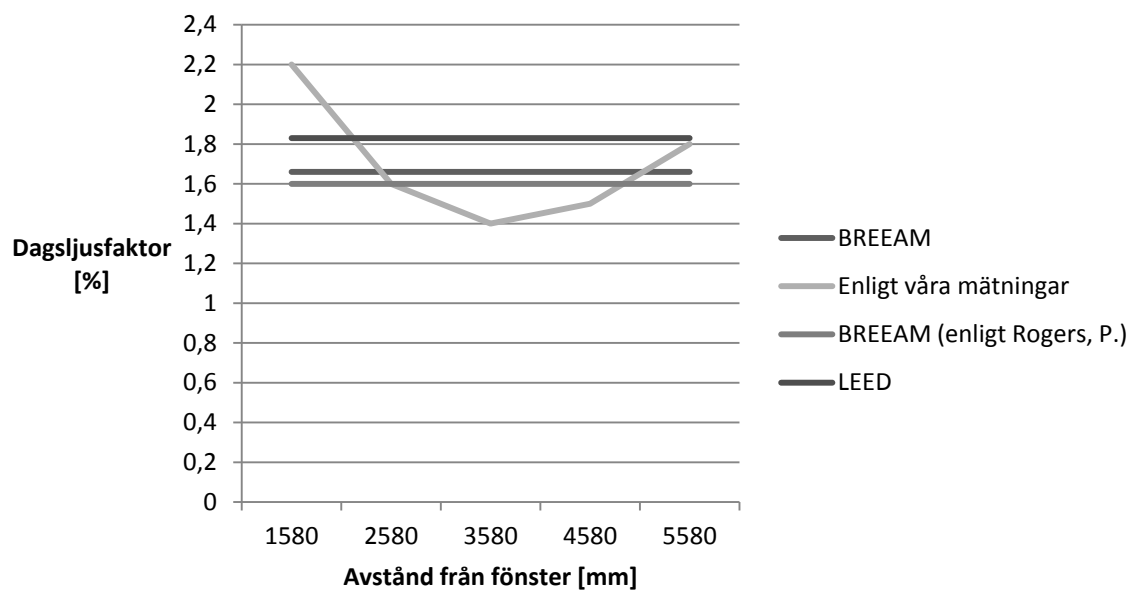


Diagram 1 Jämförelse mellan miljöklassningssystem i modell 1.

### 8.3.2 Velux Daylight Visualizer 2.6

Resultatet från simulering i Velux Daylight Visualizer visas i Tabell 14.

Tabell 14 Resultat från Velux Daylight Visualizer.

Modell	LEED
1	1,4
2	2,4
3	3,7
4	1,3
5	0,7
6	0,9
7	3,4
8	1,2

### 8.3.3 Autodesk 3ds Max Design

I Tabell 15 visas resultatet av simulering från Autodesk 3ds Max Design.

Tabell 15 Resultat från Autodesk 3ds Max Design.

Modell	LEED	BREEAM	Miljöbyggnad
1	1,6	1,58	1,9
2	2,1		
3	4,3		
4	2,1		
5	1,1		
6	1,6		
7	4,2		
8	2,0		

### 8.3.4 Jämförelse

Diagram 2 visar en jämförelse mellan de simuleringsprogrammen för hela rummets yta enligt LEED.

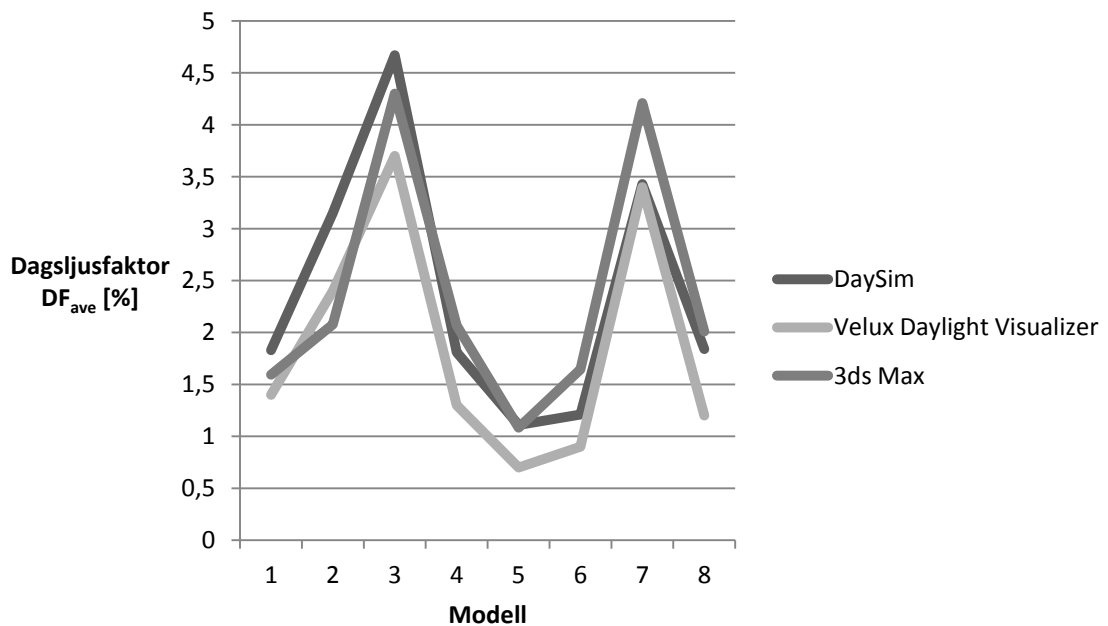


Diagram 2 Dagsljusfaktor för de olika modellerna i de olika programmen.

## 8.4 Beräkning för hand

Resultatet från beräkning för hand visas i Tabell 16. För att se hela uträkningen, se Bilaga 4.

Tabell 16 Resultat från beräkning för hand

Uträkning	Resultat
HK	0,874 %
URK	0 %
IRK	2,08 %
DF	2,95 %

## 8.5 Jämförelse av värden från litteratursökningen

Vi genomförde beräkningar för att jämföra värden från rapporten med lägenheten som mätningarna utfördes i. Resultatet visas i Tabell 17. Jämförelserna finns i Bilaga 5 och beräkningarna för dessa hittas i Bilaga 6.

Tabell 17 Resultat från jämförelsen mellan litteratursökningen och lägenheten.

Punkt	Betyg
1	Godkänt
2	Icke godkänt
3	Godkänt
4	Godkänt
5	Godkänt
6	Godkänt
7	Godkänt
8	Godkänt DF
	Godkänt AF
9	Godkänt
10	Godkänt
11	Icke godkänt Kök
	Godkänt Vardagsrum
	Icke godkänt 80 % av arbetsytor
12	Godkänt

## 9 Slutsats

*I det här kapitlet presenteras de diskussioner som leder fram till de slutsatser vi dragit utifrån litteraturundersökning, resultat med mera.*

### 9.1 Dagsljusets betydelse för människans hälsa i bostaden

Enkätundersökningen går inte att använda som underlag för en slutsats för att vi inte fick tillräckligt många deltagande. De som deltog verkade överlag vara nöjda men resultatet är inte tillförlitligt. Dessutom fanns bara en åldersgrupp representerad i bostäderna. Vi tycker att ämnet är viktigt och rekommenderar det därför för fortsatta studier, se nedan.

Vi har lärt oss från litteraturstudien att dagsljuset är viktigt för hälsan. Framförallt för dygnsrytmen vilken styr när vi är trötta och alerta. Därför är det väsentligt att sovrum och kök är orienterade mot öster för att man ska utsättas för morgonsol två timmar innan aktivitet. Enligt Boyce (2010) behövs 400 lux mot ögat för att vara vaken, dock är det oklart under hur lång tid man ska exponeras. Kanske kan kvoten fyllas upp med högre luxvärden genom att vara utomhus en kort stund snarare än att utsättas för ett lägre luxvärde en längre tid. Mer forskning bör göras inom området innan slutsatser kan dras.

### 9.2 Simuleringsprogram och beräkning för hand

#### 9.2.1 Daysim 3.0

Det svåra är att få med alla material i exporten från Google SketchUp. Problemet ligger troligtvis både i Google SketchUp och i Daysim. Ritprogrammet får inte alltid med sig sina material i exporten och simuleringsprogrammet förkortar materialnamnen vid importen vilket ger upphov till förvirring. Även att gå igenom alla geometrier är krångligt och tidskrävande. Vid exporten delas geometrin upp i form av trianglar och dessa måste kontrolleras så att det inte finns dubbla trianglar någonstans, eller ”onödiga” trianglar. Viktigt är också åt vilket håll den färglagda sidan är riktad. Glasytorna måste kontrolleras så att de bara kommer med en gång. Då de är genomskinliga får de två synliga ytor fast det bara är en ritad yta.

En del moment i utförandet av simulering i programmet är underförstådda och det finns inte några instruktioner för detta i någon manual. Exempelvis går det inte att använda programmet om mappen som skapades när det laddades ned har flyttats till en annan hårddisk. En annan sak är att det är bra att ha någon slags programmeringskunskap sen tidigare då filer av olika slag ska kontrolleras inför simulering.

#### 9.2.2 Velux Daylight Visualizer 2.6

Velux Daylight Visualizer 2.6 är ett enkelt och pedagogiskt program som ger tydliga direktiv under hela simuleringsprocessen. Velux Daylight Visualizer är

ett program som man kan använda för att få en uppfattning av dagsljuset i ett rum, men inte för att få korrekta beräkningar för dagsljusfaktorn, illuminans eller luminans. Velux Daylight Visualizer är dessutom inte så precist då dagsljusfaktorn blir avrundad till heltal och inte visar hur mycket under 1.0 dagsljusfaktorn ligger. När man däremot gör ett medelvärde för dagsljuset får man fram ett värde med två decimaler. Man kan lätt lägga in textur på olika material vilket gör att man skapa verklighetstroga bilder.

### 9.2.3 Autodesk 3ds Max Design

För kunna använda 3ds Max Design krävs en del erfarenhet av CAD-program, och därefter kan man arbeta utifrån manualer och undervisningsvideo på Youtube för att utföra dagsljusberäkning. Vid import av Revit modell följer olika lager med och detta gör det enkelt att sätta reflektans och transmittans. I Revit kan man göra en modell som är väldigt detaljerad och därför få man verklighetstroga värden. Något som är positivt med programmet är att man kan sätta ut mätpunkter  $DF_{point}$  samt göra ett rutnät till uträkning av  $DF_{ave}$ , vilket man väljer efter miljöklassning. 3ds Max Design är det ultimata verktyget för företag som utför miljöklassningar då det är effektivt och illustrativt och kan hantera stora och komplicerade geometrier.

### 9.2.4 Beräkning för hand

Att räkna för hand, enligt boken *Räkna med dagsljus* som Svensk Standard hänvisar till, är ett krångligt och ett gammeldags system med tanke på att man måste använda dagsljusgradskivor och är tvungen att gissa sig fram med hjälp av antagna reflektansvärden. Dagens öppna planlösningar med skiljeväggar gör det svårare att tolka hur beräkningen ska genomföras. Övervägningar måste göras om rummet ska delas av och i så fall hur, vilka reflektansvärden som ska användas på de fiktiva väggarna eller om man helt enkelt ska räkna efter det större rummet. I vårt fall försummade vi det lilla fönstrets bidrag då det har en mörk tegelvägg precis utanför, men det hade även gått att göra två beräkningar och addera dem. Oavsett vad man väljer blir inte resultatet helt trovärdigt.

### 9.2.5 Jämförelse

3ds Max Design är smidigt och kan hantera större modeller jämfört med Daysim och Velux Daylight Visualizer som bara klarar av att simulera ett rum. Man kan rendera realistiska bilder med Velux Daylight Visualizer (se Bilaga 9) och 3ds Max Design medan man i Daysim bara får ut tabeller med siffror.

Genom Velux Daylight Visualizer kan man, till skillnad från de övriga programmen, utan större kunskap om dagsljus rendera bilder. Därefter kommer Daysim i svårighetsgrad. Svårast att hantera, men troligen mest noggrant och precist då man har mycket ingångsdata är 3ds Max Design.

Renderingar vid hög upplösning är tidskrävande i 3ds Max Design och i Daysim vid dagsljusanalys. Men då man använder Daysim kan man spara olika "batches" och genomföra flera analyser samtidigt vid ett senare tillfälle. Negativt med Google SketchUp är att alla geometrier/material inte alltid följer med i exporten. Detta blev ett problem i Velux Daylight Visualizer och Daysim då man inte kunde sätta rätt reflektans på alla ytor. Om en geometri saknas kan man själv lägga in geometrin i en fil i Daysim, men det tar tid och är komplicerat. Varje yta består av trianglar som har olika koordinatsystem i Google SketchUp och därefter måste man se till att geometri- och materialfilen stämmer överens. Den enklaste modellen är att rekommendera.

3ds Max Design kan skapa illustrativa renderingar som Velux Daylight Visualizer, samt exportera en dagsljusanalys med mera likt Daysim. I 3ds Max Design kan man göra mer exakta beräkningar då man kan föra in detaljerad information, som till exempel spröjs och andra detaljer, som tar lång tid att rita i Google SketchUp.

### **9.3 Slutsatser från resultat**

Jämförelsen av resultaten från de olika programmen visar att det inte skiljer sig mycket. Men det kan ändå ha betydelse för om man blir godkänd eller inte vid miljöklassning. Därför kan man lite grann välja program efter hur högt betyg man vill ha.

Man kan utläsa från de olika resultaten av simuleringarna att takfönster släpper in mycket ljus. Detta beror på att den himmelstyp som man använder vid simulering, CIE Overcast Sky, ger tre gånger mer ljus uppifrån än horisontellt genom ett fönster i fasaden. Nackdelen med takfönster är dock att det liknar artificiellt ljus. Om man minskar reflektansvärden med hälften på ytskikten kommer också dagsljusfaktorn att halveras. Man ska ta bort skiljeväggar och dylikt i rum för att inte förhindra dagsljusinsläppet och därmed få en låg dagsljusfaktor. Inglasad balkong ger en lägre dagsljusfaktor än en bostad helt utan balkong, enligt vårt objekt cirka tre procentenheter (se Diagram 2). Orienteringen på byggnaden har ingen betydelse med avseende på dagsljusfaktorn då man beräknar värdet vid en jämmulen himmel som är rotationssymmetrisk, men orienteringen har betydelse för andra viktiga faktorer som var solen lyser in, uppvärmning med mera.

Våra egna mätvärden blev väldigt höga då det precis vid mätningen plötsligt blev klart och soligt väder (se Bilaga 1 och Bilaga 7). Därför är de svåra att jämföra rakt av med resultaten från simuleringsprogrammen. Detta visar på den stora svårigheten att hitta en bra dag för mätning, dvs. att hitta en dag med stabilt mulet väder som liknar förutsättningarna i den jämmulna himmel som används vid beräkningar.

## 9.4 Miljöklassningssystem och föreskrifter

I LEED och BREEAM använder man sig av medelvärden för rutnät och i Miljöbyggnad endast av två punkter, varav den mörkaste är den som redovisas. Det finns ett visst utrymme att placera rutnätet lite hur man vill i rummet i BREEAM och LEED eftersom det som bedöms är arbetsytan och inte nödvändigtvis hela rummet. På detta sätt kan man styra vilket resultat man vill uppnå. Om man till exempel har en köksö, som i vårt objekt, kan man få olika värden beroende på hur man tolkar och utför beräkningarna.

Miljöklassningssystemen borde göras tydligare, så att man vet hur man ska gå tillväga till exempel om rummet har en annorlunda geometri eller en skiljevägg. Man borde som vi nämnt ovan använda 400 lux som nedre gräns inomhus vid beräkning av dagsljusautonomin.

Föreskrifterna har inte utvecklats mycket under åren och borde uppdateras på grund av hälsoaspekterna, då vi i dag befinner oss inomhus cirka 90 procent av tiden.

## 9.5 Förslag på fortsatta studier

- Att göra en mer utförlig enkätundersökning om hälsan med flera personer i en större målgrupp. Man kan, som Thorbjörn Laike föreslog, ställa upp ett rum och på olika sätt och låta deltagarna fylla i enkäten där. Om enkäten fylls i på plats är det också större chans att fler svar kommer in.
- Det måste finnas ett lättare sätt att beräkna dagsljusfaktorn för hand, utan dagsljusgradskiva. Mer utförliga tabeller kan vara ett exempel på vidare undersökning, liksom hur man ska göra vid vanlig/öppen planlösning.
- Man borde göra utförligare manualer för simuleringsprogrammen.



## 10 Referenser

Affleck, P. (2005). Sun exposure and health. *Nursing Standard* volym 19 nr 7, ss. 50-54.

Ajanki, T. (2012). *Moderna tiders solbrist bakom diabetes*. (Elektronisk). *Vetenskaphalsa.se*. Tillgänglig: < <http://www.vetenskaphalsa.se/moderna-tiders-solbrist-bakom-diabetes/>> (2012-03-08).

Andrén, L. & Tirén, L. (2010). *Passivhus, en handbok om energieffektivt byggande*. Värnamo: Fält & Hässler AB

Arnesson, T.(2011). *Ett svenskt miljöcertifieringssystem – För byggnader i tiden och framtiden*. (Elektronisk) Tillgänglig: < [http://www.bekon.lth.se/fileadmin/byggnadsekonomi/TanjaArnesson\\_ex-jobbTAklartryck.pdf](http://www.bekon.lth.se/fileadmin/byggnadsekonomi/TanjaArnesson_ex-jobbTAklartryck.pdf)> (2012-04-23).

Augustesen, C., Brandi, U., Dietrich, U., Friederici, A., Geissmar-Brandi, C., Kristensen, P., Madsen, M., Storch, A., Wand, B. (2006) *Lighting design*. Wesel-Kommunikation, Baden-Baden.

AI1. (Autodesk, Inc). (2009). *Daylight Simulation in 3ds Max Design 2009 – Advanced Concepts*. (Elektronisk) Tillgänglig: < [http://www.epab.bme.hu/3dsmax/download/3dsmax\\_advanced.pdf](http://www.epab.bme.hu/3dsmax/download/3dsmax_advanced.pdf)> (2012-04-10)

AI2. (Autodesk, Inc). (2009). *Daylight Simulation in 3ds Max Design 2009 – Getting Started*.(Elektronisk) Tillgänglig: <[http://images.autodesk.com/adsk/files/3dsmax\\_started.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/3dsmax_started.pdf)> (2012-04-10)

AI3. (Autodesk, Inc). (2012). *Top Reasons to Buy Autodesk 3ds Max Design*. (Elektronisk) Tillgänglig: < [http://images.autodesk.com/emea\\_nw\\_w\\_main/files/3ds\\_max\\_design\\_2013\\_top\\_reasons\\_en.pdf](http://images.autodesk.com/emea_nw_w_main/files/3ds_max_design_2013_top_reasons_en.pdf)> (2012-05-07)

BAU. (Byrån för Arkitektur och Urbanism). *BAU startar dagsljusgrupp*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.bau.se/sv.aspx#/sv/byran/nyheter/bau-dagsljusgrupp.aspx>> (2012-04-23).

Boubekri, M. (2007). *Daylight, architecture and people's health*. School of Architecture, University of Illinois at Urbana Campaign, USA. Environmental Health Risk IV, 2007, ss. 53-59. nedladdad 12-02-03

- Boubekri, M. (2008). *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*. Storbritannien: MPG Books Ltd.
- Boyce, P. (2010). Review: The impact of Light in Buildings on Human Health. *Indoor and Built Environment* volym 19, ss. 8-20.
- Boverkets nybyggnadsregler (föreskrifter och allmänna råd) (1988). Uppl 1:1 (1989). Stockholm; Svenskt Tryck Stockholm. ss 69-70.
- BREEAM code for sustainable homes*. (2009). Department for Communities and Local Government. London.
- BREEAM Europe Commercial 2009 Assessors Manual SD5066A HEA 1 – Daylighting*. (2008). Breeam Global. Garston, UK.
- Breton, P. (2012). *mental ray in 3ds Max Design for AEC renderings*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.pfbreton.com/wordpress/wp-content/uploads/2009/11/mentalray.for.aec.renderings.pdf>> (2012-04-10)
- Bülow-Hübe, H. (2008). Smart styrning av persienn för bättre solavskärmning och dagsljusinlänkning. *Ljuskultur* nr 4, ss. 16-25.
- Bülow-Hübe, H. (2007). Är dagsljuset bra i glasade kontor? *Husbyggaren* 2007 nr 3, ss 40-44.
- Bülow-Hübe, H. (2006). *PM Solinstrålning, fönsterfysik och nettoenergitransport genom fönster*. Kursmaterial.
- Bülow-Hübe, H., Lundgren, M. (2005). Solskydd i arkitekturen - Gestaltning, inomhusmiljö och energianvändning: *Ordförklaring*. Klippan: Ljungbergs tryckeri. ss. 81-83.
- Çakir, A. (2008). Daylight for Health and Efficiency – A new career for an old friend. ERGONOMIC Institut, Berlin.
- Dubois, M.-C. (2001). *Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Office, Simulations with Radiance*. Report TABK—01/3062. Lund University, Dept. of Construction and Architecture, Div. of Energy and Building Design. Lund (Sweden).
- Ejhed, J., Liljefors & A., Löfberg, H. (1988) Rum och ljus: *Dagsljus*. Stockholm; ARKUS. ss. 9- 18.

ELFOR – dansk eldistribution og Elsparefonden. (2004) *Godt lys i boligen*. (Broschyr).

FEBY. (Forum för energieffektiva byggnader). (2009). *FEBY-Kravspecifikation för Passivhus*. (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://www.energieffektivabyggnader.se/download/18.712fb31f12497ed09a58000142/Kravspecifikation\\_Passivhus\\_version\\_2009\\_oktober.pdf](http://www.energieffektivabyggnader.se/download/18.712fb31f12497ed09a58000142/Kravspecifikation_Passivhus_version_2009_oktober.pdf)> (2012-05-07)

FEBY. (Forum för energieffektiva byggnader). (2012). *FEBY-Kravspecifikation för Passivhus*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://nollhus.se/dokument/Kravspecifikation%20FEBY12%20-%20bostader%20jan.pdf>> (2012-05-07)

*Fönster & balkonger vid ombyggnad*. (1987). Stockholms byggnadsnämnd. Byggnadsvårdsprogram.

Fönster, Fukt och innemiljö. (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://www-v2.sp.se/energy/ffi/fakta\\_fonster.asp](http://www.v2.sp.se/energy/ffi/fakta_fonster.asp)> (2012-05-09)

Gochenour, S. & Andersen, M. (2009). *Circadian effects of daylighting in a residential environment*. LuxEuropa 2009 – Istanbul.

Gustafson, M. (2003). Dagsljus utan fönster. (Elektronisk) *fof.se*. Tillgänglig: <<http://fof.se/tidning/2003/5/dagsljus-utan-fonster>> (2012-03-08)

*Handboken Bygg* (1982). Författarna och Liber Förlag. Stockholm: LiberTryck. ss. 258-262, 271-272.

Hjertén, R., Mattsson, I., Westholm, H. (2001). *Ljus inomhus*. Laholm: Trydells Tryckeri. 33-71 s.

Isover. (2008). *Isover Multi-Comfort House, Nordiskt klimat*. Broschyr B4-01 2008-03.

Kruise. *Kunskap om ljus*. (2012). (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://www.kruise.com/sv-SE/VidenOm/Viden\\_om\\_lys.aspx](http://www.kruise.com/sv-SE/VidenOm/Viden_om_lys.aspx)> (2012-05-09)

*LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction IEQ 8.1 Daylight and Views – Daylight*. (2009). U.S.Green Building Council.

Li, D., Cheung, G., Lau, G. (2005). A simplified procedure of determining indoor daylight illuminance using daylight coefficient concept. *Building and Environment* 41 (2006). ss. 578-589.

Löfberg, H. A. (1987). *Räkna med dagsljus*. Gävle; Trycksam

Maps of World. *Sweden Latitude and Longitude Map*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.mapsofworld.com/lat\\_long/sweden-lat-long.html](http://www.mapsofworld.com/lat_long/sweden-lat-long.html)> (2012-04-10)

*Marknadsöversikt för passivhus och lågenergihus i Sverige 2006*. (2006). Projektet för passivhus.

National Research Council Canada. *Lighting research – DAYSIM (Dynamic Daylight Simulations)* (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/light/Daysim.html>> (2004-09-13)

NE1 (Nationalencyklopedin). (2009). Uppslagsord: ljus.

NE2 (Nationalencyklopedin). (2009). Uppslagsord: våglängd.

Norlux fönster. *Dagsljusets betydelse*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.norluxfonster.se/page/192/dagsljus.aspx>>. (2012-03-08).

Olsson-Jonsson, A., Ekstrand-Tobin, A. (2006). Husbyggnad. (Väg- och vattenbyggaren 2006 nr 2): *Fönster och innemiljö*. (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://www.vbyggaren.se/pdf\\_arkiv/F%F6nster%20och%20innemilj%F6.pdf](http://www.vbyggaren.se/pdf_arkiv/F%F6nster%20och%20innemilj%F6.pdf)> (2012-03-08)

Persson, K. (2008): Sveriges Arkitekter Swedish - Association of Architects: *Ljuset kommer från Syd*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.arkitekt.se/s27088>> (2012-03-08)

*Regelsamling för byggande, BBR 2012* (2011). 1 uppl. Boverket. Elanders Sverige AB. ss. 203-205.

Reinhart, C. (2009). *Experimental Validation of Autodesk® 3ds Max® Design 2009 and Daysim 3.0*. (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://images.autodesk.com/adsk/files/3ds\\_max\\_design-exposure\\_validation.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/3ds_max_design-exposure_validation.pdf)> (2012-04-11)

Reinhart, C. & Fitz, A. (2006). Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. *Energy and buildings* volym 38, ss. 824-835.

Reinhart, C. & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings* volym 33, ss. 683-697.

Rudolfsson, S. (2010). *Hållbarhet genom god arkitektur och byggande*. Luleå tekniska universitet. C-uppsats. Luleå Tekniska Universitet. Luleå: Avd. för Arkitektur och infrastruktur. Institutionen för Samhällsbyggnad.

Russell, S. (2008): *The architecture of light: Chapter 16 Designing with daylight*. 1:a uppl. La Jolla, CA, USA. ss. 109-119.

Rökæus, S. (2011). Hälsosamt dagsljus inomhus, (Elektronisk). *Acreo.se*.

Tillgänglig:

<[http://www.acreo.se/PageFiles/5473/2011\\_\\_12xx\\_AFFnyheter\\_H%C3%A4lsosamt\\_dagsljus\\_inomhus.pdf](http://www.acreo.se/PageFiles/5473/2011__12xx_AFFnyheter_H%C3%A4lsosamt_dagsljus_inomhus.pdf)> (2012-03-08).

Quick Start Guide to Daylight Simulation in 3ds Max Design 2010 (2010).

(Elektronisk). Youtube-video i regi av Jake Osborne. Tillgänglig: <

<http://www.youtube.com/watch?v=5iBal1wfZww&feature=plcp>> (2012-04-10)

SGBC. (Sweden Green Building Council). (2012). *Miljöbyggnad, Bedömningskriterier för nyproducerade byggnader. Manual 2.1*.

SGBC1. (Sweden Green Building Council). *BREEAM*. (Elektronisk)

Tillgänglig: <<http://sgbc.se/index.php/certifieringssystem/breem>> (2012-04-13).

SGBC2. (Sweden Green Building Council). *LEED*. (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://sgbc.se/index.php/certifieringssystem/leed>> (2012-04-13).

SGBC3. (Sweden Green Building Council). *Miljöbyggnad*. (Elektronisk)

Tillgänglig: <<http://sgbc.se/index.php/certifieringssystem/miljobyggnad>> (2012-04-13).

SGBC4. (Sweden Green Building Council). *Detta bedöms i miljöbyggnad*.

(Elektronisk) Tillgänglig: <<http://sgbc.se/index.php/detta-bedoms-i-miljobyggnad>> (2012-04-13).

SGBC5. (Sweden Green Building Council). *Certifiering med miljöbyggnad*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://sgbc.se/index.php/certifiering-med-miljoebyggnad>> (2012-04-13).

SIS. (Standardiseringskommissionen i Sverige). (1988). SS 91 42 01. Byggnadsutformning – Dagsljus – Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea.

Sjösten, P-E. (2001). Glas - Ljus i vårt hus. *Husbyggaren* nr 3.

*Svensk byggnorm 1980*. (1983). Utgåva 2. Statens planverks författningssamling. Stockholm: LiberTryck. ss. 301

*Svensk byggnorm 67*. (1968). Publikation nr 1. Statens planverk. Stockholm: Boktryckeri AB Thule. ss. 186

*Svensk Uppslagsbok*. (1955). Sökord: Syftlinje. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://svenskuppslagsbok.se/77159/syftlinje/>> (2012-05-25).

Söderström, M. (2011): Stressmottagningen: *Dagsljus och vårtrötthet*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.stressmottagningen.nu/2011/dagsljus-och-vartrötthet>> (2012-03-08)

Toikkanen, V. (2006). Solen – naturens eget lyckopiller. (Elektronisk) *Alltomvetenskap.se*. Tillgänglig: <<http://www.alltomvetenskap.se/index.aspx?article=991>> (2012-02-10).

Tonello, G. (2008). Seasonal affective disorder: lighting research and Environmental psychology. *Lighting Research and Technology* volym 40, ss. 103-110.

V1. (Velux). *Använd dagsljuset på rätt sätt*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.velux.se/privat/bo\\_i\\_balans/Haelsosamt\\_inomhusklimat/Anvaend\\_dagsljuset\\_paa\\_raett\\_saett](http://www.velux.se/privat/bo_i_balans/Haelsosamt_inomhusklimat/Anvaend_dagsljuset_paa_raett_saett)> (2012-03-08).

V2. (Velux). *Daylight Visualizer – About*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://viz.velux.com/daylight\\_visualizer/about](http://viz.velux.com/daylight_visualizer/about)> (2012-05-07)

V3. (Velux). *VELUX Daylight Visualizer validation against CIE 171:2006*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://viz.velux.com/daylight\\_visualizer/news/validation.aspx](http://viz.velux.com/daylight_visualizer/news/validation.aspx)> (2012-05-08)

Ward Larson, G. och Shakespeare, R. (2003). *Rendering with Radiance*.  
Booksurge, LCC.

## 11 Bilagor

1. Bilder objekt/dagsljusmätning
2. Enkätundersökning
3. Enkätsammanställning
4. Beräkning för hand
5. Jämförelse med värden från rapporten
6. Beräkning: Jämförelse med värden från rapporten
7. Resultat dagsljusmätning
8. Resultat Daysim 3.0
9. Resultat Velux Daylight Visualizer 2.6
10. Resultat Autodesk 3ds Max Design 2013

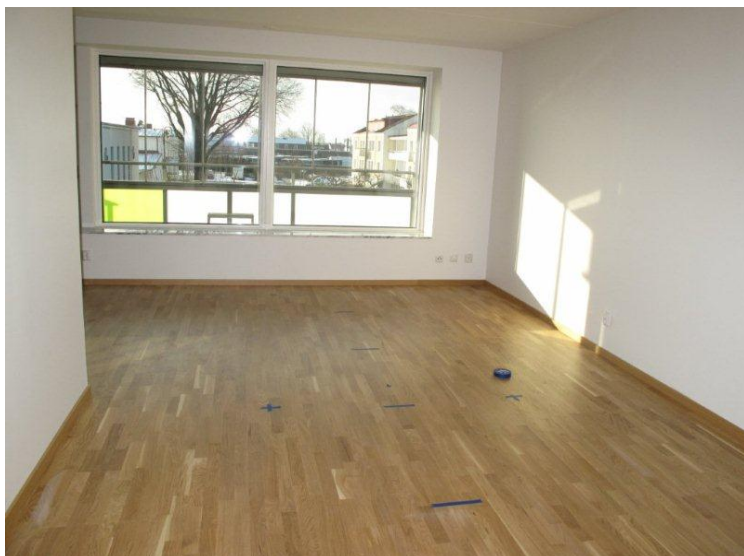


## Bilaga 1 Bilder objekt/dagsljusmätning

Bilder från Drivbänken



## Bilder från mätning av dagsljus



## Bilaga 2 Enkätundersökning Dagsljuskvalité

Hej!

Vi är två tjejer som kommer från LTH Campus Helsingborg som läser Byggt teknik med inriktning arkitektur. Under vårterminen skriver vi ett examensarbete som handlar om *dagsljuskvalité i passivhus*.

Syftet med enkäten är att ta reda på hur människor i passivhus upplever dagsljusinsläppet och utsikten genom fönstren.

OBS! Alla svar kommer att behandlas helt anonymt.

Vi uppskattar att ni tar er tid för att fylla i enkäten. Tack på förhand!

Med vänlig hälsning

Emma och Anna

Har ni några frågor? Hör av er till

Anna 0736-758530, Emma 0704-061988

### Instruktioner:

Enkäten ska fyllas i tre gånger på en och samma dag vid 08.00, 12.00 samt 17.00 och avser vardagsrummet. Den ska fyllas i vid två olika väderförhållanden, klart och mulet. Det elektriska ljuset ska vara släckt under undersökningen.

När enkäterna är ifyllda, skicka dem i medföljande kuvert.

Dock senast den 10 april 2012.

Datum och tid	Datum	Tid
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bostad	Våning	Lgh-nr
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Väderförhållande	Klart	Mulet
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Kön	Kvinna	Man
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ålder	Födelseår	
	<input type="text"/>	
Använder glasögon eller linser för närsynthet	Ja	Nej
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Färgseende	Normalt	
Om ej normalt ange synfel:	<input type="text"/>	

---

**Vänd blad och fortsätt!**

1 Beskriv dagsljuset i rummet med dina egna ord.

---

---

---

2 Är fönstren tillräckligt stora?

Ja	Nej
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Om inte, berätta med egna ord varför.

---

---

---

3 Är fönstren rätt orienterade?

Ja	Nej
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Om inte, berätta med egna ord varför.

---

---

---

4 Är utsikten tillfredsställande?

Ja	Nej
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Om inte, berätta med egna ord varför.

---

---

---

5 Är fönsterstorleken tillräcklig i övriga rum i lägenheten med avseende på dagsljus och utsikt?

Ja	Nej
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Om inte, berätta med egna ord varför.

---

---

---

6 Varför har du/ni valt att bo i det här huset? Välj minst ett alternativ.

Att det är ett passivhus

Läget

Planlösningen

Annat

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

---

## HUR UPPLEVER DU LJUSET I DET HÄR RUMMET?

Markera genom att sätta kryss i nedanstående skalor.

mörkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ljus
behagligt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	obehagligt
ofärgat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	färgat
starkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	svagt
utspritt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	koncentrerat
varmt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kallt
ojämnt fördelat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	jämnt fördelat
hårt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mjukt
diffust	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	fokuserat

**Vänd blad och fortsätt!**

naturligt

onaturligt

flimrande

flimmerfritt

klart

murrigt

varierat

enformigt

milt

skarpt

bländande

avbländat

dämpat

lysande

HUR BRA TYCKER DU DET GÅR ATT SE I DEN HÄR BELYSNINGEN?

mycket dåligt

mycket bra



## Bilaga 3 Enkätssammanställning

### Deltagarna

	Våning	Kön	Födelseår	Närsynt	Färgseende
Deltagare 1	5	man	1946	nej	normalt
Deltagare 2	5	kvinna	1938	ja	normalt
Deltagare 3	5	man	1928	ja	normalt
Deltagare 4	4	man	1938	ja	normalt
Deltagare 5	1	man	1934	ja	normalt
Deltagare 6	5	kvinna	1945	nej	normalt
Deltagare 7	4	kvinna	1968	nej	normalt
Deltagare 8	2	kvinna	1934	nej	grön och grå starr

### Tiderna som deltagarna har fyllt i enkäterna är

Morgon	7.00-9.00
Lunch	12.00-13.00
Eftermiddag	17.00

På **Fråga 1** har de deltagande beskrivit ljuset lite olika beroende på tiden på dygnet.

Allmänt beskrivs ljuset som dämpat vid molnigt väder

Morgon	Ljust och klart, behagligt, varmt
Lunch	Okej, mycket bra, delvis starkt
Eftermiddag	Mycket bra, men att det skymmer lite

På **Fråga 2-5** har alla deltagande svarat ja på allt. Frågan om utsikten (4) har få fritextsvar men där beskrivs fin vegetation, dock på andra sidan om en högtrafikerad väg.

På **Fråga 6** har deltagarna svarat såhär:

	Passivhus	Läget	Planlösningen	Annat
Deltagare 1		x	x	havsutsikt, inglasad balkong
Deltagare 2		x	x	
Deltagare 3		x	x	
Deltagare 4		x		
Deltagare 5	x	x	x	mindre lägenhet
Deltagare 6		x		
Deltagare 7	x	x		
Deltagare 8		x		nytt och centralt

## Klart väder

Skalan på alternativen är 1-7 där 7 är det som bäst beskriver uttrycket.

Morgon	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svagt	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Deltagare 1	6	2	4	4	5	2	4	6	5	2	6	2	3	2	5	5	6
Deltagare 2	5	2	4	5	2	4	6	4	6	1	7	4	4	4	6	3	5
Deltagare 3	4	4	4	5	3	5	6	4	6	1	7	4	4	4	6	2	4
Deltagare 4	5	1	1	4	4	3	6	5	5	2	6	3	4	3	5	4	6
Deltagare 5	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	7	5	4	3	5	3	7
Deltagare 6	6	1	2	4	4	2	4	6	4	2	6	2	4	3	5	4	7
Deltagare 7	4	1	3	5	4	3	6	6	4	2	7	3	4	2	7	1	7
Deltagare 8	5	3	1	7	5	6	5	6	3	1	7	5	6	5	6	2	3
Medelvärde	4,8	2,1	2,9	4,8	3,8	3,5	5,1	5,1	4,5	1,8	6,6	3,5	4,1	3,3	5,6	3,0	5,6

Lunch	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svagt	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Deltagare 1	7	2	4	4	5	1	4	6	6	1	7	1	3	2	5	5	7
Deltagare 2	7	1	2	4	4	4	7	4	4	1	7	1	4	2	4	6	7
Deltagare 3	7	1	2	4	4	4	7	4	4	1	7	1	4	1	5	5	7
Deltagare 4	6	1	1	3	4	3	5	4	5	2	5	3	4	4	4	4	6
Deltagare 5	5	2	4	4	4	3	5	4	4	3	7	3	4	4	4	4	7
Deltagare 6	6	1	4	3	4	3	4	6	4	4	6	2	4	2	6	5	7
Deltagare 7	7	2	7	1	7	2	7	3	4	2	3	1	3	5	3	5	7
Deltagare 8	7	7	1	5	6	4	7	7	4	1	7	1	3	2	7	x	7
Medelvärde	6,5	2,1	3,1	3,5	4,8	3,0	5,8	4,8	4,4	1,9	6,1	1,6	3,6	2,8	4,8	4,9	6,9



Eftermiddag	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svag	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Deltagare 1	5	3	3	4	5	3	5	5	4	3	6	3	4	2	6	4	6
Deltagare 2	7	1	1	4	1	4	6	6	6	1	7	1	4	7	7	4	7
Deltagare 3	7	1	1	3	1	3	7	5	5	1	7	1	4	6	7	5	7
Deltagare 4	4	3	2	5	4	3	5	5	3	2	5	5	4	3	5	3	4
Deltagare 5	6	3	4	3	4	3	3	3	4	2	7	2	4	3	5	4	6
Deltagare 6	5	2	4	4	4	3	4	5	4	2	6	2	4	3	5	4	7
Deltagare 7	7	2	3	3	4	3	5	5	5	2	7	6	5	2	6	2	3
Deltagare 8	6	6	1	5	3	4	5	5	6	2	6	x	4	3	4	3	x
Medelvärde	5,9	2,6	2,4	3,9	3,3	3,3	5,0	4,9	4,6	1,9	6,4	2,9	4,1	3,6	5,6	3,6	5,7

## Mulet väder

Morgon	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svag	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Deltagare 1	4	3	3	5	4	3	5	4	4	3	5	4	4	3	5	3	5
Deltagare 2																	
Deltagare 3																	
Deltagare 4	3	4	5	5	3	4	5	5	3	3	5	5	5	3	6	2	3
Deltagare 5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7
Deltagare 6	4	2	3	4	3	2	4	5	4	4	7	4	5	3	7	2	7
Deltagare 7	x	1	3	5	5	3	4	5	5	2	7	3	5	3	7	3	7
Deltagare 8	4	5	1	6	7	5	7	4	7	1	7	7	7	5	7	1	4
Medelvärde	3,8	3,2	3,2	4,8	4,3	3,5	4,8	4,5	4,5	2,8	5,8	4,5	5,0	3,5	6,0	2,5	5,5

Deltagare 2 och 3 har inte fyllt i enkäten en mulen dag.

Lunch	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svagt	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrtigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Deltagare 1	4	3	3	5	4	3	5	4	4	3	5	4	4	3	5	3	5
Deltagare 2																	
Deltagare 3																	
Deltagare 4	5	4	4	4	4	4	5	5	3	3	5	5	5	3	6	3	5
Deltagare 5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7
Deltagare 6	6	2	3	4	4	4	5	5	4	4	7	4	5	3	7	2	7
Deltagare 7	4	2	3	4	4	2	5	5	5	2	7	3	3	3	3	3	7
Deltagare 8	4	5	2	6	4	5	6	5	2	1	7	7	6	4	7	1	5
Medelvärde	4,5	3,3	3,2	4,5	4,0	3,7	5,0	4,7	3,7	2,8	5,8	4,5	4,5	3,3	5,3	2,7	6,0

Eftermiddag	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svagt	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrtigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Deltagare 1	4	3	3	5	4	3	5	4	4	3	5	4	4	3	5	3	5
Deltagare 2																	
Deltagare 3																	
Deltagare 4	3	3	4	5	3	3	4	5	3	3	6	5	5	3	6	3	3
Deltagare 5	3	4	4	5	3	4	5	5	4	4	7	5	3	3	4	2	6
Deltagare 6	5	2	2	4	4	3	5	5	3	4	6	3	4	3	6	4	6
Deltagare 7	3	3	3	5	4	4	4	5	5	2	7	6	5	3	6	2	5
Deltagare 8	4	4	1	7	4	3	7	4	1	1	7	7	7	4	7	1	4
Medelvärde	3,7	3,2	2,8	5,2	3,7	3,3	5,0	4,7	3,3	2,8	6,3	5,0	4,7	3,2	5,7	2,5	4,8

## Medelvärde av samtliga bedömningar

	Ljust	Obehagligt	Färgat	Svagt	Koncentrerat	Kallt	Jämnt fördelat	Mjukt	Fokuserat	Onaturligt	Flimmerfritt	Murrtigt	Enformigt	Skarpt	Avbländat	Lysande	Möjlighet att se
Medelvärde	4,8	2,8	2,9	4,4	4,0	3,4	5,1	4,8	4,2	2,3	6,2	3,7	4,3	3,3	5,5	3,2	5,8

## Belysningsupplevelse

	Trivsamt	Styrka	Spridning	Kulör	Flimmer
Ljust	4,8				
Obehagligt	5,2				
Färgat			2,9		
Svagt	3,6				
Koncentrerat		4,0			
Kallt	4,6				
Jämnt fördelat		5,1			
Mjukt	4,8				
Fokuserat		3,8			
Onaturligt	5,7				
Flimmerfritt				1,8	
Murrtigt	4,3				
Enformigt	3,7				
Skarpt	4,7				
Avbländat	5,5				
Lysande	3,2				
Bra	5,8				
Medelvärden	5,0	4,0	4,3	2,9	1,8

## Bilaga 4 Beräkning för hand

2.  $HK_{\infty} = 1,9 - 0 = 1,9 \%$

3. Medelhöjdsvinkeln  $= \frac{23+0}{2} = 11,5^{\circ}$

4. Korrektionsfaktorer:  $C = 0,17$ ;  $D = 0,29$ .

5. Korrektionsfaktorerna adderas  $0,27+0,29 = 0,46$ .

$$HK = 0,46 * 1,9 = 0,874 \%$$

6. Då det inte finns några hinder utanför sätts URK till 0.

7.  $\alpha = 19^{\circ}$

$$C = 39 - \frac{19 \left( 13 + \frac{19(98 - 19)}{360} \right)}{40} = 30,8$$

8.  $A_{\text{golv}} = 20,14 \text{ m}^2$  ;  $R_{\text{golv}} = 28,92 \%$

$$A_{\text{vägg}} = 44,79 \text{ m}^2$$
 ;  $R_{\text{vägg}} = 85,71 \%$

$$A_{\text{tak}} = A_{\text{golv}} = 20,14 \text{ m}^2$$
 ;  $R_{\text{tak}} = 90 \%$

$$A_{\text{fönster}} = 5,04 \text{ m}^2$$
 ;  $R_{\text{fönster}} = 15 \%$

$$R = \frac{20,14 * 28,92 + 44,79 * 85,71 + 20,14 * 90 + 5,04 * 15}{20,14 * 2 + 44,79 + 5,04} = 70 \%$$

9.  $R_{\text{tv}} = \frac{20,14 * 90 + 44,79 * \frac{85,71}{2} + 5,04 * \frac{15}{2}}{20,14 + \frac{44,79}{2} + \frac{5,04}{2}} = 33,6 \%$

$$A_{2\text{gv}} = (3,387 + 5,945 * 2) * 1,2 = 18,33 \text{ m}_2$$

$$R_{\text{gv}} = \frac{20,14 * 28,92 + 18,33 * 85,71 + 5,04 * \frac{15}{2}}{20,14 + 18,33 + 5,04} = 50,4 \%$$

10.  $N = 3$ ;  $G = 5,04 \text{ m}^2$ ;  $A = 90,11 \text{ m}^2$

$$IRK_{\text{medel}} = \frac{(0,95 - 0,1 * 3) * 5,04}{90,11(100 - 70)} * (30,8 * 50,4 + 5 * 33,6) = 2,08 \%$$

11.  $DF = 0,874 + 0 + 2,08 = 2,95 \%$

## Bilaga 5 Jämförelsevärden

1. Kolla upp kWh/m<sup>2</sup> (boarea) och jämföra med passivhus kravet enligt BBR 110 kWh/m<sup>2</sup>.
2. Jämföra fönsterarea med 40 % enligt Active House.
3. Ljushöjden i ett rum ska vara minst 1 % (Svensk Byggnorm, 1980).
4. Dagsljusfaktor minst 1 %, samt att fönster ska finnas i ögonhöjd beroende på om man ligger, sitter eller står (Handboken Bygg, 1982).
5. Det finns olika förutsättningar för att formeln för beräkning av fönsterglasarean ska gälla. Bland annat ska vinkeln mellan horisontalplanet och en linje mitt i fönstret till högsta avskärmande punkt på annan byggnad eller liknande vara som mest 30 grader. Rumsmåtten ska vara  $2,5 \leq \text{bredd} \leq 6,0$  m,  $2,0 \leq \text{djup} \leq 6,0$  m och rumshöjden  $\geq 2,1$  m. Fönstren ska vara klara med 2 eller 3 glas och vara max fyra stycken i rad. Den glasyta som är under 0,8 m höjd över golvet räknas inte. Måttens förutsättningar är  $0,6 \leq \text{höjd} \leq 1,4$  m och  $0,9 \leq \text{bredd} \leq 1,5$  m. Utöver detta ska golvet, väggarna och taket vara normalt ljusa.

Utifrån förutsättningarna kan man få fram att fönsterglasarean är tillräcklig om

$A_{\text{glas}} \geq f \cdot A_{\text{golv}}$  där  $A_{\text{golv}}$  = rummets golvarea i m<sup>2</sup>,  $A_{\text{glas}}$  = fönsterglasarea i rummet i m<sup>2</sup> och  $f$  är värdet vid olika avskärningsvinklar enligt figur.

Om dessa förutsättningar inte uppfylls måste man beräkna dagsljusfaktorn istället (Svensk standard, 1988).

6. En bostad ska ha tillgång till direkt solljus samt att om bostaden har två rum och kök eller större ska den ha fönster åt minst två håll där minst ett fönster ska vara öppningsbart (Boverkets nybyggnadsregler, 1988).
7. Som ett schablonvärde kan gälla att fönsterglasarean bör ge motsvarande ljusinsläpp som uppnås då fönsterglasarean är minst 10 % av golvarean när fönstret har 2 eller 3 klarglas (BBR, 2012).

## 8. Miljöbyggnad:

Bedömningskriterier för Miljöbyggnad	Brons	Silver	Guld
Dagsljusfaktorn DF	$\geq 1 \%$	$\geq 1,2 \%$	$\geq 1,2 \%$ ink. Datasimulering
Fönsterandel AF	$\geq 10 \%$	$\geq 15 \%$	-

## 9. Rekommenderade fönsterstorlekar med avseende utsikt:

- nedre del av glaset  $\leq 0,9$  m över golvytan
- övre del av glaset  $\geq 2,2$  m över golvytan
- glasbredd  $\geq 1,0$  m, i rum som är mer än 5 m djupt  $\geq 1,15$  m
- totala glasbredden av alla fönster  $\geq 55 \%$  av bredden på rummet (Augustesen et al, 2006).

10.”... minst 63 procent av dagsljuset och 52 procent av den inkommande solenergin släppas in.” enligt Energimyndigheten.

11.Kriterier för BREEAM  $DF_{ave}$  måste uppnå minst 2 % i kök, vardagsrum och matsal minst 1,5 % och 80 % av arbetsytorna i kök, vardagsrum, matsal och studie måste få direkt solljus från himlen.

12.Utifrån reflektansen, rummets bredd och fönsterhöjd får man ut hur djupt rummet maximalt får vara. (Manual BREEAM Europe Commercial 2009)

**Table 10 Reflectance for maximum room depths and window head heights**

Reflectance ( $R_B$ )	0.4		0.5		0.6	
Room Width (m)	3.0	10.0	3.0	10.0	3.0	10.0
Window Head Height (m)						
2.5	4.5	6.7	5.4	8.0	6.8	10.0
3.0	5.0	7.7	6.0	9.2	7.5	11.5
3.5	5.4	8.6	6.5	10.4	8.1	13.0

## Bilaga 6 Beräkning: jämförelsevärden

2. Väggarea:  $(5\,945 * 2\,800) + (5\,920 * 2\,800) \approx 33\,222\,000 \text{ mm}^2$   
Glasarea:  $(1\,400 * 810) + (3\,568 * 1\,800) + (1\,010 * 2\,300) \approx 9\,879\,400 \text{ mm}^2 \approx 9,88 \text{ m}^2$   
 $AF = (9\,879\,400 / 33\,222\,000) \approx 0,297 \approx 30 \%$
5. Golvarea:  $6\,020 * 5\,445 \approx 3\,578\,890 \text{ mm}^2 \approx 3,58 \text{ m}^2$   
Glasarea (se punkt 2)  
 $A_{\text{glas}} \geq f * A_{\text{golv}} = 0,105 * 3\,578\,890 \approx 375\,784 \text{ mm}^2 \approx 0,38 \text{ m}^2$  ( $f$  enligt diagram i Svensk standard)
7. (Se beräkning av areor punkt 5)  
Glasarea/golvarea:  $9\,879\,400 / 3\,578\,890 \approx 0,276 \approx 28 \%$
11. Medelvärde räknades ut var för sig för punkterna i kök respektive vardagsrum utifrån de tabeller som skapas i simulering.  
Kök:  $DF_{\text{ave}} = 1,25 \%$   
Vardagsrum:  $DF_{\text{ave}} = 1,89 \%$
12. Interpolering *Room Depth (m)*  
$$\frac{6,02 - 3}{10 - 3} * (10 - 6,8) + 6,8 = 8,18 \text{ m}$$

## Bilaga 7 Resultat dagsljusmätning

Dagsljusmätningen utfördes 2012-01-26.

Väder: soligt med lite skyar

Tid	Mätpunkt	Inne (Lux)	medelvärde				Ute (Lux)	medelvärde			DF
11.39	Kök	$\times 10$					$\times 1000$				
		1	122.7	121.9	120.9	121.8	28.8	27.5	27.9	28.1	0.043
		2	103.0	102.4	103.0	102.8	28.9	30.2	30.8	30.0	0.034
		3	67.5	67.5	67.7	67.6	30.4	30.9	31.0	30.8	0.022
		4	45.6	46.2	45.5	45.8	31.7	30.4	31.3	31.1	0.015
11.44		5	50.7	50.8	50.9	50.8	31.0	31.3	31.7	31.3	0.016
11.45	Vardagsrum	$\times 100$					$\times 1000$				
		1	104.8	104.7	104.0	104.5	22.9	17.7	20.2	20.3	0.516
		2	48.5	41.4	36.5	42.1	24.1	20.0	24.0	22.7	0.186
			10.0								
		3	171.1	173.1	173.4	172.5	26.0	25.8	25.4	25.7	0.067
		4	155.0	156.6	153.8	155.1	25.6	24.8	24.9	25.1	0.062
		5	141.6	141.6	141.3	141.5	25.0	24.8	24.8	24.9	0.057
		6	167.4	167.7	168.0	167.7	24.8	24.8	24.4	24.7	0.068
11.52		7	177.3	176.6	176.3	176.7	24.4	24.4	25.1	24.6	0.072



<b>Tid</b>	<b>Mätunkt</b>	<b>Inne (Lux)</b>	<b>Ute medelvärde (Lux)</b>					<b>medelvärde5</b>	<b>DF</b>	
11.53	Sovrum 1	$\times 10$	$\times 1000$							
	514-1	52.1	52.5	52.3	52.3	25.2	25.2	24.9	25.1	0.021
	514-2	34.9	34.9	35.7	35.2	24.8	24.8	25.1	24.9	0.014
	514-3	31.2	30.9	31.8	31.3	25.4	28.5	29.0	27.6	0.011
	514-4	38.9	38.8	38.9	38.9	28.1	27.5	26.4	27.3	0.014
11.56	514-5	31.8	32.0	32.0	31.9	25.9	26.0	25.2	25.7	0.012
11.57	Sovrum 2	$\times 10$	$\times 1000$							
	1.0	58.7	58.6	58.6	58.6	24.9	25.1	24.8	24.9	0.0
	2.0	36.2	36.0	35.8	36.0	25.8	27.1	27.1	26.7	0.0
11.59	3.0	27.5	27.5	27.8	27.6	27.4	27.8	26.8	27.3	0.0

## Reflektans

Vi uppskattar att det vita pappret har en reflektans på 0.8 cd/m<sup>2</sup> (Helena Bülow-Hübe), därför multipliceraras reflektansen med 0,8.

Enhet: candela/m<sup>2</sup>

	Vitt papper		Yta				Medelvärde Papper	Medelvärde Yta		Reflektans R*0.8	
Fönsterbänk	75	73	76	46	46	48	75	47	0.6250	0.5000	
Golv	28	27	28	10	10	10	28	10	0.3614	0.2892	
Vägg	19	18	19	20	20	20	19	20	1.0714	0.8571	
Tak OBS! Sätt till 0,9 (Helena Bülow-Hübe)	17	17	18	22	23	23	17	23	1.3077	1.0462	
Tegelvägg	185	170	175	31	31	35	177	32	0.1830	0.1464	
Grå träpanel	11	11.2	11	7	6.5	6	11	7	0.5873	0.4699	
Köksskåp	23	22.7	23.1	16.8	16.8	18.3	23	17	0.7544	0.6035	
"Granitskiva" kök+vask	92	105	108	7.8	8.1	8.1	102	8	0.0787	0.0630	
Kakel i kök	13	13.8	13.6	11.8	11.8	11.6	13	12	0.8713	0.6970	

För betong används reflektansen 0.7050 candela/m<sup>2</sup>

## Daysim Simulation Report

### *In short...*

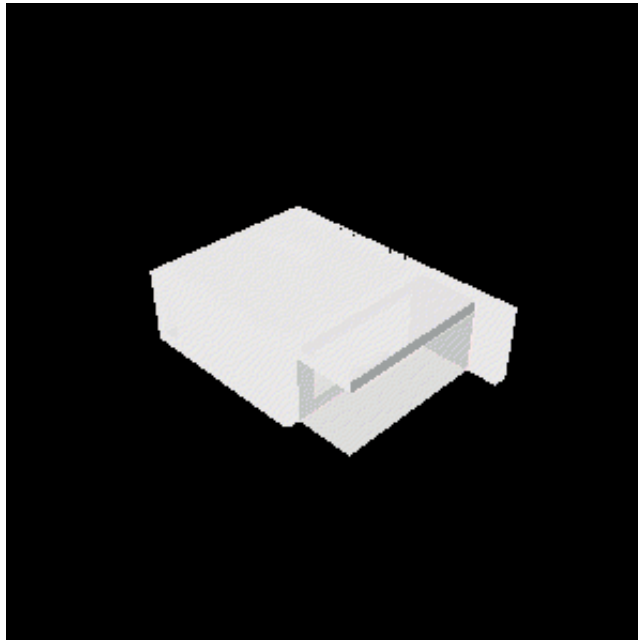
- Daylight Factor (DF) Analysis: 8% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. If the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone would not qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 as the area ratio of sensors with a daylight factor over 2% would need to be 75% or higher (see [www.usgbc.org/LEED/](http://www.usgbc.org/LEED/)).
- Daylight Autonomy (DA) Analysis: The daylight autonomies for all core workplane sensors lie between 25% and 50% .
- Useful Daylight Index (UDI) Analysis: The Useful Daylight Indices for the Lighting Zone are  $UDI_{<100}=53\%$ ,  $UDI_{100-2000}=40\%$ ,  $UDI_{>2000}=8\%$  .
- Continuous Daylight Autonomy ( $DA_{con}$ ) and  $DA_{max}$  Analysis: 100% of all illuminance sensors have a  $DA_{con}$  above 40% . 0% of all illuminance sensors have a  $DA_{max}$  above 5% .
- Electric Lighting Use: The predicted annual electric lighting energy use in the investigated lighting zone is: 0.0 kWh/unit area.

### **Simulation Assumptions**

Site Description: The investigated building is located in GOTEBORG\_ (57.67 N/ 12.30 W). Daylight savings time lasts from April 1st to October 31st.

User Description: The zone is continuously occupied Monday through Friday from 8:00 to 23:00. The total annual hours of occupancy at the work place are 3913.6. The electric lighting is activated 4032.5 hours per year. The occupant performs a task that requires a minimum illuminance level of 300 lux. The predicted annual electric lighting energy use of 0.0 kWh/unit area Lighting and Blind Control: The electric lighting system has an installed lighting power density of 0.00 W/unit area and is manually controlled with an on/off switch. The office has no dynamic shading device system installed.

Scene Visualization: The figure below shows a visualization of the building model.



### **Detailed Simulation Results**

The table below shows the daylight factor and various climate-based daylighting metrics for all sensor points individually. Definitions of these metrics can be found [here](#). To guide the reader's eye, the following color code is used:

- Coordinates of core workplane sensors are shown in **blue** .

- Daylight factor levels over 2% are shown in **green**.
- Annual light exposure levels of medium and high sensitivity (CIE Categories III and IV) are shown in **dark green** and **light green**.

x	y	z	DF [%]	DA [%]	DA <sub>con</sub> [%]	DA <sub>max</sub> [%]	UDI <sub>&lt;100</sub> [%]	UDI <sub>100-2000</sub> [%]	UDI <sub>&gt;2000</sub> [%]	DSP [%]	annual light exposure [luxh]
2273.500	1580.000	800.000	2.2	50	58	2	40	54	6	61	3762164
2273.500	2580.000	800.000	1.6	46	55	1	43	56	1	59	2617026
2273.500	3580.000	800.000	1.4	44	54	0	44	55	1	57	2217364
2273.500	4580.000	800.000	1.5	45	54	0	43	56	1	57	2139797
2273.500	5580.000	800.000	1.8	47	56	2	41	56	2	60	2887063
1580.000	3580.000	800.000	1.3	43	53	0	44	55	1	56	2077425
2967.000	3580.000	800.000	1.5	45	54	0	43	56	1	57	2288112
5343.500	1580.000	800.000	1.6	45	55	1	43	56	1	56	2638473
5343.500	2580.000	800.000	1.2	41	52	0	45	54	1	51	2018456
5343.500	3580.000	800.000	0.8	33	48	0	49	51	1	40	1378737
5343.500	4580.000	800.000	0.6	25	43	0	53	47	0	28	995300
5343.500	5580.000	800.000	0.7	27	44	0	52	48	0	26	1000884

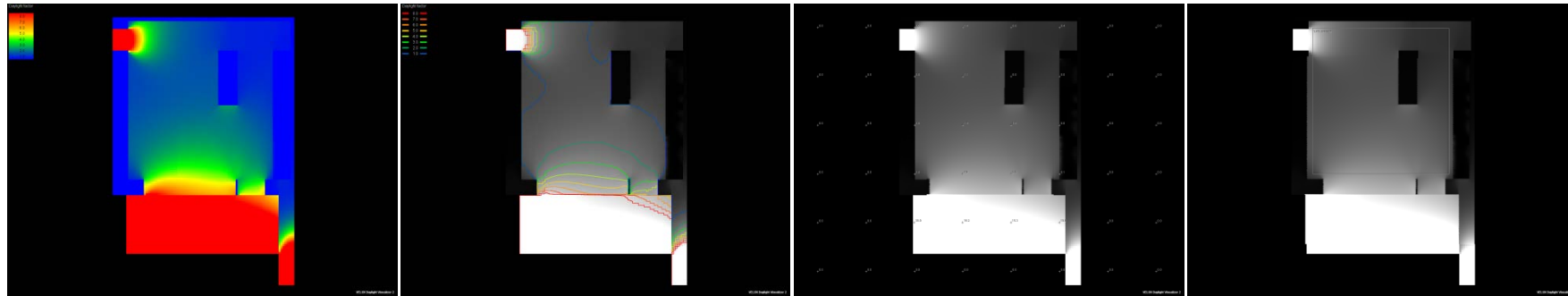
### Simulation Tips

- **for EnergyPlus, TRNSYS and DOE2.1 users:** In case you want to import the results from your Daysim simulation into TRNSYS or DOE2.1 for a more accurate simulation of building occupancy and electric lighting loads, an annual internal gains file can be found under:  
[C:/DAYSIM/projects/1\\_1\\_5/res/1\\_1\\_5\\_active.intgain.csv](C:/DAYSIM/projects/1_1_5/res/1_1_5_active.intgain.csv). More details can be found [here](#)
- **for ECOTECT users:** In case you want to import any of the results from the table above into Ecotect, a number data files with the extension \*.DA have been generated under: [C:/DAYSIM/projects/1\\_1\\_5/res](C:/DAYSIM/projects/1_1_5/res). In Ecotect go to DISPLAY >> ANALYSIS AND GRID SETTINGS >> PROPERTIES. Within the 'Analysis Grid Management' dialogue go to 'Manage Grid Data' >> 'Import Data' and select a file with the extension \*.DA. More details can be found [here](#).

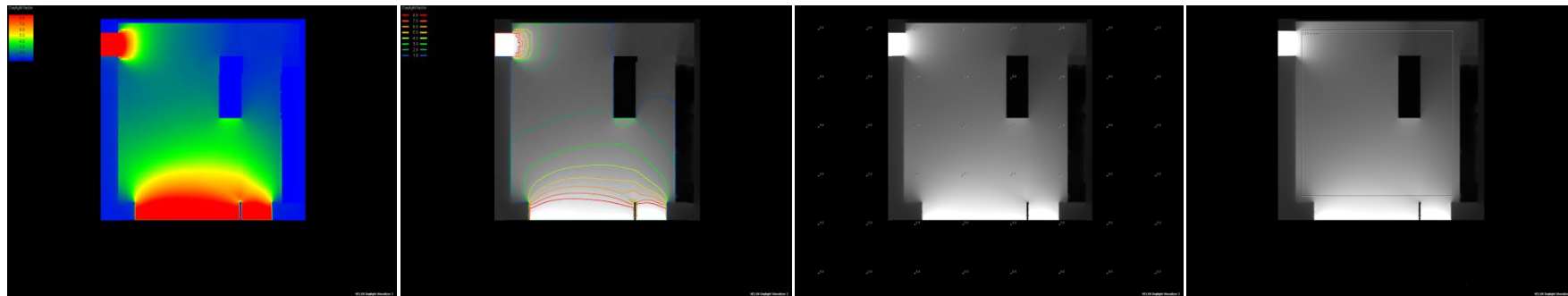
### Warnings

# Bilaga 9 Resultat Velux Daylight Visualizer 2.6

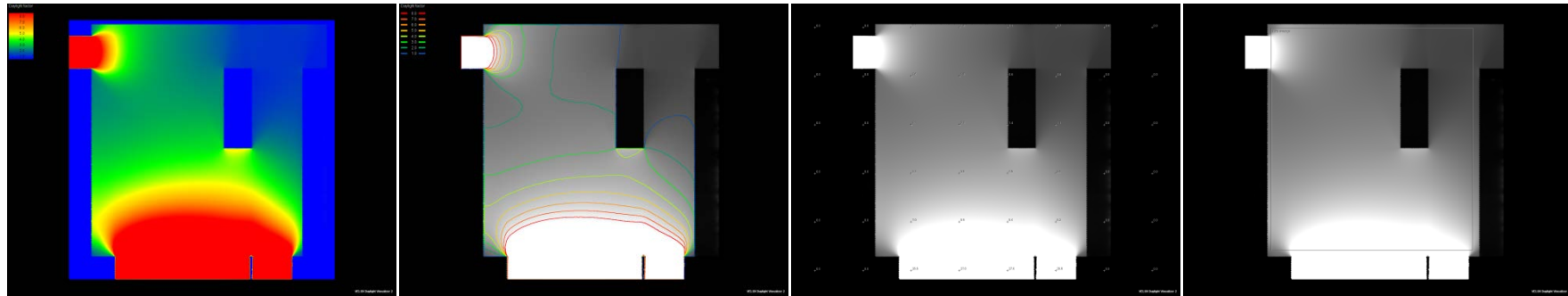
Modell 1



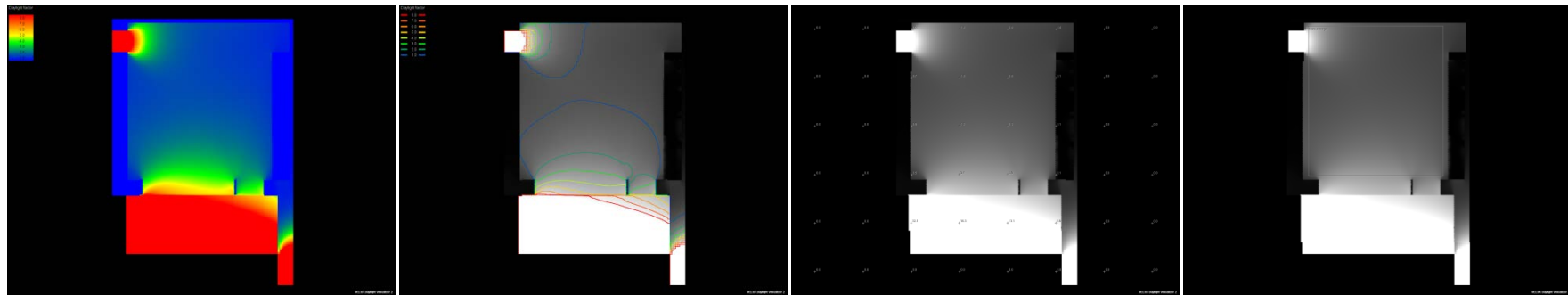
Modell 2



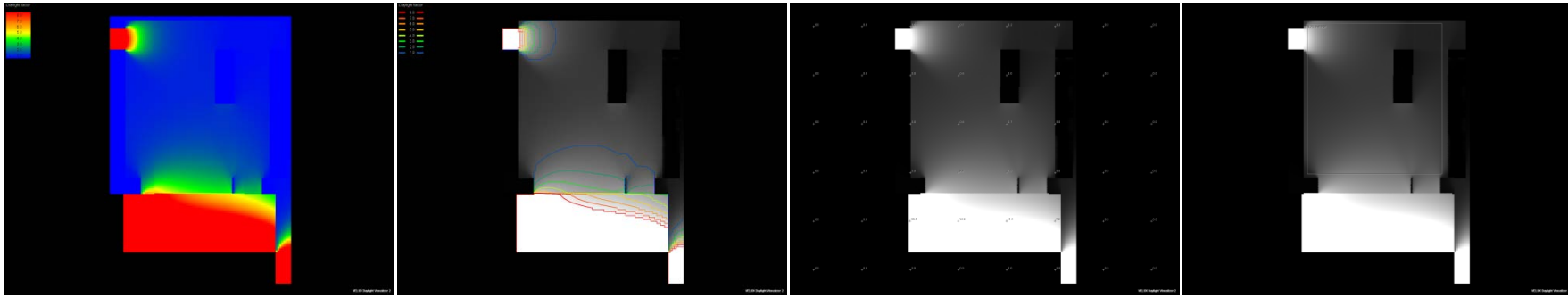
Modell 3



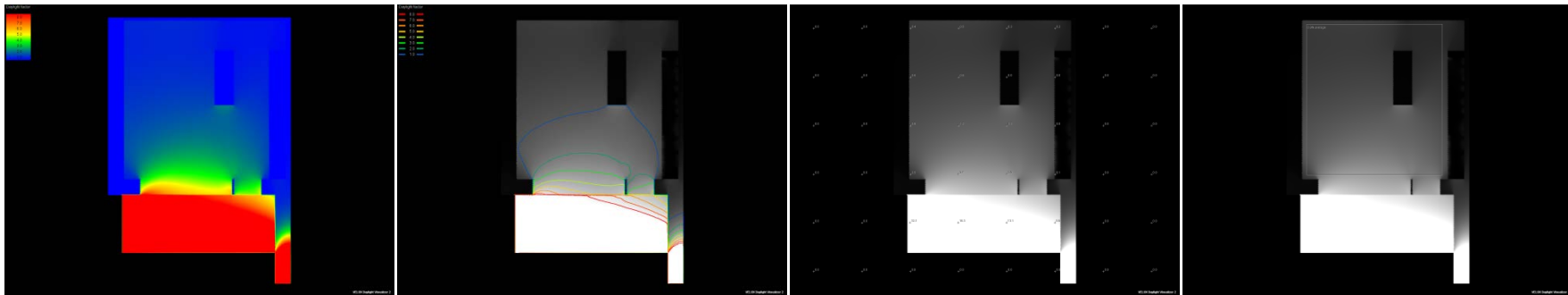
Modell 4



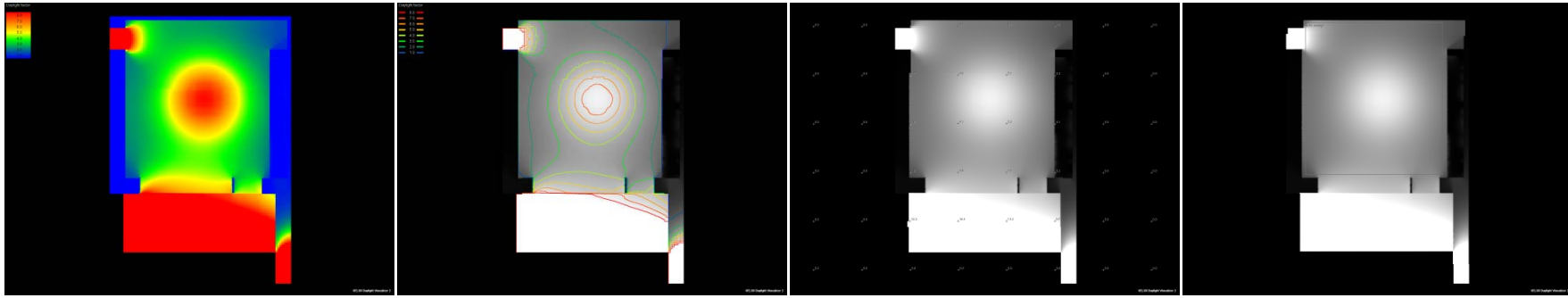
Modell 5



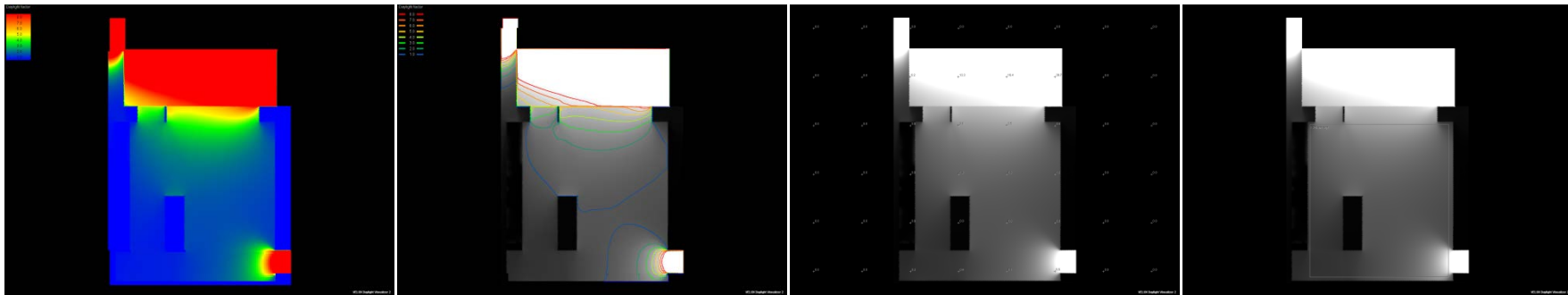
Modell 6



Modell 7



Modell 8





## Illustrativa bilder utförda i Velux Daylight Visualizer 2.6



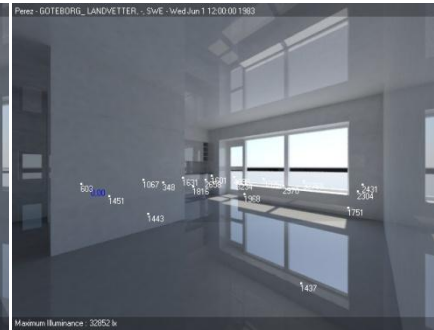
# Bilaga 10 Resultat Autodesk 3ds Max Design 2013

Modell 1

Modell 2

Modell 3

Modell 4



Modell 5

Modell 6

Modell 7

Modell 8

