

# Dagsljusbelysning i ett radhus

En jämförelse av ljusschakt med andra  
ljusinledande metoder



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Energi och Byggnadsdesign

Examensarbete:  
Desiré Sjöberg  
Josephine Stockman

© Copyright Desiré Sjöberg, Josephine Stockman

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

Målet med detta examensarbete har varit att leda in dagsljus i en hall i ett radhus i Gunnesbo utanför Lund och ta reda på vilken metod att göra det som ger det bästa ljusresultatet. Dagsljus har visat sig ha positiv inverkan på hälsa och välbefinnande; det styr dygnsrytmen, ökar prestationsförmågan och kan minska risken att drabbas av till exempel depressionssjukdomar och typ 2-diabetes. Ljuset som kommer direkt utifrån innehåller ljus från alla våglängder och kan inte ersättas med artificiellt ljus för samma hälsopåverkan.

Metoderna som testats för att leda in dagsljus i radhuset i Gunnesbo var att sätta in ett fönster i ytterdörren, riva en vägg till köket eller att installera ett ljusschakt. Olika placeringar av det eventuella ljusschaktet har också testats. Ett ljusschakt är ett fyrkantigt rör med väggar av hög reflektans som leder in ljuset till en diffusor som sprider det i ett rum. Den del av schaktet som placeras på takets utsida består av en uppochnedvänd kon med ytor som reflekterar ljus i 90 graders vinkel och skyddas av en glaskupol. De olika schaktens placering; ovanför trappan i rummet, bredvid trappan och under trappan jämfördes med en installation av ett dörrfönster i en skalmmodell byggd av kapaskivor i skala 1:6. Borttagning av väggen till köket jämfördes med att sätta in dörrfönster med hjälp av simuleringar i programmet Autodesk Ecotect Analysis med Radiance. Efter analys av samtliga luminansmätningar och ljussimuleringar är slutsatsen att den mest optimala lösningen för radhuset i Gunnesbo är ett ljusschakt ovanför trappan i kombination med ett dörrfönster.

Nyckelord: Dagsljus, ljusinledning, ljusschakt, LDT AB, ljussimuleringar, Autodesk Ecotect Analysis, Radiance

## **Abstract**

The purpose of this thesis was to lead daylight in to a hallway in a terraced house in Gunnesbo outside of Lund, and to find out which method will give the best lighting results. It is known that daylight have a positive effect on health and wellbeing; it controls the circadian rhythm, increase performance and reduce the risk of suffering of such as depression and type 2 diabetes. The light that comes directly from the outside contains light from all wavelengths and cannot be replaced with artificial light to achieve the same health effects. The methods that have been tested to lead daylight into the terraced house in Gunnesbo were to install a window in the front door, remove the wall between the kitchen and the hallway or installing a light shaft. Different locations of the possible light shaft have also been tested. A light shaft is a square tube with inner walls of high reflecting material which leads the light trough a diffuse separator which spreads the light into the room. The part of the shaft which is placed on the outside of the roof is an inverted cone with surfaces that reflect light at a 90 degree angle and is protected by a glass cupola. The various placements of the shafts; above the stairs in the upper hallway, next to the stairs and beneath the stairs, were compared to an installation of a window in the front door in an actual model built of foam board at a scale of 1:6. Removal of the wall to the kitchen was compared with a front door window by using simulations in Autodesk Ecotect Analysis with Radiance. After analyzing all the measurements of the luminance and lighting simulations, the conclusion is that the most optimal solution for the terraced house in Gunnesbo is a light shaft above the stairs in combination with a window in the front door.

**Keywords:** Daylight, leading of light, light shaft, LDT AB, simulations of light, Autodesk Ecotect Analysis, Radiance

## Förord

Detta arbete är det avslutande momentet på högskoleingenjörsutbildningen inom byggt teknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Allt arbete med rapporten har genomförts gemensamt.

Vi vill tacka vår handledare Marie-Claude Dubois för att hjälpt oss framåt i vårt arbete.

De simuleringar vi gjort i Autodesk Ecotect Analysis med Radiance hade inte gått att genomföra utan Jiangtao Du, därför vill vi rikta ett stort tack till honom för hans tid och tålamod med oss.

Ett stort tack även till Martin Behm, projektledare för företaget Lighting Distribution Technology AB, för hans tid och engagemang i vårt arbete, samt material till ljusschakten.

För tid till granskning och värdefulla kommentarer till rapporten, tackar vi Isabelle Stockman.

Tack familj och vänner som hjälpt, stöttat och lyssnat under arbetes gång.

Helsingborg, juni 2012

Desiré Sjöberg  
Josephine Stockman

## Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Problemformulering</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Syfte</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Metod</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Teoretiskt ramverk</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Begreppsförklaringar</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Ljusflöde.....	3
2.1.2 Belysningsstyrka .....	3
2.1.3 Ljusstyrka .....	3
2.1.4 Luminans.....	3
2.1.5 Dagsljusfaktorn.....	4
2.1.6 Infraröd strålning .....	4
2.1.7 Dagsljus och solljus .....	4
<b>2.2 Ljus</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 Ljusets betydelse för hälsan och ögats tolkning av ljus.....	5
2.2.2 Dagsljus inomhus .....	5
<b>2.3 Ljusschakt</b> .....	<b>9</b>
2.3.1 Konen.....	10
2.3.2 Skyddande kupol.....	10
2.3.3 Väggar klädda med Silver Reflected Film.....	11
2.3.4 Inuti byggnaden.....	11
2.3.5 Schaktets värmeegenskaper .....	11
2.3.6 U-värde .....	11
<b>3 Litteraturstudie</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Tidigare undersökningar av dagsljussystem</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Dagsljusledare i kombination med solvärme och ventilation</b> .....	<b>16</b>
<b>4 Metod</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1 Mätningar med skalmodell</b> .....	<b>17</b>
4.1.1 Placering av ljusschaktet .....	18
4.1.2 Schakt placerat bredvid trappan .....	19
4.1.3 Schakt placerat ovanför trappan.....	19
4.1.4 Schakt placerat nedanför trappan.....	19
<b>4.2 Mätningar med hjälp av datorsimuleringar</b> .....	<b>19</b>
4.2.1 Autodesk Ecotect Analysis .....	19
4.2.2 Radiance .....	20
4.2.3 Simuleringar i Autodesk Ecotect Analysis och Radiance ....	20
4.2.4 Dörrfönster .....	20
4.2.5 Borttagen vägg.....	20
4.2.6 Simuleringar .....	21

<b>5 Resultat</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1 Skalmmodell</b> .....	<b>21</b>
5.1.1 Schakt placerat bredvid trappan.....	24
5.1.2 Schakt placerat ovanför trappan .....	24
5.1.3 Schakt placerat nedanför trappan .....	25
5.1.4 Fönster installerat i dörren.....	25
<b>5.2 Resultat av Ecotect Analysis-simulering</b> .....	<b>25</b>
<b>6 Diskussion</b> .....	<b>28</b>
<b>6.1 Skalmmodell</b> .....	<b>29</b>
6.1.1 Schakt placerat bredvid trappan.....	29
6.1.2 Schakt placerat ovanför trappan .....	30
6.1.3 Schakt placerat nedanför trappan .....	30
6.1.4 Ljusschakt jämfört med dörrfönster .....	30
<b>6.2 Jämförelse av simuleringar genomförda med Autodesk Ecotect Analysis</b> .....	<b>31</b>
6.2.1 Mars.....	31
6.2.2 Juni .....	32
6.2.3 December .....	32
<b>7 Slutsats</b> .....	<b>34</b>
<b>8 Förslag på framtida studier</b> .....	<b>34</b>
<b>9 Källor</b> .....	<b>36</b>
<b>9.1 Muntliga källor</b> .....	<b>38</b>
<b>9.2 Bildkällor</b> .....	<b>38</b>

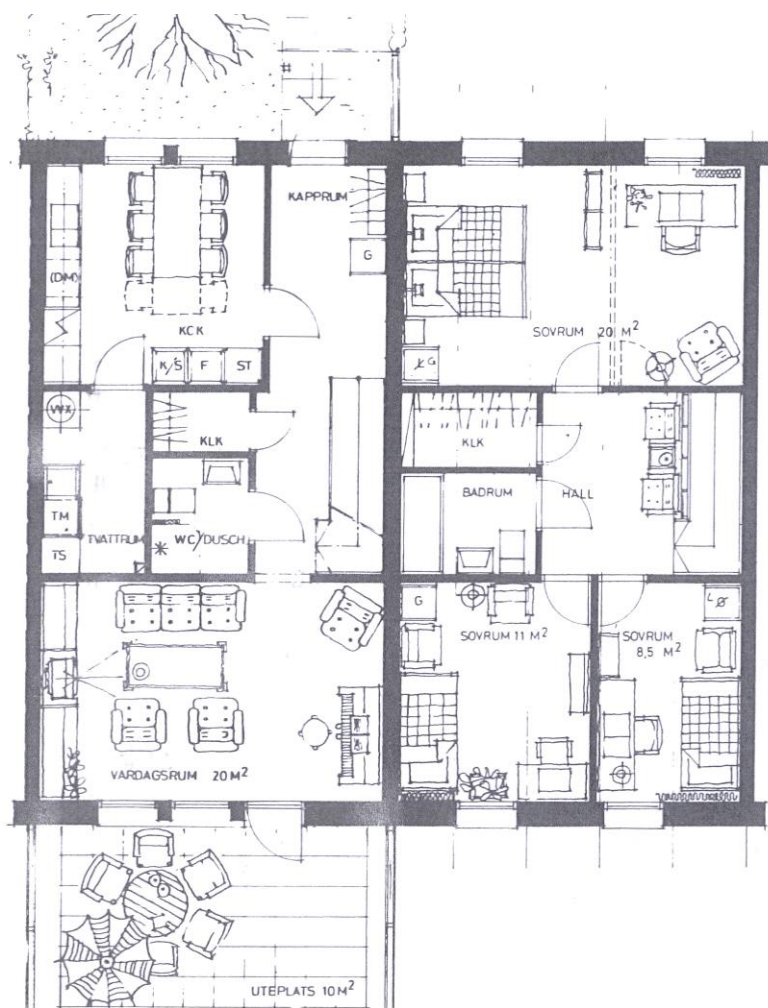




# 1 Inledning

Dagsljus har visat sig ha goda effekter på hälsa och välbefinnande och det ska finnas dagsljusinsläpp i bostäder så att exponeringen av solljus sker även där (Boverket, 2008). Det vanligaste sättet att ta in detta är med fönster, men ibland kan vissa områden i en del byggnader bli svåra att nå för fönstrens ljusinsläpp då de inte ligger i anslutning till en yttervägg.

I Gunnesbo utanför Lund, Skåne, ligger bostadsområdet Kvarter Arkeologen, uppbyggt år 1982. Det är ett radhusområde bestående av tre olika hustyper, där denna rapport bygger på undersökningar gjorda på hustypen presenterad i Figur 1. Problemet som uppstår i denna bostad är att kapprummet och hallen, som ger en första inblick i huset, idag upplevs som mörk av de boende. Huset byggdes innan det blev modernt med stora fönsterareor, ljusa färger och öppen planlösning. Hallen saknar naturligt ljus då inga fönster finns där, samt har ett mörkfärgat klinkergolv och avgränsas ifrån kökets fönster med en avskiljande vägg.



Figur 1. Planlösning av hustyp F, Kvarter Arkeologen. Till vänster bottenvåning, till höger ovanvåning

## **1.1 Problemformulering**

Vilken är den bästa lösningen för att skapa ett större dagsljusinsläpp i hallen?

## **1.2 Syfte**

Syftet med detta examensarbete är undersöka möjligheterna för att skapa ett större ljusinsläpp till bostadens hall för att ge denna del av huset en behagligare och mer välkomnande miljö för den boende familjen. Utifrån de genomförda testerna kan den mest passande lösningen presenteras.

## **1.3 Avgränsningar**

Avgränsningar som gjorts är att ingen hänsyn har tagits till vilken av lösningarna som är den billigaste respektive dyraste att installera. Inte heller har någon hänsyn tagits till vilken av lösningarna som är den mest lämpliga i avseende på arbetsbörda, det vill säga vilket alternativ som är enklast och snabbast respektive svårast och mest tidskrävande att genomföra i verkligheten.

Undersökningar gjorda med ljusschaktet, det vill säga i skalmodellen, genomfördes 13-17:e maj. Hänsyn tas därför inte till andra tidpunkter på året.

Varken vid datasimuleringarna eller vid skalmodellen har hänsyn tagits till omkringliggande byggnader.

## **1.4 Metod**

En litteraturstudie har genomförts inom ämnesområden såsom ljusbegrepp och ljusets innebörd för människas fysiska välmående.

För simuleringar av ljusschaktet byggdes en skalmodell i skala 1:6 av det undersökta huset i kartongmaterialet kapaskivor. Material till ljusschaktet beställdes av företaget LDT AB, för att ljusschaktet ska stämma så nära överens med verkligheten som möjligt.

Vid undersökning av de alternativa lösningarna användes datasimuleringsprogrammet Autodesk Ecotect med Radiance för att kunna se hur stort ljusinsläppet i candela per kvadratmeter skulle bli med dessa lösningar.

## 2 Teoretiskt ramverk

### 2.1 Begreppsförklaringar

Det finns olika sätt att mäta och uppfatta ljus. De vanligaste begreppen beskrivs nedan.

#### 2.1.1 Ljusflöde

Ljusflöde är all den strålning inom våglängsområdet 380-780 nanometer som utgår från en ljuskälla. Strålning inom detta våglängsområde är den strålning som efter kontakt med ett föremål kan uppfattas som synligt ljus. Enheten för ljusflöde är lumen (Welin & Karlsson, 2005).

#### 2.1.2 Belysningsstyrka

Belysningsstyrka definieras som det ljus som belyser en viss yta. Den mäts i enheten lux där 1 lux motsvarar ett ljusflöde på 1 lumen jämt fördelat på en kvadratmeter stor yta (Anell & Berggren, 2011). Vid undersökningar gjorda för kontorsmiljö där datorer saknades framkommer det att vid en arbetsyta bör själva arbetsuppgiften, såg skrivning eller läsning, vara belyst med 500 lux, medan arbetsytan utöver uppgiften ska vara belyst med 300 lux. Belysningsstyrka bör aldrig understiga 100 lux i ett rum (Dubois, 2001). Dessa mätvärden stämmer överens med Arbetsmiljöverkets riktvärden för allmänbelysning på ett kontor. Där anges 100 lux för soprum och 200 lux för konferensrum (Arbetsmiljöverket, 2012).

#### 2.1.3 Ljusstyrka

Ljusstyrka är ljusstrålningen som avges från en ljuskälla i en riktning. Den mäts i candela. Ljusstyrkan kan användas för att beräkna belysningsstyrka i en specifik punkt. Ljuskurvor bygger på ljusstyrkan och kan användas till att se hur ljuset fördelas på en yta (Anell & Berggren, 2011).

#### 2.1.4 Luminans

Begreppet luminans används för att måttätta hur stort det fotonflöde som reflekterats från en yta är. Luminans mäts i candela per kvadratmeter och avser ljusstyrkan som avges från ytan i en specifik riktning. Vid alltför höga värden på luminansen finns risk för bländning och ljuskällor bör därför på något sätt skärmas av eller dämpas för att det ska bli behagligt att se mot dem (Anell & Berggren, 2011). Goda luminansvärden erhålls då det är under 1000 candela per kvadratmeter, helst under 500 candela per kvadratmeter, inom det normala synfältet. Utanför det normala synfältet bör luminansnivån vara under 2000 candela per kvadratmeter, helst under 1000 candela per kvadratmeter (Dubois, 2001). Hur hög luminans som är rimligt att utsättas för innan ljuset orsakar bländning är individuell. Som riktvärde på rekommenderad högsta luminans brukar 1500 candela per kvadratmeter användas (Bülow-Hübe, 2007).

### 2.1.5 Dagsljusfaktorn

För att kunna mäta och jämföra belysningsstyrkan från dagsljuset inomhus i förhållande till ljuset utomhus används förhållandet mellan dessa som ett uttryck, kallat dagsljusfaktorn (Renström & Håkansson, 2004). Dagsljusfaktorn mäts invändligt 0,85 meter från golvet, mitt i rummet och ljuskällan bör vara fri från föremål som kan blockera ljuset. Värdet bör minst uppnå 1 % (Jarnehammar, Nilsson & Englund, 2008).

### 2.1.6 Infraröd strålning

Infraröd strålning är elektromagnetisk strålning med våglängder mellan 0,75 mikrometer och en millimeter. Strålningen är osynlig och skapas då atomer ändrar sin vibrationsenergi. Föremål som träffas av IR-strålning tar upp denna och värms upp. Solens strålar består ungefär till hälften av IR-strålning medan en glödlampa sänder ut mer IR-strålning än vad den sänder ut synligt ljus (Nationalencyklopedin, 2012).

### 2.1.7 Dagsljus och solljus

Dagsljus är definierat som allt ljus solen åstadkommer under dagen, trots att solen är skydd. Solljus är det ljus som solen sprider (Svenska Akademiens Ordbok, 2010). Tiden mellan soluppgång och solnedgång kallas för den astronomiskt möjliga solskenstiden och definierar dagens längd. Den astronomiskt möjliga solskenstiden tar dock ingen hänsyn till om det är strålende sol från klar himmel eller en mulen dag, utan anger bara det tidsspann vi får dagsljus från solen (Björk, 2000).

Enligt Boverkets Byggregler, BBR, har en byggnad tillräckligt goda ljusförhållanden då rätt luminans och tillräcklig ljusstyrka erhålls.

BBR, kapitel 6:311 definierar skillnaden mellan direkt solljus, direkt dagsljus och indirekt dagsljus inomhus. Direkt solljus är solljus som utan att reflekteras skiner in i ett rum. Direkt dagsljus är då ljus kommer in genom ett fönster som är placerad direkt mot det fria. Indirekt dagsljus är då definierat som ljus från det fria som kommer in i rummet utan fönster mot det fria (Boverket, 2008).

## 2.2 Ljus

Det ljus som kommer direkt från solen har enligt studier visat sig ge goda effekter på hälsa och välbefinnande. Människans dagsrytm styrs av ljuset genom att det påverkar tillverkningen av olika hormoner. Ämnet melatonin bildas i tallkottkörteln i hjärnan och är ett sömnhormon som påverkar vår dygnsrytm. Hur mycket som tillverkas beror av hur mycket ljus som träffar ögats näthinna. Vid exponering av ljus minskar tillverkningen medan tillverkningen ökar vid mörker, vilket leder till sömnhet och underlättar insomnandet (Hult, 2011).

### 2.2.1 Ljusets betydelse för hälsan och ögats tolkning av ljus

Brist på solljus har visat sig leda till ökad risk att drabbas av vissa sjukdomar. Till exempel har depressionssjukdomar visat sig vara vanligare på nordliga breddgrader där exponeringen av solljus är nedsatt. Höst- och vinterdepression, även kallad Seasonal Affective Disorder (SAD), är en vanlig depressionssjukdom i norr som beror på för lite solljus. För att bota de som insjuknat i SAD räcker det inte med att tända vanliga lampor eftersom dessa inte ger rätt styrka, våglängd eller spridning av ljuset (Björck, 2011).

Det har också hittats samband mellan solljusexponering och insjuknande i typ 2-diabetes. En möjlig anledning till detta beror på att hypotalamus, en region längst in i hjärnan, styrs av ljuset som träffar näthinnan. Hypotalamus reglerar bland annat blodtryck, kroppstemperatur, ämnesomsättning och sömn, alla faktorer som vid fel påverkan kan vara riskfaktorer för att utveckla diabetes. Vid dessa riskfaktorer har en utjämning av stress- och vakenhets hormonet kortisol noterats. Kortisol ska naturligt vara lägst vid midnatt och högst tidigt på morgonen, men halternas fördelning utjämnas över dagen vid sömnbrist, psykisk stress, depression och övervikt (Hult, 2011).

En annan anledning är att melatoninets produktion påverkar halterna av insulin. Insulinet är det protein som signalerar till kroppen att ta upp glukos ur blodet. Då bildningen av melatoninet sjunker vid intag av ljus ökar halterna av insulin (Hult, 2011).

I ögats näthinna finns receptorerna tappar och stavar som påverkar intrycket från omgivningen och gör att hjärnan kan skapa en bild av vad som ses. Stavarna finns för mörkerseendet och tapparna för färgseendet. Även en tredje receptor har upptäckts, vilket har lett till en förståelse av hur kroppens hormonsystem påverkas av den elektromagnetiska strålning som ljus är. Denna tredje receptors uppgift i kroppen är att via en biologisk nervbana föra vidare ljusimpulser från omgivningen till kroppen som reagerar på dessa. Nervbanan leder bland annat till hypofysen och det är där kortisol och melatonin utsöndras. Den tredje ljusreceptorn består av något som kallas retinala ganglieceller. Dessa kan endast ta upp blått ljus. En logisk tanke skulle vara att blåtonade fönsterglas av denna anledning skulle leda till ökad pigghet och prestation, men försök har visat på motsatt effekt av sådana glas (Hult, 2011).

### 2.2.2 Dagsljus inomhus

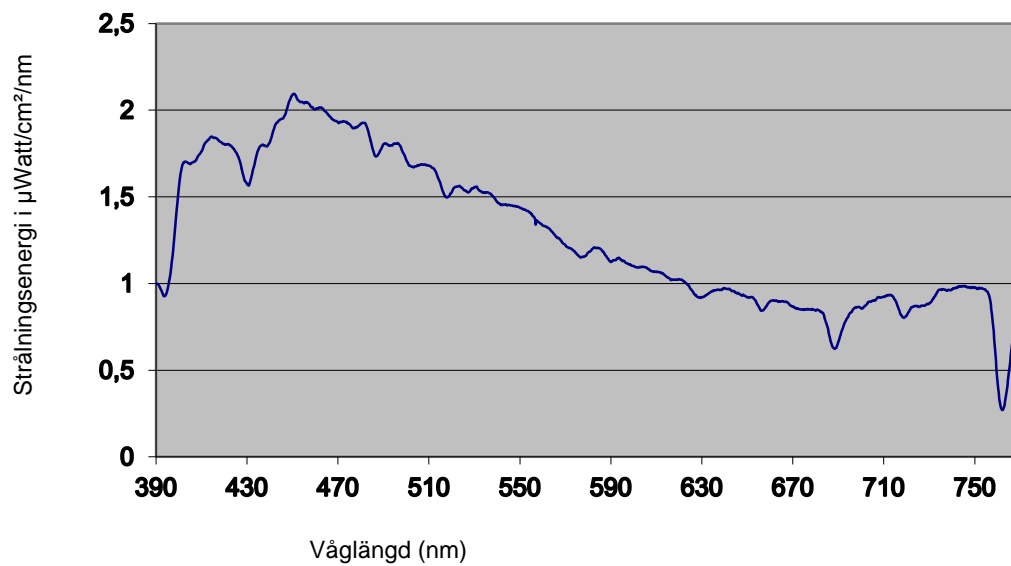
Dagsljus har också visat sig påverka prestationsförmågan och välbefinnandet. Försök har utförts på klassrum där det ena rummet hade fönster endast på en sida medan det andra rummet hade fönster på bägge sidor. Det visade sig att eleverna som vistades i klassrummet med fönster på båda sidorna presterade

bättre. Det är inte bara viktigt hur mycket ljus som finns i ett rum, kvaliteten på ljuset är också av betydelse (Hult, 2011).

I en artikel av Küller m.fl.(2006) har ljusets och färgsammansättnings effekt på människan humör och välbefinnande undersökts. I undersökningen reagerade inte testpersonerna på varierande nivåer på belysningsstyrka. Däremot visade det sig att en väl vald sammansättning av färger gjorde skillnad i humöret hos testpersonerna. En väsentlig skillnad av humöret upptäcktes beroende på distansen till närmsta fönster. Humöret var som bäst alldeles intill fönstret.

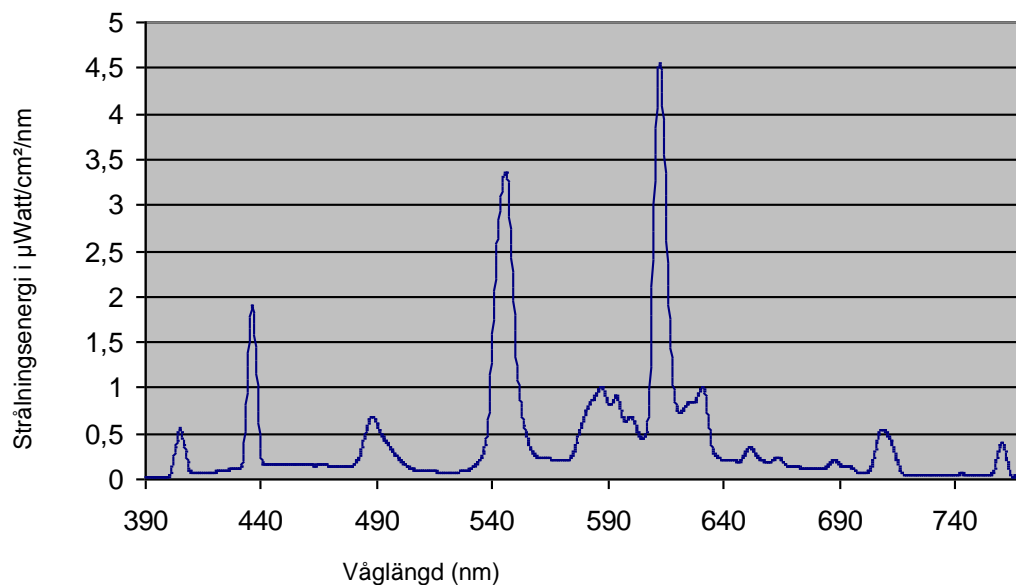
Ljuset som kommer från solen innehåller en blandning av alla regnbågens färger och upplevs som vitt ljus. Det går att ta fram vitt ljus genom att blanda olika våglängder, desto fler färger desto mer likt dagsljus. Ett lysrör består av en blandning av ljus med färgerna grönt, blått och rött medan LED-lampor (ljusdiodlampor) utgår från blått och fylls ut med gult. Nyare och dyrare versioner av LED-lampor har förutom blått ljus även grönt och rött i grunden. Ljus från olika ljuskällor ger därför olika spektrum, vilket kan visas i nedanstående diagram (Hult, 2011). Figur 2 visar den naturliga spridning av de olika våglängderna som dagsljus innehåller. I figur 3, som visar våglängdernas spridning i ljuset från ett lysrör, är inte fördelningen alls lika jämn som hos det naturliga ljuset. Vissa färger strålar med hög intensitet medan andra knappt finns med i spektrumet. Framförallt förekommer ljus med våglängderna 440 nanometer, 540 nanometer och 620 nanometer. Figur 4 visar våglängdernas spektra i ljuset från en LED-lampa, vilket mer liknar dagsljuset än vad ljuset från lysröret gör. Det finns dock fortfarande tydliga skillnader mellan spektrumet i figur 2 och figur 4. Till exempel innehåller ljuset från LED-lampan väldigt lite ljus i våglängdsområdet 390-450 nanometer. Även mängden ljus från våglängden 490 nanometer är låg.

## Dagsljus



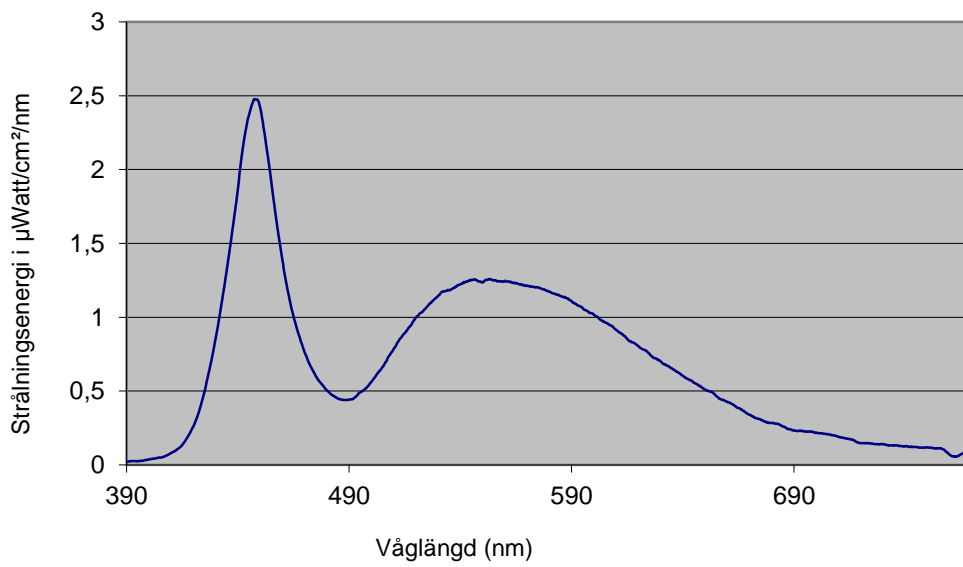
**Figur 2.** Spektra från dagsljus mätt i strålningsenergi i  $\mu\text{Watt}/\text{cm}^2/\text{nm}$  per våglängd i nanometer. Diagrammet visar det naturliga ljusets förhållandevis jämna spridning av de olika våglängderna.

## Lysrör



**Figur 3.** Spektra från ett lysrör mätt i strålningsenergi i  $\mu\text{Watt}/\text{cm}^2/\text{nm}$  per våglängd i nanometer. Lysrörets fördelning av våglängderna är ryckigare än dagsljusets och ljus med våglängderna 440 nm, 540 nm och 620 nm förekommer i störst skala.

## LED-lampa

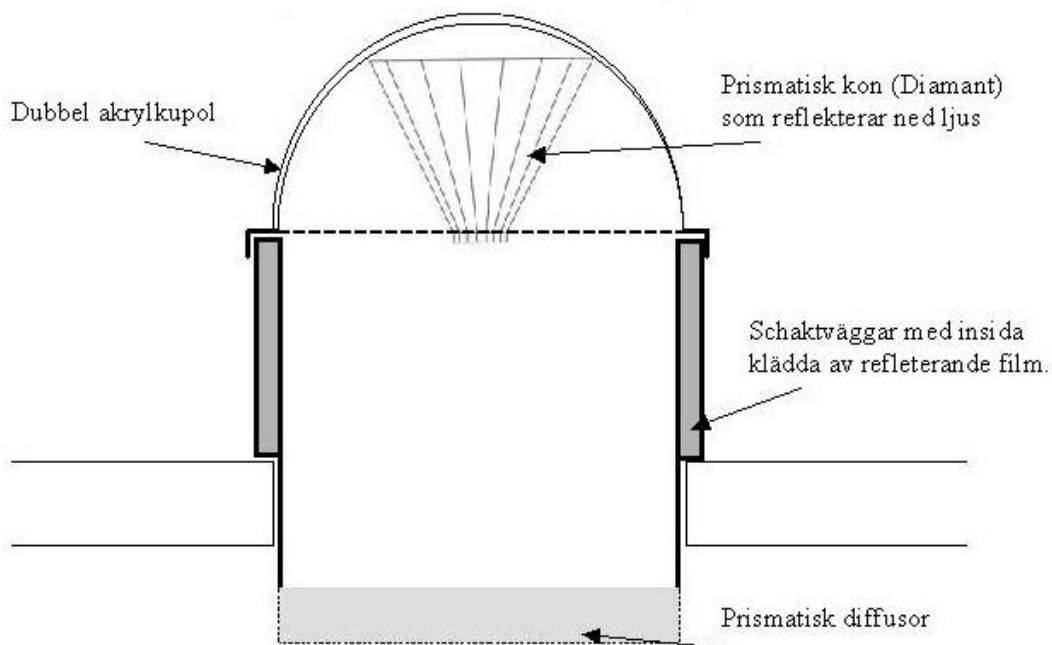


**Figur 4.** Spektra från en LED-lampa mätt i strålningsenergi i  $\mu\text{Watt}/\text{cm}^2/\text{nm}$  per våglängd i nanometer. Spridningen är jämnare än för lysröret men bland annat våglängderna 390-440 nm och 490 nm är underrepresenterade.



## 2.3 Ljusschakt

Ett sätt att få in dagsljus i ett rum är att med hjälp av ett ljusschakt leda in ljuset genom taket och ner i rummet. Ett sådant schakt leder in alla synliga våglängder och eftersom ljuset kommer direkt utifrån kommer det in i naturliga mängder och variationer som gör det behagligt att vistas kring. För att ett ljusschakt ska leda in passivt dagsljus i en byggnad utnyttjas ljusets reflekterande egenskaper. Ljus beter sig på olika sätt beroende på mot vilket material de reflekteras. Lighting Distribution Technology AB (LDT AB) är ett företag i Sollentuna utanför Stockholm som utvecklat och tillverkar en typ av ljusschakt. Enligt Martin Behm<sup>1</sup>, projektledare vid LDT AB, har dessa installerats på flertalet byggnader runtom i Sverige och installationerna baseras på erfarenhet av tidigare projekt och studerandet av ljusets beteende. Detta kapitel beskriver ljusschaktets uppbyggnad, förklarat av Martin Behm vid LDT AB. Ett ljusschakt från LDT AB installeras genom taket av den byggnad som ska belysas. Standardarean för de ljusschakt som företaget tillverkar är 1200x1200, men kan varieras vid behov. Schakten består av olika delar med olika funktioner; konen fångar upp ljuset och leder det ner i en kanal som klätts med högreflekterande material. Efter att ha reflekterats i kanalen diffuseras ljuset ut i rummet med en diffusor nederst. En kupol skyddar konen mot nederbörd och annat som kan tära på den. Schaktets utseende och uppbyggnad med dess olika delar visas i figur 5.

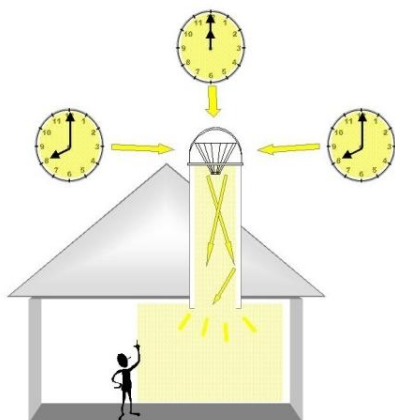


**Figur 5.** Schaktets uppbyggnad. Ljuset reflekteras ner i schaktet av den prismatiska konen och reflekteras därefter vidare av schaktväggarna för att så småningom diffuseras ut i rummet av den prismatiska diffusorn.

<sup>1</sup> Martin Behm (Projektledare, LDT AB) Intervjuad av författarna 2012-02-10

### 2.3.1 Konen

Den del av ljusschaktet som fångar upp dagsljuset kallas konen eftersom den är formad som en uppochnedvänd kon. Den består av 16 stycken 90 graders prismaskivor. Eftersom dessa skivor är placerade åt olika håll på konen träffas alltid någon av dem direkt av solens strålar. Detta illustreras i figur 6. En skiva som träffas av direkt solljus ger en maximal reflektans på 98 %. Resterande skivor, som inte träffas av direkt solljus, träffas av dagsljus och kan reflektera 90 % av det ljuset ner i schaktet. På morgon och kväll när solen står lägre på himlen når ljuset först prismorna i konen innan det reflekteras ner i schaktet och genom kanalen ner till diffusorn. Ljuset reflekteras då fler gånger på schaktets insida eftersom infallsvinkeln är lägre. Mitt på dagen då solen står högst på himlen och lyser på schaktet rakt ovanifrån kan strålarna träffa inuti konen och lysa rakt ner genom kanalen där det diffuseras ut i rummet. Dessa variationer på infallsvinklarna under dygnet illustreras i figur 6.



Figur 6. Ljusets väg genom schaktet vid olika tider på dygnet.

### 2.3.2 Skyddande kupol

Konen skyddas upptill av en genomskinlig glaskupol, se figur 7, och då snö eller annan nederbörd träffar glaskupolen rinner det genast av igen. För att inte snö ska lägga sig längs med glaskupolen fortsätter kanalen ovanför taket så att det placerat minst en halvmeter ovanför takets yttersta lager.



Figur 7. I bilden visas konen med dess 16 prismaskivor placerade i olika riktningar, samt den glaskupol som skyddar konstruktionen.

### 2.3.3 Väggar klädda med Silver Reflected Film

Då ljuset träffat prismaskivorna reflekteras det vidare ner i schaktkanalen som har väggar av högreflekterande material. Olika material, kallat Silver Reflected Film (SRF), finns att välja mellan och fördelar vägs mot ekonomiska skillnader. Det billigare alternativet är gjort av metall som reflekterar 95 % av ljuset. Produkten kallas SRF 95. Det dyrare alternativet, SRF 98, är istället gjort av polyester. Produkten reflekterar trots namnet 99 % av det infallande ljuset. Skillnaden kan tyckas liten men efter flera reflektioner blir den slutliga ljusupplevelsens variationer desto större.

### 2.3.4 Inuti byggnaden

Då ljuset har letts ner genom schaktets kanal ska det träffa det rum som det är tänkt ska belysas. Istället för att ljuset släpps direkt ner i rummet fångas det upp av en armatur som fungerar som diffusor och fördelar ljuset på flera ytor. Bländningseffekterna minskar och ljusets fördelning gör lokalen behagligare att vistas i. Diffusorns utseende och hur ljuset upplevs i rummet visas i figur 8.



Figur 8. I bilden visas diffusorn vilken är placerad i slutet av ljuskanalen, på insidan av taket.

### 2.3.5 Schaktets värmeegenskaper

I samband med att ljus strålar mot schaktet tillförs det även värme i form av IR-strålning . Denna värme är ofta oönskad och bör förhindras att nå ner i byggnaden. För att stoppa värmen placeras små luftkanaler bakom det reflekterande materialet på schaktets insida. Till skillnad från ljuset som reflekteras vidare stannar värmen i materialet och leds bort av luftkanalerna.

### 2.3.6 U-värde

För att installera ett ljusschakt är det vanligt att företag vill veta vad U-värdet för ljusschaktet är, eftersom det innebär en risk att installera något utan att veta hur mycket värme det släpper ut. I dagens läge saknas uppgifter som talar om U-värdet för det ljusschakt som använts i detta examensarbete. De schakt som redan installerats har gett bra isolerande värden men denna vetskap är inte tillräcklig för att kunna beräkna energiförluster i nya byggnader där schaktet

installerats. Eftersom alla U-värden mäts horisontellt, vinkelrätt mot marken, och schaktens egenskaper varierar i olika höjder går det inte att ange ett U-värde för hela schaktet. För att kunna få ett grepp om U-värdet skulle olika U-värden kunna bestämmas för de olika delarna och därefter ett totalt värde beräknas. Ljusschakten skiljer sig åt i form och storlek från projekt till projekt.

### **3 Litteraturstudie**

#### **3.1 Tidigare undersökningar av dagsljussystem**

En byggnad har flera krav att uppfylla, däribland estetik, prestanda och struktur. Idag blir det också allt viktigare att bygga klimatsmart med låg miljöpåverkan genom maximal energibesparing. Att redan under projekteringen av en byggnad modellera hur dagsljuset kommer att inverka på byggnaden är en utmaning men dock så viktig. Genom att noggrant undersöka hur en byggnad på bästa sätt genom läge och arkitektur kan utnyttja dagsljuset är viktigt för att på så sätt kunna minimera byggnadens miljöpåverkan. Även faktorer som hälsa och välbefinnande hos de personer som vistas i byggnaden tack vare inkommande dagsljus gör intresset för dagsljusmodellering än större. Dock finns många faktorer att ta hänsyn till för att energibesparingar ska kunna göras och för att det ska få en avgörande påverkan, samtidigt som estetik och nytta ska kunna kombineras. Enligt Andersen m.fl. (2008) är målet med lyckad dagsljusbelysning i en byggnad att öka dess utnyttjande av dagsljus på ett sätt som fortfarande gynnar arkitekturen. Parametrar som bör kontrolleras är den dagliga variationen liksom säsongsvariationer av dagsljuset, samt balansgången mellan tillfredsställande belysningsstyrka i en lokal och att samtidigt undvika risken för bländning av direkt solljus.

Andersen m.fl. (2008) beskriver att det finns olika sätt att gå till väga för att kunna undersöka möjliga alternativ för en design och på detta sätt hitta den mest optimala lösning för en byggnads dagsljusanvändning. Metoder som finns att tillhandahålla idag är beräkningar, analyser av skalmodeller eller datasimuleringar. Det dataprogram som används i störst utsträckning för dagsljussimulering är Radiance. Ecotect Analysis, med sin prestanda inom modellering, tillsammans med Radiance ger goda möjligheter för att kunna genomföra dagsljusanalyser. Användandet av datasimulerade dagsljusanalyser kan vara att antingen undersöka kapaciteten hos den redan framtagna designen av byggnaden eller för att studera möjliga alternativ. I denna rapport har byggnaden så som den ser ut idag kunnat jämföras med två alternativa lösningar, ett fönster i ytterdörren samt ta bort en vägg mellan köket och hallen.

I artikeln skriven av Andersen m.fl. (2008) framläggs fyra stycken frågor vilka bör eftertänkas tidigt i designprocessen för att skapa de bästa förutsättningarna:

- Är ljuset tillräckligt?
- Är det för mycket ljus?
- Orsakar ljusinledningen övertemperatur?
- Är ljusfördelningen tillräcklig?

Om ljuset är tillräckligt, är en fråga vilken brukar undersökas i form av mätningar av belysningsstyrkan. Vanligtvis är detta av intresse vid design av kontor eller liknande arbetsytor. Belysningsstyrkan för dessa ytor bör vara 300-500 lux för att anses vara tillräckligt. Med risk för att istället genom designen på byggnaden skapa för mycket ljus och därmed öka risken för bländning, bör även den frågan beaktas. Även detta mäts i belysningsstyrkan i utrymmet, där det bör vara under 2500 lux. Dock är denna gräns obestämmd då risken för bländning skiftar beroende på en persons placering i rummet, ögats anpassning efter belysningsstyrkan samt att toleransnivån för bländning skiftar från person till person. Att leda in dagsljus, och då främst solljus, kan också orsaka obehag vid övertemperatur. Detta är också en fråga vilken bör övervägas, då övertemperatur i sig kan leda till att användarna istället väljer att kyla ner byggnaden, vilket är energikrävande och då går emot idén om ett klimatsmart byggande. Den fjärde frågan vilken tas upp för att ha i åtanke är ifall ljusfördelningen i utrymmet är tillräckligt, där fler faktorer än bländning spelar in.

Det finns andra möjligheter att skapa ett större dagsljusinsläpp i en byggnad utan att behöva förändra dess design. Carter (2004) har beskrivit rörformiga ljusledningssystem och tagit upp frågor angående val av system. Det som skiljer dessa system från andra är att ljuset kan ledas till den plats som önskas belysas. Det finns fyra olika sätt att leda ljuset; linssystem, ihåliga spegelrör, prismatiska rör och system av optiska fibrer med fast kärna. Det första systemet, strålning/lins, bygger på att ljuset transporteras med hjälp av linser och speglar. Det har visat sig ha två nackdelar som gör att det inte är relevant att använda. Den ena att det har visat sig vara dyrare än andra metoder och den andra att mycket ljus går förlorat genom systemet. För att behålla så mycket ljus som möjligt krävs en exakt inställning. I den andra typen av system med ihåliga spegelrör reflekteras ljuset på väggytorna. Det erhållna slutliga ljuset beror på väggytornas reflektans, infallsvinkeln samt på utformningen av röret. Vid systemet med ihåliga prismatiska ljusledare reflekteras ljuset från en prismatisk yta och riktas ner till insidan av en ljusledare. Den prismatiska ytan består huvudsakligen av akryl- eller polykarbonatiska material vilka har en 90 graders riktning av ljuset på den utvändiga ytan. Till skillnad från spegeln är detta system öppet för ljus i fler riktningar. Den sista typen av system är den

med optiska fibrer. De byggs upp av två delar; en inre kärna som transporterar ljuset och en yttre del som förhindrar läckage från kärnan. Ljuset reflekteras effektivt och hur mycket ljus som leds in beror endast på ledarens längd, inte dess diameter.

Spridarna av ljuset är beroende av transportsystemet de är kopplade till och systemen kan beskrivas som en koppling mellan transporterare och spridare. Exempel på sådana är ihåliga prismetiska spridare, spårade ljusledare och diskreta spridare. I de ihåliga prismetiska ledarna transporteras ljuset med invändiga reflektioner. Ytor som inte ska fungera som spridare bör täckas med reflektivt material eller så kan en remsa av diffuserande material placeras inuti ledaren så att inte oönskade mängder ljus sprids. De spårade ljusledarna är tuber som invändigt kläs med en elastisk film med reflektans på kring 90 %. Ljusledningen sker med hjälp av spegelreflektioner och ljuset sprids slutligen genom ett spår som kan vara antingen transparent eller diffuserande. Det finns olika typer av diskreta spridare. De kan antingen vara cirkulära, kupolformade eller fyrkantiga. Ljuset sprids i rummet med en diffusor eller med en matris av linser (Carter, 2004).

Även metoden för att fånga in ljuset kan skilja sig åt. Vanligast är att mottagaren placeras på byggnadens tak. Det kan till exempel vara ett system med aktiv infångare, vilket innebär att en spegel placeras på taket och koncentrerar det solljus den tar emot. En andra spegel tar emot det koncentrerade ljuset och för det vidare ner i kanalen. Det kan också vara ett passivt system. Sådana passiva system består av en ljusledande del som i toppen börjar med någon typ av infångare av naturligt ljus och i nedre änden avslutas med ett material vilket diffuserar ut ljuset (Carter, 2004).

Då ljuset transporteras genom ett ljusschakt med en längre kanal, måste strålarna reflekteras ett högre antal gånger än vid en kort kanal. Intensiteten hos det inkommande ljuset minskar för varje gång det reflekteras och blir därmed lägre för en lång kanal jämfört med en kort. På samma sätt påverkas intensiteten av kanalens bredd, en längre kanal kan inte vara för smalt utformad då ljuset behöver studsas fler gånger än i en bredare. Ljusets intensitet minskar också beroende på hur mycket som kan reflekteras i schaktets invändiga ytmaterial. För att antalet reflektioner ska minimeras bör prismakonen optimalt placeras så att ljusstrålarna ner i kanalen blir närmast vertikala då det i det fallet förloras minimalt med ljus. En liten förändring av reflektansen i väggarna hos ljusröret leder till stora förändringar av transmittansen eftersom ljus förloras i varje reflektion. Beroende på vilket material som placeras på kanalens väggar kan det infallande ljuset komma att anta olika färg. Andra undersökningar av ljusledaren har visat på hur böjor och liknande påverkar reflektansen och hur vädret påverkar hur mycket ljus som

leds in. Däremot finns inga uppgifter om hur ljuset som tillförs rummet sprids i det. Kunskaperna om hur stort det inkommande ljusflödet blir kan användas men kommer inte att ge något exakt värde på resultatet (Carter, 2001).

Oakley, Riffat och Shao (1998) vid Nottinghams Universitet, Storbritannien, undersökte för tre olika lokaler möjligheten att med hjälp av ljustödsrör skapa tillräcklig belysning för att då kunna belysa lokaler enbart med dagsljus. De lokaler de genomförde mätningar i var i en verkstad, ett bostadshus samt ett kontor. Belysning i affärslokaler och kontor uppgår till 30 % av byggnadens elanvändning. Att istället då belysa dessa utrymmen med hjälp av dagsljus kan ge stora energibesparingar samt öka välbefinnandet hos personer som vistas i dessa utrymmen. Nackdelar som kan komma med att belysa med dagsljus är upplevt obehag på grund av bländning och ökad inomhustemperatur då dagsljuset också för med sig infrarödstrålning som värmer upp. Ett sätt att undvika dessa problem är att installera ljustödsrör. En fördel är att med ljustödsrör jämfört med fönster förs inte lika mycket värme in, något som förebygger överhettning under sommaren. De ljustödsrör som användes vid mätningarna har en uppbyggnad liknande ljustödschakten undersökta i denna rapport. Dessa ljustödsrör har en skyddande kupol som inte släpper in ultraviolett strålning, röret är på insidan beklätt med högre reflekterande material som reflekterar minst 95 % samt en diffusor som sprider det inkommande ljuset jämnt i rummet. Efter mätningarna av prestandan hos ljustödsrören, visar resultatet att de högsta värdena på belysningsstyrkan fås vid raka, korta rör, medan prestandan sjunker vid böjda rör.

Väderförhållanden vid undersökningarna var varierande från molnig till solig himmel. Trots den mulna himmeln blev upplevelsen i bostaden som undersöktes i rapporten, att rummet blev väl upplyst och ingav en känsla av att befinna sig utomhus tack vare ljustödsrören och att väggarna i rummet var vitmålade. Däremot i verkstaden, där två av väggarna var mörkmålade, blev upplevelsen i rummet att direkt under ljustödsrören var det ljust, medan belysningsstyrkan i resten av rummet var otillräcklig och gav en dyster känsla (Oakley, Riffat & Shao, 1998).

För kontor och övriga allmänna utrymmen är 300 lux rekommenderad belysningsstyrka, något som mätningarna i bostaden och kontoret överlag uppfyllde. Då det i utrymmena enbart räckte med ljustödsrören för att uppnå 300 lux och mer därtill utan att använda artificiellt ljus, skulle det leda till ett energibesparande på 100 % (Oakley, Riffat & Shao, 1998).

Ett ljustödschaktssystem med en alternativ utformning har testats för olika faktorer, för att ta reda på hur effektivt det var gällande ljusledning och

energibesparing. Ljusschaktet var utformat med en viss bredd i toppen som sedan ökade längre ner i schaktet. Längst ner smalnade det av igen. Inuti kläddes det med glasöppningar med olika riktningar beroende på årstider (Canziani, Peron & Rossi, 2004).

Det viktigaste för att spara energi genom dagsljusinledning var att optimera och rikta glaselementen för att leda ljuset. Också luftflöden som på negativt sätt kunde leda till förändring av den termiska komforten undveks genom att med noggrannhet dimensionera glasöppningarna. Försöken visade att belysningsstyrkan in i rummet var av en lämplig nivå och med en lämplig fördelning. De visade också att energi kunde lagras, i elektrisk form eller som värme och fenomen som bländning och överhettning kunde undvikas. Reflektorn skulle dock kunna förbättras så det inkommande ljuset centreras och riktas mer, för att kunna få bättre värden under molniga dagar (Canziani, Peron & Rossi, 2004).

### **3.2 Dagsljusledare i kombination med solvärme och ventilation**

Möjligheten att kombinera ett ljusschakt med rör, infångare och diffusor med en utvändig ventilationskanal har undersökts av Shao och Riffat (2000). Till experimentet tillverkades en modell av ett ljusschakt. Det som skulle släppa ut luft var ett tvådelat ventilationsrör kring ljusschaktet. Även två testkammare tillverkades. På den ena anordnades paneler av laser-cut panel (LCP) och vindterminaler och båda kamrarna filmades för att kunna jämföras. Ljusschakt placerades mitt på kamrarna som värmdes upp invändigt av spolar. Testerna utfördes under naturliga förhållanden med solen som ljuskälla. En luxmätare placerades i kammarens tak, en på golvet och en utvändigt. Olika ljussamlare testades där en av dem var LCP. Ventilationshastigheten övervakades och de båda kamrarna förorenades konstant. Belysningsstyrkan var vid klar himmel relativt hög, ibland upp emot 1400 lux inomhus. Vid mulen himmel berodde belysningsstyrkan av molnens tjocklek på himlen och värdena var lägre än under de soliga dagarna. Dagsljusfaktorn varierade mellan 1,6 % till 2,4 % vid molniga dagar och mellan 1,3 % till 1,7 % vid soliga dagar. Kammaren med LCP gav högre värden på belysningsstyrkan för både golv och tak före kl. 12.00, men lägre värden efter kl. 12.00 eftersom värdena påverkas av riktningen på LCP. Även huruvida det stämmer att ljusschakt släpper in mindre IR-strålning än synligt ljus testades. En fotometer användes för att mäta inkommande IR-ljus. Mätningarna visade att det kommer in i genomsnitt tre gånger så mycket IR-strålning när det är soligt än när det är molnigt. Vid soligt väder sänder schaktet iväg 0,1 % mindre IR än synligt ljus. Det upptäcktes att 8 luftombyten per timme gjordes genom att varm luft försvann ut. Det visade sig vara genomförbart att installera ett varmrörssystem tillsammans med ljusschaktet (Shao & Riffat, 2000).



## 4 Metod

I detta examensarbete har olika lösningar för att skapa bättre dagsljusbelysning i hallen i radhuset undersökts, där olika simuleringar och mätningar av luminansförändringar har genomförts. En möjlig lösning på problemet är att installera ett ljusschakt och genom denna kanal leda in ljus i byggnadens hall. Olika placeringar av det eventuella ljusschaktet har testats. Alternativa lösningar som undersökts är att sätta in ett fönster i ytterdörren eller att riva väggen mot köket så att hallen kan ta del av de fönster som finns där. Dessa olika lösningar har sedan jämförts med varandra.

### 4.1 Mätningar med skalmodell

För att undersöka ljusschaktets ljustledande förmåga byggdes en skalmodell i skala 1:6 av det undersökta huset i kartongmaterialet kapaskivor, med tjockleken 3 millimeter. Material till ljusschaktet beställdes av LDT AB, för att ljusschaktet ska stämma så nära överens med verkligheten som möjligt. Materialet som tillhandahölls var:

- en prismatisk akrylskiva av samma material och med samma reflekterande egenskaper som i konen som fångar upp ljusstrålarna
- det reflekterande materialet SRF 98 fastklistrade på plastskivor med luftkanaler på baksidan
- en diffusor

I detta examensarbete har främst polyestermaterialet med reflektans på 99 % (SRF 98) testats. Måtten på modellschaktet som testats är 100x100 millimeter, vilket motsvarar 600x600 millimeter i verkligheten.

Vid försöken tillverkades inte konen som ska sitta placerad högst upp på ljusschaktet. Istället riktades skivan av konens material i solens riktning för att på så sätt fånga upp maximalt av solens strålning. I verkligheten skulle mer ljus komma ner i schaktet eftersom prismet skulle fånga upp ljus från alla 16 riktningar samtidigt. Prismorna på konen ställs in med sådan lutning att de ska fånga upp som mest ljus under de delar på året då soltimmarna är få och solen står lågt på himlen, alltså då lite dagsljus kommer in i huset.

Längden på schaktet som tillverkats för försöken är motsvarande längden mellan taknocken och undersidan av mellanbjälklaget, vilket är längsta möjliga längd som kan komma att installeras. För mätningar av belysningsstyrkan, lux, i skalmodellen användes en lux- och luminansmätare av modell Hagner Digital Luxmeter, nyligen kalibrerad.

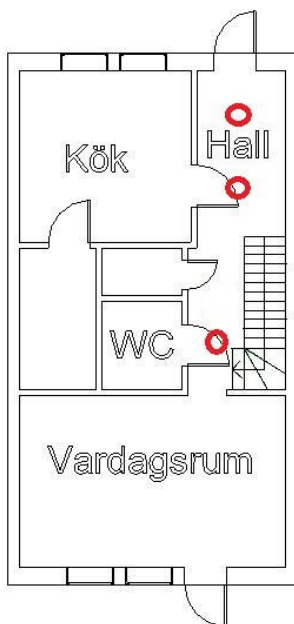
Referensmätningar gjordes även på huset så som det ser ut idag samt på alternativet med ett fönster installerat i ytterdörren. Vid mätningar av

dörrfönstrets ljusledning gjordes ett öppningsbart hål i kapaskivan, på samma placering som ett dörrfönster i verkligheten skulle ha.

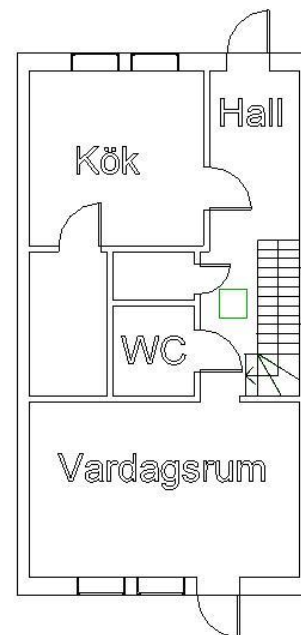
Skalmodellen testades under några dagar i mitten på maj för att ta reda på vilken lösning som gav det bästa resultatet. För att mäta detta placerades luxmätaren på en höjd av cirka 10 centimeter ovanför golvytan på tre olika punkter i modellen. De tre punkternas placering visas i Figur 9.a. Den översta punkten är punkt 1, nästa punkt 2 och den nedersta är punkt 3. Mätningarna gjordes under fem dagar vid olika väderförhållanden, från strålende sol till molnigt, både mitt på dagen, mellan klockan 12.00–13.00 och på kvällen, klockan 18.00–19.00. Tiderna valdes för att solen står som högst på himmeln mitt på dagen samt att hussidan där fönstret placerades har kvällssol.

#### 4.1.1 Placering av ljusschaktet

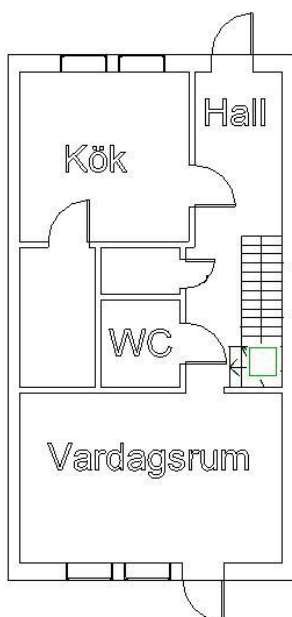
Tre olika placeringar av ljusschaktet testades och utvärderades. Vid möjliga placeringar har hänsyn tagits till bostadens takstolar, så att ljusschaktet ska placeras mellan dem för att behålla takets stabilitet.



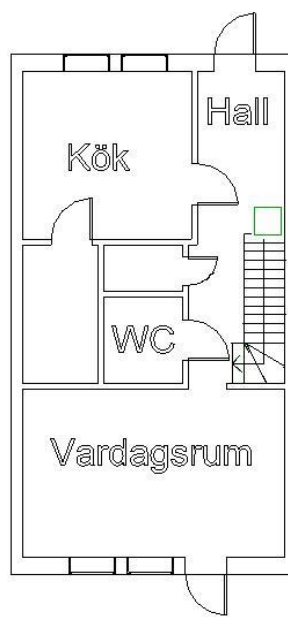
**Figur 9.a.** De tre röda cirkelarna markerar mätpunkt 1, 2 och 3, där 1 är närmast ytterdörren, 2 utanför köksingången och 3 bredvid trappan.



**Figur 9.b.** Ljusschaktet (Grön fyrkant på bilden) har placerats bredvid trappan och dragits genom mellanbjälklaget.



**Figur 9.c** Ljusschaktet (Grön fyrkant på bilden) har placerats ovanför trappan och ljuset lyser från ovanvåningens innertak ner genom trappan till bottenvåningen.



**Figur 9.d.** Ljusschaktet (Grön fyrkant på bilden) har placerats nedanför trappan. Schaktet har dragits genom hörnet på ovanvåningens kontor och ner genom mellanbjälklaget.

### Schakt placerat bredvid trappan

Den första testade placeringen är bredvid trappan, se figur 9.b, där den gröna kvadraten representerar ljusschaktet. Ljusschaktet kommer då att gå igenom innertaket, genom hallen på ovanvåningen bredvid trappträcket, genom mellanbjälklaget och ut i hallen där ljuset diffuseras.

### Schakt placerat ovanför trappan

Vid det andra alternativet placeras ljusschaktet ovanför trappan, se figur 9.c. Kanalen, som kommer vara kortare än vid de andra placeringarna, kommer då gå genom taket och ljuset diffuseras ut redan vid ovanvåningens innertak. På detta sätt sker dagsljusbelysning både på ovanvåningen och på bottenvåningen.

### Schakt placerat nedanför trappan

Den tredje placeringen av ljusschaktet är då kanalen går genom kontoret på ovanvåning, genom bjälklaget och ljuset diffuseras ut i hallen ovanför första trappsteget. För placering, se figur 9.d.

## 4.2 Analys med hjälp av datorsimuleringar

### 4.2.1 Autodesk Ecotect Analysis

Autodesk Ecotect Analysis är ett simuleringsprogram som har utvecklats för att på detaljerad nivå utföra mätningar av miljömässig prestanda av en hel byggnad, där programmets främsta egenskaper är att utvärdera byggnaden inom områden såsom energimässigt, termiskt och belysning samt skuggning. Resultatet redovisas visuellt. Programmet är ett hjälpmedel för att utveckla

faktabaserade och hållbara lösningar redan under projekteringen (Azhar, Brown & Farooqui, 2009).

#### 4.2.2 Radiance

Programmet Radiance utvecklades från början för att kunna förutsäga vilken belysningsstyrka en ljuskälla kommer att förse en punkt i ett rum med. För dessa mätningar användes metoden "backward ray tracing", vilket innebär att strålar sänds med den punkt som ska mätas som utgångsläge mot ljuskällan. Den motsatta metoden att mäta belysningsstyrkan från en ljuskälla kallas "forward ray tracing", vilket innebär att ljusstrålarna utgår från ljuskällan. Mer än en stråle från ljuskällan kommer att träffa mätpunkten eftersom ljus reflekteras på väggar och annat som finns i rummet. "Forward ray tracing" är den mest lämpliga metoden att använda för att mäta ljusstyrka eftersom den också tar hänsyn till det ljus som på reflekterad väg når punkten (Farrell, Kennedy & Norton, 2004). Fördelen med att använda Radiance vid rendering av solens ljus inne i en byggnad, är att programmet är noggrant. Detta verktyg ger därmed möjligheter för att återskapa det naturliga ljuset inuti byggnader på ett så verklighetstroget sätt som möjligt (Ward, 1994).

#### 4.2.3 Simuleringar i Autodesk Ecotect Analysis och Radiance

För att jämföra alternativa lösningar till att installera ett ljusschakt i huset, skapades tre stycken modeller i Google SketchUp 8 efter originalritningarna och exporterades därefter till Autodesk Ecotect Analysis för att kunna genomföra ljussimuleringarna med programmet Radiance. En modell av huset med ett dörrfönster, en modell med borttagen vägg samt en modell av huset som det ser ut idag skapades för att kunna jämföra resultaten med. Dessa simuleringar har kunnat göras för hela året och inte bara under några dagar som för skalmodellen och dessutom har perfekta väderförhållanden kunnat skapas.

#### 4.2.4 Dörrfönster

För en modell har ett fönster installerats i ytterdörren för på så sätt att leda in ljus den vägen till hallen. Dörrfönstret har måtten 600 x 600 millimeter. Dörrfönstret är placerat på en höjd av 1,3 meter från grunden. Dock finns ett avskärmande tak ovanför ytterdörren vilket dämpar det inkommande ljuset.

#### 4.2.5 Borttagen vägg

För en modell har väggen mellan köket och hallen tagits bort. På detta sätt leds ljuset in från kökets fönster till hallen bättre än tidigare, då det mellan hallen och köket idag enbart finns en smal öppning vilket inte skänker hallen tillräckligt med ljus. Enligt de originalritningar som finns är detta inte en bärande vägg, och kan därför tas bort. Denna lösning har inte testats i skalmodellen utan endast i Autodesk Ecotect Analysis med Radiance.

#### 4.2.6 Simuleringar

Då de tre olika modellerna; originalhus, dörrfönster och borttagen vägg, exporterats till Autodesk Ecotect genomfördes materialval till väggar och golv för att dessa förutsättningar skulle stämma överens med verkligheten. Till golvet valdes en betongplatta på mark med invändig plastmatta, vilken gjordes mörkfärgad för att efterlikna husets mörka klinkergolv som finns i hallen och plastmatta i köket. Färgen som golvet tilldelades har en reflektans på 30 %, då det är en mörk färg. Till väggarna och taket, som i huset är vita, valdes vita gipsskivor. Dessa har en reflektans på 80 %.

Då huset ligger i Gunnesbo utanför Lund, valdes Köpenhamn som klimatlokalisering och husets korrekta väderstrecksriktning angavs för att få rätt solinsläpp vid tidpunkten. Datum och väderförhållanden ställdes också in för att en jämförelse mellan de olika lösningarna skulle kunna göras, där datum valdes till vårdagjämning 21:a mars, sommarsolståndet 21:a juni samt vintersolståndet 21:a december. För vårdagjämningen och sommarsolståndet valdes tidpunkterna kl.12.00 och kl. 18:00, medan kl. 12:00 och kl. 15.00 valdes för vintersolståndet, eftersom solen har gått ner vid kl. 18:00 på vintern. För 21:a mars och 21:a juni genomfördes simuleringarna med en solig himmel, anpassat för sommarförhållanden, medan en mulen himmel användes vid 21:a december, anpassat för vinterförhållanden. Då byggnadens baksida hamnade mot solen kl 12.00 på dagen blev solljusinsläppet i vardagsrummet så stort att dagsljusinsläppet på framsidan inte visades i Ecotect Analysis-simuleringarna. Därför togs vardagsrummets fönster och dörrfönster bort vid simuleringarna kl 12.00, för att dagsljusinsläppet skulle visas. Inga andra ljuskällor än solen har använts i byggnaden.

Det blåfärgade rutnätet, griden, låg på höjden 800 millimeter ovanför golvytan. Detta rutnät visar den belyningsstyrka som det infallande ljuset bidrar med i lux.

Då dörrfönstret även undersökts med den fysiska modellen, jämfördes de framtagna resultaten från Radiance med den fysiska modellens resultat på mängden och spridningen av ljusinsläppet. Detta också för att se hur överensstämmande programmet är med verkligheten.

## 5 Resultat

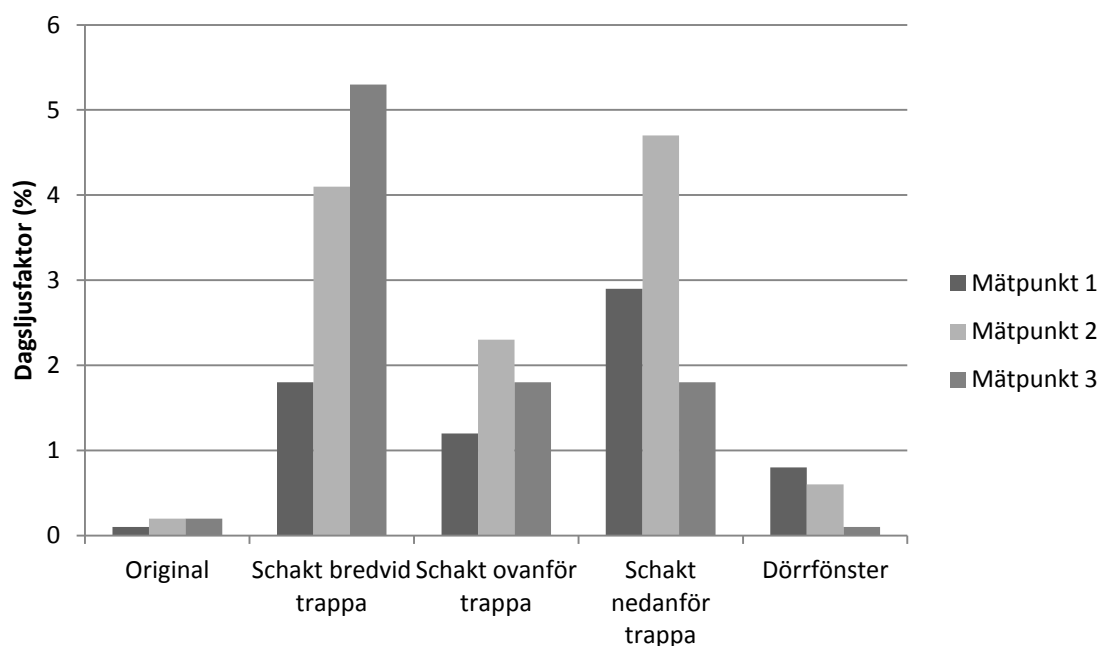
### 5.1 Skalmodell

Mätningar för de tre olika punkterna gjordes under flera dagar, dels dagtid och dels kvällstid. Ett medelvärde av den dagsljusfaktor som erhöles dagtid för var och en av de molniga dagarna visas i figur 10. Dagsljusfaktorn i huset som det ser ut i dagsläget var 0,1-0,2 % för alla de tre mätpunkterna. Den högsta

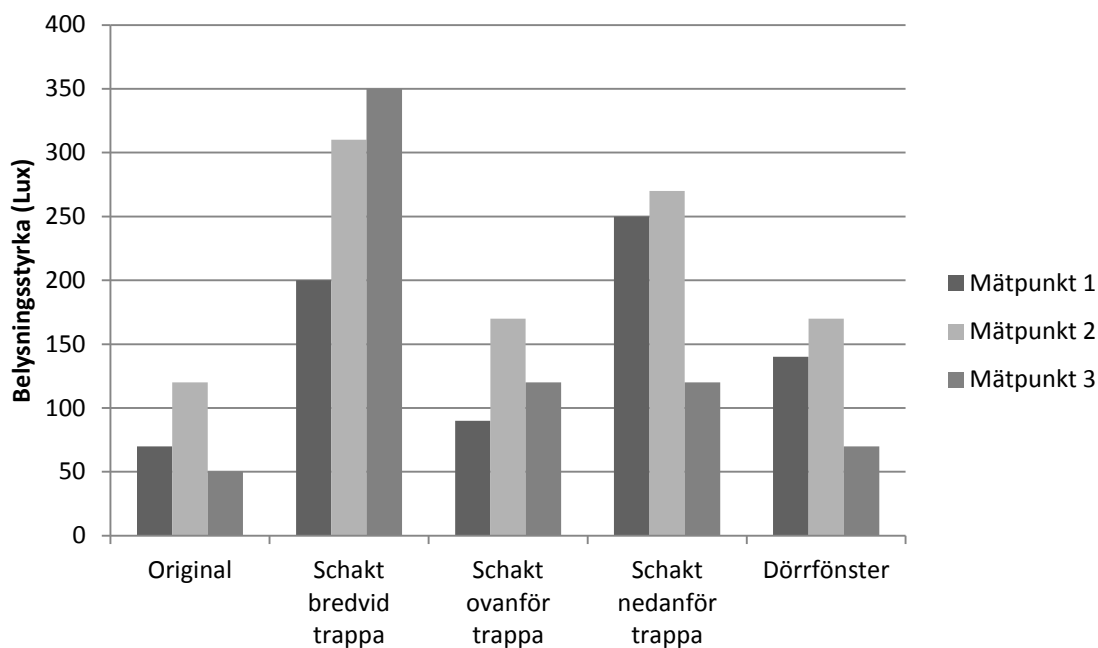
dagsljusfaktor som erhöles uppstår i mätpunkt 3 då ett ljusschakt har installerats bredvid trappan. Dagsljusfaktorn blir då mer än 5 %. Schaktet som installerats nedanför trappan gav också värden som nästan uppgick till 5 %, detta i mätpunkt 2.

För den 15:e maj kl. 12.00-12.30, vilket var en solig dag då belysningsstyrkan var cirka 19 000 lux utomhus, kunde belysningsstyrkan inomhus i den ljusaste punkten av de tre mätpunkterna uppgå till 350 lux. Värdet uppmättes för schaktet bredvid trappan i mätpunkt 3, vilket illustreras i figur 11. Även mitt i rummet, vid mätpunkt 2, var belysningsstyrkan högre än 300 lux.

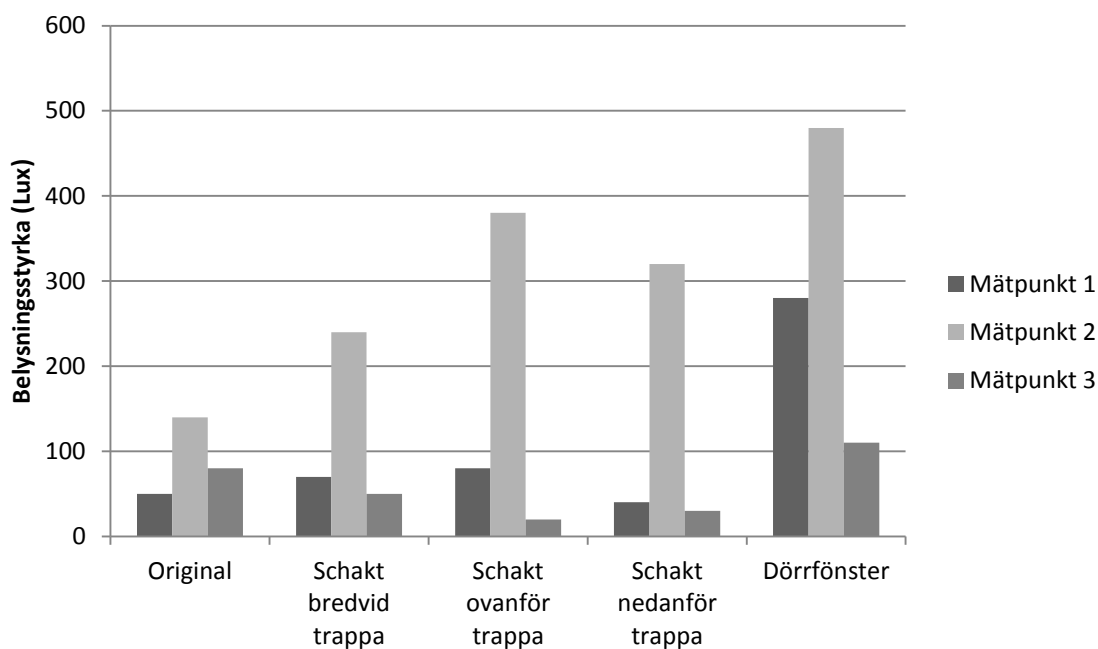
Mätvärdena för belysningsstyrkan den 15:e maj kl. 18.00-19.00, då solen lyste in i rummet även från köket, i synnerhet vid mätpunkt 2, uppnåddes värden på upp till 380 lux för schaktet installerat ovanför trappan. Detta illustreras i figur 12. Både dagtid och kvälltid gav schaktet placerat nedanför trappan mest ljus i mätpunkt 2.



**Figur 10.** Den uppmätta dagsljusfaktorn för originalmodellen jämförs med dagsljusfaktorn vid de olika ljusinledande lösningarna. Schaktet bredvid trappan ger det bästa resultatet och detta vid mätpunkt 3. Mätpunkt 2 får mest ljus vid lösningen med ljusschaktsinstallationen nedanför trappan.



**Figur 11.** Kl. 12.00–12.30 den 15:e maj med solig himmel kan belysningsstyrkan nå värden kring 350 lux. Schaktet bredvid trappan ger högst utslag på mätaren i punkt 2 och punkt 3, medan mät punkt 1 erhåller mest ljus vid installation av ljusschakt nedanför trappan.



**Figur 12.** Kl. 18.00–19.00 den 15:e maj med solig himmel kan belysningsstyrkan nå värden på 380 lux. Mät punkt 2 erhåller mest ljus eftersom den även belyses med ljus från köksfönstren.

### 5.1.1 Schakt placerat bredvid trappan

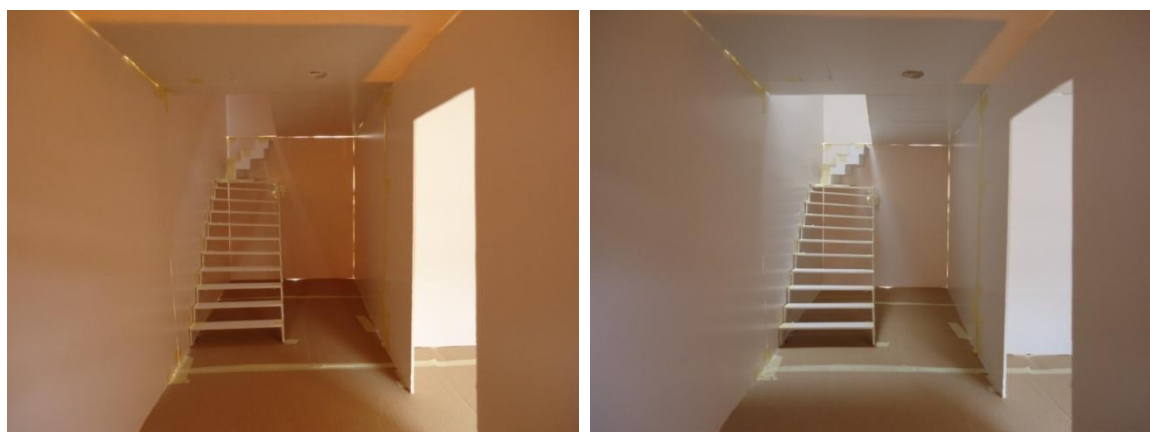
För att illustrera den upplevda belysningen fotograferades de olika lösningarna i skalmodellen. Bilderna visas i figur 13-16 och de är fotograferade 2012-05-04 kl. 14.00. En bild av upplevelsen i hallen då ljusschaktet har installerats bredvid trappan ges i figur 13. Mest ljus erhöles, liksom mätvärdena har visat, längst in i rummet bredvid samt bakom trappan. Ljuset som lyste in i rummet från köket förstärktes. Väggen, vilken är placerad bredvid ljusschaktet, fångade upp som ljus som annars skulle diffuserats ut i den riktningen, och det bildades då en ljusfläck på väggen.



Figur 13. Originalhuset (till vänster) jämförs med schakt bredvid trappan (till höger).

### 5.1.2 Schakt placerat ovanför trappan

Hur upplevelsen av hallen blir då ljusschaktet har installerats ovanför trappan syns i figur 14. Området framför och bredvid trappan är de som belystes mest med hjälp av ljusschaktet, vilket stämmer överens med de mätvärden som har noterats. Ingen ljusfläck bildades på bottenvåningens vägg utan ljuset fick en förhållandevis jämn spridning i rummet.



Figur 14. Originalhuset (till vänster) jämförs med schakt ovanför trappan (till höger).



### 5.1.3 Schakt placerat nedanför trappan

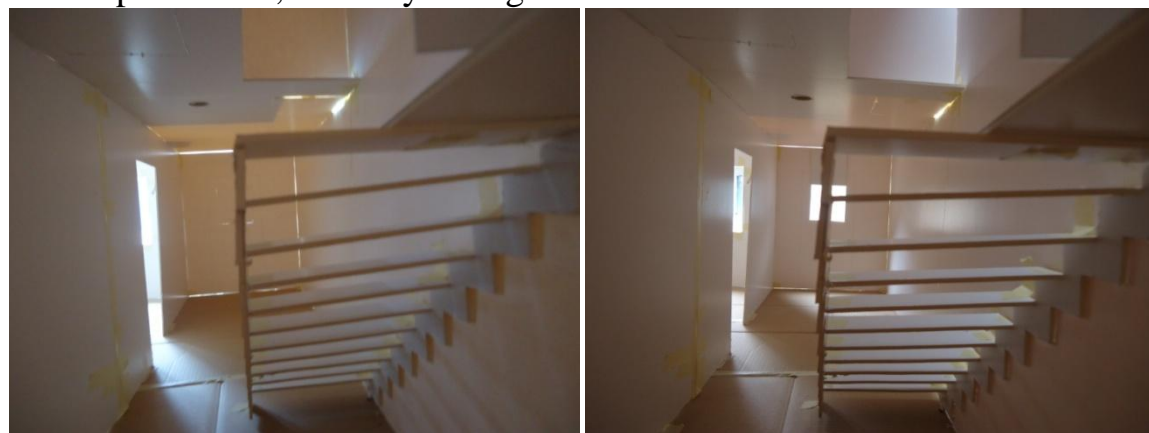
Hur hallen upplevs med ett ljusschakt installerat nedanför trappan visas i figur 15. Det mesta ljuset hamnade, precis som mätvärdena har visat, mitt i rummet. Eftersom schaktet är installerat precis intill en vägg hamnade en del av ljuset som en ljusfläck på den istället för att diffuseras ut till resten av rummet.



Figur 15. Originalhuset (till vänster) jämförs med schakt nedanför trappan (till höger).

### 5.1.4 Fönster installerat i dörren

Vid lösningen med ett fönster installerat i ytterdörren kom ljuset in i rummet vid områden närmast ytterdörren. Ytor på tak, väggar och golv belystes enligt måtten på fönstret, vilket syns i figur 16.



Figur 16. Originalhuset (till vänster) jämförs med fönster installerat i dörren (till höger).

## 5.2 Resultat av Ecotect Analysis-simulering

I figur 17, figur 18 samt figur 19 visas resultaten för de tre olika modellerna, där simuleringarna visar ljusinsläppet för den 21:a juni kl. 18.00.

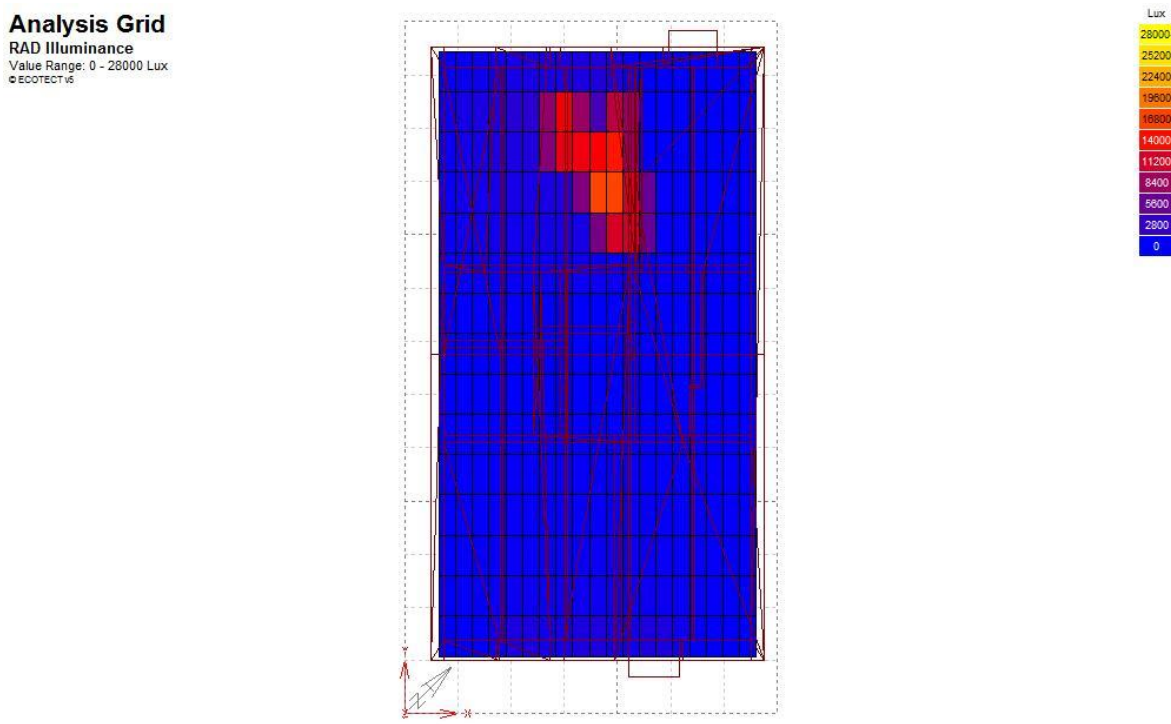
Samtliga resultat av simuleringarna gjorda i Ecotect Analysis för 21:a mars, 21:a juni och 21:a december, både dagtid och kvällstid, för de tre olika modellerna finns samlade i Bilaga 1.

Simuleringen av huset som det ser ut idag, gav en belysningsstyrka på cirka 90-130 lux innanför ytterdörren vilket steg till cirka 410 lux som högst vid

öppningen in till köket. Att ljusinsläppet var begränsat till köket visas i figur 17, ljuset från köksfönstren och vardagsrummet förmådde inte att belysa hallen.

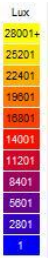
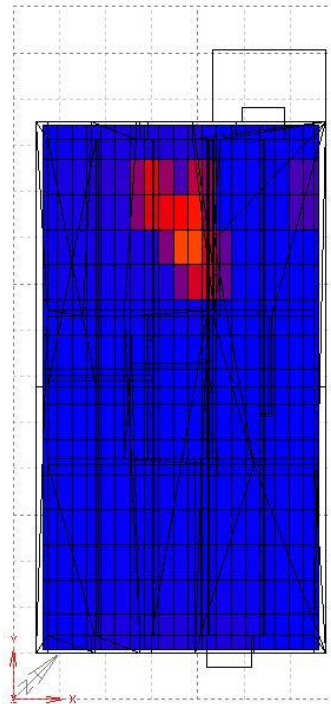
I simuleringen av huset med ett installerat dörrfönster visas att det vid den 21:a juni kl. 18.00 skedde ett ljusinsläpp genom fönstret, se figur 18. Ljuset som kom in genom dörrfönstret belyste främst den närmsta delen av hallen. Belysningsstyrkan på detta område var 250-370 lux, förutom i den ljusfläck som hamnade vid väggen, där belysningsstyrkan uppgick till 2000-5000 lux. Inåt hallen sjönk belysningsstyrkan till 80-130 lux.

I figur 19 visas modellen där väggen mellan köket och hallen har tagits bort vid den 21:a juni kl. 18.00. Ljusinsläppet, vilket vid de tidigare modellerna främst var i köket, skedde nu istället i övergången mellan köket och hallen, framför trappavsatsen. Belysningsstyrkan i det mest upplysta området är guldfärgat i figur 19 och hade ett värde på 21 000 lux, där det direkta ljusinsläppet från köksfönstren skedde. Belysningsstyrkan avtog runt detta direkt belysta område och sjönk till 500-900 lux. Det avtog mot 100-200 lux längre in i hallen, mot vardagsrummet.



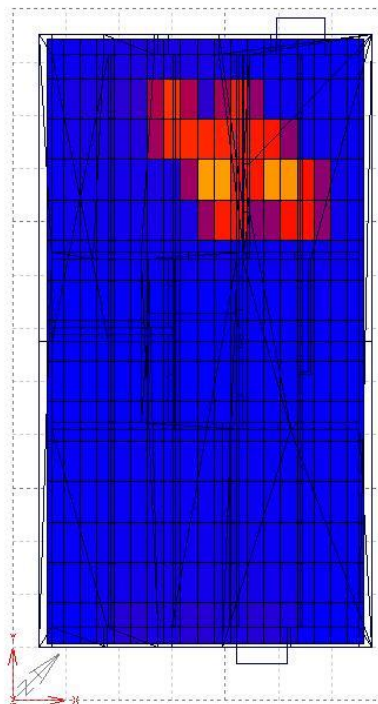
Figur 17. Resultatet av Ecotect Analysis-simulering för originalhuset, den 21:a juni kl. 18.00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 1 - 28001 Lux  
© ECOTECT v6



**Figur 18.** Resultatet av Ecotect Analysis-simulering för hus med fönster installerat i ytterdörren, den 21:a juni kl. 18.00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 21000 Lux  
© ECOTECT v6



**Figur 19.** Resultatet av Ecotect Analysis-simulering för hus utan mellanvägg, den 21:a juni kl. 18.00

## 6 Diskussion

För att ta reda på om de simulerade modellerna i Radiance går att jämföra med testerna i skalmodellen, jämfördes belysningsstyrkan i originalmodellen för de mätningar som gjorts i skalmodellen och i Ecotect Analysis. Även skalmodellen testades med ett installerat dörrfönster och jämfördes med resultatet av samma lösning i Ecotect Analysis. Detta är de enda alternativ som testades både i Ecotect Analysis med Radiance och i den riktiga modellen. Trots att val av material till väggar, golv och tak i skalmodellen och modellerna i Ecotect Analysis var så överensstämmande med varandra som möjligt i fråga om färg och reflekterande förmåga, liknade de inte varandra exakt. Det är möjligt att detta ledde till vissa skillnader i den uppmätta belysningsstyrkan.

Vid mätningar av originalhuset i skalmodellen den 15:e maj kl. 12 blev resultatet i de tre olika mätpunkterna 50 – 120 lux. I datasimuleringen vid samma punkter var belysningsstyrkan lägre; runt 10-15 lux vid mätpunkt 1 och 3. Mät punkt 2 i programmet var 110 lux, jämfört med 120 lux i skalmodellen. Att värdena i skalmodellen blev något högre än vad de blev i simuleringsprogrammet kan bero på de väggar som skalmodellen byggdes av. De tre millimeter tjocka väggarna släppte igenom ljus, speciellt vid solig himmel.

Kl. 18.30 samma dag, 15:e maj, blev belysningsstyrkan i hallen 50-140 lux i de tre olika mätpunkterna. I datasimuleringen vid samma punkter blev belysningsstyrkan 80-160. Belysningsstyrkan i Ecotect Analysis blev därmed högre än vid mätningarna i skalmodellen. Orsaken kan vara att belysningsstyrkan utomhus i Ecotect Analysis inte var överensstämmande med belysningsstyrkan vid mättillfället i skalmodellen. Programinställningarna i Ecotect Analysis var för juni, då det överlag är ljusare än i maj, då mätningarna i skalmodellen genomfördes. Anledningen till att inte de tunna kapaskiveväggarna släppte igenom ljus vid dessa mätningar var att solen på kvällen befann sig på den sida av huset där köket är. Därför lyste inte solen genom väggarna direkt in i hallen som den gjorde under mätningen kl. 12.00 på dagen.

I modellen med ett dörrfönster blev de uppmätta värdena kl. 12.00 den 15:e maj i skalmodellen 70-170 lux i mätpunkterna. I Ecotect Analysis med Radiance är mätpunkt 3 10 lux för den 21:a juni kl. 12. Samma punkt i skalmodellen var 70 lux. Denna punkt fanns precis innanför den vägg som blev belyst av solen genom kapaskivorna. Mät punkt 2 i programmet uppmättes till 100 lux, medan den i modellen var 170 lux. Mät punkt 2 fanns precis i öppningen till köket, vilket gör att belysningsstyrkan ute och hur

precis luxmätaren placerades spelade roll för resultatet. Detta kan vara orsaken till det högre värdet i skalmodellen. Mätpunkt 1 belystes med 160 lux i Ecotect Analysis medan den i skalmodellen var 140 lux. Att mätpunkt 1 inte var ljusare i modellen än i programmet kan bero på att denna punkt är placerad långt ifrån den upplysta väggen på solsidan.

Vid simuleringen, med inställningarna den 21:a juni kl. 18.00 med solig himmel, erhöll modellen med dörrfönster en belyst yta med belysningsstyrka på cirka 2000 - 5000 lux. Den övriga ytan i hallen fick 100-400 lux, med högst värde vid ytterdörren och lägst vid ingången till vardagsrummet. Samma yta i hallen i skalmodellen erhöll 110-480 lux vid mätningar kl. 18.30 en solig dag i mitten av maj. Detta innebär att de resultat som framkom vid de verkliga mätningarna befann sig inom samma intervall som resultaten från Radiance. Då mätningar för ljusschakten inte genomfördes i simuleringsprogrammen utan endast i skalmodellen, diskuteras lösningarna för skalmodellen och simuleringsprogrammet separat.

## **6.1 Skalmodell**

Den högsta dagsljusfaktorn dagtid erhöles i mätpunkt 3 då ett ljusschakt installerats bredvid trappan och i mätpunkt 2 då ljusschaktet installerats nedanför trappan. I mätpunkt 3 finns redan ljus i dagens läge eftersom det i verkligheten finns en öppning intill ett vardagsrum, med fönster, precis intill. Mätvärdena av dagsljusfaktorn för huset i original, visar att det är mörkt i hallen både i punkt 1 och i punkt 2. Belysningsstyrkan är där 0,2 %, vilket kan jämföras med 1 % vilket är lägsta godkända värdet för dagsljusfaktorn. I figur 12 visas resultatet i belysningsstyrka inomhus för originalmodellen, modell med dörrfönster samt med de tre olika ljusschakten. Resultatet skiljer sig från dagsljusfaktorn, vilket mättes en mulen dag. Mätningen gjordes för en solig dag, vilket ger variationer i belysningsstyrkan utomhus. Detta kan vara en anledning till att originalmodellen i mätpunkt 3 ger högre värden än alla de tre ljusschakten. Dörrfönstret ger för mätningen den 15:e maj den högsta belysningsstyrkan.

### **6.1.1 Schakt placerat bredvid trappan**

Då ljusschaktet placeras bredvid trappan innebär det att kanalen tar upp plats från ovanvåningens hallrum. Dock är denna hall idag omöblerad och ljusschaktet kommer därför inte kräva några ommöbleringar. Emellertid är detta en lekplats för barnen i familjen. Trots att schaktet placeras inuti rummet går det fortfarande att obehindrat ta sig fram på ovanvåningen. På grund av takstolarna och dörren in till arbetsrummet kan inte schaktet placeras längs någon vägg eller intill trappträcket, och hallen förlorar då en viss yta. Detta ljusschakt ger mest ljus till borte delen av hallen, i mätpunkt 3 där det redan finns ljus från vardagsrummet i dagsläget. Den främre delen av hallen, där behovet av ljusstillsförsel i nuläget är större får inte lika mycket ljus. Fördelen

med att installera detta schakt före de andra är däremot att schaktet skulle kunna öppnas upp på någon sida och då också kunna ge ljus till hallen på ovanvåningen på önskat sätt.

### 6.1.2 Schakt placerat ovanför trappan

Vid studerandet av enbart ljusschakten visar sig schaktet placerat ovanför trappan ge lägst mätresultat av de tre, dagtid. Kvällstid ger denna placering högst resultat av de tre i punkt 2 medan de båda andra mätpunkterna fortfarande har låga värden jämfört med de andra placeringarna. Vid försöken visade det sig att ljuset framförallt stannade på ovanvåningen, undervåningen erhöll inte lika mycket ljus som den gjorde av de schakt som leddes hela vägen ner genom mellanbjälklaget. Att också ovanvåningen erhåller ljus kan däremot ses som en fördel då även hallen på ovanvåningen saknar naturligt ljus från fönster och behöver lysas upp. Estetiskt sett kan detta också vara den lösning som ger det trevligaste utseendet för både trappan sett från bottenvåningen och ovanvåningen. Ljuset får en naturlig spridning över trappan istället för att stanna på en mindre yta och spridningen får ovanvåningen att se inbjudande ut. En annan fördel med detta schakt är att det inte tar plats i bostaden för övrigt utan kanalen kommer enbart dras genom vinden. Detta schakt kommer också i verkligheten att göras något kortare än de övriga, vilket inte har tagits hänsyn till i försöken. Kortare schakt leder till att större del av ljuset kommer att reflekteras ner genom schaktet.

### 6.1.3 Schakt placerat nedanför trappan

Schaktet nedanför trappan kommer att ledas genom bostadens arbetsrum och är på så sätt inte i vägen i någon öppen yta, utan kommer att placeras i hörnet av rummet där det stör så lite som möjligt. Den del av hallen, där troligtvis den mesta aktiviteten i form av på- och avklädning sker, det vill säga vid punkt 2, belyses. En nackdel med schaktet som placeras nedanför trappan är att det för att störa minimalt på ovanvåningen kommer att placeras intill väggen. Det ljus som då diffuseras ut på undervåningen kommer därför till en viss del att tas upp av väggen och längs den ledas ner till golvet. Väggen blir väldigt upplyst men ljuset kommer inte att diffuseras ut till en lika stor yta som vid de två övriga schaktplaceringarna.

### 6.1.4 Ljusschakt jämfört med dörrfönster

Det som är positivt med ljusschakten jämfört med de andra lösningarna är att ljusschakten tar in ljus tack vare sin prisma under hela dagen och från alla riktningar. En annan fördel med ljusschakt är att även om ett fönster bidrar med lika mycket ljus som ett ljusschakt finns där inte samma risk för bländning. Placeringen i taket istället för i ögonhöjd gör att risken för att stirra rakt in i ljuskällan minimeras. Även om någon skulle titta rakt upp i schaktets diffusor finns ändå inte samma risk för bländning som i ett fönster eftersom ljuset diffuseras ut, ljuset är alltså inte lika koncentrerat. Ett fönster som släpper in för mycket ljus täcks ofta för att inte bländning ska ske. Dessutom

släpper fönster också in värme då solen står på. Detta förhindras i ljusschaktet som leder bort värmen.

Värdena för dörrfönstret är för kvällstid högt, 480 lux i mätpunkt 2. En anledning kan vara att luxmätaren har placerats under den yta som belyses med en ljusfläck från fönstret samt fångar upp det inkommande ljuset från köket, se figur 16. Enbart för att belysningsstyrkan i punkt 2 blir hög betyder det inte att belysningsstyrkan i hela hallen blir så ljus tack vare dörrfönstret. Däremot kan det ge en upplevelse av att hallen är ljusare. Det är endast kvällstid som värden likvärdiga ljusschaktets har noterats. Vid beräkning av dagsljusfaktor ger inte fönstret alls samma resultat som ljusschakten.

Dagtid den 15:e maj har ungefär samma värden uppmätts för fönstret i punkt 2 som för ljusschaktet som placerats ovanför trappan. Ljusschaktet ovanför trappan ger dock mer ljus i mätpunkt 3 och fönstret mer i mätpunkt 1, vilket visas i figur 11.

## **6.2 Jämförelse av simuleringar genomförda med Autodesk Ecotect Analysis**

Efter en jämförelse av de två alternativa lösningarna vid olika tidpunkter på året, visade simuleringarna att det inkommande solljuset fick en jämnare spridning samt större ljusinsläpp då väggen mellan köket och hallen togs bort. Det gav bostaden en mer öppen planlösning med öppet in till köket från hallen sett. Även ett dörrfönster gav mer ljus till hallen jämfört med ljusinsläppet i originalmodellen. Ett fönster i ytterdörren kan också upplevas som inbjudande utifrån sett, samt ge en ljusare upplevelse inifrån hallen än vad värdena för belysningsstyrkan visade. De tre olika modellernas simuleringresultat jämförs med varandra vid de tre olika datumen och vid de två olika tidpunkter på dagen som simuleringar genomfördes.

### **6.2.1 Mars**

Kl. 12 den 21:a mars vid simuleringen av modellen med ett installerat dörrfönster hamnade den högsta belysningsstyrkan precis innanför ytterdörren och avtog sedan tills den avtagit helt cirka två meter in i hallen. Detsamma gällde för samma modell vid kvällstid, kl. 18, dock med högre värden på kvällen. Detta eftersom solen stod i sådant läge att solinstrålningen skedde på husets framsida. Kl. 12 i modellen där väggen mellan köket och hallen är borttagen var ljuset istället lågt, under 100 lux, just innanför ytterdörren för att sedan öka längs med övergången mellan köket och hallen. Effekten av det inkommande dagsljuset genom köksfönstren avtog sedan efter köket, längre inåt hallen. Simuleringen för kl. 18 där mellanväggen var borttagen visade att det även då precis innanför ytterdörren var låg belysningsstyrka medan den högsta belysningsstyrkan hamnade längre in i hallen, ungefär i samma läge som där trappan börjar. Ljuset spreds jämnare ut i hallen på en större yta då

väggen var borttagen. Tydligt var att båda lösningarna gav ett betydligt bättre ljusinsläpp än vad bostaden har idag, vid jämförelse med simuleringsresultaten från originalmodellen av huset. Vid simulering av originalhuset kl. 12 den 21 mars skedde ett visst ljusinsläpp till hallen från köksdörren, men det var otillräckligt för att lysa upp hallen enligt rekommenderade värden.

### 6.2.2 Juni

För modellen med ett fönster i ytterdörren visade simuleringen för den 21:a juni kl. 12.00 att ett dagsljusinsläpp genom dörrfönstret skedde. Då det inte var direkt solljus som kom in genom fönstret, spreds dagsljuset och den främre delen hallen fick en jämn belysningsstyrka på 100-150 lux innan ljuset tonades ut. Vid den 21 juni kl. 18 kom däremot direkt solljus in genom dörrfönstret med en belysningsstyrka på cirka 300 lux på ett precist område i hallen. Att det inte var något större område som belystes är troligen för att solen fortfarande stod så pass högt att taket ovanför dörren skärmade av det inkommande ljuset. Detta inkommande solljus spreds ut i hallen, vilket ledde till högre belysningsstyrka än vad bostaden erhåller idag. Det ljus som kom in genom köksfönstren och till största del belyste köket, skänkte även ett visst ljus till hallen genom köksingången. Kl. 12.00 i modellen där mellanväggen är borttagen kom det inkommande dagsljuset från köksfönstren att ge en spridning ut i hallen. Belysningsstyrkan i övergången till hallen var cirka 300 lux och sjönk till cirka 100 lux vid väggen till angränsande lägenhet. Däremot i simuleringen vid kl. 18.00 där mellanväggen är borttagen kom ljuset som spreds i hallen att ha en belysningsstyrka mellan 500-21 000 lux, där 21 000 lux var där området utsattes för direkt solljus. Det inkommande ljuset den 21 juni kom att hamna mer koncentrerat på en större yta i övergången mellan köket och hallen, och med betydligt högre belysningsstyrka mitt i hallen än vid den 21 mars. Detta var dock väntat, då solen står högre och skiner med en högre intensitet mitt på sommaren än den gör vid tidig vår.

### 6.2.3 December

Simuleringen vid kl. 12.00 den 21:a december av modellen med ett installerat dörrfönster var belysningsstyrkan i hallen 20 lux just innanför ytterdörren. Därefter sjönk belysningsstyrkan längre in i hallen till cirka 5 lux innan övergången till vardagsrummet. Modellen med borttagen mellanvägg vid samma tidpunkt gav vid simuleringen en belysningsstyrka på 14-50 lux i hallen utanför köket. Denna belysningsstyrka avtog närmare väggen till angränsande lägenhet samt längre ner i hallen mot vardagsrummet, till ett värde på 2-10 lux. Ifall fönstren och fönsterdörren i vardagsrummet inte hade varit tillstängda i simuleringarna hade troligen det varit ett högre värde vid vardagsrumsöppningen vid simuleringarna. Vid en jämförelse av dessa två modeller och modellen av originalhuset, där belysningsstyrkan var 1-5 lux för



hela hallen, visade det att både de två lösningarna gav ett bättre dagsljusinsläpp även under den mörkare delen av året.

## 7 Slutsats

Då ljusschakten ger ljus under dygnets alla soltimmar och inte orsakar bländning då det kommer uppifrån, samt att de har gett de högsta luminansvärdena vid mätningarna, är detta det mest optimala sätt att föra in dagsljus till hallen. Det schakt som är minst i vägen, har kortast längd och även ger ljus på ovanvåningen är schaktet placerat ovanför trappan. Dock ger detta schakt störst mängd ljus i borte änden av hallen. Som komplement till detta skulle därför också ett dörrfönster, vilket ger störst ljusmängd i främre delen, kunna installeras. Därför anses ljusschakt placerat ovanför trappan i kombination med dörrfönster vara den bästa lösningen för denna bostad.

## 8 Förslag på framtida studier

I denna rapport har inte den energibesparande aspekten på en dagsljuslösning till bostaden studerats. Detta är en aspekt som gör det intressant att använda dagljusbelysning istället för artificiellt ljus, något som kan tas upp i framtida undersökningar.

Även att hitta en vädringslösning i kombination med ljusschaktet är något som kan studeras vidare.

Fallet med ett ljusschakt installerat bredvid trappan skulle kunna öppnas upp så att det kommer ljus även till ovanvåningen. Hur mycket ljus som då går förlorat av det som ska ledas ner till undervåningen har inte undersökts.

En metod vilken skulle kunna ge högre belysningsstyrka är att i skalmodellen och datasimuleringarna ändra golvet till en ljusare färg med högre reflektans. Detta skulle kunna vara ett alternativ och/eller komplettera de undersökta lösningarna framtagna i detta examensarbete.



## 9 Källor

- Anell, S. & Berggren, L. (2011) *Våra vanligaste ljuskällor* Kompendium från Anell ljus+ form AB (Elektronisk) Tillgänglig:  
<<http://www.annell.se/Files/AnnellLjuskällekompendium.PDF>> (2012-04-16)
- Andersen, M., Kleindienst, S., Yi, L., Lee, J., Bodart, M. & Cutler, B. (2008) *An intuitive daylighting performance analysis and optimization approach* Building Research & Information (Elektronisk) Tillgänglig:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210802243159>> (2012-05-22)
- Arbetsmiljöverket (2012) *Vilka krav kan man ställa på kontorsbelysning?* Arbetsmiljöverket (Elektronisk) Tillgänglig:  
<[http://www.av.se/teman/kontorsarbete/ljus\\_och\\_belysning/vilka\\_krav/](http://www.av.se/teman/kontorsarbete/ljus_och_belysning/vilka_krav/)> (2012-05-22)
- Azhar, S., Brown, J. & Farooqui, R. (2009) *BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software* Associated Schools of Construction (Elektronisk) Tillgänglig:  
<<http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CPRT125002009.pdf>> (2012-05-04)
- Björck, I. (2011) *Solen, sjukdom och hälsa* Aktuellt om vetenskap & hälsa (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.vetenskaphalsa.se/tidskriften-aktuellt-om-vetenskap-halsa/>> (2012-04-16)
- Björk, L. (2000) *Trots vintermörker: Norra polcirkeln ljusast* Nationalencyklopedin (Elektronisk) Tillgänglig:  
<[http://www.ne.se/rep/trots-vintermörker-norra-polcirkeln-ljusast?i\\_h\\_word=dagsljus](http://www.ne.se/rep/trots-vintermörker-norra-polcirkeln-ljusast?i_h_word=dagsljus)> (2012-02-15)
- Boverket (2008) *Läsanvisning till BBR – Avsnitt 6 Hygien, hälsa och miljö* (Elektronisk) Tillgänglig:  
<[http://www.boverket.se/Global/Bygga\\_o\\_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR\\_avsnitt\\_6/avsnitt\\_6.pdf](http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR_avsnitt_6/avsnitt_6.pdf)> (2012-05-18)
- Bülow-Hübe, H. (2007) *Är dagsljuset bra i glasade kontor?* Husbyggaren (Elektronisk) Tillgänglig:  
<[http://fc.bygging.se/~husbyggaren/2007\\_3\\_07.pdf](http://fc.bygging.se/~husbyggaren/2007_3_07.pdf)> (2012-04-16)

- Canziani, R., Peron, F. & Rossi, G. (2004) *Daylight and energy performances of a new type of light pipe* Energy and Buildings (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880400146X>> (2012-05-22)
- Carter, DJ. (2001) *The measured and predicted performance of passive solar light pipe systems* Lighting Research and Technology (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://lrt.sagepub.com/content/34/1/39.full.pdf+html>> (2012-02-15)
- Carter, DJ. (2004) *Developments in tubular daylight guidance systems* Building Research and Information (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0961321042000189671>> (2012-05-22)
- Dubois, M-C. (2001) *Impact of shading devices on daylight quality in offices. Simulations with Radiance*. Department of Construction and Architecture, Lund University, KFS AB, Lund
- Farrell, A., Kennedy, D. & Norton, B. (2004) *Lightpipe daylight simulation modelling using Radiance backward and forward ray tracing methods: a comparison with monitored data for commercial lightpipes in Ireland* (Elektronisk) Tillgänglig: <[www.radiance-online.org/radiance-workshop3/cd/Farrell\\_paper.pdf](http://www.radiance-online.org/radiance-workshop3/cd/Farrell_paper.pdf)> (2012-02-07)
- Hult, N. (2011) *Solen, sjukdom och hälsa* Aktuellt om vetenskap & hälsa (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://www.vetenskaphalsa.se/wp-content/uploads/2011/05/Aktuellt\\_om\\_vet\\_o\\_halsa\\_juni\\_11.pdf](http://www.vetenskaphalsa.se/wp-content/uploads/2011/05/Aktuellt_om_vet_o_halsa_juni_11.pdf)> (2012-04-16)
- Jarnehammar, A, Nilsson, I & Englund, F (2008) *Trästadens ett uthålligt koncept* IVL Svenska Miljöinstitutet (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.ivl.se/webdav/files/B-rapporter/B1799.pdf>> (2012-05-22)
- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B. & Tonello, G. (2006) *The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments* Ergonomics (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140130600858142>> (2012-05-22)

Nationalencyklopedin (2012) *Infraröd strålning* Nationalencyklopedin (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.ne.se/lang/infrar%C3%B6d-str%C3%A5lning>> (2012-04-16)

Oakley, G., Riffat, S.B. & Shao, L (1998) *Daylight performance of light pipes* Solar Energy (Elektronisk) Tillgänglig: <[http://www.sciencedirect.com.ludwig.lub.lu.se/science?\\_ob=MiamiImageURL&\\_cid=271459&\\_user=745831&\\_pii=S0038092X00000499&\\_check=y&\\_origin=article&\\_zone=toolbar&\\_coverDate=31-Dec-2000&view=c&originContentFamily=serial&wchp=dGLzVIV-zSkzk&md5=b465b790eb7dc179fc70629314229776&pid=1-s2.0-S0038092X00000499-main.pdf](http://www.sciencedirect.com.ludwig.lub.lu.se/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271459&_user=745831&_pii=S0038092X00000499&_check=y&_origin=article&_zone=toolbar&_coverDate=31-Dec-2000&view=c&originContentFamily=serial&wchp=dGLzVIV-zSkzk&md5=b465b790eb7dc179fc70629314229776&pid=1-s2.0-S0038092X00000499-main.pdf)> (2012-05-22)

Renström, K. & Håkansson, P. (2004) *Ljus och belysning* Stockholm: Liber AB

Shao, L. & Riffat, S. B. (2000) *Daylighting using light pipes and its integration with solar heating and natural ventilation* Lighting Research and Technology (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://lrt.sagepub.com/content/32/3/133.short>> (2012-05-22)

Svenska Akademiens Ordbok (2010) *Dagsljus* Svenska Akademiens Ordbok (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://g3.spraakdata.gu.se/saob/>> (2012-04-16)

Ward, G. (1994) *The RADIANCE lighting simulation and rendering system* Computer Graphics (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.rose-hulman.edu/class/se/OldFiles/csse451/papers/trlsrs.pdf>> (2012-01-30)

Welin, E. & Karlsson, H-O. (2005) *Expertpanelen förklarar... Grunderna i läran om ljus och ljusbegrepp* Svenska Elektrikerförbundets tidning (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.elektrikern.nu/05-01/tekniskolan.shtml>> (2012-02-07)

## 9.1 Muntliga källor

Martin Behm (Projektledare, LDT AB) Intervjuad av författarna 2012-02-10

## 9.2 Bildkällor

Figur 1: Publicerad med tillåtelse av Dubois, Marie-Claude

Figur 2: Publicerad med tillåtelse av Hult, Nina. Aktuellt om vetenskap och hälsa (2011) *Solen, sjukdom och hälsa*

(Elektronisk)Tillgänglig:<<http://www.vetenskaphalsa.se/tidskriften-aktuellt-om-vetenskap-halsa/>> (2012-04-16)

Figur 3: Publicerad med tillåtelse av Hult, Nina. Aktuellt om vetenskap och hälsa (2011) *Solen, sjukdom och hälsa*  
(Elektronisk)Tillgänglig:<<http://www.vetenskaphalsa.se/tidskriften-aktuellt-om-vetenskap-halsa/>> (2012-04-16)

Figur 4: Publicerad med tillåtelse av Hult, Nina. Aktuellt om vetenskap och hälsa (2011) *Solen, sjukdom och hälsa*  
(Elektronisk)Tillgänglig:<<http://www.vetenskaphalsa.se/tidskriften-aktuellt-om-vetenskap-halsa/>> (2012-04-16)

Figur 5: Publicerad med tillåtelse av Behm, Martin

Figur 6: Publicerad med tillåtelse av Behm, Martin

Figur 7: Publicerad med tillåtelse av Behm, Martin

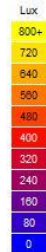
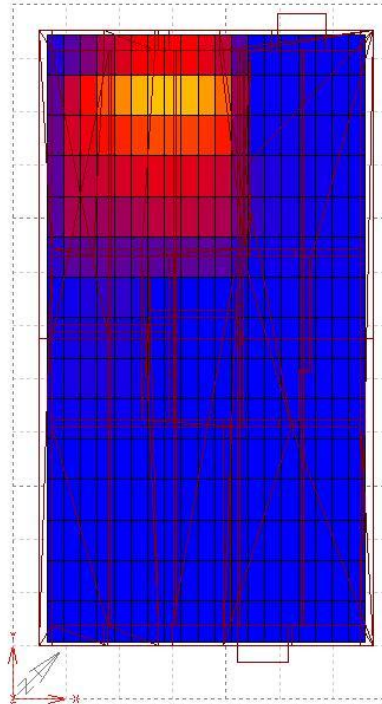
Figur 8: Publicerad med tillåtelse av Behm, Martin

# Bilaga 1

## 1 Originalhus

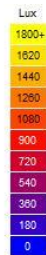
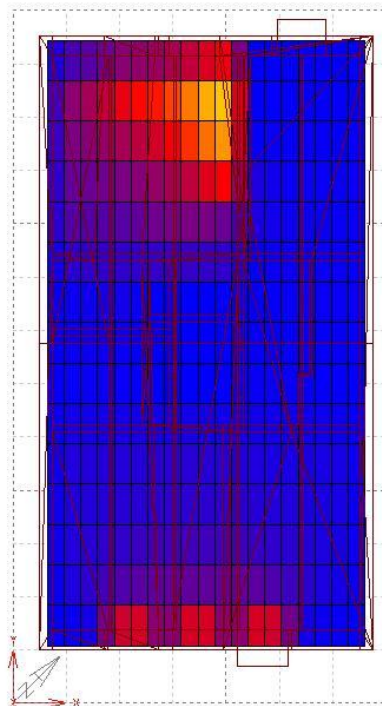
Figur 1.1: Solig himmel, 21 mars kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 800 Lux  
© ECOTECT 16



Figur 1.2: Solig himmel, 21 mars kl 18:00

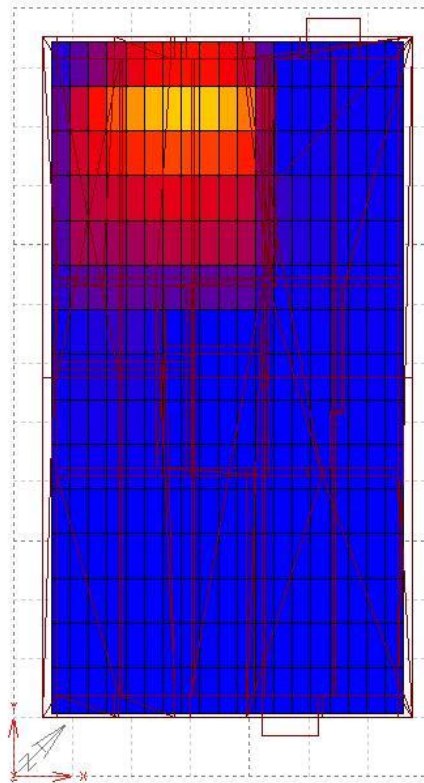
**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 1800 Lux  
© ECOTECT 16





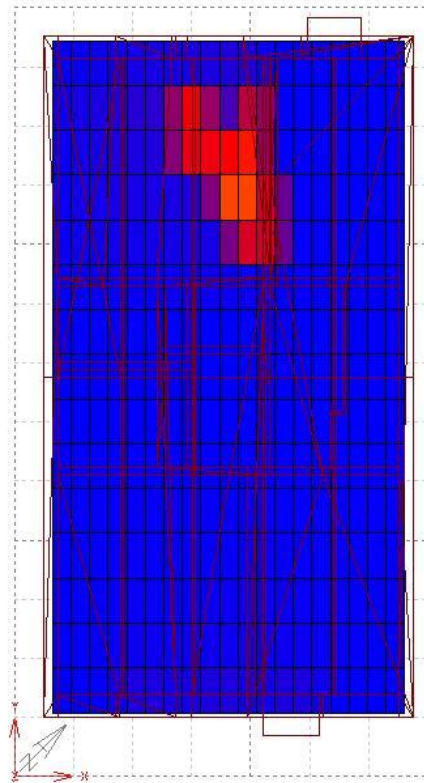
Figur 1.3: Solig himmel, 21 juni kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 1000 Lux  
© ECOTECT v6



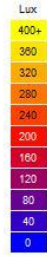
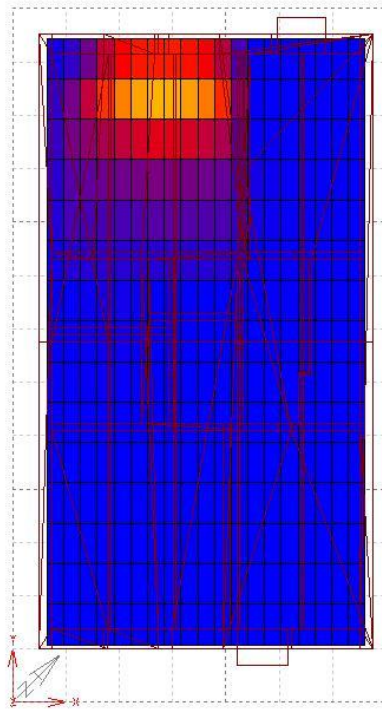
Figur 1.4: Solig himmel, 21 juni kl 18:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 28000 Lux  
© ECOTECT v6



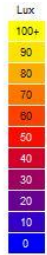
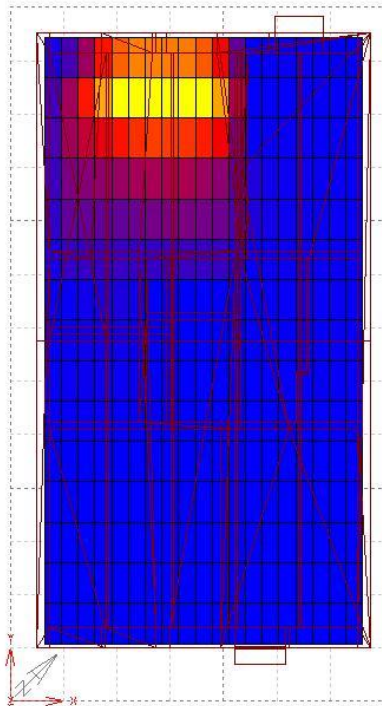
Figur 1.5: Molnig himmel, 21 december kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 400 Lux  
© ECOTECT v6



Figur 1.6: Molnig himmel, 21 december kl 15:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 100 Lux  
© ECOTECT v6

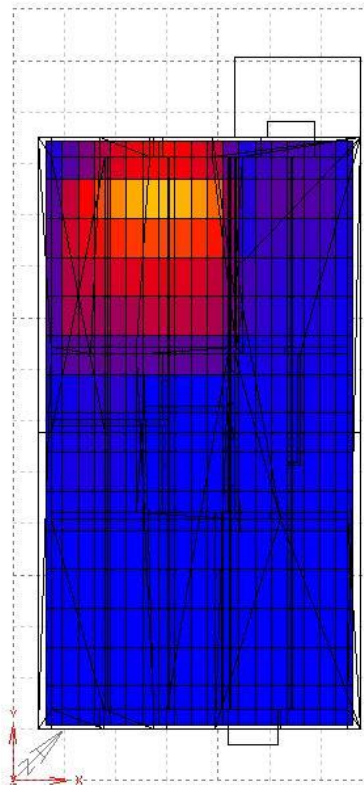


## 2 Hus med dörrfönster

Figur 2.1: Solig himmel, 21 mars kl 12:00

### Analysis Grid

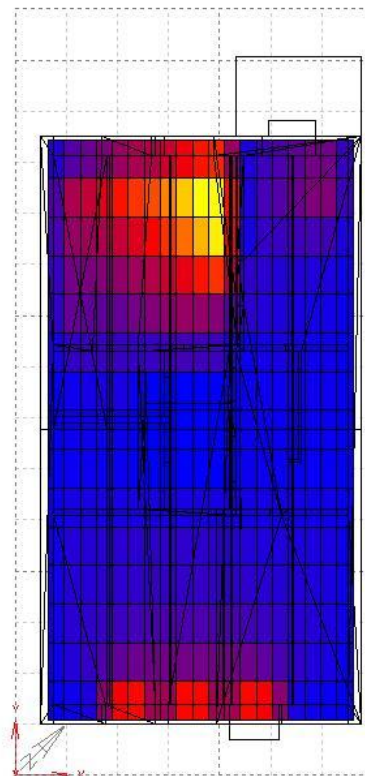
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 800 Lux  
© ECOTECT V6



Figur 2.2: Solig himmel, 21 mars kl 18:00

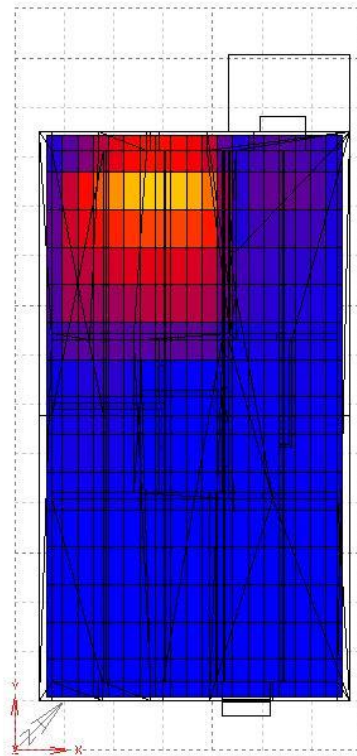
### Analysis Grid

RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 1500 Lux  
© ECOTECT V6



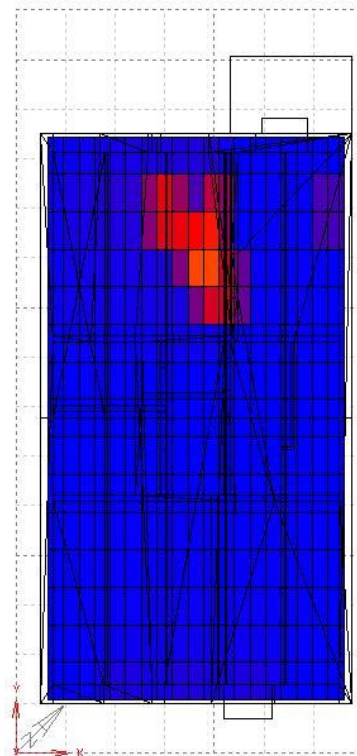
Figur 2.3: Solig himmel, 21 juni kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 1000 Lux  
© ECOTECT 16



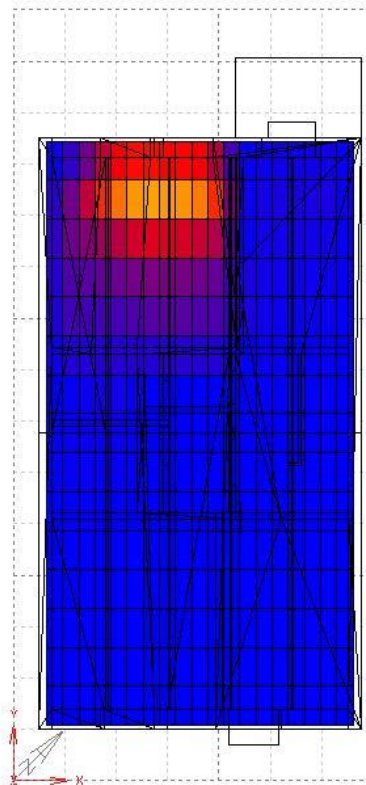
Figur 2.4: Solig himmel, 21 juni kl 18:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 1 - 28001 Lux  
© ECOTECT 16



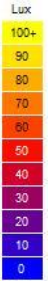
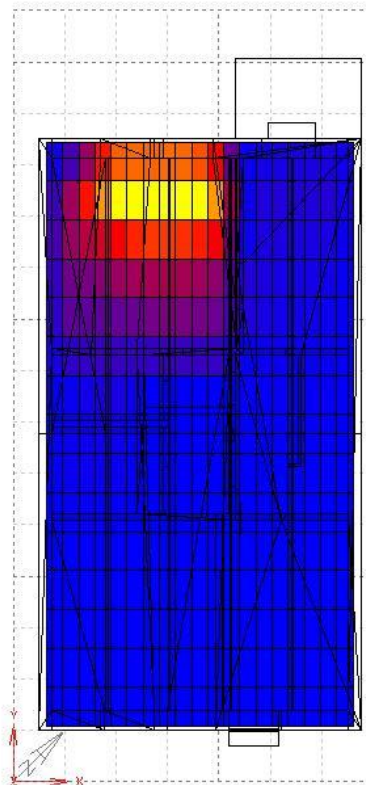
Figur 2.5: Molnig himmel, 21 december kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 400 Lux  
© ECOTECT v5



Figur 2.6: Molnig himmel, 21 december kl 15:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 100 Lux  
© ECOTECT v5

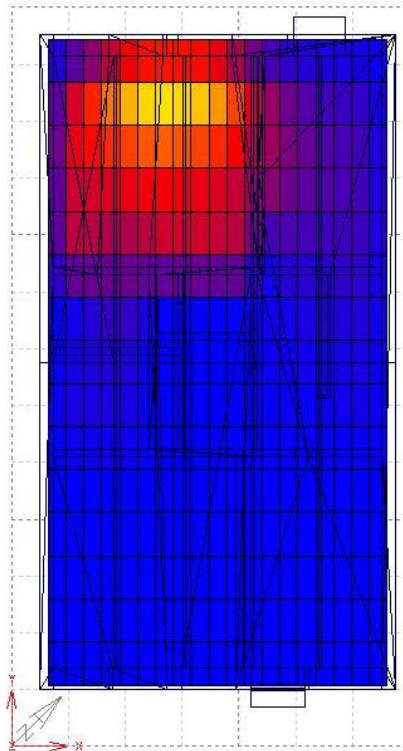




### 3 Hus utan mellanvägg

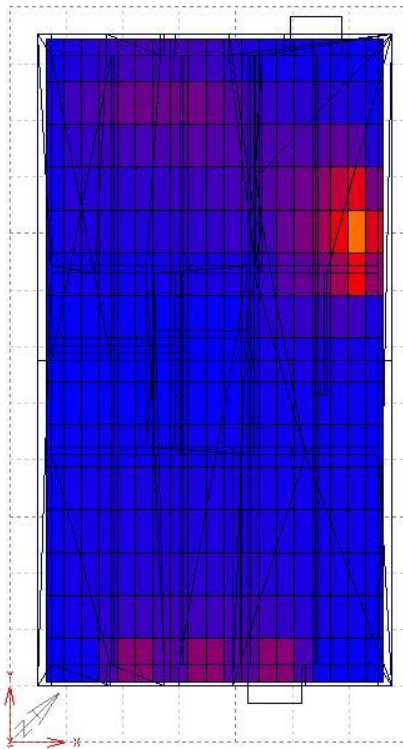
Figur 3.1: Solig himmel, 21 mars kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 700 Lux  
© ECOTECT v6



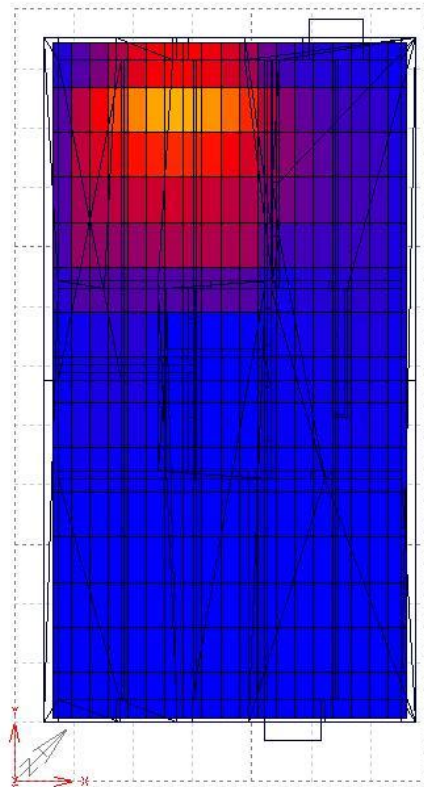
Figur 3.2: Solig himmel, 21 mars kl 18:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 2800 Lux  
© ECOTECT v6



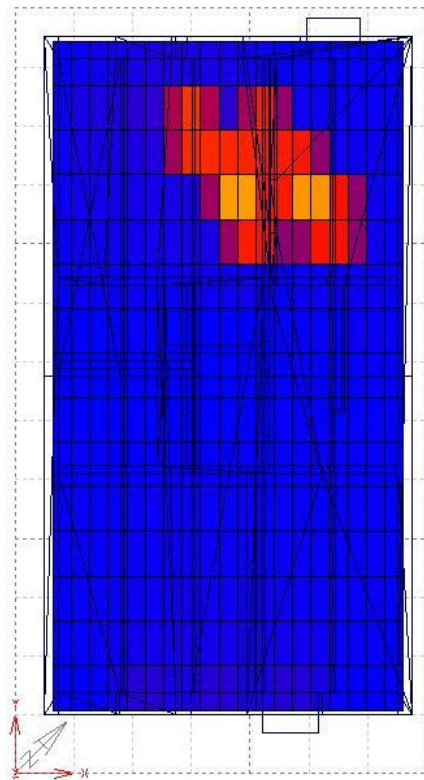
Figur 3.3: Solig himmel, 21 juni kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 1000 Lux  
© ECOTECT v5



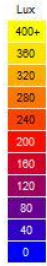
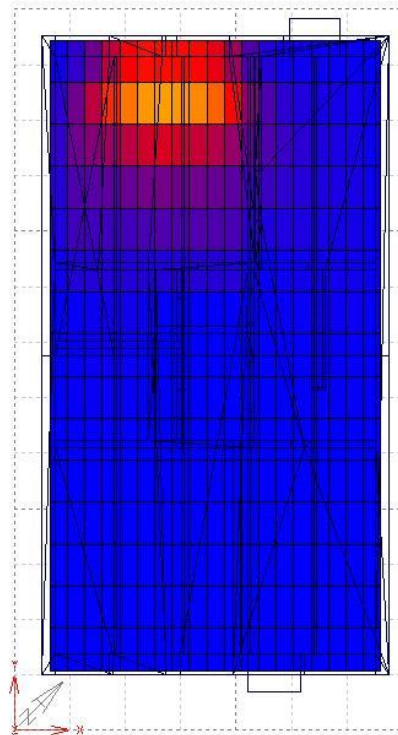
Figur 3.4: Solig himmel, 21 juni kl 18:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 21000 Lux  
© ECOTECT v5



Figur 3.5: Molnig himmel, 21 december kl 12:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 400 Lux  
© ECOTECT v6



Figur 3.6: Molnig himmel, 21 december kl 15:00

**Analysis Grid**  
RAD Illuminance  
Value Range: 0 - 100 Lux  
© ECOTECT v6

