

CHALMERS



Alternativ till glas i klimatskalet av byggnader

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

CHRISTIAN GONTA, VICTOR HELLMARK

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2011
Examensarbete 2011:105

EXAMENSARBETE 2011:105

Alternativ till glas i klimatskalet av byggnader

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

Christian Gonta, Victor Hellmark

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2011

Alternativ till glas i klimatskalet av byggnader
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

CHRISTIAN GONTA, VICTOR HELLMARK

© CHRISTIAN GONTA, VICTOR HELLMARK 2011

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2011:105

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsfysik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag: Eden Projekt, Cornwall England.

http://images.travelpod.com/tw_slides/ta01/5a0/4ac/the-eden-project-st-austell.jpg

Chalmers reproservice
Göteborg 2011

Alternativ till glas i klimatskalet av byggnader
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

CHRISTIAN GONTA, VICTOR HELLMARK
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Syftet med projektet är att ta reda på vilka alternativ till glas som finns för att kunna föra in ljus i en byggnad. Vidare ska dessa material studeras för att ta reda på vilka egenskaper de har. Slutligen ska projektet utreda om materialen går att tillämpa i ombyggnaden av papyrusfabrikerna i Mölndal.

Dagsljus är nödvändigt för att människan ska må bra både fysiskt och psykiskt. Ökad tillgång till dagsljus kan också öka människans produktivitet vilket kan ge stora ekonomisk vinst.

Aerogel är ett lätt, isolerande och ljuddämpande material som släpper igenom ljus bra. Då gelen är spröd behöver den kombineras med andra material för att klara hållfasthetskraven. Nackdelen med aerogel är det höga priset.

Fiberoptiska dagsljussystem koncentrerar ljuset i en mottagare som monteras på taket och leder det sedan vidare till önskad plats med hjälp av fiberoptik. Detta är fördelaktigt i de fall fönster inte kan monteras. Nackdelen är att mottagaren måste ha fri sikt mot solen då den endast kan koncentrera det direkta solljuset.

ETFE- kuddar är gjorda av ETFE-folie som har satts samman och blåsts upp. Luften i kudden gör att det blir en isolerade effekt. Kuddarna släpper igenom dagsljus bra men materialets ljudisolering är dålig. Då material och transportkostnad för ETFE-kuddar är billigare än glas går det att göra ekonomisk vinst på att använda detta material.

Lighttubes fångar upp solljuset i ett rör som reflekterar ner ljuset i byggnaden. De finns i längder upp till 20 meter och diametrar på över en meter. Nackdelen med lighttubes är att monteringen kräver stora håltagningar i klimatskalet.

Papyrusområdet i Mölndal har med sina stora byggnader stor nytta av att få in mer dagsljus. Möjligheterna att byta ut nuvarande enkelglas fönster i Panncentralen mot aerogel gör att mycket energi kan sparas. Extra användbar yta kan också fås genom att använda fiberoptiska dagsljussystem för att belysa utrymmen som annars inte har tillgång till dagsljus. Lighttubes är på grund av sin storlek svårare att integrera på ett bra sätt. Utöver detta föreslås byggandet av en kupol av ETFE kuddar på området för att skapa ett uterum för rekreation.

Det är fullt möjligt att använda dessa material och produkter i Mölndal och det skulle hjälpa till att göra området mer miljövänligt. Dock är produkterna fortfarande dyra.

Nyckelord: Ljus Glas Aerogel Parans ETFE Lighttube Eden project Papyrus

Alternatives to glass in the building envelope of buildings
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
CHRISTIAN GONTA, VICOTR HELLMARK
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Building technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The aim of the project is to study what alternatives to glass are available to bring light into a building. Further the materials properties will be studied. Finally the project will determine if the materials and products can be used in the reconstruction of the Papyrus area in Mölndal, Gothenburg.

Aerogel is a lightweight, insulating and soundproofing material which also lets light through. The gel in itself is brittle therefore it needs to be combined with other materials to meet the strength requirements. The disadvantage of aerogels is the high price.

A Fiber optic daylight system focuses light into a receiver mounted on the roof and then guides it to the desired location using fiber optics. This is advantageous in cases where windows could not be installed. The disadvantage is that the receiver must have a clear view of the sun as it can only concentrate the direct sunlight.

ETFE cushions are made of ETFE-foil that has been put together and been inflated. The air in the pillow gives it an isolating effect. The pillows let the natural light through but the soundproofing is bad. The material and transport cost for ETFE-pads are less expensive than for glass, it enables financial benefit of using this material.

Lighttubes capture sunlight in a tube and then reflects it into the building. They are available in lengths up to 20 meters with a diameter of over one meter. The disadvantage of light tubes is that the installation requires large holes in the building envelope.

The buildings in the Papyrus area in Mölndal have with its large dimensions great benefits of increased daylight. The potential to replace existing single glazed windows in Panncentralen with aerogel makes it possible to save a lot of energy. Increased available space can also be obtained by using fiber optic daylight system to illuminate the areas that would otherwise have no access to daylight. The size of lighttubes makes them difficult to integrate in a good way. The project also proposes the construction of a dome of ETFE pillows in the field to create an outdoor space for recreation.

It is quite possible to use these materials and products in Mölndal and it would help make the area more environmentally friendly. However, the products are still expensive.

Key words: ETFE-cushions, Aerogel Solartubes Parans Glass Light

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	III
ABSTRACT	III
INNEHÅLL	IV
BETECKNINGAR	VII
1 INTRODUCTION	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	1
2 DAGSLJUS	2
2.1 Vad är dagsljus	2
2.1.1 Varför behövs dagsljus	4
2.1.2 Påverkan på kroppen	5
2.1.3 Ekonomi	5
2.2 Lagar och förordningar	6
3 AEROGEL	7
3.1 Introduktion	7
3.2 Egenskaper	7
3.3 Tillverkning	9
3.3.1 Tillverkning av kiselgel	9
3.3.2 Superkritisk torkning av gelen	9
3.4 Miljö	9
3.5 Användning	10
3.5.1 Kompositplattor	10
3.5.2 Polykarbonatsystem	12
3.5.3 Isolerat glas	14
3.6 Klar aerogel	15
4 FIBEROPTISKA DAGSLJUSSYSTEM	17
4.1 Introduktion	17
4.2 Egenskaper	17
4.3 Material	18
4.3.1 Mottagare	18
4.3.2 Fiberkabeln	20

4.3.3	Ljusavgivare	21
4.3.4	Hybridsystem	22
4.4	Pris	23
5	ETFE PLAST	24
5.1	Introduktion	24
5.2	Tillverkning	24
5.3	Montering	25
5.4	Egenskaper	26
5.5	Miljö	27
5.6	Fåglar	27
5.7	Användning i Eden projekt	27
6	LIGHTPIPES	30
6.1	Egenskaper	30
6.2	Material	32
6.2.1	Kupol	33
6.2.2	Ljusdistribution	34
6.3	Pris	36
7	TILLÄMPNING I POPYRUSOMRÅDET	38
7.1	Bakgrund	38
7.2	Befintligt område	38
7.3	Nytt område	39
7.4	Fiberoptiska dagsljussystem	42
7.4.1	Panncentralen	42
7.4.2	Magasin 17	43
7.4.3	PM 5	45
7.5	Aerogel	46
7.5.1	Panncentralen	46
7.5.2	Energiberäkning	47
7.6	Lighttubes	48
7.6.1	Panncentralen	49
7.7	ETFE- kuddar	50
7.7.1	Energiberäkning ETFE-kuddar	52
7.7.2	Energiförluster	52
8	SLUTSATS	55
9	REFERENSER	59

9.1	Figurförteckning	61
9.2	Tabellförteckning	62

Beteckningar

Latinska versaler

U	U-värde ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$)
A	Area (m^2)
Q	Värmeförlust (W)

Latinska gemena

t_i	Temperatur inne ($^\circ\text{C}$)
t_u	Temperatur ute ($^\circ\text{C}$)
ρ	Densitet (kg/m^3)
C_p	Specifik värmekapacitet ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
\dot{v}	Luftflöde (m^3/s)

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

En byggnads viktigaste egenskap är att skydda mot väder och vind. Samtidigt har människan ett behov av dagsljus. Detta har gjort att redan under romersk tid började man använda glasrutor för att skydda och samtidigt lysa upp de platser där människan vistades. Glaset har genom åren utvecklats till att bli bättre isolerande, skydda mot värme från solen, eller för att bygga upp hela fasader. Då glas är ett relativt billigt och bra byggmaterial har alternativ till detta inte utvecklats förrän de senaste 20 åren.

1.2 Syfte

Projektets syfte är att behandla olika möjligheter att föra in ljus genom klimatskalet på en byggnad. Projektet är uppdelat i två delar.

Den första delen är att undersöka och sammanställa alternativa sätt att föra in dagsljus. De undersökta metoderna sammanställs, för att visa för och nackdelar med avseende på hur deras egenskaper. Detta kan vara egenskaper som ljusgenomsläpp, ljuddämpning och isolerande förmåga. Men det kan även vara andra egenskaper som påverkar byggnaden. Projektet ska även behandla om det finns verkliga exempel på byggnader där man har använt dessa tekniker och vilka erfarenheter man kan lära sig därifrån.

I projektets andra del undersöks hur materialen och metoderna kan tillämpas under ombyggnaden av Papyrusområdet i Mölndal. Området är ett gammalt industriområde som kommunen har beslutat ska byggas om till bostäder och kontor. Projektet ska visa möjligheterna och begränsningarna med alternativen i del 1.

1.3 Metod

Projektet har till stor del genomförts genom litteraturstudier, sökningar i databaser, artiklar och via internet. I projektet har kontakt tagits med företag för att få fram kompletterande information. Därefter har en utredning genomförts för att jämföra alternativen för de material och metoder som undersöks i projektet. Slutligen har slutsatser dragits om vilka material och metoder som skulle kunna passa in i planeringen av Papyrusområdet i Mölndals kommun.

1.4 Avgränsningar

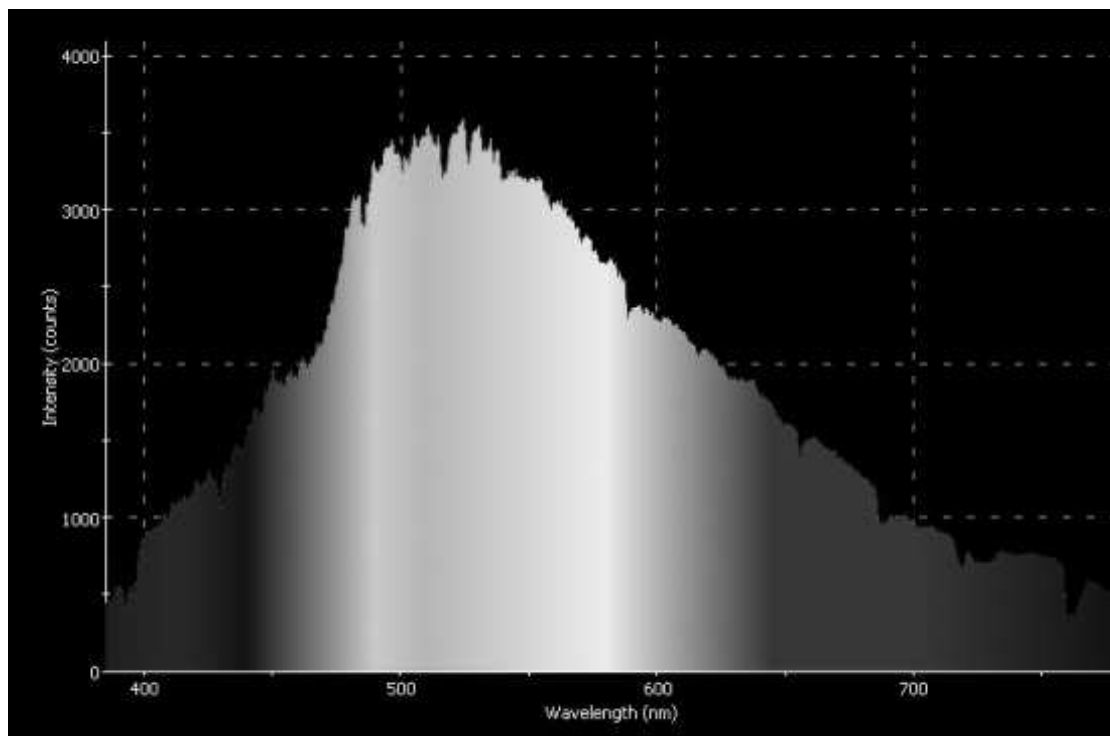
Projektet har inriktat sig på att utreda och sammanställa lämpliga material och metoder som frångår den klassiska ”fönster med glas” modellen. Detta för att denna lösning är så väl utredd och använd. En fördjupning har skett av några utvalda material och metoder som har kommit långt i utvecklingsprocessen.

2 Dagsljus

Fram till 1940 talet var dagsljus den primära källan till ljus och det elektriska ljuset användes endast som komplement där det var nödvändigt. (Edwards L, 2002) I dagens byggnader är förhållandena oftast det motsatta, elektriskt ljus är den primära källan till ljus och tillgång till dagsljus finns endast för de ytor som är nära fasad. Detta är speciellt tydligt i djupa byggnader, där ytorna i mitten av huset ofta är helt beroende av elektrisk belysning.

2.1 Vad är dagsljus

Dagsljuset är en blandning av diffust och direkt solljus. Det direkta solljuset är parallella strålar som kommer direkt från solen medan det diffusa solljuset har reflekterats mot partiklar i atmosfären eller mot andra ytor. En molnig dag är allt dagsljus diffust till skillnad mot en klar dag då majoriteten av ljuset är direkt solljus. (Askeroth M, 2004) Dagsljus består av ett spektrum av ljus i olika färger med en energitopp i den blågröna delen av spektrumet. (Edwards L, 2002)



Figur 2.1 Färgspektrum för dagsljus.

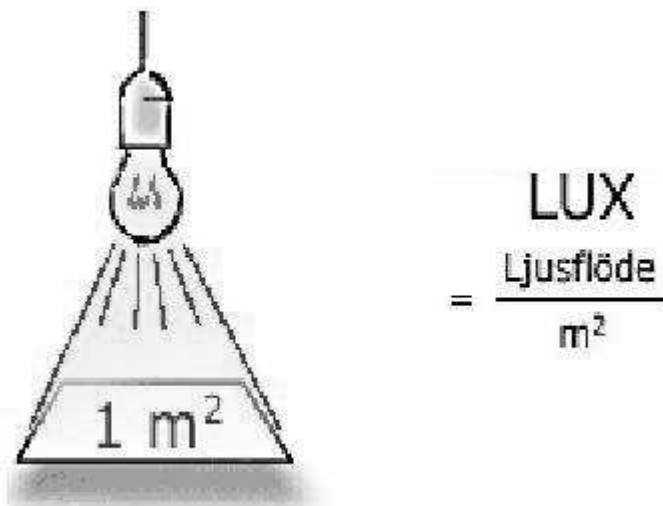
Det som kallas dagsljus är elektromagnetisk strålning inom de våglängder ögat kan se. Solens strålar innehåller också elektromagnetisk strålning med andra våglängder som ögat inte kan se, till exempel ultraviolett och infraröd strålning.

Den ultravioletta strålningen har kortare våglängd än synligt ljus och den infraröda har längre våglängd. (Energimyndigheten, 2011) Energiinnehållet i elektromagnetisk strålning är omvänt proportionellt mot våglängden vilket betyder att ultraviolett strålning innehåller mer energi än infraröd. (Ne.se, 2011) Det är en fördel om det går att blockera den infraröda och ultravioletta strålningen innan det förs in i en byggnad eftersom den mängd värme strålningen tillför kan skapa ett onödigt stort kylbehov.

Ljus kan mätas på flera sätt och olika enheter används därför för att beskriva det.

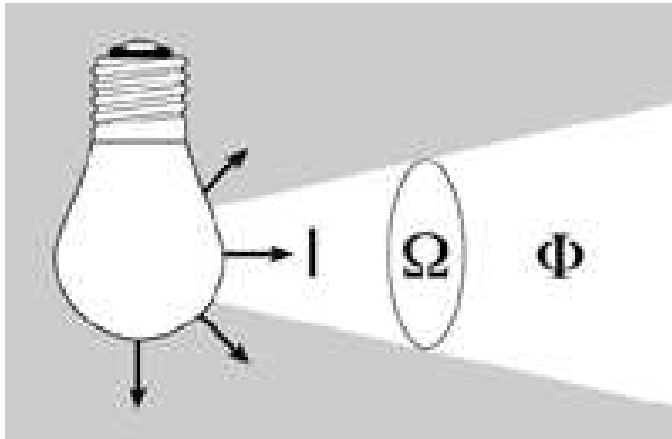
Ljusflödet är ett mått på hur mycket ljus en specifik ljuskälla avger och betecknas med Φ och mäts i lumen[lm]. (Askeroth M, 2004) För att få fram ljusflödet mäts ljuskällans strålningseffekt och med hänsyn till ögats känslighet kan ljusflödet räknas fram. (Ljuskultur.se, 2011)

Belysningsstyrka är ett mått som beskriver hur stort ljusflöde som träffar en yta och mäts i lux, detta är samma sak som lumen per m^2 . Beteckningen är $E = \Phi/A$ och enheten är lux. (Ljuskultur.se, 2011)



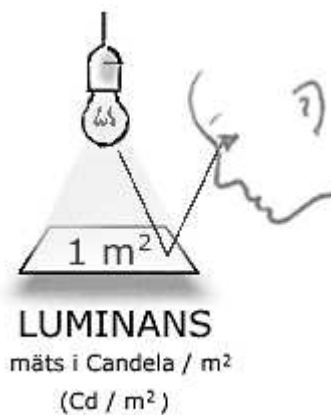
Figur 2.2 Belysningsstyrka (lux)

Ljusstyrka visar vilket ljusflöde det är i en viss riktning och kan användas för att beskriva spridningen av ljuset från en ljuskälla, ljusstyrka mäts i candela [cd] och betecknas I. (Ljuskultur.se, 2011)



Figur 2.3 Ljusstyrka (I) är ljusflödet i en viss riktning.

Det som avgör hur mörkt eller ljust människan upplever det är inte bara ljusstyrkan utan också hur ljuset reflekteras. Ett mått på detta är luminans, det beskriver hur ljus en yta är och tar alltså hänsyn till både ljusstyrkan mot ytan och ytans reflektion. Luminans betecknas L och enheten är cd/m^2 . (Ljuskultur.se, 2011)



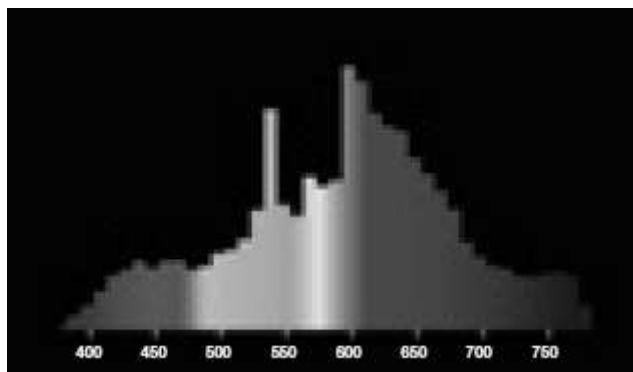
Figur 2.4 Luminans (cd/m^2).

Solfaktor beskriver hur stor andel av solens strålnings energi som förs in i ett rum och anges i procent. (Carlson P-O, 2005)

2.1.1 Varför behövs dagsljus

Ljus påverkar människan både psykiskt och fysiskt. Ljusets olika våglängder påverkar på olika sätt. Problemet med lampor är att ljuset från dem ofta är koncentrerade i den gulröda delen av det synliga spektrumet på grund av att det ger mest lumen per watt. Det finns lampor som har ljus koncentrerat i andra delar av spektrumet och även

fullspektrumlampor. Ingen av dessa är dock lika bra som dagsljus på att fylla människans behov av ljus. I dagsljus finns det största innehållet av det ljus människan behöver för våra biologiska funktioner. Ökad tillgång på dagsljus har också visat sig öka människors produktivitet samtidigt som det minskar trötthet och gör människan på bättre humör. (Edwards L, 2002)



Figur 2.5 Glödlampa koncentrerad i den rödgula delen av spektrumet.

2.1.2 Påverkan på kroppen

Ljus kan påverka kroppen på två sätt. Antingen genom att träffa huden, vilket startar produktionen av till exempel vitamin D eller genom att träffa näthinnan. Detta påverkar människans dygnsrytm samt hormoner. (Edwards L, 2002)

Experiment har visat att människor som inte får tillgång till dagsljus riskerar att få dygnsrytm på längre än 24 timmar. Eftersom dygnsrytmen påverkar sömn och humör så är detta inte önskvärt. Det är inte bara avsaknaden av ljus som kan leda till hälsoproblem utan tillgång till dagsljus kan även hjälpa mot vissa sjukdomar. Dagsljus har visat sig hjälpa mot Seasonal affective disorder, och mindre problem som tappad energi. Att bättre integrera dagsljuset i en byggnad har visat sig kunna minska sjukfrånvaron med upp till 15%. (Edwards L, 2002)

2.1.3 Ekonomi

Det finns möjligheter att tjäna pengar på att integrera solljus i en byggnad genom att elkostnaderna minskar samt produktiviteten ökar. Eftersom normal arbetstid infaller under dagens ljusa timmar finns det goda möjligheter att använda dagsljus som belysning. Går det att lyckas med att öka produktiviteten genom större tillgång till dagsljus finns det stor ekonomisk vinning. Ett exempel är Reno Post Office som renoverade sin byggnad för att få in mer dagsljus och ökade sin produktivitet från 400 000 USD till 500 000 USD per år. (Edwards L, 2002) Energibesparingar kan göras genom ett byte av elektrisk belysning mot solljus. Det blir också ett minskat kylbehov eftersom dagsljus skapar mindre värme än elektrisk belysning. (Askeroth M, 2004)

Om den elektriska belysningen byts ut mot ett dagsljussystem går det att under soliga dagar reducera elkostnaden för belysning till noll kronor.

2.2 Lagar och förordningar

Det är olika regler och förordningar angående ljus som ska följas beroende på om byggnaden är en bostad eller en arbetsplats. I en bostad gäller Boverkets byggregler BBR. De säger att en byggnad ska utformas så att tillfredställande ljusförhållanden kan uppnås där människor vistas mer än tillfälligt. På arbetsplatser gäller arbetsmiljölagen som är mer generell än BBR, allt den säger om ljus är: "De arbetshygieniska förhållandena när det gäller luft, ljud, ljus, vibrationer och liknande skall vara tillfredställande". Eftersom lagarna inte ger mycket vägledning finns det också föreskrifter med krav och rekommendationer. För arbetsplatser inomhus finns dessutom Svensk standard för belysning SS-EN 12464-1. (Ljuskultur.se, 2011)

3 Aerogel

3.1 Introduktion

Aerogel skapades redan i början på trettioalet av Samuel Stephens Kistler under hans tid på "College of Stockton" i Kalifornien. (Dr. Ayers M, 2000) Den första aerogelen tillverkades av silikagel eller kiselgel som det även kallas. Silikagel görs genom att kiseloxid blandas med vatten och används mest som en lufttuttkare för att skydda elektroniska produkter när de transporteras. Det Kistler gjorde var att genom en process som kallas superkritisk torkning ersätta vätskan i silikagelen med gas under högt tryck och hög temperatur. (Kistler S S, 1931) Detta gav ett superporöst material som bestod till 90 procent av luft.

Uppfinningen fick ingen riktig användning under de närmaste femtio åren eftersom kostnaden för produktion var för stor och ingen process för masstillverkning fanns. I början på nittioalet utvecklades nya processer som gjorde det möjligt för företag att tillverka aerogelen på en industriell skala.

3.2 Egenskaper

Aerogel är ett extremt lätt material eftersom det rätt tillverkat består till mer än 90 % av luft och har en vikt på 30-100 kg/m³. (Cabot Corporation, 2009) Det är på grund av sin porositet väldigt isolerande och släpper igenom ljus bra med en ljusgenomsläpplighet på 80 procent per cm. Aerogelen absorberar en stor del av det infraröda ljuset vilket minskar värmestrålningen genom materialet.

Tabell 3.1 Egenskaper för aerogel

Tjocklek (mm)	Ljusgenomsläpp (%)	Direkt solstrålning (%)	U-värde (W/m ² K)
10	80	80	1.38
16	70	70	1.00
20	62	62	0.78
25	55	55	0.64
32	47	47	0.51
40	39	39	0.42
50	31	31	0.34
70	19	19	0.25

Än så länge har det inte gått att tillverka ett klart genomskinligt fönster av aerogel som inte dämpar eller förvränger sikten genom rutan. Därför används idag aerogel mest på ställen där grumliga fönster kan vara lämpliga t.ex. i takfönster. Ljuset sprids när solstrålarna går igenom materialet och ger en mjuk och jämn belysning. Aerogelen påverkas inte heller till färg eller prestanda av UV-strålning.



Figur 3.1 En bit aerogel som håller upp en tegelsten med 2000 gånger gelens vikt

Kornstorleken i aerogelen kan vara olika beroende på vad gelen ska användas till men ligger mellan 1-3 mm i diameter. Storleken på porerna ligger mellan 1 och 100 nanometer. (Schultz J.M, 2005)

Aerogelen är hydrofil och vatten förstör gelens struktur. Detta kan motverkas genom att kombinera gelen med andra joner exempelvis trimethylsilyl $-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ för att göra aerogelen hydrofob. Denna process används om gelen ska användas i fönster. (Aerogel.org, 2011)

Tryckhållfastheten för gelen är ganska bra medan draghållfastheten är dålig. Detta gör att ämnet blir sprött och lätt går sönder om det utsätts för drag. Därför måste aerogelen kombineras med andra material för ett hållbart byggande.

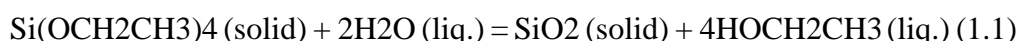
Gelen har även ljuddämpande effekter och dämpar ljudet från utsidan klimatskalet så väl som resonans inifrån. (Cabot Corporation, 2009)

3.3 Tillverkning

Vid tillverkningen av aerogel görs produktionen vanligtvis i två steg. Först tillverkas den ”våta” gelen och sedan torkas vätskan ut. (Microstructured Materials Group, 2010)

3.3.1 Tillverkning av kiselgel

Den vanligaste metoden för att tillverka kiselgel idag är genom få silikonalkoxid att reagera med vatten. (Microstructured Materials Group, 2010) Detta görs i en lösning av etanol eller aceton enligt Formel 1.1.



Används inte en katalysator tar processen flera dagar. Därför används en syra eller bas för att snabba upp processen. Den vanligaste syran som användes är saltsyra men att använda en bas som ammoniak minskar krympningen vid torkningen av gelen. När det har formats tillräckligt stor mängd av kiseldioxiden (SiO_2) bildar partiklarna ett nätverk och fångar etanolen mellan sig. En gel har nu framställts.

3.3.2 Superkritisk torkning av gelen

För att forma aerogel av kiselgelen måste etanolen som ligger mellan kiseldioxidmolekylerna torkas ut men utan att gelen krymper. Detta görs genom metoden superkritisk torkning. (Aerogel.org, 2011)

Det som menas med superkritisk är ett stadie där ett ämne är mellan vätska och gas. Detta kan uppnås genom upphettning under högt tryck. Ett superkritiskt ämne har egenskaper från både gaser och vätskor, t.ex. leder de värme som vätskor men kan komprimeras som gaser.

Vid tillverkningen av aerogel får etanolen långsamt uppnå sitt kritiska stadium, detta gör att etanolmolekylerna ökar hastigheten och slutligen släpper från kiseloxiden. Genom att sedan minska trycket men behålla temperaturen går det att utvinna den superkritiska etanolen från gelen som en gas. Då har en gel bildats där porerna i gelen är fyllda med gas istället för vätska.

3.4 Miljö

Cabot Corporation som är de största tillverkarna av aerogel i världen har miljöcertifierat produkten via ”MBDC- cradel to cradel.” Där har den fått en betyget silver vilket bland annat innebär:

- Inga material eller kemikalier i produkten är farliga för människor.
- Alla material i produkten kan bli återvunna eller brytas ner.
- Alla kemikalier med högre koncentration än 100 PPM är kontrollerade.

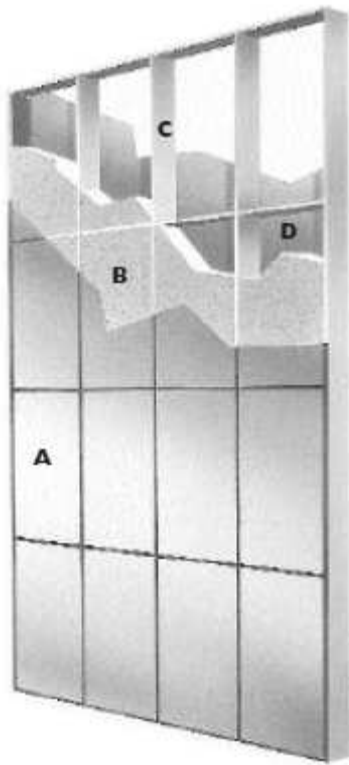
(MBDC, 2011)

3.5 Användning

Då aerogelen är spröd behövs det oftast ett material som skyddar gelen från belastning. Detta går att lösa på flera sätt.

3.5.1 Kompositplattor

Kawall tillverkar ett sandwich element som kan anpassas både för väggar och takfönster. Det är uppbyggt av fiberglas plattor som är fästa vid reglar av aluminium. Mellan fiberglasen ligger aerogelen enligt Figur 3.2.



Figur 3.2 Uppbyggnad av Kalwalls panel med aerogel.

Kompositplattorna kan både användas för att bygga upp en curtain wall eller som fönsteralternativ för t.ex. takfönster.

Ljusgenomsläppet för kompositplattorna är lågt i sig, och med aerogel i sig går det ner till runt 10 %. Även solfaktorn ligger runt 10 % enligt Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Egenskaper kompositplattor Kalwall

Komposittyp	Ram	U-värde (W/m ² K)	Ljusgenomsläpp (%)	Solfaktor (%)
White SW-C	Standard	0.74	9	8
	Termiskt bruten	0.28	9	8
Crystal SW-C	Standard	0.74	12	10
	Termiskt bruten	0.28	12	10

Kompositplattorna brinner dåligt och har enligt den brittiska standarden fått betyget "class 0" vilket är den lägsta av fyra klasser. Den tål även stötar bra vilket gör att de passar bra ihop med aerogelen och gör att den tryggt kan användas i takfönster. Kalwall räknar med att deras produkt håller maximum 50 år. Cabots nanogel som används i Kalwalls produkter har dock en garanti på 10 år mot förändringar i färg och funktion. (Roda, 2011) Den yttre panelen är laminerad för att förhindra förändringar i färg och erosion.



Figur 3.3 Exempel på användning av Kalwall i taket av ett kök i ett bostadshus i London

Kalwall har byggt flertalet byggnader som använder sandwich element med aerogel i. Ett av exemplen är Greenlief Armed Forces Reserve Center i Hastings, Nebraska som är byggt för den amerikanska militären. Se Figur 2.4



Figur 3.4 Greenlief Armed Forces Reserve Center i Hastings, Nebraska

Arkitekten ville få in så mycket ljus som möjligt i korridorer och mötesrum (Kalwall, 2011) men eftersom klimatet i Nebraska kan variera från 30° C till -30° C är det svårt att bygga takfönster utan att kallras uppstår. Därför användes Nanogel och kompositplattor för att föra in ljus. Plattorna lades i väggarna över korridorerna men nanogelens diffuserade egenskaper gjorde att ljuset även nådde in i närliggande rum. Huset har nästan 750 m² av kompositplattorna som har ett U värde på 0.28 W/m² K och ett ljusgenomsläpp på 15 %.

3.5.2 Polykarbonatsystem

Polykarbonat är en böjbar, transparent plast som håller för stora påfrestningar. Den används främst till CD-skivor och DVD-skivor, men även ögonlinser och skottsäkert glas tillverkas av materialet. (Kayne R, 2011) Polykarbonat har även fördelen att det är ett lätt ämne med en vikt på 1.20g /cm³ vilket är sex gånger lättare än glas.

Roda är en av de stora tillverkarna av polykarbonatsystem i Europa. Då materialet är genomskinligt, hållbart och lätt, passar det perfekt i kombination med aerogel. Polykarbonaten byggs upp som celler och mellan dessa läggs nanogelen. Detta kan ske med två eller flera lager av polykarbonat beroende på vad byggnaden har för energikrav. Se Figur 3.5



Figur 3.5 Polykarbonatplattor som kan fyllas med aerogel

Polykarbonatplattorna dämpar även ljud, och nanogelen förbättrar denna egenskapen marginellt.

Tabell 3.3 Egenskaper för Rodas polykarbonatplattor fyllda med aerogel

Bredd på materialet och antal plattor	U-värde ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)	Ljusgenomsläpp (%)	Ljuddämpning (dB)
16 mm 2 plattor	1.4	64	21
16 mm 3 plattor	1.3	64	21
25 mm 3 plattor	0.9	55	24
40 mm 7 plattor	0.54	20	26
50 mm 9 plattor	0.48	24	30

Då polykarbonat går att böja ger detta stor frihet för arkitektur. Figur 3.6 visar böjda plattor på taket av Manchester University, England. Bilden är tagen med värmekamera och visar tydligt att glasörrarna släpper igenom betydligt mer värme än aerogel plattorna.



Figur 3.6 Polykarbonatplattor på Manchester university tagen med vanlig respektive infraröd kamera

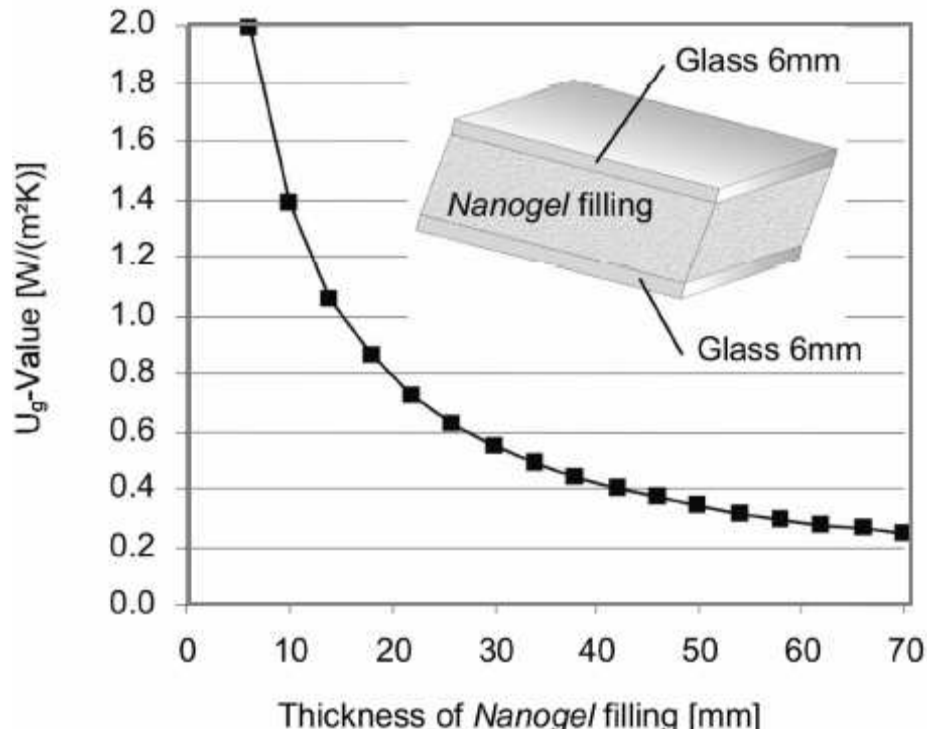
Eftersom aerogelen är ett väldigt stabilt material går gelen att ta bort från polykarbonatplattorna och sedan återanvändas. (Roda, 2011)

Vikten för plattorna med aerogel i är ungefär 5 kg/m^2 beroende på vilket system som används. Plattorna är klassade Class 1 i brandsäkerhet enligt den brittiska standarden. Roda ger en 10 års garanti mot att produkterna ska gulna, släppa igenom ljus sämre eller tappa sina isolerande egenskaper

3.5.3 Isolerat glas

Nyligen har några företag börjat tillverka glas som istället för argon eller krypton har aerogel som isolering mellan glasrutorna för en ökad isolerade effekt. Okalux är företaget som producerar detta i Europa. De lägger aerogelen mellan två stycken 6 mm glasrutor, den yttre är förstärkt och den inre är laminerad så den är lämplig att använda i takfönster.

Fönstren görs som störst i storleken $2000 \times 1000 \text{ mm}$ och har som högst ett ljusgenomsläpp på 59 % och en ljuddämpning på 52 dB. Fönstrets U-värde redovisas i Figur 3.8. Till skillnad från glasfönster påverkas detta inte av lutningen på fönstret. Solfaktorn för fönstren är 61 %.



Figur 3.7 Isoleringen av glaset och aerogelen beroende på tjockleken på gelen

Priset för fönstren är högt eftersom aerogel fortfarande är dyrt och ligger mellan 500 och 800 Euro /m².

3.6 Klar aerogel

Även om aerogel släpper igenom ljus bra och fungerar utmärkt i takfönster kan det inte ta över rollen som traditionella fönster har i klimatskalet då materialet inte är klart. Det pågår därför försök att tillverka en aerogel som är genomskinlig och inte förvränger bilden genom materialet. Det företag som har kommit längst med detta är svenska Airglass som driver sin verksamhet i samarbete med Lunds universitet.



Figur 3.8 Airglass aerogel produkt

Projektet började som ett sidoprojekt till en forskningsgrupp i Cern som behövde ett lätt material för ett experiment. Materialet togs fram på Lunds universitet och utvecklingen skedde inom universitetets ramar fram till 1982. Företaget Airglass skapades då för att kunna forska och tillverka airglass på en större skala. (Airglass, 2011)

Målet för forskningen är att ta fram 20 mm tjocka plattor av aerogel som är av samma optiska kvalitet som glas och endast minskar ljusstyrkan med 10 %.

4 Fiberoptiska dagsljussystem

4.1 Introduktion

För att föra in dagsljus med hjälp av fiberoptik krävs i huvudsak tre komponenter, mottagare, fiberkabel och ljusavgivare.

Den komponent som skiljer mest från den ena tillverkaren till den andre är mottagaren. Mottagaren är ofta utformad så att den kan följa solen under dagen och med hjälp av linser koncentrera ljuset till fiberkabeln.

Fiberkabeln som leder ljuset från mottagare till avgivare kan vara tillverkad av olika material men bygger på samma princip. I centrum av kabeln finns en kärna av ett ljusledande material som omsluts av en mantel med lägre brytningsindex än kärnan. Denna skillnad i brytningsindex gör att ljuset leds vidare genom totalreflektion. Det finns tre olika typer av kärnor som används, glaskärna, plastkärna och flytande kärna.

Sista komponenten är ljusavgivaren som används till att sprida ljuset från fiberkabeln ut i rummet.

Eftersom systemet endast fungera när det finns tillgång till dagsljus så krävs ett separat system för ljus på nätter och molniga dagar. Detta är oftast baserat på el.

4.2 Egenskaper

Det inkommande ljusflödet skiljer från tillverkare till tillverkare men beror även på fiberns längd samt var i världen systemet monteras. I det här kapitlet kommer egenskaperna från två tillverkares system att granskas. Det är Göteborgsföretaget Parans samt den Japanska tillverkaren Himawari. Inkommande ljusflöde har av Parans angivits vid en belysningsstyrka av 100 000 lux och av Himawari vid en belysningsstyrka av 98 000 lux från solen.

Himawari har flera olika mottagare med olika kapacitet. Himawaris system ger ett ljusflöde på 1920 lm per kabel om längden 15 m används. Deras minsta system har två kablar och ger då ett ljusflöde på 3840 lm och det näst minsta har 6 kablar med ett ljusflöde på 11520 lm. (Himawari-net.co.jp, 2011) Himawaris fiberkablar har en spridningsvinkel på 58° och ger på ett avstånd av 2 meter från kabeln en genomsnittlig luminans på ca 500 lux på en yta av 3,8 m². 500 lux är vad som är rekommenderat vid kontorsarbete och ca 2 meter ner från taket är normal skrivbordshöjd i ett kontor med normalhöjden 2,7 m. Nackdelen med Himawaris system är att det har fiber av kvartsglas vilket medför ett högt pris. (Himawari-net.co.jp, 2011))

Parans mottagare har en ljuskapacitet på 6000 +- 300 lm och har 6 kablar som ska leda detta ljusflöde vidare. (Parans.se, 2011) Eftersom Himawari anger sitt ljusflöde ut ur fibern behöver Parans angivna ljuskapacitet reduceras med förlusterna i fibern. Dessa förluster är 4,6% per meter vilket ger en total förlust för en 15 meter lång fiberkabel på ca 50%. (M.Askeroth, 2004)

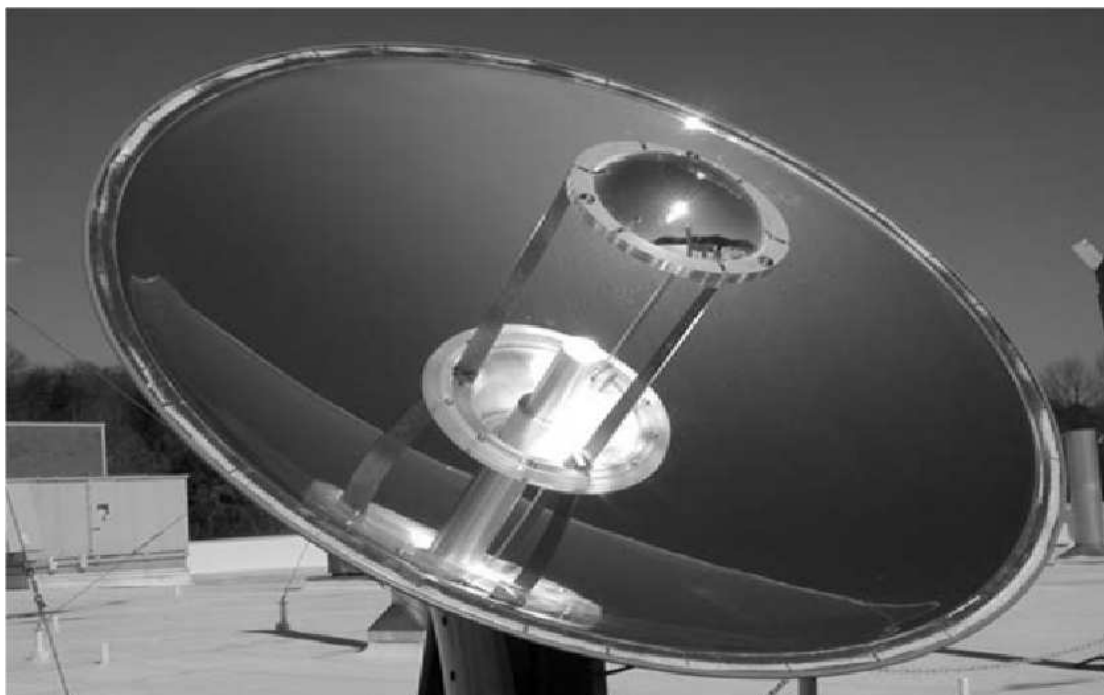
Detta betyder att det sammanlagda ljusflödet ur de 6 kablarna blir ca 3000 lm. Enligt Parans själva räcker en av deras mottagare till för att förse ett 40 m² stort rum. (Parans.se, 2011)

4.3 Material

4.3.1 Mottagare

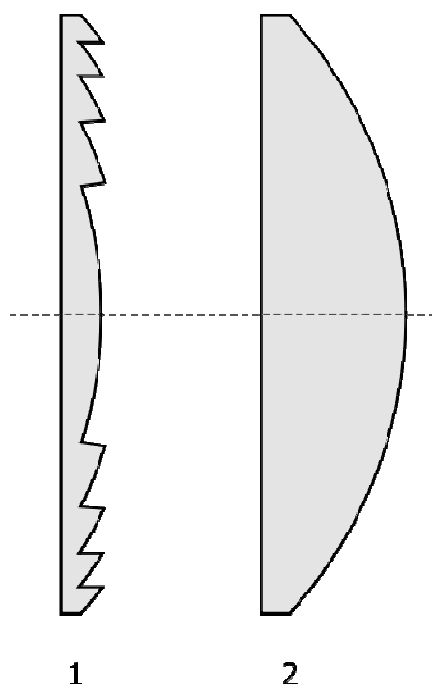
För att samla upp solljuset används en mottagare. Denna kan antingen ha formen av en parabol som t.ex. Sunlight Directs system eller vara uppbyggd av Fresnellinser som Himawaris system. Utöver detta kan de också vara antingen aktiva eller passiva. I ett aktivt system kan mottagaren antingen rotera runt en axel och då följa solen under dagen eller runt två axlar och då även anpassa sig efter tiden på året. Ett passivt system är ett fast system där mottagaren inte ställer in sig efter solen. Mottagaren anpassar sig efter solen med hjälp av en solsensor om solen är synlig eller med hjälp av förprogrammerade solkoordinater om det är molnigt. En solfångare kan endast dra nytta av det direkta solljuset. Detta eftersom det inte finns någon teknik för att koncentrera det diffusa solljuset. (Askeroth M, 2004)

En parabolmottagare är tillverkad med en reflekterande yta och fungerar genom att allt ljus som träffar parabolen reflekteras till samma punkt. Anledningen att ljuset reflekteras till samma punkt är att avståndet till solen är så stort att strålarna kan antas träffa parabolen vertikalt. Detta antagande samt reflektionslagen som säger att infallsvinkeln är lika stor som utfallsvinkeln mot tangentplanet gör att parabolen kan utformas så att allt ljus reflekteras till samma punkt.



Figur 4.1 Parabolmottagare tillverkad av Sunlight.Direct.

Vid användandet av linser används den så kallade Fresnellinsen. Denna lins fungerar på samma sätt som en konvex lins men det går åt mindre material för att tillverka den. Detta kan åstadkommas genom att det är linsens ytas krökning som bestämmer brännvidden, Fresnellinsen är alltså uppbyggd av ett flertal sektioner där varje sektion motsvarar den tjocka konvexa linsens krökning, se Figur 4.2. (Askeroth M, 2004) Ett exempel på ett system som använder Fresnellinser är Parans dagsljussystem.



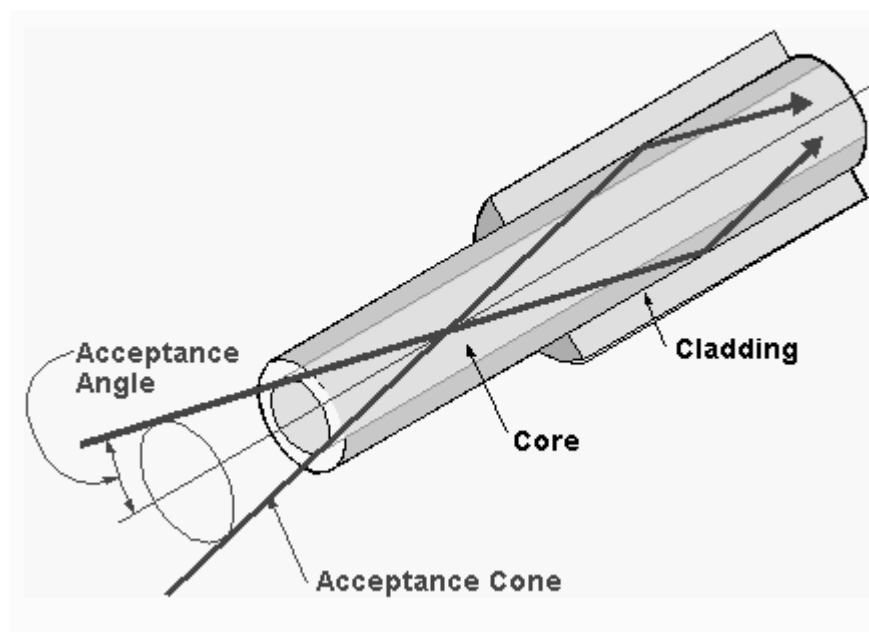
Figur 4.2 Fresnellinsen till vänster och en vanlig konvex lins till höger.

Mottagaren innehåller också ett system för att separera bort det infraröda ljuset. Anledningen att detta ljus separeras bort är att det skapar värme och fiberoptiken är känslig för detta. Det finns också en ekonomisk vinning i att sortera bort detta ljus innan det förs in i byggnaden eftersom det annars kan bli ett överskott av värme. Denna separering kan ske genom att låta ljuset träffa en selektiv yta, det synliga ljuset kommer då till största del att reflekteras medans det infraröda ljuset transmitteras. Om inte en selektiv yta används kan istället ett filter för att blockera det infraröda ljuset användas alternativt en lins för att separera de olika våglängderna. (Askeroth M, 2004)

4.3.2 Fiberkabeln

För att leda ljuset från mottagaren till platsen där ljuset behövs, används en fiberkabel. Denna kabel är uppbyggd av en kärna av ett ljusledande material som är omsluten av en mantel av ett material med lägre brytningsindex. För att skydda kabeln är denna mantel innesluten av en eller flera plastbeläggningar. Skillnaden mellan en fiberkabel som är till för att skicka information och en som är gjord för att leda ljus är att det krävs ett mycket större tvärsnitt för att leda ljus. För att skapa ett större tvärsnitt används två metoder, antingen buntas en större mängd smala fibrer ihop eller så används en "Solid core" fiber som har en homogen kärna med stor diameter. Ljusförlusterna från mottagaren till ljusavgivaren bestäms av ljusförlusterna i själva fibern samt inkopplingsförlusterna. Storleken på förlusterna i fibern beror på fiberns renhet och sker genom absorption, spridning och dämpning. Det är också effektivare med en "Solid core" fiber än en sammanbuntad fiber vid samma diameter och material. På grund av skillnaden i brytningsindex mellan fibern och luften uppstår en inkopplingsförlust. Denna förlust beror också på vilken infallsvinkel ljuset har mot fibern. Är infallsvinkeln för stor kommer ljuset inte reflekteras vidare i fibern. Storleken på den maximala vinkel där ljuset reflekteras vidare kallas acceptansvinkel. (Askeroth M, 2004)

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1999 The Computer Language Co. Inc.



Figur 4.3 Acceptansvinkel, kärna och mantel.

Den klart billigaste fibern har en kärna av plast, och kan tillverkas antingen som en "Solid core" fiber eller en med hopbuntade fibrer sammansatta med hjälp av epoxi. Fiber tillverkade av plast har en maximal drifttemperatur mellan 70 °C och 120 °C. (Askeroth M, 2004)



Figur 4.4 Fiberkablar med kärna av plast.

Det bästa materialet med avseende på förluster i fibern är kvartsglas. Dessa fibrer tillverkas med en diameter på 1mm och behöver därför buntas samman till en större diameter. Sammanfogningen kan göras antingen genom att limma samman dessa med hjälp av epoxi eller genom sammansmältning av fibrerna. Nackdelen med kvartsglas är att det har ett mycket högt pris. (Askeroth M, 2004)

Sista sortens fiber har en flytande kärna av transparent vätska. Denna fiber är specifikt tillverkad för att leda ljus och har därför ett stort tvärsnitt. Vid användning av fiber med flytande kärna är det viktigt att filtrera bort det infraröda ljuset eftersom fibern har en maximal drifttemperatur på endast 50 °C. (Askeroth M, 2004)

4.3.3 Ljusavgivare

För att sprida ljuset från fibern till rummet används någon form av ljusavgivare. Det kan till exempel vara en ändutstrålande fiber som Himawaris system använder. För att få extra spridning på ljuset kan en Fresnellins användas. Andra alternativ är att använda sig av sidoutstrålande optiska fiber eller linser och prismor för att sprida ljuset. Hur mycket ljuset kan spridas bestäms av vilket ljusflöde det är ut från fibern samt vilken belysningsstyrka som önskas i rummet. Eftersom luminans är ljusflöde per ytenhet blir den lägre vid större spridning.



Figur 4.5 Parans ljusavgivare.

4.3.4 Hybridsystem

Eftersom solljuset inte är konstant i styrka och vissa dagar väldigt svagt krävs ett komplement till solljussystemet för att kunna hålla en konstant belysningsnivå. Detta kan lösas på två sätt, antingen med ett separat belysningssystem som är oberoende av solljussystemet eller så används ett hybridsystem. (Askeroth M, 2004) Ett exempel på hybridsystem är produkten HSL från Oak Ridge National Laboratory. I detta systemet används lysrör tillsammans med ett sunlight diffusing rod i samma armatur. Till detta kopplas en fotosensor som känner av när belysningsnivån ändras och systemet kompenserar för detta med hjälp av lysrören. (Oak Ridge National Laboratory, 2007)



Figur 4.6 Hybridsystem med solljus och elljus i samma armatur.

4.4 Pris

Priserna på olika system är svåra att jämföra eftersom det är svårt att veta hur mycket ljus de olika systemen ger. Detta eftersom alla tillverkare inte anger värdena i rummet, istället anger de hur mycket ljuskapacitet mottagaren har. Eftersom de olika företagen inte använder samma fibrer eller ljusavgivare är det svårt att veta hur mycket förluster det blir på vägen och hur mycket ljus som fås där det faktiskt behövs. Utöver detta är vissa av systemen fortfarande på prototypstadiet och har ännu inget försäljningspris. När utvecklingen går framåt sjunker tillverkningskostnaderna vilket ses på HSL systemet. Den första prototypen år 2002 hade en materialkostnad på 50 000 USD, vägde över 180 kg och tog 12 dagar att montera. När Oak Ridge National Laboratory kom med en ny prototyp av HSL år 2006 hade de lyckats sänka materialkostnaden till 15 000 USD, vikten var nu 45 kg och den tog endast 2 dagar att montera. Eftersom monteringskostnad oftast inte ingår vid köp av ett fiberoptiskt dagsljussystem är monteringsstiden samt hur enkelt systemet är att montera viktigt. (Oak Ridge National Laboratory, 2007)

5 ETFE plast

5.1 Introduktion

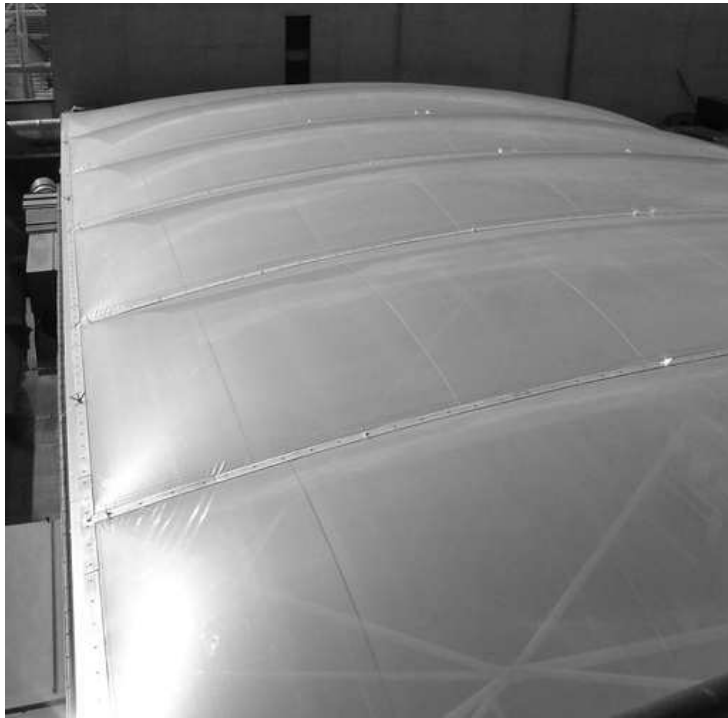
ETFE-plast eller Ethylene tetrafluoroethylen copolymer som förkortningen står för, har på de senare åren fått en hel del uppmärksamhet genom den arkitektur som detta lätta material har möjliggjort. De byggnader som har blivit mest uppmärksammade är ”Eden projekt” i Cornwall i England och ”Beijing National Aquatics Centre”, vattenkuben som byggdes till OS i Peking 2008.

Materialet uppfanns i början på 1970 talet av företaget Dupont för att användas i flygplansindustrin. (Todo arquitectura Revista digital, 2011) Det tog 10 år innan ett företag förstod att materialet på grund av sin hållfasthet och ljusgenomsläpplighet kunde användas i byggnader. Den första arkitekturfirman som använde materialet var ”Vector Foiltec” som använde plasten för att bygga taket till ett zoo i Arnheim Holland.

5.2 Tillverkning

ETFE är en copolymer till teflon och etylen. (Robinson-Gayle S, 2001) Materialet tillverkas från triklormetan (CHCl_3), vätesulfat (H_2SO_4) och Fluorit (CaF_2). Från dessa råmaterial fås CF_2 , detta kan sedan kan polymeriseras till ETFE.

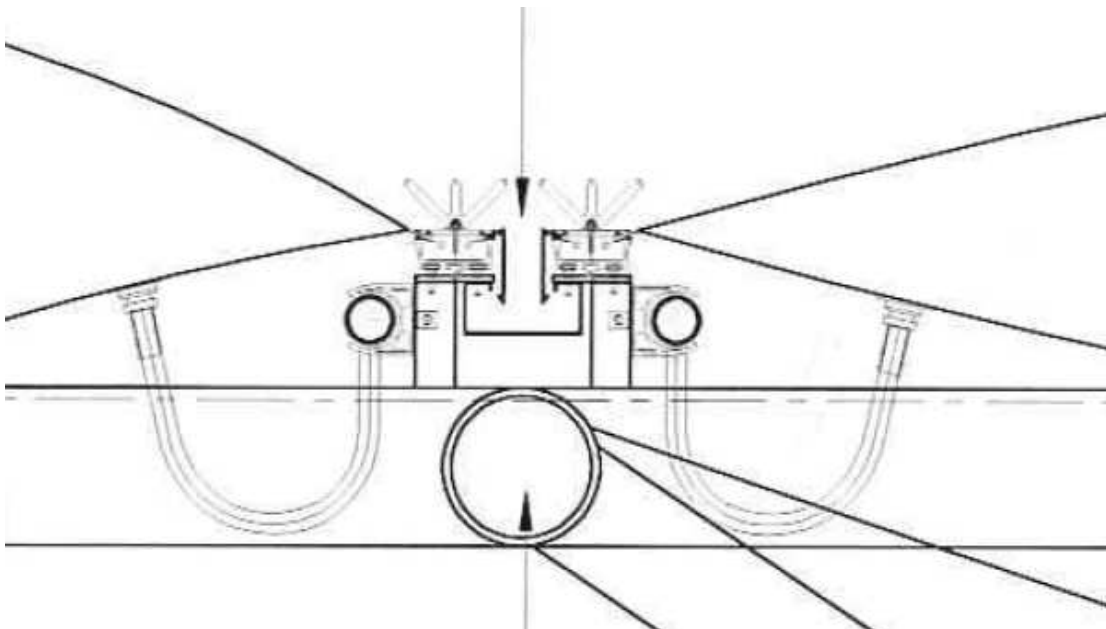
Plasten hettas sedan upp till $170\text{ }^\circ\text{C}$ och strängpressas ut till ETFE folie med en tjocklek mellan 50 och 200 mikrometer. Folien kan användas direkt som ett membran i klimatskalet men för att få tillräcklig isolering så används oftast flera lager folie som smälts samman i kanterna och sedan blåses upp med luft. Detta ger en kudde som isolerar väl.



Figur 5.1 ETFE kuddar på ett tak i London

5.3 Montering

ETFE-kuddarna sitter fast i aluminiumramar som i sin tur sedan fästs vid balkar. Mellan kuddarna kan regnvatten rinna bort.



Figur 5.2 Infästning av kuddar i aluminiumram. Plats för regnvatten att rinna bort mellan kuddarna

För att kuddarna ska behålla sin luft mellan lagren av ETFE-plast och därmed sin isolerande förmåga ska övertrycket ligga runt 220 Pa. (Architen Landrell, 2011) Därför används två pumpar som känner av trycket och blåser upp kuddarna vid behov. Det räcker med en pump på 50 W för att behålla trycket i ett ETFE tak med arean 1000 m². (Robinson-Gayle S, 2001) Pumparna arbetar varierande och styrs av ett kontrollsystem så om en av pumparna går sönder kan den andra ta över. Stannar båda pumparna kan taket hålla sig mellan 3-6 timmar utan att ta skada.

5.4 Egenskaper

ETFE plast är väldigt elastiskt och kan töjas med 200-300 %. (Tanno S, 2001) Därför förspänns materialet så att det kan hålla större laster. De yttre lagren i kuddarna är oftast tjockare än de inre då de får ta mer laster i form av vind eller snö. Kuddarna görs normalt med bredden 3.5 m och längden varierar med de laster de ska ta upp. Vikten ligger mellan 2 och 3.5 kg /m.

ETFE plast påverkas inte nämnbart av UV-strålning eller kemikalier. Tester som fortfarande pågår har visat att materialet håller i minst 25 år. (Robinson-Gayle S, 2001) Plasten har en beräknad livstid på minst 50 år. (Architen Landrell, 2011)

Ljusgenomsläppet genom kuddarna ligger på 85- 95% vilket ungefär motsvarar en 6 mm tjock glasruta. (Robinson-Gayle S, 2001) Färgerna genom materialet förvrängs inte men IR-strålningen blockeras till stor del vilket minskar solfaktorn.

Plasten kan även behandlas för att ytterligare minska solfaktorn. En behandlad kudde som består av 2 lager ETFE plast kan komma ner i en solfaktor på 0.48 och en med tre lager kan ha 0.35. Då kuddarna är uppblåsta och därmed böjda så förvränger de bilden genom materialet. Detta gör deras användning passar sig bäst till takfönster.

Tabell 5.1 U-värde på ETFE-kuddar beroende på antal lager folie

Antal ETFE-folier i kudden	U värde
2	2.94 W/m ² K
3	1.96 W/m ² K
4	1.47 W/m ² K
5	1.18 W/m ² K

De uppblåsta kuddarna kan isolerar väl, en ETFE folie har ett U värde på 5.6 W/m²K. En kudde med tre lager får ett U värde på 1.96 W/m²K. (Robinson L, 2005)

Luftläcket är lägre än vid användning av glas då plasten kan fästas tätt i infästningarna medan glas måste ha utrymme för temperaturberoende expansion och krympning. (Building, 2010) Plasten går även att tillverka i större storlekar än glas vilket minskar andelen fogar.

Ett av de stora problemen med ETFE-kuddar är att det har dålig ljuddämpning. Ljud utifrån och inifrån byggnaden hörs igenom materialet och regn på taket kan upplevas som störande.

ETFE-plast brinner dåligt, har inga farliga ångor och vid en eld drar plasten ihop sig så att hål uppstår som elden kan ventileras genom. (Tanno S, 2001) Krympningen gör att materialet inte faller ner om det t.ex. sitter i ett takfönster. Plasten kan även ta höga tillfälliga laster vilket gör att det klarar explosioner bra.

Underhåll för tak av ETFE-plast är minimalt. Den glatta ytan gör att regn spolar bort det mesta av smutsen. Kuddarna behöver därför inte rengöras med mer än 2-3 års mellanrum. (Architen Landrell, 2011)

Priset för material och installation av ETFE plattor är ungefär hälften av högpresterande glasrutor. (Tanno S, 2001) Beroende på vilken isolering och solskydd som krävs varierar priset mellan 1 och 15 Euro/m².

5.5 Miljö

Eftersom plast är lättare än glas blir transportkostnaderna för ett tak med ETFE-kuddar mindre jämfört med ett med glas. Även energin som används vid tillveknigen är betydligt mindre än vid 6 mm glas. (Robinson-Gayle S, 2001) Materialet kan återanvändas genom att kuddarna plockas bort från ramen, tvättas och sedan smältes ner. De kan då användas för att göra nya kuddar.

5.6 Fåglar

En av farorna med att använda en uppblåst kudde är att den kan punkteras av vassa föremål. (Robinson L, 2005) Detta gör att fåglar med sina vassa näbbar och klor blir en fara för klimatskalet. Det är normalt sett inget problem om det blir ett hål i en kudde då kontrollsystemet känner av detta och kompenserar för luftläckan. Hålet kan sedan lagas eller så kan kudden bytas ut. För att minska skadorna från fåglar installeras fågeltråd som gör att fåglarna inte vill landa på taket

5.7 Användning i Eden projekt

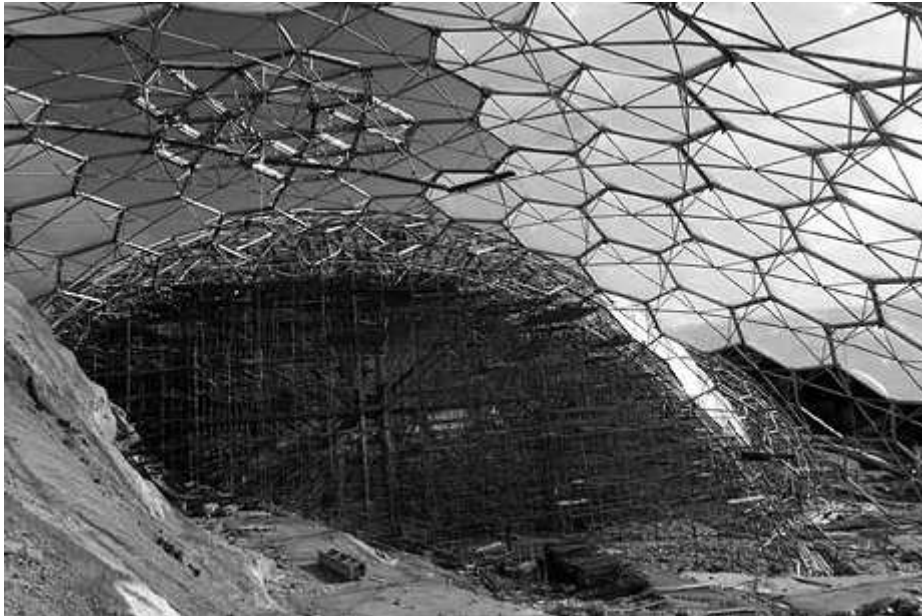
ETFE har de senaste åren används i konstruktionen av en hel del spektakulära byggnader. Materialet lämpar sig utmärkt för växthus eller takfönster.

The Eden projekt ligger i Cornwall i södra England och konstruerades för att kunna odla och visa upp växter från andra klimat än det engelska. Projektet består av två enorma kupoler. Den ena med Medelhavsklimat och den andra med tropiskt klimat. Den största av de två kupolerna är 240 m lång, 110 m djup och 55 meter hög för att kunna rymma träd inne i växthuset. Tillsammans är hela komplexet 23000 m² och utgör världens största växthus. (Robinson L, 2005)



Figur 5.3 Eden projekt

Kupolerna är uppbyggda av en stomme av stångstänger som är hopsatta med sfäriska noder i ett triangulärt mönster. Uppe på dessa stänger sitter ett skal av hexagonala aluminiumramar som sedan kuddarna fästs vid.



Figur 5.4 Konstruktionen av Eden projekt

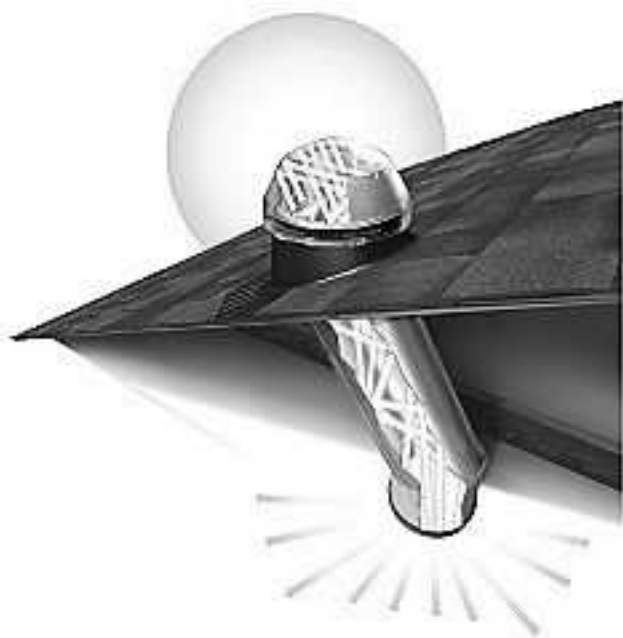
De hexagonala ramarna är 11 m rakt över och har arean 75 m^2 . Eftersom ETFE-folie har en bredd på max 3.5 meter när den strängpressas ut var de tvungna att smälta

samman foliet för att kunna få de ytor de önskade. Detta gjorde att hållfastheten blev sämre och efter beräkningar så lade de in ett extra yttre lager folie i kuddarna. Totalt består kuddarna av 3 lager ETFE-folie som är 2 mm tjock med arean 75 m^2 och uppblåst till tjockleken av 2 m. Totalt har byggnaden ett U värde på $2.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Då byggnaden är ett växthus påverkar inte materialets dåliga ljudisolering designen. Istället så bidrar detta till upplevelsen då regn och annat väder tydligt hörs in. Hade byggnaden varit gjord i glas skulle den ha blivit betydligt dyrare då stommen hade varit tvungen att klara större laster. Dessutom hade de stora hexagonala fönstren inte kunnat byggas utan skarvar, då glas inte görs i sådana storlekar. (Robinson L, 2005)

6 Lightpipes

Lightpipes för in ljus i en byggnad genom att fånga upp solstrålarna i ett rör med reflekterande insida så att solstrålarna leds vidare. Det är ett helt passivt system utan rörliga delar och har därför låga underhållskostnader. Lightpipes kan monteras vertikalt och då fånga upp solljuset från taket och föra ner det genom byggnaden. De kan också monteras horisontellt och då sitta i fasad med minst en lightpipe för varje våning. I vissa lightpipes går det att montera elektrisk belysning för att kompensera för solljuset på kvällar och molniga dagar. Priserna för de mindre systemen börjar på ca 2000 SEK exklusive montering. De finns i storlekar från 230 mm upp till 1500 mm i diameter men kan specialbeställas i ännu större modeller. Exempel på tillverkare är Solatube och monodraught.



Figur 6.1 Solatube lightpipe.

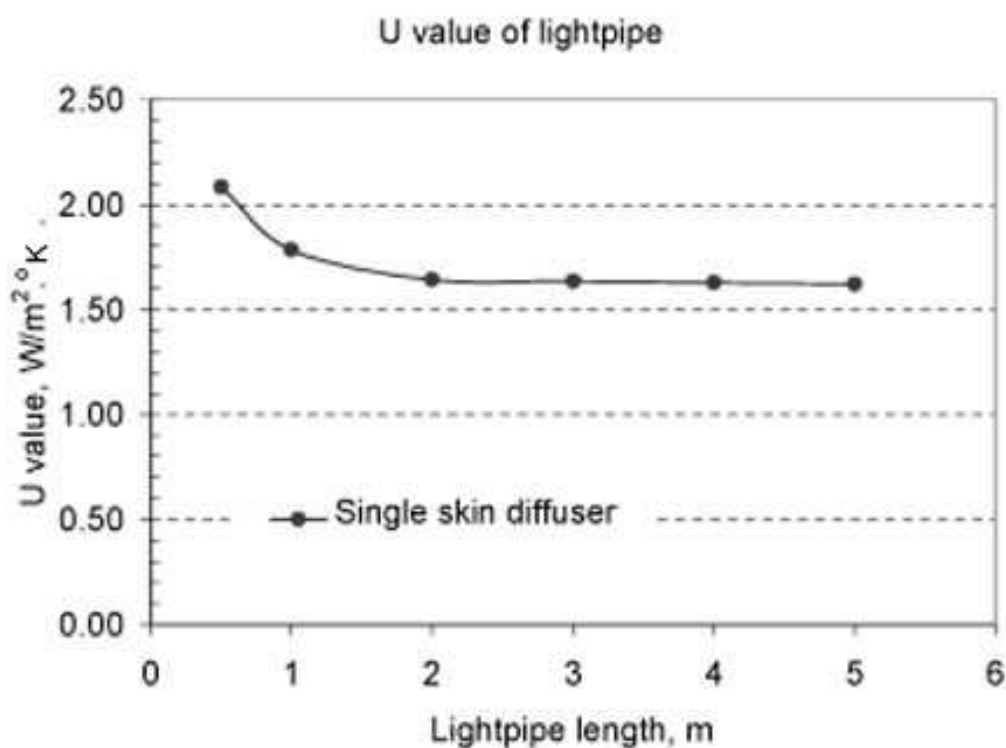
6.1 Egenskaper

Lightpipes finns i olika storlekar. Egenskaperna skiljer sig mellan tillverkarna, storlekarna och beror även på längden. Monodraught anger maxlängden på sina lightpipes till 8 meter för de små dimensionerna och upp till 20 meter för de största dimensionerna. Förlusterna är ca 6% per meter och i en 45° vinkel blir det 12% ljusförlust. Monodraughts minsta lightpipe är 230 mm i diameter och lyser upp en yta på ca 7,5 m² med 337 lux vid 75 000 lux ute. En av deras största lightpipe med en diameter på 1000 mm lyser upp en yta på 60 m² med 7675 lux vid samma förhållanden. (Monodraught.co.uk, 2011)

Tabell 6.1 Belysningsstyrka Monodraughts lighttubes.

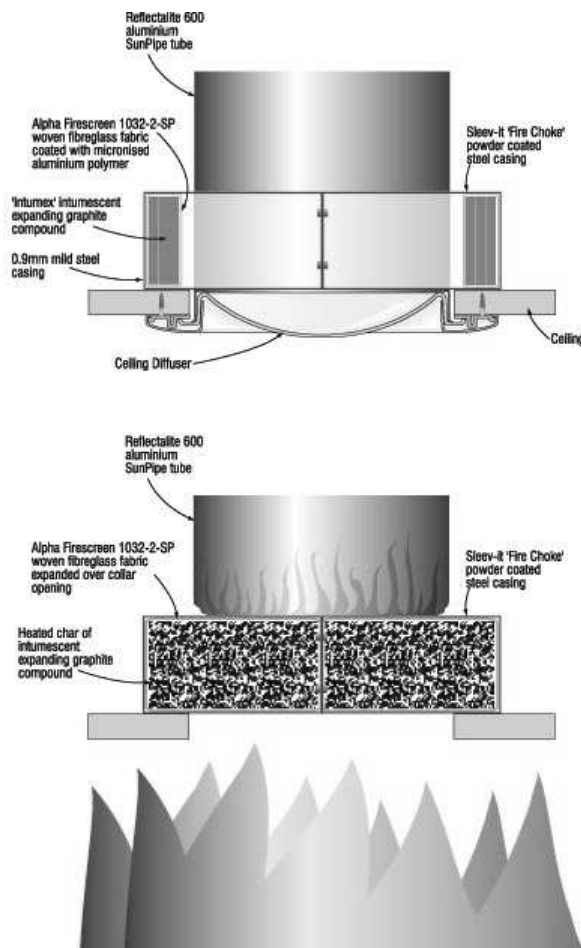
Diameter	Solig sommar (75 000 Lux)	Molnig sommar (50 000 Lux)	Molnig vinter (25 000 Lux)	Upplyst area
230 mm	337 Lux	225 Lux	112 Lux	7,5 m ²
300 mm	607 Lux	404 Lux	202 Lux	14 m ²
450 mm	1452 Lux	968 Lux	484 Lux	22 m ²
530 mm	2052 Lux	1386 Lux	684 Lux	40 m ²
750 mm	4238 Lux	2825 Lux	1413 Lux	50 m ²
1000 mm	7675 Lux	5117 Lux	2558 Lux	60 m ²

U-värdet på en lightpipe beror på längden och börjar på 2 vid en längd av 0,5 meter och är vid 5 meters längd 1,62 för Monodraughts lightpipe. (Monodraught.co.uk, 2011)



Figur 6.2 U-värde beroende på längd för Monodraught lightpipes.

För att skydda vid brand kan en låda innehållande en grafitmassa monteras i änden på lightpipen precis ovanför innertaket. När temperaturen i rummet överstiger 150°C expanderar grafitmassan, krossar röret och förhindrar på detta sätt brand och rökspridning i upp till 2 timmar. (Monodraught.co.uk, 2011)



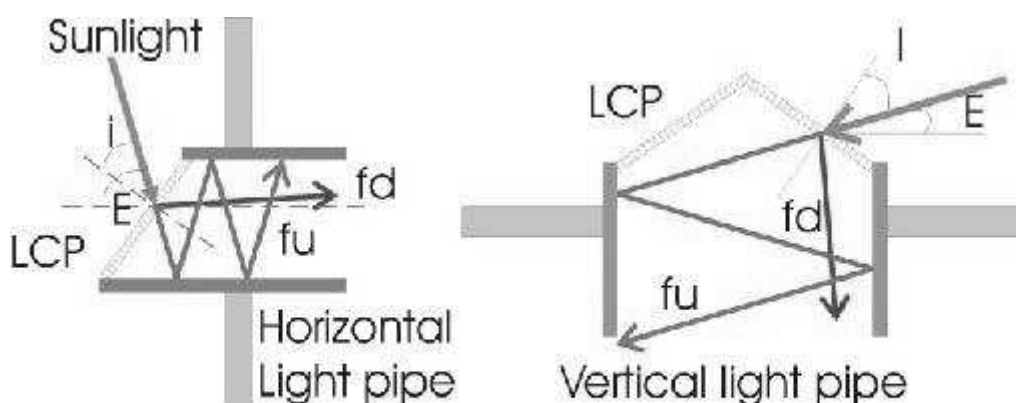
Figur 6.3 Brandskydd med expanderande grafitmassa.

6.2 Material

Lightpipes kan tillverkas på olika sätt men består som namnet antyder alltid av någon form av rör, detta rör kan vara både cirkulärt och rektangulärt och har en insida täckt av ett reflekterande material. I änden på taket monteras en kupol för att leda in ljuset så effektivt som möjligt och på insidan monteras med fördel en anordning för att sprida ljuset.

6.2.1 Kupol

För att få låga ljusförluster bör det strävas efter att ljuset ska reflekteras så få gånger som möjligt eftersom ljuset tappar intensitet vid varje reflektion. Få reflektioner kan åstadkommas genom att montera en klar kupol i änden av röret. I denna kupol skärs tunna parallella spår med hjälp av en laser. Dessa spår fungerar sedan som speglar och reflekterar ljuset så att det större delen av dagen får en bättre infallsvinkel i röret och reflekteras färre gånger. (Yeang K, 2003) Detta kan kombineras med en prisma i botten på kupolen för att bättre fånga solljuset vid soluppgång och solnedgång. (Monodraught.co.uk, 2011)



Figur 6.4 Jämförelse av kupol med och utan laserskurna spår, fu är solstrålningen utan spår och fd med spår.

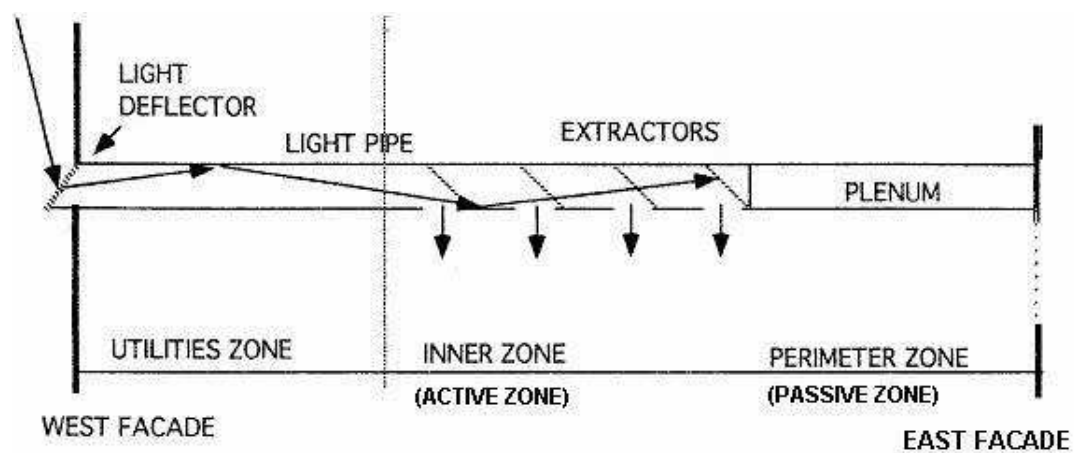
Om monteringen sker i fasad behövs ingen kupol utan då monteras istället en panel i änden på röret med en viss vinkel mot solen, den bästa vinkeln beror på byggnadens placering. (Yeang K, 2003) För att blockera UV-strålningen tillverkas kupolen av ett material som ej släpper igenom denna strålning och inget annat filter behövs. (Solatube.com, 2011)



Figur 6.5 Kupol från Solatube.

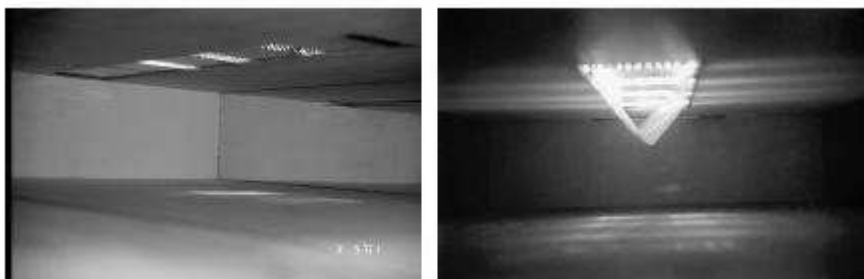
6.2.2 Ljusdistribution

Vid användning av långa lightpipes bör ljuset distribueras ut jämt på flera ställen efter kanalens längd. Detta görs i horisontella lightpipes genom att reflektera ut ljuset med hjälp av material som reflekterar en del av ljuset och släpper igenom resten, se Figur 6.6. (Yeang K, 2003)



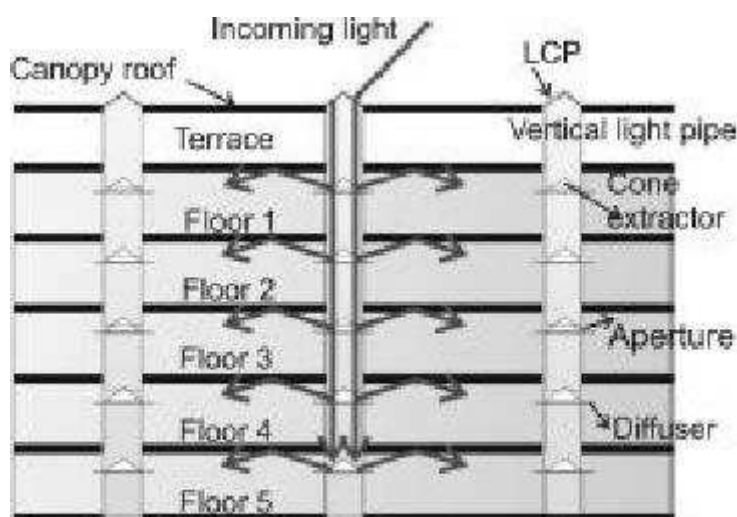
Figur 6.6 Här syns hur delar av ljuset reflekteras ner i rummet och resten fortsätter i light tuben.

När ljuset reflekteras in i rummet blir det en relativt koncentrerad stråle som endast lyser upp en liten yta, för att få bättre spridning av ljuset kan laserskurna paneler användas. Dessa kan monteras under lightpipen där ljuset förs ut.



Figur 6.7 Till vänster syns ljusspridningen utan laserskurna paneler och till höger syns spridningen med paneler.

I vertikala lightpipes används en konformad extraktor på varje våning som reflekterar upp en del av ljuset i taket och släpper igenom resten till underliggande våningsplan. (Yeang K, 2003) Om ljuset endast ska föras ut på en plats förs det ut ur änden av röret, det finns då möjlighet att montera linser i olika färger för att skapa en viss typ av ljus. Monodraught har till exempel en lens för att få ett kallt vitt ljus som många vill ha i sina badrum. (Monodraught.co.uk, 2011)



Figur 6.8 Extraktor i vertikala lightpipes.

6.3 Pris

Priserna är tagna från tillverkarnas prislista för Storbritannien och översatta till svenska priser med en växelkurs på 10,06 kr för ett pund. Priserna inkluderar inte frakt och installation. Vid köp av Monodraughts lightpipe ingår ett 610 mm långt rör som sedan kan kompletteras med fler rör med samma längd vid behov. (Issuu.com, 2011) Solatube skickar med ett rör på 400 mm som kan kompletteras med fler rör med en längd av 560 mm upp till en maxlängd av 3200 mm. (Solatube.com, 2011) Om elektrisk belysning önskas kan detta köpas till för mellan 350 sek till 700 sek beroende på modell och integreras då i lightpipen. (Issuu.com, 2011)

Tabell 6.2 Prislista Monodraught lighpipes

Namn	Diameter	Ca Pris (sek)	Ca Pris inkl 45° vinkel	Ca extra 610 (sek)	Pris tub mm
Diamond Sunpipes 8"	200 mm	2170	2350	400	
Diamond Sunpipes 12"	300 mm	2400	2645	440	
Diamond Sunpipes 18"	450 mm	3790	4150	630	
Diamond Sunpipes 21"	530 mm	5690	6210	920	
Diamond Sunpipes 30"	750 mm	13230	14540	1520	

Tabell 6.3 Prislista Solatube lighpipes.

Namn	Diameter	Ca Pris (sek)	Ca extra 560 (sek)	Pris tub mm
Solatube 160 DS	250 mm	2100	440	
Solatube 290 DS	350 mm	2595	525	

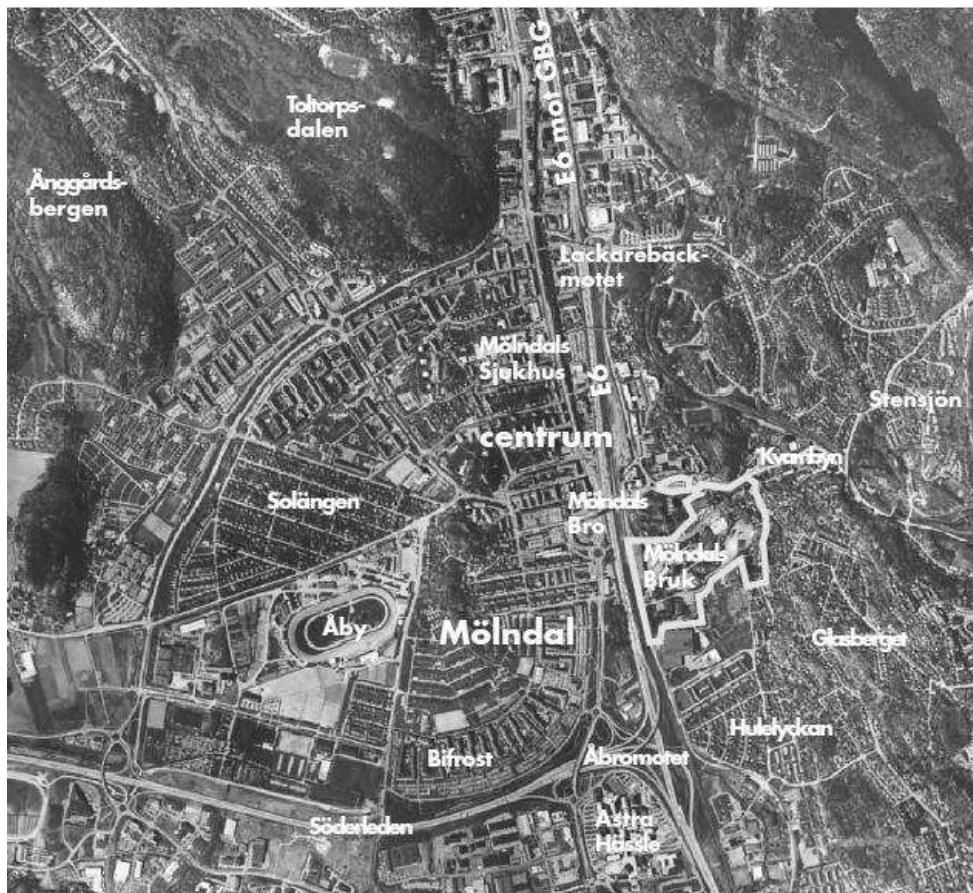
7 Tillämpning i Papyrusområdet

7.1 Bakgrund

Papyrusområdet ligger i centrala Mölndal och har genom åren haft stor betydelse för kommunen. De första kvarnarna i området byggdes redan på 800-talet vid Mölndalsån och runt dessa bildades samhället. Under 1653 startades det första pappersbruket och företaget växte för att år 1855 vara Sveriges överlägset största pappersbruk. År 1895 köpte Wallenberg bruket och grundade Papyrus AB. (Vänsterpartiet, 2009) När pappersbruket gick i konkurs 2006 stängdes fabriken ner och har sedan dess stått tom. 2009 köpte Mölndals kommun upp de gamla fabrikena för att göra om området till kontor och bostäder.

7.2 Befintligt område

Området ligger på östra sidan av E6/E20 precis vid Mölndalsbro bredvid Mölndal centrum. Läget och närheten till Mölndal station gör framtida bostäder och kontor i detta område väldigt attraktiva.



Figur 7.1 Karta över Mölndal med Papyrusområdet markerat.

I området finns ett antal vackra och anrika byggnader som är värda att bevaras för dess historiska värde. Mölndal kommun vill därför bygga ett område där de gamla byggnaderna rustas upp och blir en del av den nya stadsdelen. Mölndal kommun har även ett intresse av att profilera sig genom att använda nya, innovativa och miljövänliga tekniker i sin stadsdel.

7.3 Nytt område

Det finns flera olika förslag på hur området ska rustas upp och vilka byggnader som ska bevaras och vilka som ska rivas. Visionen är att behålla väl valda delar av de gamla industri lokalerna och komplettera detta med ny bebyggelse för att skapa en ny stadsdel i Mölndal. Visionen är att öppna upp parken runt Papyrusvillan och skapa en stadspark för allmänheten. White Arkitekter har kommit med ett förslag som kan ses i Figur 7.2. I detta förslag görs påbyggnader av de gamla husen och nya flerbostadshus och kontorsbyggnader uppförs. Whites förslag innebär en hög exploateringsgrad vilket motiveras med närheten till centrum, för att få plats med parkeringsplatser byggs parkeringsgarage under gårdarna i området. (White arkitekter, 2007)



Figur 7.2 Översiktsplan av arkitektbyrå White's förslag på ombyggnad av området.



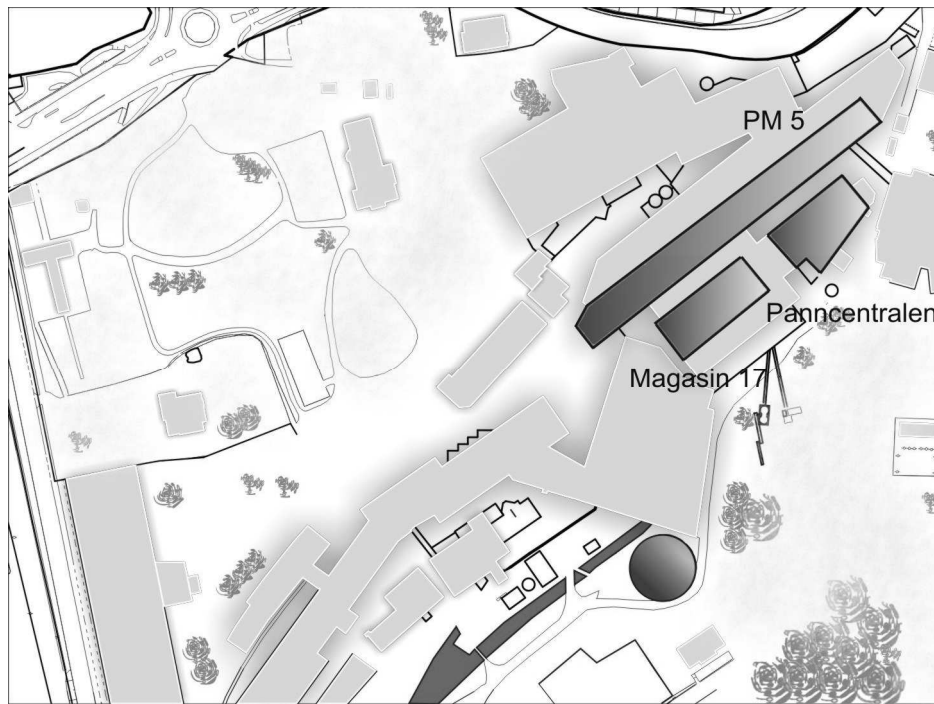
Figur 7.3 Whites konceptbild

I förslaget från Semrén och Månsson skiftar området karaktär från småskaligt och gles i öster vid det befintliga villaområdet till högre byggnader mot E6/E20 för att knyta an mot centrum. I mitten av området bevaras en del av de karakteristiska byggnaderna och det skapas ett nytt kulturstråk från Kvarnbyn ner mot Mölndals centrum. (Semrén och Månsson Arkitektkontor AB, 2007)



Figur 7.4 Översiktsplan av Semrén och Månsson

2008 gjorde Karin Jakobsson ett examensarbete där hon ger förslag på hur några av de gamla byggnaderna i Papyrusområdet kan utvecklas och renoveras. Hon har tittat på stadsplaneringen och sedan gjort förslag på tre byggnader, Panncentralen, Magasin 17 och PM 5. Det är planlösningarna i detta examensarbete som har utgått ifrån när förslag på alternativa sätt att föra in ljus i byggnaderna ges. (Jakobsson K, 2008)



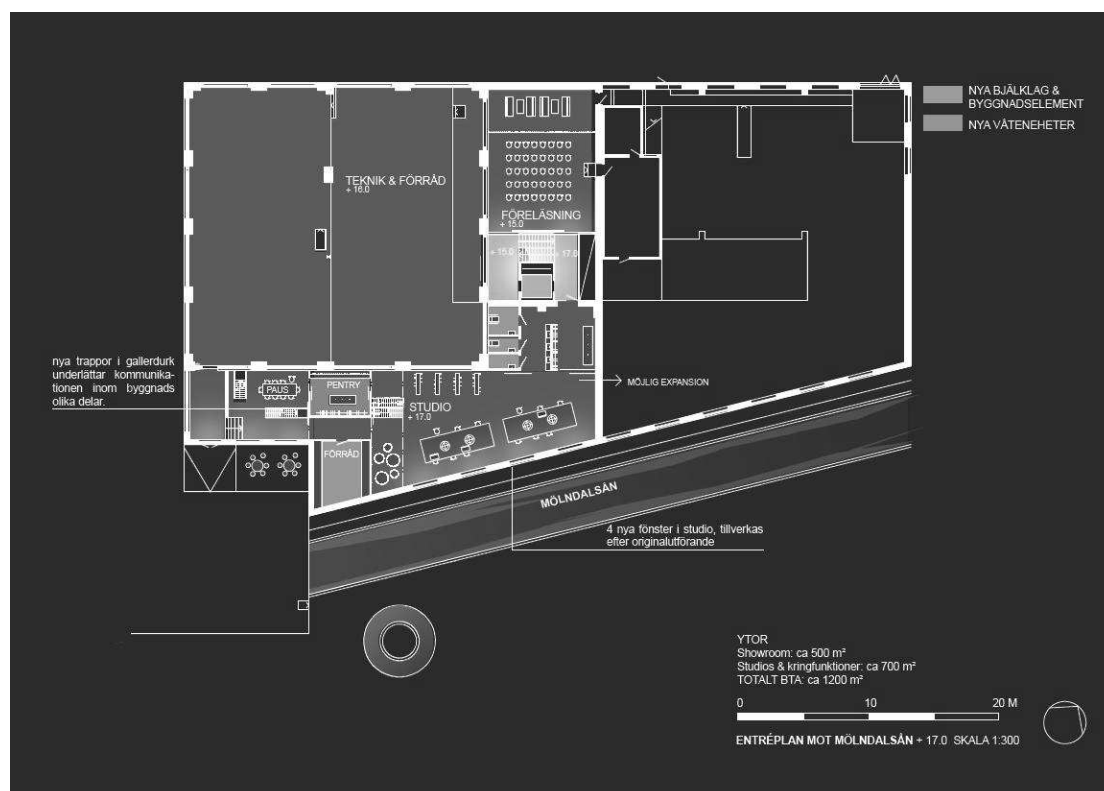
Figur 7.5 De byggnader som Karin Jakobsson har utarbetat planer för i sitt examensarbete

7.4 Fiberoptiska dagsljssystem

På grund av byggnadernas stora dimensioner och djup kan det bli problem att föra in dagsljus på konventionella sätt genom fasaden. En lösning för att få in dagsljus i byggnadernas mitt skulle kunna vara att använda fiberoptik för att leda in ljus från mottagare på taken via fiberoptiska kablar in i byggnaden. Eftersom det enda som behöver monteras på utsidan är en ljusmottagare och denna med fördel monteras uppe på taket kan denna lösning användas utan att förändra byggnadernas fasader. Det system som kommer appliceras på byggnaderna i detta kapitel är Parans dagsljssystem på grund av att detta har ett relativt bra pris samt att företaget har sin bas i Göteborg vilket är passande för ett projekt i Mölndal.

7.4.1 Panncentralen

Denna byggnad är ca 16 meter hög och tillverkad av betong med stora höga fönster med enkelglas. De stora fönstren och den oisolerade fasaden ger byggnaden mycket dåliga U-värden vilket ger stor energiåtgång till uppvärmning under vinterhalvåret. Byggnadens höjd ger bra möjligheter att montera ljusmottagare på taket utan att omkringliggande byggnader skymmer ljuset. Vid användandet av fiberkablar finns möjlighet att få en god belysning med dagsljus även i de ytor som i detta förslag är teknik och förråd.



Figur 7.6 Entréplan mot Mölndalsån, Teknik och förråd kan belysas med hjälp av Paranssystem.

Ytan som i Karin Jakobssons examensarbete är använd till teknik och förråd är ca 500m^2 . (Jakobsson K, 2008) Denna yta skulle kunna användas som en extra utställningshall med bättre möjlighet att kontrollera ljuset än i rummet på våningen ovanför. För att ha möjlighet till en belysningsstyrka på 500 lux i rummet behövs det tillföras 250 000 lm. Varje mottagare från tillverkaren Parans har en ljuskapacitet på ca 6000 lm under perfekta förhållanden, det blir också förluster i fibern som skulle behöva vara ca 15 meter lång. Förlusterna i fibern blir ca 50%, vilket skulle innebära att det behövs ca 80 stycken mottagare för att skapa en god belysning med hjälp av endast Parans dagsljussystem, se Kapitel 4.

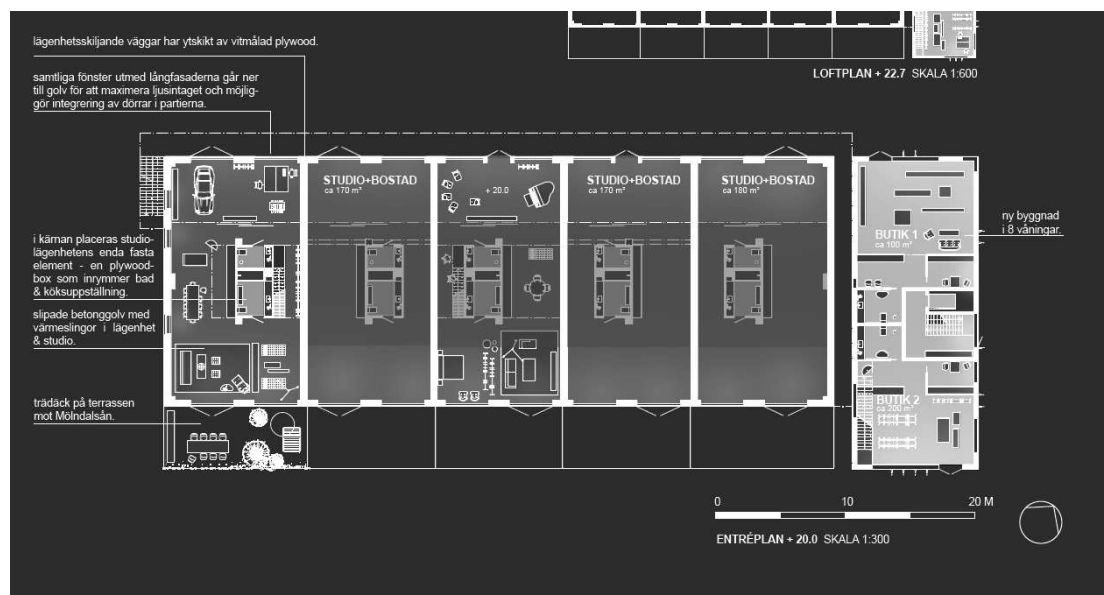
Om det endast behövs lägre belysning är Parans riktlinjer att ett Paranssystem är tillräckligt för ca 40m^2 . Det skulle då behövas endast 13 stycken mottagare på taket vilket är mer rimligt att få plats med. En dansk undersökning om val av belysningsstyrka i kontor visade att personalen önskade en belysning som gav en förbrukning på 12,5 Watt per m^2 . (Arbetsmiljöverket, 2011) Om endast elbelysning skulle användas skulle detta innebära en elförbrukning på ca 6,25 kilowatt. Elpriset ligger idag på ca 1 krona per kilowattimme. Från april till augusti är det normalt ca 1200 soltimmar i Göteborgsområdet vilket skulle innebära en besparing på ca 7600 kronor. (SMHI, 2011) Det är också möjligt att minska kostnaden för kylning av lokalen eftersom dagsljussystemet inte ger ett lika stort värmetillskott som elektrisk belysning. Priset för 12 stycken Paranssystem med 15 meter fiberkabel är 446400 Sek exklusive moms. Det går inte att motivera denna extra kostnad genom att se till energibesparingen, men dessa rum skulle annars ha enbart elektrisk belysning. Med hjälp av Paranssystemet förs det in naturligt ljus vilket gör att ytan kan användas mer effektivt och det blir mer uthyrningsbar yta.

7.4.2 Magasin 17



Figur 7.7 Fasad Magasin 17

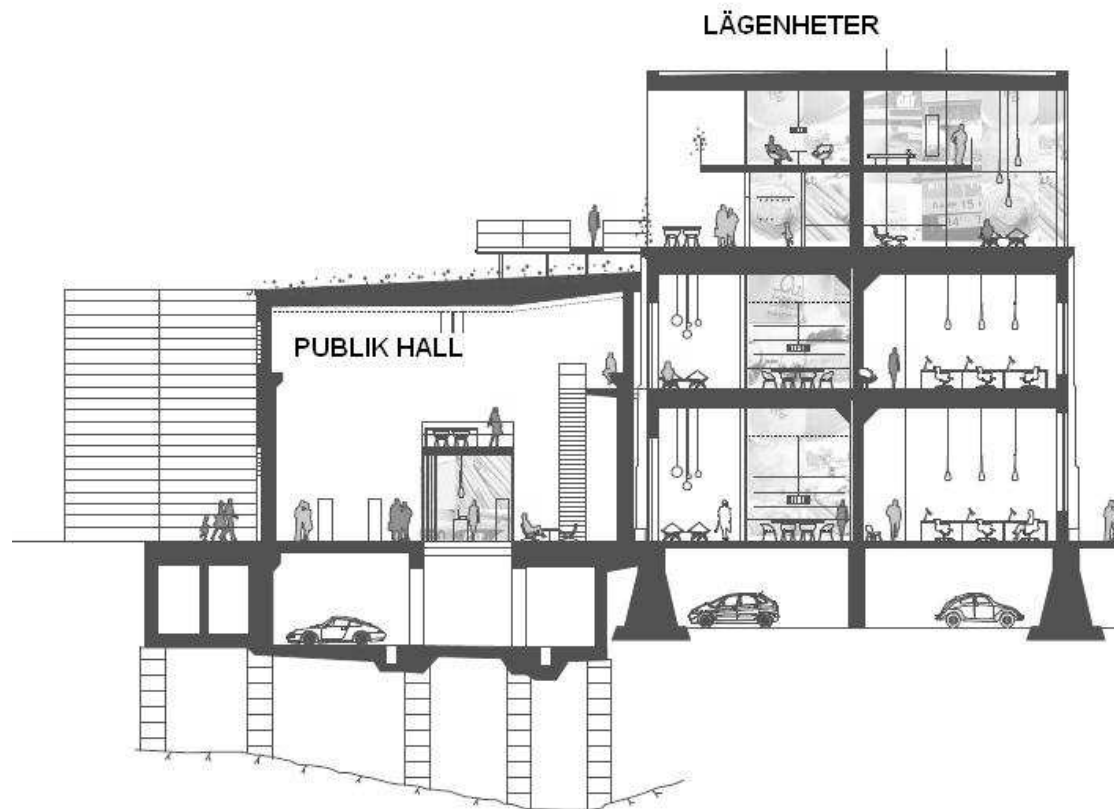
Störst nytta av ett Paranssystem i denna byggnad finns i entréplan. Plan 2 har tack vare sina takfönster redan god tillgång till dagljus och det är överflödigt att montera ett Paranssystem på den våningen. I entréplan gör byggnadens stora djup på ca 20 meter att det trots de stora fönstren kan bli svårt att få in dagsljus till mitten av byggnaden. Det stora djupet ger också begränsningar i hur bostäderna kan delas av.



Figur 7.8 Rödmarkerat område kan med fördel belysas av Paranssystem

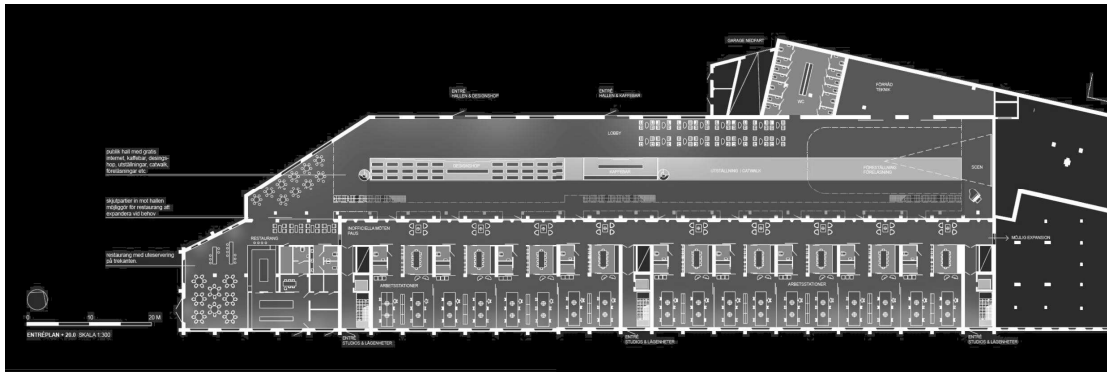
Vid användning av ett Paranssystem för belysning i mitten av byggnaden finns möjligheten att dela av lägenheterna i fler rum och trots detta få in dagsljus i lägenhetens mitt. Dessa lägenheter har i dagens förslag en öppen planlösning men med tanke på storleken på 170 m² skulle lägenheten kunna delas av i 2-3 rum om dagsljusstillgången säkras. Ytan i mitten av byggnaden är ca 70-80 m² vilket innebär att det skulle behövas 2 Paranssystem. Om Paranssystemet kompletteras med elektrisk belysning kan antalet minskas till ett system per lägenhet. Lägenheten i den sydvästra gaveln har redan möjlighet till ljusinsläpp i mitten av lägenheten genom fönster och behöver på grund av detta inget Paranssystem. Eftersom originalförslagen har stora fönster kommer troligtvis ingen energibesparing göras genom att installera ett Paranssystem då ingen elbelysning byts ut. Den stora fördelen blir möjligheten för en flexiblare planslösning med fler antal rum.

7.4.3 PM 5



Figur 7.9 Sektion PM 5

Detta är den största av de tre byggnaderna och också den med sämst möjligheter till ljusinsläpp på konventionellt sätt till byggnadens mitt. Byggnadens form gör att det inte fungerar att montera ljusmottagare på taket av den publika hallen då lägenheterna uppe på den andra delen kommer skymma solen största delen av dagen. Mottagarna måste därför monteras uppe på lägenhetstaken. Detta kommer innebära långa kabellängder och stora förluster om ljuset ska föras till kontoren på bottenvåningen. En möjlighet är att montera mottagarna på lägenhetstaken och föra ljuset till den publika hallen. Förutom nyttan av själva ljuset går det då att minska kylbehovet eftersom Paranssystemet inte tillför värme på samma sätt som elbelysning. Den publika hallen är ca 2780 m² stor vilket innebär att det behövs ca 70 Paranssystem för att lysa upp lokalen om Parans rekommendationer följs. Då byggnaden redan har fönster mot norr går det här att minska antalet Paranssystem. Om endast delen innanför utställningsytan ska lysas upp med hjälp av Paranssystem räcker det med ca 10 stycken. Detta skulle ge en belysningsstyrka på 150 lux i optimala förhållanden.



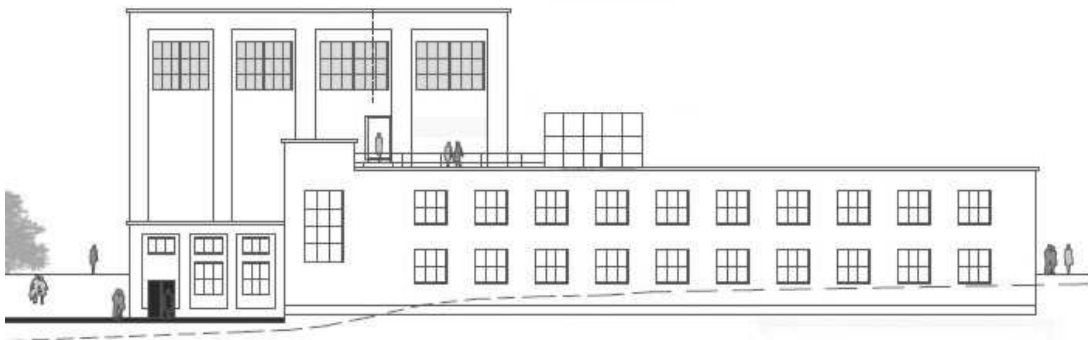
Figur 7.10 Entrepian PM5, rödmarkerat område får in dagsljus med hjälp av Paranssystem.

7.5 Aerogel

Aerogel passar sig väl i takfönster eller i fönster högt upp på byggnaden som endast är till för ljusinsläpp. Vid papyrusområdet kommer förändringen i isolering bli väldigt stor om fönstren byts ut mot aerogel då de nuvarande glasrutorna endast är enkelglas.

7.5.1 Panncentralen

Panncentralen som Karin Jakobsson i sitt examensarbete har låtit göra om till en utställningsplats för regionens designelever har höga stora fönster för ljusinsläpp. (Jakobsson K, 2008)



Figur 7.11 Panncentralen från Karin Jakobssons projekt De grönmarkerade fönstren ska bytas ut till Aerogel.

Dessa fönster som skulle lämpa sig för att bytas ut mot areogel har följande mått: (mm)

- 4 st 3300x3000
- 4 st 4200x3000
- 4 st 4200x6900

3 st	3300x6900
1 st	3300x6000
4 st	4200x2100
4 st	3300x2100

Total area 357 m²

Rapporten har tagit upp tre olika material som kombineras med aerogel. Hur isolerande aerogelkomponenterna blir beror mycket på vilket material aerogelen kombineras med och tjockleken på gelen. Dessutom påverkar dessa faktorer hur mycket ljus som släpps in i lokalen.

Kompositplattor är det alternativet som isolerar bäst men också släpper igenom minst ljus. Materialet har i många projekt använts mer som alternativ till väggar och tak än som alternativ till fönster. Där ett treglasfönster släpper igenom 70% av ljuset släpper kompositpanelerna endast igenom 9- 12 %. Detta gör att det blir för mörkt i panncentralen med enbart kompositplattor och att dessa i så fall får kompletteras med vanliga glasrutor.

Skulle polykarbonatplattor användas skulle en lösning med 40 mm och 7 plattor vara rimligt. Detta ger ett U-värde på 0.54 W/m² K och ett ljusgenomsläpp på 20 %. För motsvarande tjocklek på aerogel fast kombinerat med glas blir isoleringen lite bättre med ett U-värde på 0.42 W/m² K, enligt Figur 2.8. Ljusgenomsläppet finns inte angett annat än att det är mindre än 59%. Detta kan antas vara för en ruta med 10 mm aerogel inlagt, läggs 40 mm kan det antas att ljusgenomsläppet minskar till 30% enligt aerogelens egenskaper i Tabell 3.1.

Egenskaperna för det isolerade glaset och polykarbonatplattorna kan anses vara relativt lika vilket betyder att det är mer en kostnadsfråga vilket material som används. Då aerogelen är en bra ljudisolering innebär detta att det inte behövs sättas upp lika mycket ljuddämpning som annars skulle behövas i en så hög lokal som pannrummet.

Den diffuserande effekten av aerogel gör att ljuset från fönstren kommer att sprida sig över hela lokalen och man undviker även problem som bländning.

7.5.2 Energiberäkning

De glasen som sitter i industribyggnaden är enkelglas och isolerar väldigt dåligt. (Jakobsson K, 2008). Fyra mm enkelglas har ett U värde på 5.8 W/m² K. I beräkningarna användes medeltemperaturen för Göteborg under ett år. Medeltemperaturen är 7 ° C. Inomhustemperaturen sätts till 20° C.

$$Q = U \cdot A \cdot (t_u - t_i) \quad (7.1)$$

$$5.8 \cdot 357 \cdot (7-20) \approx 26 \text{ kW}$$

$$\text{Detta ger värmeförlusten/ år: } 26 \cdot 24 \cdot 365 \approx 227760 \text{ kWh}$$

Ett vanligt 3 glas fönster som är bra isolerat har ett U-värde runt 1.0 W/m² K.

$$1.0 \cdot 357 \cdot (7-20) \approx 4.6 \text{ kW}$$

Värmeförlusten på ett år blir då 40296 kWh.

För enkelhets skull väljs isoleringsglas med aerogel som jämförelse.

$$0.42 \cdot 357 \cdot (7-20) \approx 2.6 \text{ kW}$$

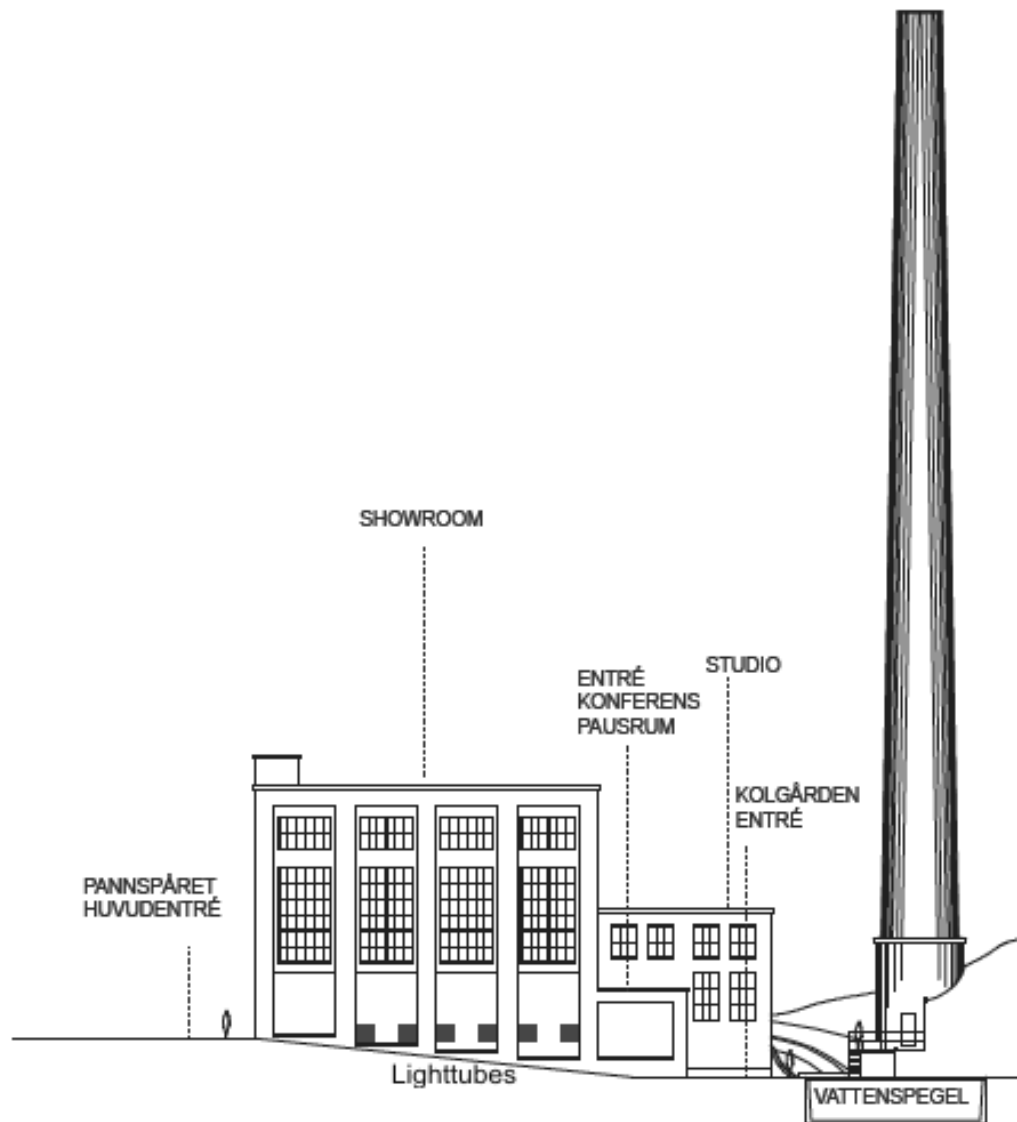
Värmeförlusten på ett år blir då 22776 kWh.

Värmeförlusten genom klimatskalet måste kompenseras för. På sommaren görs detta till stor del av energi från solen. På vintern måste värmeförlusten kompenseras för med uppvärmning. Om energin kostar 1 kr/ kWh så innebär detta en besparing på ungefär 18000 kr per år med aerogelen jämfört med 3 glasfönstren och en besparing på 205000 kr jämfört med de nuvarande fönstren. Att värma upp fabriker med direktverkande el är inte vanligt, men det ger ändå en idé om besparingarna som finns att göra. Eftersom man under sommaren inte behöver använda uppvärmning i samma utsträckning är detta en överskattning.

7.6 Lighttubes

Att integrera lighttubes i en befintlig byggnad kräver större ingrepp än att montera ett Paranssystem. Byggnaderna i Papyrusområdet är i behov av renovering och stora åtgärder kommer utföras under ombyggnaden från fabrikslokaler till bostäder och kontor. Under renoveringen finns goda möjligheter att integrera lighttubes på väl valda delar av byggnaderna för att ge möjlighet att föra in extra dagsljus.

7.6.1 Panncentralen



Figur 7.12 Fasad panncentralen, Från denna fasad kan horisontella Lighttubes dras för att föra in dagsljus.

Utrymmet som enligt förslag är ”teknik och förråd” har idag ingen tillgång till dagsljus, genom att dra in lighttubes från byggnadens tak in till detta utrymme kan en god tillgång till dagsljus säkerställas. En lighttube med diametern 1000 mm räcker för att lysa upp en yta på 60 m^2 med mellan 7600 och 2500 lux, se Kapitel 6. För att lysa upp denna lokal som är ca 500 m^2 skulle det behövas 8 stycken lighttubes. Då varje lighttubes tar upp nästan $0,8 \text{ m}^2$ och dras från taket ner genom showroomet är

det önskvärt med så få lighttubes som möjligt. Det finns också möjlighet att dra in lightpipes horisontellt från den sydvästra fasaden men då kommer byggnaden skugga solen delar av dagen. Fördelen blir att det inte blir några rör dragna genom showroomet.

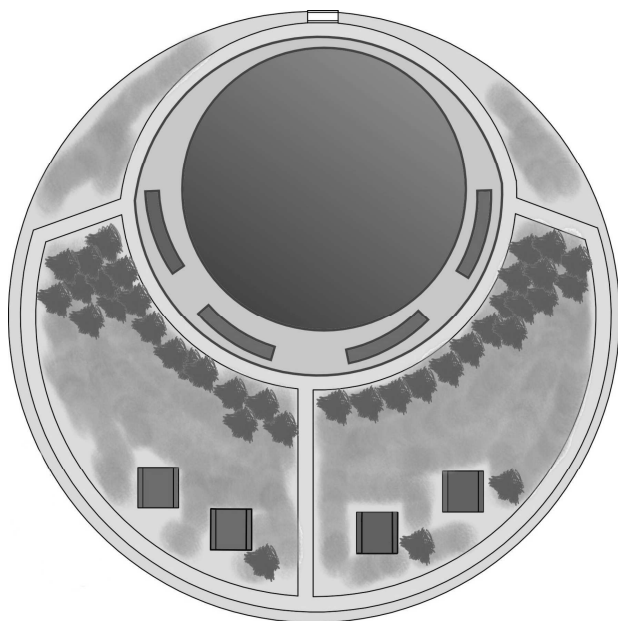
7.7 ETFE- kuddar

ETFE-kuddar lämpar sig väl att använda i takfönster eller för att skapa ett uterum. Deras ljusgenomsläpplighet och isolerande förmåga gör det möjligt att skapa en luftig och ljus miljö. För att utnyttja plastens arkitektoniska möjligheter planeras ett spektakulärt uterum som är tillgängligt från bostadshusen. Tanken är att bygga om området kring den före detta sedimenteringsbassängen till en grön oas innesluten i en kupol av ETFE-plast. Själva bassängen byggs om till en pool för boende i området och runt omkring finns utrymme för rekreation.



Figur 7.13 Områdeskarta med ETFE-kupol inritad

Tack vara ETFE-kuddarnas isolerande förmåga går det att förlänga sommaren och göra så att området går att nyttja från tidig vår till sent in på hösten. Vattnet i poolen fungerar som en buffert för värmen från solen vilket jämnar ut temperaturen över dygnet och hjälper till att göra området behagligt att vistas i även under sommaren. Kupolen täcker området från Mölndalsån och sträcker sig över den blivande poolen och 60 m mot slutningen i söder. En del av slätten till söder om bassängen måste schaktas bort för att göra plats åt kupolen.



Figur 7.14 Konceptbild av ETFE-kupolen med pool och picknickbord inritade

Arean på området blir ca 2800 m² där den cirkulära poolen tar upp ca 700 m². Resten av området utnyttjas till plats för bord, lekplats och grönområde med buskage och lägre träd. Höjden på kupolen är 15 meter för att skapa känslan av att vara utomhus och ge växterna möjligheter att växa på höjden. Höjden ger kupolen ett imponerande utseende men gör att den inte tar över intrycket av området fullständigt. Kuddarna ligger på ett Eden projekt inspirerat stålskelett med hexagonala aluminiumramar för infästning. Då arean på kupolen är nästan 4000 m² behövs 2 stycken pumpar med effekten 200 W vardera. Hur mycket kuddarna är uppblåsta varierar under året beroende på hur mycket isolering som behövs. Under sommaren sänks trycket i kuddarna då isolering inte behövs i lika stor grad. Fågelskydd måste användas så inte fåglar gör hål i plasten med sina näbbar och klor.

ETFE-plast har väldigt dåliga ljuddämpande egenskaper men då kupolen ligger en bra bit från Mölndalsvägen och i skydd av andra byggnader kommer inte de som vistas i uterummet att störas av ljud från trafik. Ljud från väder och vind kommer att höras igenom och t.o.m. förstärkas av plasten, men detta bidrar till känslan av att vara utomhus.

7.7.1 Energiförbrukning ETFE-kuddar

Tabell 7.1 Medeltemperatur och Globalstrålning i Göteborg under året

Månad	Medeltemperatur (°C)	Globalstrålning (kWh/m ²)
Februari	-2	30
April	5	110
Juni	15	170
Augusti	15	140
Oktober	9	35
December	0	6

Area kupol $\approx 3900 \text{ m}^2$

Yta för solstrålar att träffa rakt uppifrån $\approx 2830 \text{ m}^2$

Energiförlust transmission

$$Q = U \cdot A \cdot (t_u - t_i) \quad (7.2)$$

Energiförlust luftläckage

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot \dot{v} \cdot (t_u - t_i) \quad (7.3)$$

7.7.2 Energiförluster

En temperatur på minst 20 °C inne i kupolen krävs för att det ska vara behagligt att vistas och bada i poolen.

En 3 lagers ETFE-kudde har U-värdet 1.96 W/m² °K.

Transmission		Per månad
Februari	$1.96 \cdot 3900 \cdot (-2-20) \approx -168 \text{ kW}$	-112896 kWh
April	$1.96 \cdot 3900 \cdot (5-20) \approx -115 \text{ kW}$	-82800 kWh
Juni	$1.96 \cdot 3900 \cdot (15-20) \approx -38 \text{ kW}$	-27360 kWh
Augusti	$1.96 \cdot 3900 \cdot (15-20) \approx -38 \text{ kW}$	-28272 kWh
Oktober	$1.96 \cdot 3900 \cdot (9-20) \approx -80 \text{ kW}$	-59520 kWh
December	$1.96 \cdot 3900 \cdot (0-20) \approx -153 \text{ kW}$	-113832 kWh

Luftläckage

Antas vara passivhusstandard då materialet är tätt och det är få fogar då kuddarna kan göras mycket stora. Detta är 0.3 l/s m^2 vid ett övertryck på 50 Pa. Detta är ett stort övertryck så för att få fram det verkliga luftläckaget används 10 % av detta.

Energiförlust luftläckage		Per månad
Februari	$1.2 \cdot 1000 \cdot 0.0003 \cdot (-2-20) \cdot 3900 \cdot 0.1 \approx -3.09 \text{ kW}$	-2076 kWh
April	$1.2 \cdot 1000 \cdot 0.0003 \cdot (5-20) \cdot 3900 \cdot 0.1 \approx -2.11 \text{ kW}$	-1519 kWh
Juni	$1.2 \cdot 1000 \cdot 0.0003 \cdot (15-20) \cdot 3900 \cdot 0.1 \approx -0.7 \text{ kW}$	-520 kWh
Augusti	$1.2 \cdot 1000 \cdot 0.0003 \cdot (15-20) \cdot 3900 \cdot 0.1 \approx -0.7 \text{ kW}$	-520 kWh
Oktober	$1.2 \cdot 1000 \cdot 0.0003 \cdot (9-20) \cdot 3900 \cdot 0.1 \approx -1.54 \text{ kW}$	-1155 kWh
December	$1.2 \cdot 1000 \cdot 0.0003 \cdot (0-20) \cdot 3900 \cdot 0.1 \approx -2.81 \text{ kW}$	-2090 kWh

Globalstrålning -tillförsel av energi från solen per månad på arean av byggnaden

Februari	$30 \cdot 2830 \approx 84900 \text{ kWh}$
April	$110 \cdot 2830 \approx 311300 \text{ kWh}$
Juni	$170 \cdot 2830 \approx 481100 \text{ kWh}$
Augusti	$140 \cdot 2830 \approx 396200 \text{ kWh}$
Oktober	$35 \cdot 2830 \approx 99050 \text{ kWh}$
December	$6 \cdot 2830 \approx 16980 \text{ kWh}$

Energiberäkningarna visar att när solen är uppe uppnås den önskade minimitemperaturen på 20 grader från april till oktober. Vi kan anta att för stora delar av mars och november kommer det att vara behagligt att vistas i Kupolen. På sommaren tillförs ett värmeöverskott på ca 450000 kWh. Genom att inte fylla kuddarna med så mycket luft minskas solfaktorn till 0.05 och även isoleringen sänks. (designbuild-network.com, 2011) Det kan trots detta antas att det behövs en ventilation för hygienkrav och avfuktning av luften.

8 Slutsats

Alternativ till glas i en byggnad har redan använts runt om i världen och skulle kunna användas även här i Sverige. De material och produkter vi har studerat har sina användningsområden och både fördelar och nackdelar. Även glas har för och nackdelar men då det är ett så använt och studerat material har människan lärt sig att utnyttja materialets potential och bygga bort nackdelarna. Genom fler studier av t.ex. ETFE-plast eller aerogel kommer dessa kunna genomgå samma process och bli mer användbara. Man kommer att lära sig i vilka situationer det är bättre att använda alternativen istället för glas. Om fler företag använder materialen kommer även massprodueringen att komma igång och priset på materialen att sjunka.

Glas har fördelen att det i dagens läge är det enda materialet som det går att få en bild genom som inte är förvrängd på något vis. Forskningen på klar aerogel skulle kunna förändra detta.

De alternativ vi har studerat kan delas in i två olika kategorier. Solartubes och fiberoptiska dagssystem tillhör kategorin där man för in ljus från utsidan av klimatskalet till ställen där det inte hade kunnat komma annars. ETFE-kuddar och Aerogel sitter i klimatskalet och förändrar endast de arkitektoniska och byggnadstekniska möjligheterna.

Detta gör att Solartubes och fiberoptiska system endast behövs användas vid väldigt specifika byggnationer. När väldigt djupa hus som inte har möjlighet till takfönster konstrueras är dessa ljussystem ett bra alternativ. I dagens läge kanske inte detta behövs ofta, men med förtätningen av städer och tendenser att bygga större och högre punkthus kan dessa system i framtiden bli mer användbara.

ETFE-kuddarna och speciellt aerogelen är ett mer allmängiltigt alternativ till glas i byggnader. Mycket av dagens glas skulle kunna ersättas med dessa material för att förbättra isoleringen. Dessutom blir byggnadsdetaljer som tidigare var svårtkonstruerade betydligt enklare att göra med dessa nya material. Exempel på detta är böjda valv av ljusgenomsläppligt material.

ETFE-kuddar är ett bra alternativ till glas i byggnader som inte har krav på ett hårt byggnadsskal. Priset och transportererna gör det mycket billigare att göra stora ljusgenomsläppliga ytor. Detta innebär att enorma uterum som tidigare vore ekonomiskt omöjliga blir mer realistiska. Isoleringen kuddarna ger, är inte tillräckligt bra för att man ska kunna använda materialet som ersättning av 3 glas fönster i bostäder eller kontor. Det fyller dock sin funktion som ersättning av glas i utrymmen utan stora krav på isolering.

Att bygga en kupol som i förslaget i Mölndal för att kunna förlänga utesäsongen är möjligt. De kvalitéer i form av rekreation och spektakulär arkitektur som denna byggnad skulle tillföra området skulle kunna motivera kostnaden. Nackdelen med ETFE plastens dåliga ljudisolering motverkas genom att placeringen av kupolen är långt ifrån störande buller.

Aerogelen är det av materialen som vi känner har mest potential att i framtiden bli en utmanare till glas. Lyckas forskarna tillverka genomskinlig aerogel till ett rimligt pris

är i så fall aerogel bättre än glas i aspekter som isolering, ljuddämpning, styrka och vikt.

Aerogelen skulle fungera bra som ersättning till glasrutorna i panncentralen i Papyrusområdet och ge signifikanta energibesparingar. Materialet är dock fortfarande väldigt dyrt. Skulle rutorna i panncentralen ersättas med aerogel och materialet har ett pris på 600 euro/m² skulle detta kosta 1.9 miljoner kronor. 3 glas fönster kostar ca en tredjedel av detta vilket innebär att det tar 35 år att tjäna in kostnaden med ett energipris på 1 kr/ kWh och en uppvärmning under hela året. Jämfört med enkelglaset tar det bara 10 år att tjäna ihop kostnaden.

Ett fiberoptiskt dagsljussystem fungerar bra för att leda in ljus i stora byggnader. Man skulle med hjälp av detta kunna leda in ljus i delar av byggnader där inga fönster finns utan att påverka byggnadernas utseende. På grund av att fiberkablarna är möjliga att böja och inte tar stor plats kan ljuset ledas in djupt i byggnader utan att störa verksamheten. Största nackdelen med ett fiberoptiskt dagsljussystem är priset samt behovet av kompletterande elektrisk belysning. Den extra kostnaden blir svår att motivera endast genom el besparingar. Fördelen är att dagsljus kan nå rum som annars hade fått nöja sig med elektrisk belysning. Detta skapar mer uthyrningsbar yta vilket är den stora vinsten. Detta ska inte ses som ett alternativ till fönster utan bör användas där det inte är möjligt att montera fönster.

Papyrusområdet i Mölndal har bra förutsättningar för att integrera ett fiberoptiskt dagsljussystem på grund av byggnadernas stora djup. Panncentralen har på grund av sin placering och sin höjd goda förutsättningar för att fånga upp solljuset på taket utan att solen skuggas av omkringliggande byggnader. Sämst förutsättningar har PM 5 då byggnadens form och storlek gör att fiberkablarna behöver dras långa sträckor med stora förluster som resultat. Här skulle ett system med fiber av kvartsglas vara fördelaktigt men detta medför ett mycket högt pris.

Det finns vissa problem med att integrera lighttubes i en byggnad. Ett av de stora problemen är att lighttuben tar upp mycket yta och det blir stora förluster vid användning av många vinklar. Detta gör att det blir svårt att nå ytor som inte är i kontakt med tak eller fasad eftersom rören då måste dras genom ett annat rum. Lighttubes skulle med fördel kunna användas i byggnader som annars skulle haft ett atrium då ljuset kan ledas ner genom byggnaden och spridas jämt på varje våning. Fördelen blir att man får bättre isolering än ett atrium och man får ner mer ljus längre ner samtidigt som man använder mindre yta.

Att integrera lighttubes i Papyrusområdet är möjligt men de ytor som är i behov av dagsljus ligger ofta ofördelaktigt till i byggnaderna med hänsyn till montering av lighttubes. I Panncentralen är det möjligt att montera horisontella lightpipes för att föra in dagsljus till bottenvåningen men risken är att Magasin 17 skuggar solen stor del av dagen.

Alla de material eller produkter vi har studerat har sin funktion och skulle kunna lösa många problem på ett bygge om arkitekter och konstruktörer var medvetna om möjligheterna de ger. De närmsta åren tror vi att användningen av de material vi har studerat kommer att öka och även fler och bättre alternativ kommer att framställas. Då byggbranschen är känd för att vara konservativ är det viktigt att företagen informeras om fördelar och nackdelar med de nya alternativen.

Tack vare att det på senare år har blivit mer fokus på miljön är det lättare att visa fördelarna med dessa material och produkter. Dessa lösningar kan hjälpa till att både öka isoleringen på byggnader och föra in ljus utan att använda elektricitet.

9 Referenser

Edwards, L. Torcellini, P. (2002) A literature review of the effects of Natural Light on Building occupants. www.parans.se (2011-04-12)

Askeröth, M. Leijon, J. (2004) Dagsljus som belysning – En utredning av ett fiberoptiskt dagsljussystem. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Examensarbete inom institutionen för

Energimyndigheten. (2011) Ljussättning och ljusdesign. www.energimyndigheten.se (2011-04-12)

Elektromagnetisk strålning. (2011) Nationalencyklopedin. www.ne.se. (2011-04-12)

Ljuskultur. (2009) Fakta och miljö. www.ljuskultur.se. (2011-04-13)

Carlson, P-O. (2005) Bygga med glas.

Parans. (2011) www.parans.se (2011-04-07)

Himawari. (2011) http://www.himawari-net.co.jp/e_page-index01.html (2011-04-08)

Oak Ridge National Laboratory (2007) Hybrid solar lighting. www.discoveret.org (2011-04-22)

Monodraught. (2011) www.monodraught.co.uk (2011-04-27)

Solatube. (2011) www.solatube.com/ (2011-04-27)

Yeang, K. (2003) Light pipe paper www.scribd.com (2011-04-28)

Monodraught. (2011) Sunpipe price list. issuu.com (2011-04-29)

Dr. Ayers, M. (2000) Origins of aerogel: Part 4: The Early Days of Aerogels. www.aerogel.org (2011-03-30)

Kistler, S S. (1931) Coherent Expanded Aerogels and Jellies. *Nature*, Vol. 127, Nr, 3211, ss, 741,

Cabot Corporation. (2009) Nanogel daylighting – The new standard in eco daylighting solutions. www.cabot-corp.com/Aerogel/Downloads/DL200910131141AM6687 (2011-03-30)

Schultz, J M. Jensen, K. Kristiansen, F H. (2005) Super insulating aerogel glazing. Lyngby, Denmark. Elsevier

Aerogel.org. (2011) Silica Aerogel. www.aerogel.org/ (2011-03-31)

Microstructured Materials Group. (2010) Making Silica Aerogels. <http://eetd.lbl.gov/> (2011-04-01)

MBDC. (2011) Certification Overview. www.mbd.com (2011-04-01)

Kalwall. (2011) Lighting up the army www.kalwall.com/rcntproj/70.htm (2011-04-06)

Kayne, R. (2011) What is polycarbonate.
<http://www.wisegeek.com/what-is-polycarbonate.htm> (2011-04-06)

Roda. (2011) Nanogel Brochure. roda.de/index_en.php?id=22 (2011-04-07)

OKALUX. (2010) Infotext 10/06. www.okalux.de (2011-04-07)

Airglass (2011) What is Airglass. www.airglass.se (2011-04-11)

Stoaks system. (2011) Kalwall brochure.
http://www.stoakes.co.uk/documents/Kalwall_Brochure.pdf (2011-04-12)

Todo arquitectura Revista digital. (2011) ETFE- Ethylene tetrafluoroethylen. Copolymer. www.todoarquitectura.com (2011-04-19)

Tanno, S.(2001) ETFE foil cushions as an alternative to glass for atriums and rooflights. International Conference on Building, 1997 Envelope Systems and Technology Conference, CWCT, Bath, UK

Robinson-Gayle,S. Kolokotroni M. Cripp, A. Tanno, S.(2001) ETFE foil cushions in roofs and atria. Middlesex, UK.Elsevier

Architen Landrell. (2011) ETFE Foil: A Guide to Design. www.architen.com (2011-04-20)

Robinson, L. (2005) Struktural Opportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene). Massachusetts: Master of engineering in civil and environmental engineering.Massachusetts institute of technology

Building. (2010) Clear choices. www.building.co.uk (2011-05-12)

Jakobsson K. (2008) Transformation av papyrus fabriker- centrum för den kreativa industrin. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Examensarbete inom institutionen för arkitektur.

Vänsterpartiet. (2009)Mölnadal stad köper det gamla pappersbrukets mark och en epok går ur tiden.http://www.vansterpartiet-molndal.se/folk19_Papyrus.htm (2011-05-11)

Arbetsmiljöverket. (2011) Vilka krav kan man ställa på kontorsbelysning?.
www.av.se (2011-05-13)

Smhi (2011) www.smhi.se (2011-05-13)

White arkitekter (2007) Vision Mölnalds bruk

Simrén och Månsson Arkitektkontor AB (2007) Vision Mölnalds bruk- Bo invid Mölnaldsån

9.1 Figurförteckning

- 2.1 <http://www.prophotolife.com/tech-update-normmonkey-updates-the-battle-of-the-bulbs/> (2011-04-19)
- 2.2 <http://www.liber.se/plus/E470183801/faktaboken.htm> (2011-04-20)
- 2.3 <http://www.optronik.de/tl.shtml> (2011-04-19)
- 2.4 <http://www.liber.se/plus/E470183801/faktaboken.htm> (2011-04-19)
- 2.5 www.osram.se (2011-04-20)

- 3.1
<http://www.aerogel.org/?p=891&px=%2FClassic+Aerogel+Photos%2Fbrickonanaerogel.jpg> (2011-04-07)
- 3.2 http://www.stoakes.co.uk/documents/Kalwall_Brochure.pdf (2011-04-12)
- 3.3 <http://www.kalwall.com/rcntproj/41.htm> (2011-04-17)
- 3.4 <http://www.rdgusa.com/projects/greenlief-readiness-center-1> (2011-04-05)
- 3.5 Roda. (2011) Nanogel Brochure. roda.de/index_en.php?id=22 (2011-04-07)
- 3.6 Roda. (2011) Nanogel Brochure. roda.de/index_en.php?id=22 (2011-04-07)
- 3.7 OKALUX. (2010) Infotext 10/06. www.okalux.de (2011-04-07)
- 3.8 <http://www.airglass.se/> (2011-04-09)

- 4.1 http://www.discoveret.org/fornl/FORNL_2-21-07.pdf (2011-04-18)
- 4.2 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresnel_lens.svg?uselang=sv (2011-04-17)
- 4.3 <http://images.yourdictionary.com/fiber-optics-glossary> (2011-04-18)
- 4.4 <http://discovermagazine.com/2004/jul/let-the-sun-shine-in> (2011-04-19)
- 4.5 <http://www.parans.com/swe/shop/> (2011-04-17)
- 4.6 <http://discovermagazine.com/2004/jul/let-the-sun-shine-in> (2011-04-29)

- 5.1 <http://www.vector-foiltec.com/cms/gb/projects/type/typelistcs.php?recordID=149> (2011-04-15)
- 5.2 Architekten Landrell. ETFE Foil: A Guide to Design www.architen.com (2011-04-20)
- 5.3 <http://www.vector-foiltec.com/> (2011-04-21)
- 5.4 <http://www.sir-robert-mcalpine.com/projects/?id=485> (2011-04-20)

- 6.1 http://www.solatube.com/en/product_overview.htm (2011-04-27)
- 6.2 <http://www.monodraught.co.uk/technical/u-values.php> (2011-04-27)
- 6.3 <http://monodraught.com/sunpipe/domestic/fire.php> (2011-04-27)
- 6.4 Yeang, K. (2003) Light pipe paper www.scribd.com (2011-04-28)
- 6.5 <http://www.solatube.se/homeowners.php> (2011-04-27)
- 6.6 Yeang, K. (2003) Light pipe paper www.scribd.com (2011-04-28)
- 6.7 Yeang, K. (2003) Light pipe paper www.scribd.com (2011-04-28)
- 6.8 Yeang, K. (2003) Light pipe paper www.scribd.com (2011-04-28)

- 7.1 Simrén och Månsson Arkitektkontor AB (2007) Vision Mölndals bruk- Bo invid Mölndalsån
- 7.2 White arkitekter (2007) Vision Mölndals bruk
- 7.3 White arkitekter (2007) Vision Mölndals bruk

- 7.4 Simrén och Månsson Arkitektkontor AB (2007) Vision Mölndals bruk- Bo invid Mölndalsån
- 7.6-7.12 Jakobsson K. (2008) Transformation av papyrus fabriker- centrum för den kreativa industrin. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Examensarbete inom institutionen för arkitektur.

9.2 Tabellförteckning

- 3.1 Cabot Corporation. (2009) Nanogel daylighting – The new standard in eco daylighting solutions.
www.cabot-corp.com/Aerogel/Downloads/DL200910131141AM6687 (2011-03-30)
- 3.2 Stoaks system. (2011) Kalwall brochure.
http://www.stoakes.co.uk/documents/Kalwall_Brochure.pdf (2011-04-12)
- 3.3 Roda. (2011) Nanogel Brochure. roda.de/index_en.php?id=22 (2011-04-07)
- 5.1 Robnsson, L. (2005) Struktural Opportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene). Massachusetts: Master of engeneering in civil and environmental engineering.Massachusetts institute of technology
- 6.1 Monodraught.(2011) www.monodraught.co.uk (2011-04-27)
- 6.2 Monodraught.(2011) www.monodraught.co.uk (2011-04-27)
- 6.3 Solatube. (2011) www.solatube.com/ (2011-04-27)
- 7.1 Smhi (2011) www.smhi.se (2011-05-13)