

VEILEDER FOR BRUK AV TRANSLUSENTE FASADER

LUND HAGEM
ARCHITECTS

AtelierOslo

 **asplan viak**

 **NTNU**
Det skapende universitet

Forord

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra FoU-prosjektet «Verktøy for vurdering av dagslysutnyttelse og optimalisering av energibruk ved bruk av translusente fasader». Prosjektet er støttet økonomisk av Forskningsrådets RENERGI-program.

Prosjektet som startet opp i januar 2010 er gjennomført i i samarbeid mellom prosjektpartnerne:

- Asplan Viak AS
- Lund Hagem Arkitekter AS
- Atelier Oslo AS
- NTNU v/ Fakultet for arkitektur og billedkunst

Høsten 2010 kom også Oslo kommune v/Kulturbyggene i Bjørvika med som partner og økonomisk bidragsyter.

Denne rapporten er utarbeidet i et samarbeid mellom:

- Fritjof Salvesen, Asplan Viak
- Una Myklebust Halvorsen, Asplan Viak
- Alexander Marini, Asplan Viak
- Barbara Matusiak, NTNU
- Kine Angelo, NTNU
- Karin Fridell Anter, NTNU
- Einar Hagem, Lund Hagem Arkitekter
- Vegar Voraa, Lund Hagem Arkitekter
- Nils Ole Brandtzæg, Atelier Oslo
- Thomas Liu, Atelier Oslo

Rapporten er bygget opp med en innledende oversikt over tilgjengelige materialer og produkter. De mest lovende av disse er plukket ut og for vurderinger med hensyn til bruk i fasader. Det er gjennomført laboratoriemålinger og tester vedrørende dagslys, blending og fargeforskyvning. Til slutt er det gjennomført energiberegninger som dokumenterer energisparegevnster med bruk av de utvalgte fasadeløsningene.

Sandvika april 2012

Fritjof Salvesen
Prosjektleder

INNHold

1. Innledning	4
2. Translusente material- og fasadeprodukter	5
2.1. Beskrivelse av produktene	5
2.2. sammenstilling av ulike produkter	8
3. Translusente produkter som fasadesystem.....	15
3.1. ScobatHerm med Nanogel som fyllmateriale.	16
3.2. Solera, med Nanogel som fyllmateriale.....	21
3.3. Qbiss Air	26
3.4. GlassX®crystal	30
3.5. 3-lags glass med translucent folie fylt med Krypton eller Argon	34
3.6. Oppsummering translucente fasadeprodukter.....	37
4. Dagslysvurderinger og fargeforskyvninger	41
4.1. Dagslyslaboratoriet ved NTNU.....	41
4.2. Transmittans av translucente fasadematerialer	44
4.3. Blending.....	49
4.4. Fargeforskyvning	57
5. Energiberegninger	68
5.1. Teori og inndata.....	68
5.2. Vurdering av programvare	72
5.3. Effekten av translucente fasader.....	81
5.4. Konklusjon/sammendrag	88
6. Konklusjoner	91

1. INNLEDNING

Bakgrunn

Behovet for en dramatisk reduksjon av utslipp av klimagasser har ført til økt etterspørsel etter mer energieffektive bygg. Dette er i ferd med å drive utviklingen bort fra bruk av store glassfasader som har vært vanlig de siste årene. Samtidig ønsker arkitekter, byggherrer og brukere innslipp av dagslys. For å møte disse tilsynelatende motstridende ønsker utvikles det stadig nye bygningsmaterialer, blant annet translusente fasader med for eksempel høyisolerende nanogel. Det eksisterer en rekke verktøy for å beregne bygningers dagslystilgang, termisk inneklima og netto energibehov. Slike verktøy er av stor betydning for å lykkes med design av energieffektive bygg, og de benyttes både i en tidlig designfase og i detaljprosjektering. Det er imidlertid grunn til å undersøke i hvilken grad programmene er lagt til rette for bruk av nye materialer som translusente fasader.

Translusente fasader transmitterer lys, men beholder ikke den visuelle kontakten da det ikke er mulig å se gjennom og gjenkjenne objekter på den andre siden. Translusente fasader bruke blant annet i museer og andre steder der man ønsker diffust lys.

Mål

Hovedmålet for prosjektet har vært:

- Å utvikle bedre verktøy for optimalisering av energibruk ved bruk av translusente fasader
- Å undersøke om translusente fasader kan gi økt utnyttelse av dagslys slik at elforbruket til belysning reduseres uten at eventuelt økt kjøle- og varmebehov gir et totalt høyere energiforbruk
- Å vurdere om disse systemene gir økt risiko for blending.

Videre var det et mål å heve kunnskapsnivået om disse løsningene i byggebransjen.

Ulike typer translusente fasadesystemer skulle identifiseres og sentrale egenskaper beskrives. Dagslysutnyttelse, blendingsproblematikk og den visuelle formidlingsgraden skulle undersøkes.

Videre skulle ulike energiberegningsprogrammer vurderes for å finne frem til de best egnede for å optimalisere bruk av translusente fasadeløsninger ut fra energibruk til belysning, oppvarming og kjøling.

Prosjektet skulle avsluttes med å utarbeide en veileder for bruk av translusente fasader, hvilket altså er foreliggende dokument.

FoU-utfordring

Den mest sentrale FoU-utfordringen i prosjektet har vært å undersøke om eksisterende beregningsmetoder for energibruk i bygg er tilstrekkelige ved bruk av translusente fasader. En annen viktig problemstilling er blending. I bygninger med translusente fasader kan meget høye luminanser oppstå på innsiden av fasaden i perioder med sterkt sollys. En viktig utfordring er å undersøke om eksisterende metoder for estimering av blending er tilstrekkelige for gjennomskinnelige fasadekonstruksjoner.

2. TRANSLUSENTE MATERIAL- OG FASADEPRODUKTER

2.1. BESKRIVELSE AV PRODUKTENE

Translusente fasader har egenskaper i forhold til funksjonalitet, energi og visuelle virkemidler som gjør det til et supplement til tette vegger og glass. På samme måte som tette vegger, er de romdannende og skjermer samtidig som de slipper inn lys. I motsetning til glass har translusente fasader i ulik grad evnen til å spre det innfallende lyset, noe som gir et jevnere og roligere belyst interiør med mindre kontraster.

Disse materialene har også evnen til å fange lyset slik at det i seg selv blir lysende. Lyset (og mangel på lys) "materialiseres" på flaten. Dette er en egenskap som virker både fra innsiden (dagslys på dagtid) og utsiden (kunstig lys om kvelden og natten).

Nyere produktutvikling med bedre varmeisolasjonsegenskaper har gjort at translusente fasader nå også er energimessig interessante gjennom at behovet for elektrisitet til belysning kan reduseres samtidig som varmetapet er tilfredsstillende.

En translucent lysvirkning (brytning av lyset) kan oppnås på ulike måter og med ulike produkter. I hovedsak kan man dele de ulike translusente produktene inn i fire hovedkategorier:

1. Produkter som inneholder translusente og isolerende fyllmaterialer mellom transparente materialer som f.eks. aerogel.
2. Produkter hvor overflaten i seg selv er translucent. Eksempel på dette er polykarbonat eller frostet glass.
3. Transparente produkter, hvor en translucent effekt skapes med en folie. Eksempel på dette er vanlig 3-lags glass med translucent folie.
4. Produkter hvor materialet i seg selv kan endre seg. (phase change materials). For eksempel Glass X.

Disse kategoriene utgjør et stort utvalg av transparente og translusente fasadeprodukter, med forskjellige materialer som basis og ulike egenskaper.

Bildet til høyre viser kanskje det mest spennende av alle translusente materialer, nemlig monolitisk aerogel. Dette er verdens letteste faststoff og har blitt produsert med en egenvekt på $1,1 \text{ kg/m}^3$ og varmeledningsevne 0.016 W/m K . (ref. www.aerogel.org) Dette materialet er imidlertid komplisert og kostbart å produsere, og derfor er de tilgjengelige produktene på markedet krystallinsk aerogel i form av granulater eller i pulverform.

I slutten av dette kapittelet er de ulike produktene satt inn i en sammenlignbar matrise hvor de ulike materialene og egenskapene kommer frem.



The Flower, the Mona Lisa of aerogel pictures, dramatically demonstrates the superinsulating properties of silica aerogel by insulating a delicate, moist flower from the raging heat of a Bunsen burner (image credit Lawrence Berkeley National Laboratory) (ref. www.aerogel.org)

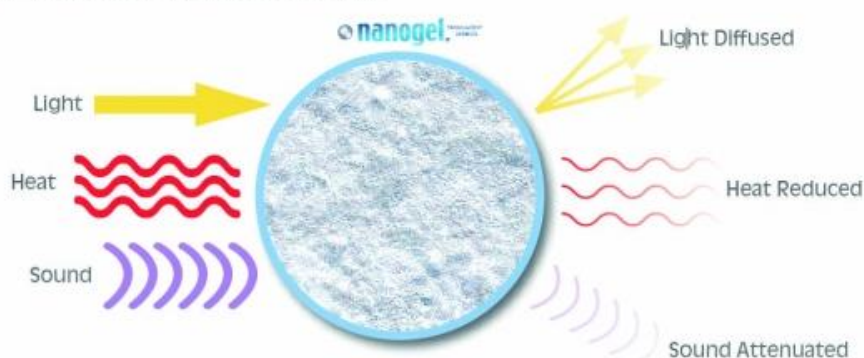
Produkter med translusent og isolerende fyllmasse

Det finnes ulike translusente isolasjonsmaterialer, men foreløpig er det eneste relevante produktet for bygg Nanogel, eller Lumira Aerogel som produktet nylig er omdøpt til.

Andre produkter, som monoflex som er brukt i togproduksjon, har også vært prøvd i byggeindustrien, men har problemer med å oppfylle gjeldende brannkrav.

Nanogel er produsert av firmaet Cabot og er et av verdens letteste og mest varmeisolerende solide materialer. Nanogel er en form for krystallinsk aerogel som består av 5 % silika, og 95 % luft. Nanogel består av en form for nettstruktur av glasstråder med svært små porer. Nanogel er med andre ord en nanoporøs silika med en gjennomsnittlig porestørrelse på 20 nanometer. Det er porestørrelsen og den unike strukturen som fanger sirkulasjonen av luft og hindrer varmetap og soloppvarming.

How Nanogel® Aerogel Works



Figur 1 Diagram som viser Nanogel sine egenskaper

Nanogel sin isolasjonsevne bestemmes av tykkelsen på panelet. Men når man øker tykkelsen reduserer man også lystransmisjonen (LT) og G-verdien tilsvarende. For denne typen produkter er det derfor en direkte sammenheng mellom isolasjonsevne og lystransmisjon. Nanogel er spesielt effektive i overlys siden isolasjonsevnen er den samme uavhengig av om produktet er horisontalt eller vertikalt i motsetning til vanlig isolerglass som får en dårligere isolasjonsevne ved horisontal montasje.

Nanogel diffuserer lyset på en helt annen og effektiv måte enn andre translusente produkter og filmer. Fargen på sollyset blir fanget på en karakteristisk måte, noe som gir et varmt lys til interiører hvor dette er brukt.

Hovedutfordringen til produktene på markedet i dag som bruker nanogel er størrelsen på formatene. Selv om Nanogel i seg selv har gode varmeisolerende egenskaper, er man avhengig av å produsere store nok formater slik at denne ikke blir forringet av for mange kuldebroer i karmdetaljene. En av utfordringene ved store formater er at Nanogel har en tendens til å sige sammen. Et svar på dette er at noen produkter har delt inn hulrommet i mindre kammere, som for eksempel Solera som har en honeycomb struktur som holder Nanogelen bedre på plass. I dagens marked er det Scobatherm som produserer de største formatene, etterfulgt av Solera. Det skjer imidlertid hele tiden utvikling på dette feltet noe som er avgjørende for at Nanogel skal bli et enda mer aktuelt produkt i fremtiden.

Kilder: <http://www.cabot-corp.com/aerogel>
http://en.wikipedia.org/wiki/Nanogel_%28insulation%29

Produkter hvor overflaten i seg selv er translusent

Eksempler på produkter hvor overflaten i seg selv er translusent er ulike former for polykarbonat og glassprodukter.

En translusent overflate gir andre muligheter for å utvikle høysisolerte produkter enn hvis produktet er transparent. Et eksempel på dette er Qbiss Air som er en videreutvikling av Heat mirror med flere gasskamre som blir delt inn av folier. Siden det ikke er et krav til at man skal se igjennom disse foliene kan man lage større formater uten at for eksempel rynker på foliene blir et problem.



Figur 2 Pratt Institute, Higgins Hall Insertion, arkitekt Steven Holl. Eksempel på bruk av translusent glassplank.

Kilder: <http://www.qbiss.eu/qbiss-air/>
<http://www.vink.no/PLASTPRODUKTER/Bygg/Last-ned-Byggkatalogen-her.aspx>
<http://www.stevenholl.com/project-detail.php?type&id=43>

Transparente produkter, hvor en translusent effekt skapes med en folie.

Å oppnå en translusent effekt med transparente produkter med folie kan være interessant av flere grunner. Man vil ved valg av en slik løsning stå helt fritt i opasiteten på folien slik at lystransmisjonen og G-verdien kan vurderes uavhengig av isolasjonsevnen i motsetning til produkter med en translusent fyllmasse.

Vanlige glassformater er fremdeles såpass mye større enn mange av de translusente produktene slik at forskjellen i U-verdi vil bli redusert fordi man får reduserte kuldebroer med store formater. Så i bygg hvor det er mulig å arbeide med store størrelser, vil glass kunne konkurrere med andre produkter på den gjennomsnittlige U-verdien.

Produkter hvor materialet i seg selv kan endre seg (phase change materials).

I noen produkter er det lagt inn materialer som endrer fase fra flytende til faststoff ved temperaturpåvirkning. I denne faseovergangen er det involvert relativt store varmemengder og slike materialer vil dermed kunne ha gode varmelagringssegenskaper

At et materiale er selvregulerende kan gi store fordeler i forhold til å regulere G-verdi og lystransmisjon.

I denne kategorien finnes foreløpig bare et produkt, Glass X, men dette er en kategori med stort potensial.

2.2. SAMMENSTILLING AV ULIKE PRODUKTER

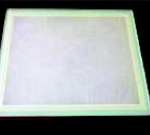
Følgende egenskaper er listet opp i etterfølgende tabeller med de ulike produktene:

1. *Tykkelse.* Tykkelsen på produktet kan være viktig for om produktet kan brukes i et standard fasadesystem, om det må gjøres tilpasninger eller det må benytte et eget system. For mange produkter er tykkelsen direkte forbundet med isolasjonsverdien.
2. *Mulige dimensjoner.* Størrelsen på formatene kan være avgjørende for den totale isolasjonsevnen man får på fasaden som helhet. Formatstørrelser på de ulike produktene er i kontinuerlig utvikling. Det kan være et poeng å kontakte produsenter direkte. Ofte er det mulig å spesialbestille større formater.
3. *U-verdi.* Isolasjonsevnen. I matrisen er det regnet med midtpunktverdi på selve materialet. Se også kapittel for translusente fasader hvor den gjennomsnittlige U-verdien for noen utvalgte produkter er beregnet i et standard fasadesystem.
4. *G-verdi.* Hvor mye solenergi som kommer igjennom materialet. For transparente produkter er dette avhengig av hva slags film man velger.
5. *Lystransmisjon.* Hvor mye lys som slippes igjennom. For transparente produkter er dette avhengig av hva slags film man velger.
6. *Lyd isolasjon.* Hvor mye støy holdes ute?
7. *Vekt.* Vekt er viktig for valg av formater, byggbarhet og håndterbarhet på byggeplass.
8. *Kostnader.* Kostnadene er oppgitt i Euro og innhentet fra produsenter.
9. *Produktets energiforbruk.* Energiforbruk knyttet til produksjonen av produktet.
10. *Materialer.* Hovedbestanddel av materialer i produktet.

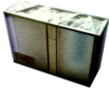
Produkter med isolerende og translucent fyllmasse

Produkter med translucent isolasjon	Tykkelser	Mulige dimensjoner	U-verdi U_g	G-verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt	Kostnader	Produktets energiforbruk	Materialer
-------------------------------------	-----------	--------------------	---------------	-----------	-----------------	---------------	------	-----------	--------------------------	------------

Glazing Panels with aerogel

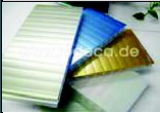
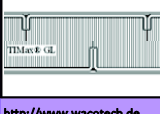
Double glazing with Nanogel										
Okagel®										
	>= 60mm	1m x 2m	0,3 W/m²K	46%	45%	>= 52dB	app. 70kg/m²	app. 400 to 600€/m² ex works	app. 550 MJ/m² + Nanogel	glass
http://www.okalux.de/										
Solera®										
	75mm	1,52m x 3,66m	0,3 W/m²K	28%	29%	>= 50dB	app. 75kg/m²	app. 400 to 600€/m² ex works (price okagel, solera made no proposal)	app. 550 MJ/m² + Nanogel	glass
http://www.advancedglazings.com/products/										

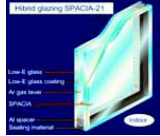
Fiberglass reinforced with aerogel

Fiber reinforced PC-panels with Nanogel										
Scobatherm®										
	60mm	2,4m x 8m	0,33 W/m²K	15%	28%	27 - 30 dB	app. 15 kg/m²	app. 470 €/m² ex works	app. 1.100 MJ/m² + Nanogel	Fiberglass Polyester
http://www.scobalit.ch/en/scobatherm.html										
Kalwall+ Nanogel										
	70 mm	1,2m x 3,6m 1,5m x 3,0m	0,3 W/m²K	12-22%	12-20%	35STC	app. 14.65 kg/m²	app. 850 €/m² ex works		Fiberglass Polyester
http://www.kalwall.com/nanogel.html										

Polycarbonate with nanogel	Polycarbonatepanels with Nanogel										
	roda / E.M.B.®										
		60mm	1,2m x 7m	0,4 W/m²K	32%	22%	32 dB	app. 15 kg/m²	app. 250 €/m² ex works	app. 1.100 MJ/m² + Nanogel	Poly-carbonate
	http://www.energimac.pt/energimac/ficheirosAR/colaboradores/catalogos/coluna2/Facade%20systems_Eng.pdf										

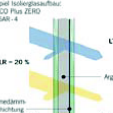
Produkter med translusent overflate

Produkter med translucent overflate		Tykkelse	Mulige dimensjoner	U-verdi U _g	G-verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt	Kostnad	Produktets energiforbruk	Materialer
Polycarbonate panels	Polycarbonate panels										
	PC 2560-12 ISOCLEAR										
		60mm	0,50m x 4m	0,71 - 0,75 W/m²K	0,25 - 0,68% (depending on the color)	0 - 80%	27 dB	app. 5,5 kg/m²	135 €/m²	app. 1.100 MJ/m²	Poly-carbonate
http://www.rodeca.de											
High performance insulation panel	High performance insulation panel (glass with foils) 5-LAYER										
	Qbiss Air (CO2 or Argon) 5- LAYER										
		118mm	1,25m x 4m	0,34 W/m²K	% depends on foils	% depends on foils	>= 40 dB	app. 55 kg/m²	app. 600 €/m² ex works Costs include frames		Glass + Foils
	http://www.qbiss.eu/qbiss-air/										
	Qbiss Air (CO2 or Argon) 7- LAYER										
		160mm (depends on spacers used in the innermost 2 chambers)	1,25m x 4m	0,22 W/m²K	% depends on foils	% depends on foils	>= 50 dB	app. 83kg/m²	app. 950 €/m² ex works Costs include frames		Glass + Foils
Light-scattering glazing	Light-scattering glazing (3 panes) with capillary platte with Krypton										
	Kapilux T®										
		42 mm	2,4m x 4,0m	0,80 W/m²K	26%	46%	>= 35 dB	app. 90kg/m²	app. 325 €/m² ex works	app. 550 MJ/m² + capillary plate	glass
http://www.okalux.de/en/products/brands/kapilux/kapilux-t.html											
Glass fiber insulation glazing	Glass fiber insulation glazing										
	TIMax GL-PlusF + Profilit										
		56 mm	498 / 331 / 262 / 232 mm x Large of the transportation (7m)	1,2 /m²K	25% without low-e coating	23%	44 dB	59,5 kg/m2	insulation = 28 €/m² glass profile= 150 €/m²	app. 1.100 MJ/m² + insulation	glass fiber
	http://www.wacotech.de										
	TIMax GL (2 layer)+ Profilit										
		130 mm	498 / 331 / 262 / 232 mm x Large of the transportation (7m)	0,85 W/m²K	19% without low-e coating	10%	53 dB	app. 60 kg/m2	insulation =28 €/m² glass profile= 150 €/m²	app. 1.100 MJ/m² + insulation	glass fiber
http://www.wacotech.de											
Glass honeycomb panels	Glass honeycomb (aluminium) panels										
	Bellapart's GHP (TGU)										
		77,4 mm	5m x 1,9m	1,2 W/m²K	35%	11%	dB	app. 90 kg/m2	1940 €/m² ex works	app. 850 MJ/m² + aluminium	glass
http://www.bellapart.com/de											
Vacuum insulation glazing	Vacuum insulation glazing										
	SPACIA-ST (Opaque)										
		6 mm	2,4 m x 1,35 m	1,2 W/m²K	50%	68%	30 (IIS)	15 kg/m²	€/m² + shipping costs (Japan)	app. 550 MJ/m² + vacuum	glass
http://www.nsg-spacia.co.jp											

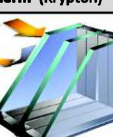
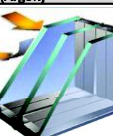
Produkter med translucent overflate		Tykkelse	Mulige dimensjoner	U-verdi U_g	G-verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt	Kostnad	Produktets energiforbruk	Materialer
Hybrid Glazing	Hybrid Glazing										
	SPACIA-21 (Opaque)										
Hybrid Glazing		21 mm	1,8 x 1,2 m	0,7 W/m ² K	32%	53%					glass
	http://www.nsg-spacia.co.jp										
Glass block	Glass block										
	Solaris 1990 F										
Glass block		80 mm	app. 0,19m X 0,19m	1,5 W/m ² K	35%	49-79% (variable due to color and texture)	49dB	app. 67 kg/m ²	1300 €/m ² (ex works)	app. 550 MJ/m ²	glass
	http://www.glasbeton.de/produkte/produkte.htm										
ETFE film	ETFE film										
	Textile facade (ETFE)										
ETFE film		250 µm (3-layer cushion)	app. 4m X 2m	1,7 W/m ² K	5% (adjustable)	90%	<10 dB	app. 0,43 kg/m ²	150 €/m ² (ex works)	app. 27 MJ/m ²	ETFE (100% recyclable)
	http://www.makmax.com/business/textile_facade.html										
PV glazing	PV glazing										
	Photovoltaic glazing TS:										
PV glazing			0,98 X 0,95 m	Achieved in combination with other products.	10.2%	10.6%					
	http://www.taiyokogyo.com/tss/										

Transparente produkter, med translucent film

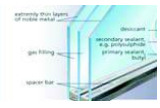
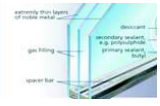
Double Glazing

Transparente produkter	Tykkelse	Mulige dimensioner	U-verdi U_t	G-verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt / håndtering	Kostnader	Produktets energiforbruk	Materialer
Double Glazing										
MGTherm SIRO® (Krypton)										
	26mm	3,2m x 6m	1,0 W/m²K	62%	80,00%	app. 30 - 35 dB	app. 65kg/m²	app. 250 €/m² ex works	app. 550 MJ/m²	glass
www.mgt.at										
SANCO Plus ZERO (Krypton)										
	18mm	3,21m x 6m	1,0 W/m²K	50%	71,00%	30 dB	app. 25 kg/m²	25-35 €/m² ex works	app. 550 MJ/m²	glass
http://www.isophonglas.de										
lplus 1.0 (Argon)										
	24mm	1,41 x 2,40m	1,0 W/m²K	53%	74,00%		app. 20 kg/m²		app. 550 MJ/m²	glass

Triple glazing

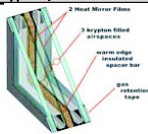
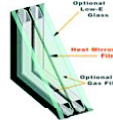
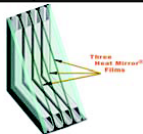
Okatherm®(Krypton)										
	40mm	3,2m x 6m spec by manufacturer, but not realistic in practical experience	0,5 W/m²K	46%	70%	app. 35 - 40 dB	app. 90kg/m²	app. 350€/m² ex works	app. 850 MJ/m²	glass
www.ocalux.de										
MGTherm Öko Star Plus® (Argon)										
	44mm	3,2m x 6m spec by manufacturer, but not realistic in practical experience	0,5 W/m²K	37%	55%	app. 35 - 40 dB	app. 90kg/m²	app. 350€/m² ex works	app. 850 MJ/m²	glass
SANCO Phon SC 46/50 (Argon)										
	49mm	3,2m x 7,5m and longer (12m-2012)	0,6 W/m²K	33%	55%	app. 46 - 50 dB	app. 50kg/m²	60-150 €/m² ex works	app. 850 MJ/m²	glass
http://www.isophonglas.de										
Trisophon silent										
	53mm	2,50m x 3,0m	0,5 W/m²K	42%	62%	app. 52 dB	app. 80kg/m²	500-600 €/m² ex works (high safety properties)	app. 850 MJ/m² + polycarbonat e sheet	glass
http://www.trisophon.net										
lplus 3CE/lpaphon 33/36-0.5										
	36mm	1,41m x 2,40m	0,5 W/m²K	50%	72%	app. 33 dB	app. 30kg/m²		app. 850 MJ/m²	glass
www.interpane.com										

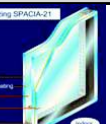
Transparente produkter	Tykkelse	Mulige dimensjoner	U-verdi U_g	G-verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt / håndtering	Kostnader	Produktets energiforbruk	Materialer
------------------------	----------	--------------------	---------------	-----------	-----------------	---------------	-------------------	-----------	--------------------------	------------

Triple Glazing	Triple glazing (Krypton)									
		36mm	1,41m x 2,40m	0,4 W/m²K	46%	68%			app. 850 MJ/m²	glass
www.interpane.com										
Triple Glazing	lplus 3E (Argon)									
		36mm	1,41m x 2,40m	0,7 W/m²K	50%	72%		app. 30kg/m²	app. 850 MJ/m²	glass
www.interpane.com										

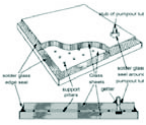
Quad Glazing	Quad Glazing									
	Glaverbel									
		>= 60mm	app. 3m x 4,50m (no practical experience!)	0,38 W/m²K	28%	46,20%	>= 40 dB	app. 115kg/m²	Yet no proposal	app. 1.150 MJ/m²

Heat mirror insulation glazing

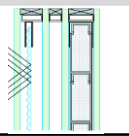
Double glazing with 2 films and Krypton filling + e.g. screen print or translucent PVB film										
Heat Mirror® TC88 (krypton)										
	50mm	1m x 2m	0,30 W/m²K	36% + effect from printing / translucent PVB film	48% minus fraction dependent on printed area or translucency of PVB film	>= 35 dB	app. 65kg/m²	app. 500 €/m² ex works	app. 550 MJ/m² + 2 films	glass
http://www.mgt.at/										
Single-Film/Dual-Cavity (krypton)										
	46mm	1m x 2m	0,30 W/m²K	35%	62%	>= 34 dB	app. 65kg/m²	80 - 160 €/m² ex works	app. 550 MJ/m² + 1 film	glass
http://www.interglass.com										
Tri-Film/Quad-Cavity (xenon)										
	THIS UNIT IS STILL NOT AVAILABLE IN THE MARKET		0,05 W/m²K						app. 550 MJ/m² + 3 films	glass
http://www.interglass.com										

Hybrid	Hybrid Glazing										
	SPACIA-21 (Transparent / Krypton)										
		+	-	-	-	+	+	++	O	O	+
		21,5 mm (Pilkington Optitherm S3 6mm / Cavity 9 mm)	2,4 m x 1,35 m	0,7 W/m²K	53%	70%	> 35 dB	app. 25 kg/m²		app. 550 MJ/m² + vacuum	glass
http://www.nse-spacia.co.jp											

Screen printed glazing panels	TripleGlazing with fritting										
	Interpane (Krypton)										
		40mm	3,2m x 6m spec by manufacturer, but not realistic in practical experience	0,5 W/m²K	46%	dependent on printed area	app. 35 - 40 dB	app. 90kg/m²	app. 430€/m² ex works	app. 850 MJ/m²	glass
	13										
www.interpane.com											

Transparente produkter		Tykkelse	Mulige dimensjoner	U-verdi U_g	G- verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt / håndtering	Kostnader	Produktets energiforbruk	Materialer
Vacuum Insulation Glazing	Vacuum Insulation Glazing										
	Qingdao Hengda Glass Techno	++	-	-	-	++	O	++	++	O	+
		6,12 / 8,12 / 10,12 / 12,12mm	1,20 x 2,40m	Low e / 8,12mm= 0,7 W/m²K	57%	78%	app. 30 - 34dB dB	15 / 20 / 25 / 30 kg/m² (respectively with the thicknesses)	app. 90,20 €/m² + shipping costs (China)	app. 550 MJ/m² + vacuum	glass
	http://en.hd-glass.com/information.html										
	Pilkington Spacia™	++	-	-	O	+	O	++	++	O	+
		6,5 mm	2,4 m x 1,35 m	1,4 W/m²K	67%	78%	35 dB	15 kg/m²	150 €/m² + shipping costs (Japan)	app. 550 MJ/m² + vacuum	glass
http://www.nsg-spacia.co.jp www.pilkington.co.uk/spacia											

Produkter hvor materialet selv kan endre seg (phase changing materials)

Phase change material		Tykkelse	Mulige dimensjoner	U-verdi U_t	G-verdi g	Lys transmisjon	Lyd isolasjon	Vekt	Kostnader	Produktets energiforbruk	Materialer
Glass module	GLASSX®crystal										
		62 - 86mm	3m x 2m	0,48 W/m ² K (Storage capacity 1185 Wh/m ²)	crystalline= 33 % (± 4 %) fluid= 37 % (± 4 %)	crystalline= 8 - 28 % (± 3 %) fluid= 12 - 44 % (± 4 %)	47	95 kg/m ²	app. 950 €/m ²	app. 1.150 MJ/m ² + polycarbonat e	Glass, Polycarbonate, PCM plate
		http://glassx.ch/									

3. TRANSLUSENTE PRODUKTER SOM FASADESYSTEM

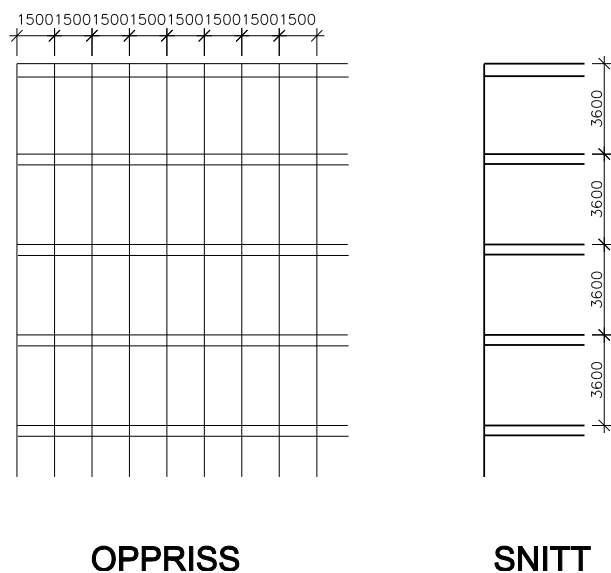
Fra oversikten i kapittel 2 har vi valgt ut fem produkter som grunnlag for de ulike studiene som er utført i prosjektet. De utvalgte produktene er vurdert relevante i forhold til grunnleggende funksjonskrav og representerer en stor spennvidde i egenskaper og materialer. De utvalgte produktene har også en mulighet til å bli produsert i formater som kan oppnå en god gjennomsnittlig U-verdi.

I dette kapitelet er det redegjort mer utførlig for hvilke egenskaper produktene har. Produktene er også analysert i forhold til hva konsekvensen blir for den totale U-verdien (U_w) når produktet blir satt inn i et standard fasadesystem.

De fem utvalgte produktene er testet i et fasadeutsnitt med en grid på 1,5m x 3,6 meter som kunne passet i et tenkt standard kontorbygg. Dette er en normal håndterbar størrelse for montering i en fasade og et mulig format for de utvalgte produktene. Produktene er testet i Schüco sitt fasadesystem FW 50+. Disse beregningene er utført av Bohlinger Grohman Ingenieure i Frankfurt.

Følgende fasadematerialer er vurdert:

- Scobaterm-Scobalit, med Nanogel (Lumira aerogel) som fyllmateriale
- Solera, med Nanogel (Lumira aerogel) som fyllmateriale
- Qbiss Air, isolerglass med 5 sjikt translusent folie (innvendig)
- Glass X@crystal, (phase changing material)
- 3- lags glass med argon/krypton fylling, med translusent folie



OPPRISS

SNITT

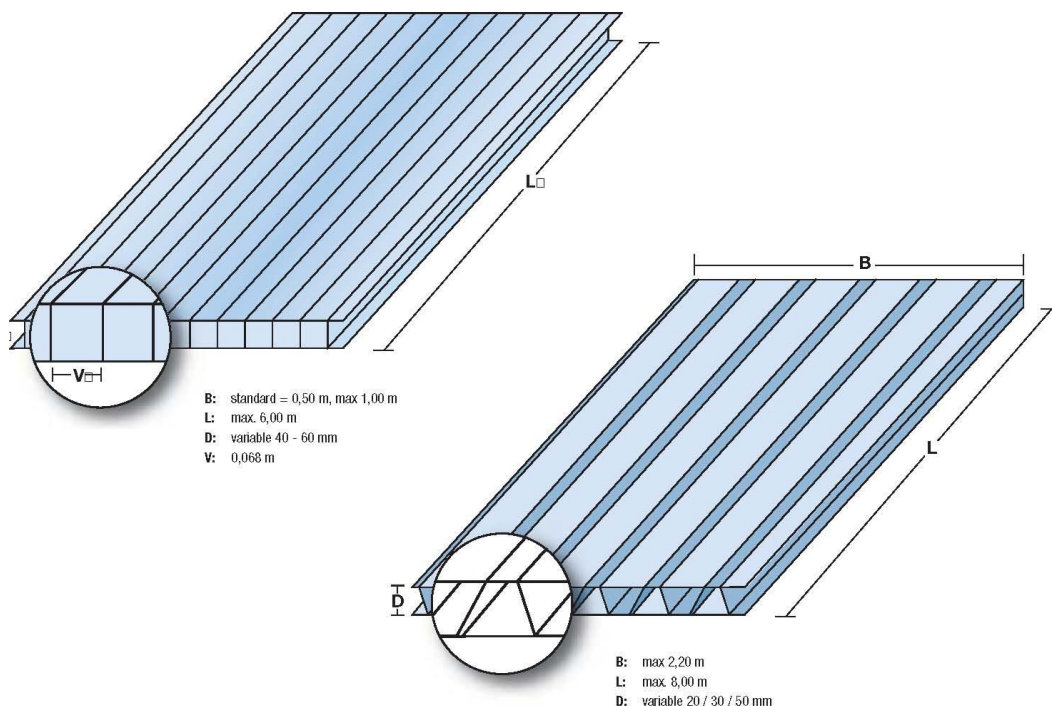
Figur 3 Testfasade brukt for undersøkelse av gjennomsnittlig U-verdi for de ulike produktene

3.1. SCOBATHERM MED NANOGEL SOM FYLLMATERIALE.

Scobatherm er translusente sandwich-paneler laget av glassfiberforsterkede polyester, fylt med nanogel (aerogel). Produktet er utviklet av det sveitsiske firmaet Scobalit, og panelene brukes primært i tak og veggflater.

Panelene kan oppnå relativt store dimensjoner og kan skjøtes i hverandre uten bruk av karmer/spacer. Dette er derfor det produktet på markedet med krystallinsk aerogel som kan oppnå den beste U-verdien. Dersom man ønsker å montere elementene vertikalt (for eksempel for å unngå ekstra bæring mellom dekker) vil de store høydene kunne føre til at granulatet (aerogelen) kan begynne å sige over tid. Man vil da miste isolasjonsverdien noe i toppen av panelet der dette skjer.

Det visuelle uttrykket på Scobatherm kan minne noe om en stor ekstrudert polykarbonatplate. På nært hold ser produktet allikevel noe annerledes ut ved at sporene av glassfiberen blir mer fremtredende. Glassfiberen har et lett blåskjær, mens fyllmaterialet av nanogel gir et varmt lys med høy grad av diffus lystransmisjon.



Figur 4 Dimensjoner og oppbygning av Scobatherm elementet

Panelet er lett, noe som gjør det godt egnet for montasje. Denne lettheten gjør det imidlertid sårbart for lydisolasjon og begrenser bruken av dette produktet til områder med lite støy eller for funksjoner som ikke har strenge lydkrav.

Materialet har enda noen utfordringer i forhold til å oppfylle brannkravene i Norge. Ved bruk i Norge må man først utføre en branntest. Dette er gjort blant annet i Storbritannia og Tyskland hvor produktet er godkjent.

Eksempel på realiserte prosjekter med Scobatherm

Gymsal Zurich

Arkitekt: Arnold Amsler Architekt BSA/SIA Stadthausstrasse 51 8400 Winterthur

Tak og nordfasaden til gymsalen i Buchwiesen skole i Zurich. Her er det brukt 50 mm tykke paneler.



Figur 5 Buchwiesen skole i Zurich – Taket over og under



Figur 6 Buchwiesen skole i Zurich – Fasaden dag og kveld

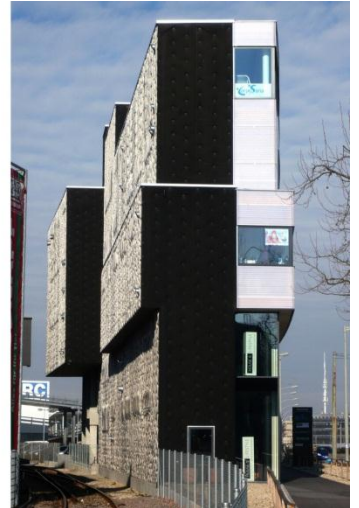
Kontorbygning - Basel

Arkitekt: Artevetro architekten ag Grammetstrasse 14, 4410 Liestal

På bygget til Twocatcher i Basel finner man eksempel på Scobatherm brukt som fasadekledning i kombinasjon med transparente vinduer.



Figur 7 Twocatcher i Basel – Fasade sett fra gaten



Referanser:

http://www.umwelt-wand.de/ti/product/specs/sp_cabot.html

<http://www.aerogelnorge.no/page30.html>

http://www.2000-watt.bs.ch/two-catcher_ff.pdf

http://www.imakenews.com/cabot01/e_article000358316.cfm?x=b11,0,w

Beregninger av U-verdi for Scobatherm satt inn i et standard fasadesystem

For beregningene er elementet M-60, (60 mm tykkelse) lagt til grunn.

Psi-value calculation - mullion:

U-value of
Scobatherm

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Rsi			0,1300	
Scobatherm	0,0600	0,0210	2,8571	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			3,0271	0,3303

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m ² K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,2561	0,9260	0,2371
exterior	0,3385	0,7008	0,2372

L⁰

regular components	U [W/m ² K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,3303	0,6000	0,1982
$\Sigma =$			0,1982

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0389
	0,2371	0,1982	

Psi - value - calculation- transom:

U-value of
Scobatherm

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Rsi			0,1300	
Scobatherm	0,0600	0,0210	2,8571	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			3,0271	0,3303

L^{2D} (from THERM)

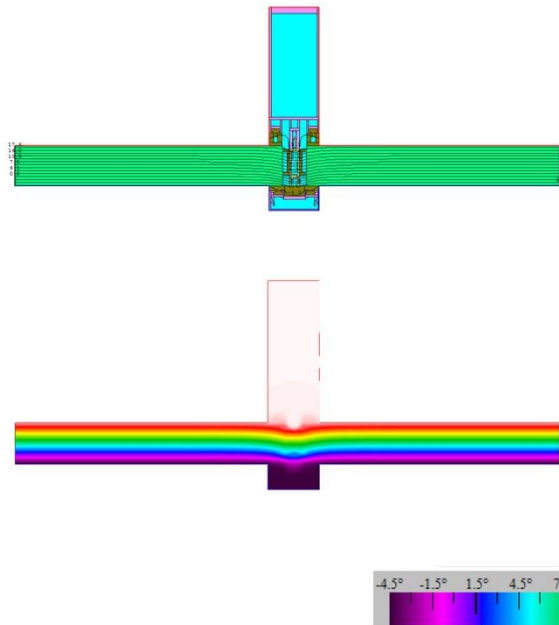
	U-factor [W/m ² K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,2569	0,9240	0,2374
exterior	0,3436	0,6908	0,2374

L⁰

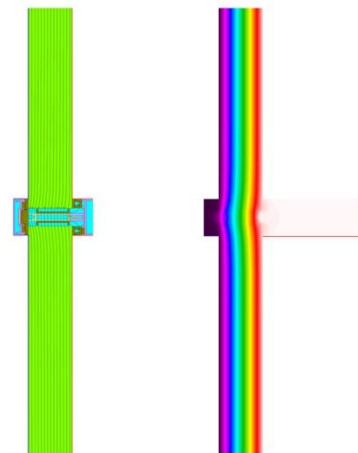
regular components	U [W/m ² K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,3303	0,6000	0,1982
$\Sigma =$			0,1982

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0392
	0,2374	0,1982	

Thermal simulation - mullion:



Thermal simulation - transom:



Calculation of complete facade system:

facade system	translucent material	U _g [W/m ² K]	Psi 1 (mullion) [W/mK]	length 1 [m]	Psi 2 (transom) [W/mK]	length 2 [m]	reference area [m ²]	U _{ges} [W/m ² K]
mullion-transom Schueco FW 50+	Scobatherm	0,33	0,0389	3,6	0,0392	1,5	5,4	0,46

Produktspesifikasjoner Scobatherm

Dimensjoner	Max bredde 2400mm – Max høyde 8000mm
Tykkelser	M20 (20mm), M30 (30mm), M40 (40mm), M50 (50mm), P25 (25mm), P40 (40mm). U-verdien er avhengig av tykkelsen, og det er M60 som er vurdert videre i forskningsprosjektet.
Vekt	13,5 kg/m ²
U-verdi	0,33 W/m ² K
G-verdi	15 %
Lystransmisjon	28 %
Lydisolasjon	27-30 dB
Brann	BKZ 4.2 er standard, BKZ 5.2, BKZ 5.3 og B1 (DIN 4102) er mulige som spesialbestillinger. Dette er spesifikasjoner fra Sveits, og det må gjøres en branntest i Norge før produktet eventuelt kan brukes her.
Miljøegenskaper	Ved vurdering av et materiales økobilanse ut i fra ISO Standard 14040, blir materialets innflytelse på miljøet og produktets totale energiforbruk ut i fra livssyklusen tatt i betraktning. Materialer bestående av glassfiberforsterkede plast plater (GRP) kan bli plukket fra hverandre og gjenbrukt, eller bli brensel uten noen form for forhåndsbehandling. Forbrenningsanlegg tjener på slike materialer ettersom de reduserer behovet for fossilt brensel. Brennverdien til platen er bundet i materialet frem til brenning, og gjør derfor at GRP kan tjene som erstattende energikilde for olje.
Kilder	www.scobalit.ch/en/scobatherm.html

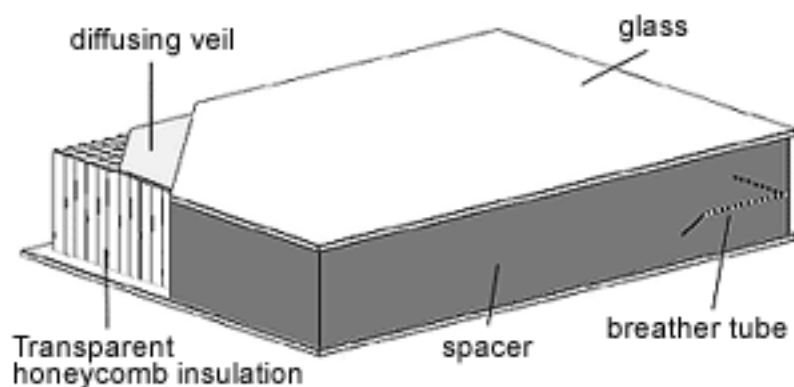
3.2. SOLERA, MED NANOGEL SOM FYLLMATERIALE

Solera er et tolags glass med hulrom fylt av nanogel og er produsert av det kanadiske firmaet Advanced Glazings. Den har mange av de samme egenskapene som produkter fra Ocalux, men har foreløpig muligheten til å produsere større paneler og dermed oppnå bedre total U-verdi.

Ulikt produkter fra Ocalux har Solera en transparent honeycomb struktur som kjerne. Denne holder Nanogel på plass under produksjon og hindrer at granulatet siger, samtidig som det gir mulighet til å produsere større panelstørrelser. Mellom glasset og honeycombstrukturen er det dessuten en diffuserende film som ytterligere bidrar til at dagslyset blir spredt inn i bygningen.

Produktet er designet for å passe inn i et «curtain wall system¹», noe som gjør det enkelt å kombinere med transparente glassfelt.

Solera er i tillegg et produkt med gode lydegenskaper.



Figur 8 Opbygning av Solera med honeycomb strukturen i midten



Figur 9 Solera prøve med spesialspaceren som gir et mer elegant fasadeuttrykk

¹ En Curtain wall (gardin vegg) er en [fasadekonstruksjon](#) der fasadematerialet henger som en gardin foran bygningens hovedkonstruksjon. Slike fasader består ofte av glass/aluminiumskonstruksjoner.

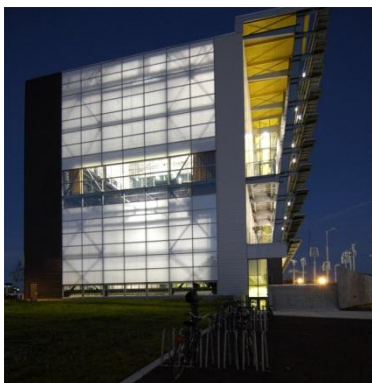
Eksempel på realiserte prosjekter med Solera

Foreløpig finnes det ikke referanser på Solera i Europa, men flere i USA og Canada:

(Utvalg fra referanseliste fra Advanced Glazing Canada sin referanseliste, produsent av Solera)

National Circus School i Montreal

Arkitekt: La Pointe Magne, Montreal, Quebec



Figur 10 Solera brukt i vestfasaden

Detroit school for the arts, i Detroit, Michigan

Arkitekt: Hamilton Anderson Associates, Detroit, Michigan



Figur 11 Diffust dagslys, uten blinding i dansestudio og vrimlearealer

Detroit Southwest Working Women Together, Chicago, Illinois

Arkitekt: Wheeler Kearns Architects, Chicago, Illinois



Figur 12 Solera brukt som både dagslyskilde og visuell avskjerming mot gaten. Trærnes skygger fanges opp i den lysende flaten.

Referanser: <http://www.advancedglazings.com/expSolera/images.php>

Beregninger av U-verdi for Solera satt inn i standard fasadesystem

Psi-value calculation - mullion:

U-value of Solera

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
Rsi			0,1300	
Solera	0,0750	0,0240	3,1250	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			3,2950	0,3035

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,2387	0,9260	0,2210
exterior	0,3153	0,7008	0,2210

L⁰

regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,3035	0,6000	0,1821
$\Sigma =$			0,1821

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0389
	0,2210	0,1821	

Psi - value - calculation- transom:

U-value of Solera

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
Rsi			0,1300	
Solera	0,0750	0,0240	3,1250	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			3,2950	0,3035

L^{2D} (from THERM)

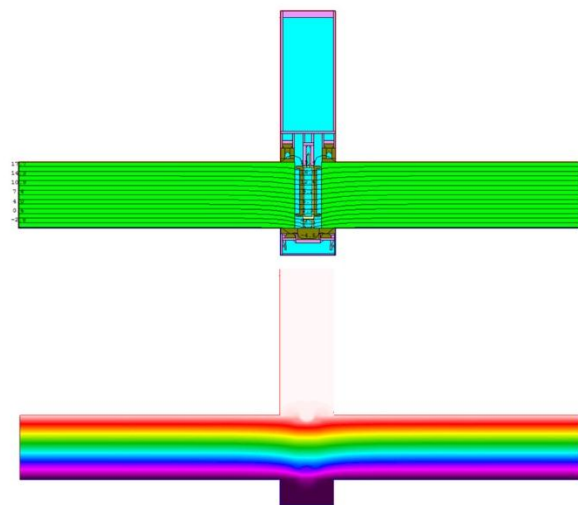
	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,2395	0,9240	0,2213
exterior	0,3204	0,6908	0,2213

L⁰

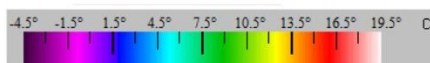
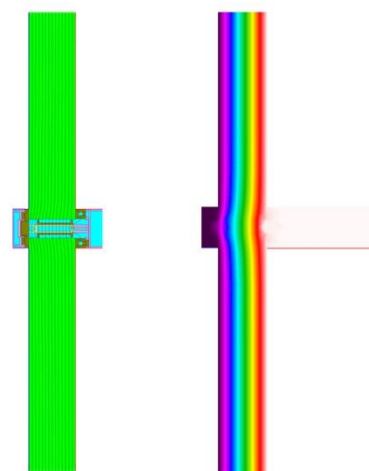
regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,3035	0,6000	0,1821
$\Sigma =$			0,1821

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0392
	0,2213	0,1821	

Thermal simulation - mullion:



Thermal simulation - transom:



Calculation of complete facade system:

facade system	translucent material	U _g [W/m²K]	Psi 1 (mullion) [W/mK]	length 1 [m]	Psi 2 (transom) [W/mK]	length 2 [m]	reference area [m²]	U _{ges} [W/m²K]
mullion-transom Schueco FW 50+	Solera	0,30	0,0389	3,6	0,0392	1,5	5,4	0,44

Produktspesifikasjon Solera T plus Nanogel

Dimensjoner	Max bredde 1520 mm, maks høyde 3660. Større høyder kan produseres på forespørsel.
Tykkelser	76 mm
U-verdi	0,31 W/m ² K
Lystransmisjon	Synlig lys 25% G-verdi 24%
Kilder	http://www.advancedglazings.com/nanogel/

3.3. QBISS AIR

Qbiss Air er et produkt fra Slovenia som benytter den samme teknologien som såkalte "Heat mirror", dvs. at flere gasskamre kan lages ved hjelp av oppspente lavemisjonsfolier. Dette gir lav U-verdi uten at vekten og kostnadene blir høye.

Qbiss Air er et nytt produkt og det kan lages i en rekke spesifikasjoner. Hovedoppbygningen består av en isolerglassrute på den ene siden og et glass på den andre, med et antall gasskamre imellom etter behov. Til dette prosjektet er det benyttet en prøve med 7 kamre som gir en god U-verdi.

Fasadebæringen er integrert i produktet og utformet med tanke på og minimere kuldebroer i randsonene.



Figur 13 Opbygning av Qbiss Air. Eksempel med 5 kamre, som også viser integrert bæresystem.

Fargetonen i Qbiss Air er mer grønnlig enn den varme tonen fra nanogel baserte produkter. Men dette kan kompenseres til en viss grad med fargen på filmene man bruker som inndeling for gasskamrene.



Figur 14 Qbiss Air til venstre, sammenstilt med en prøve med nanogel fra Ocalux.

Eksempel på realisererte prosjekter med Qbiss Air

Barnehage i Slovenia

Qbiss Air er et nytt produkt og det første realisererte prosjektet er en barnehage i Slovenia. Her er det brukt med malte overflater og ikke translusent glass. Teknologien er allikevel den samme med mulighet for integrert bæresystem som kan bedre U-verdien ytterligere.



Figur 15 Skole Slovenia med Qbiss Air malte elementer.

Prøver med translusent glass



Figur 16 Eksempler på prøver av Qbiss Air med translusent glass.

Referanser: <http://www.qbiss.eu/qbiss-air>

Beregninger av U-verdi for Qbiss Air satt inn i standard fasadesystem

For beregningene er det lagt til grunn et element med 160mm tykkelse og 7 kamre.

Psi-value calculation - mullion:

U-value of Qbiss air

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
Rsi			0,1300	
Obiss air	0,1000	0,0229	4,3668	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			4,5368	0,2204

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,1638	0,9260	0,1517
exterior	0,2165	0,7008	0,1517

L⁰

regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,2204	0,6000	0,1323
$\Sigma =$			0,1323

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0194
	0,1517	0,1323	

Psi - value - calculation- transom:

U-value of Qbiss air

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
Rsi			0,1300	
Obiss air	0,1000	0,0229	4,3668	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			4,5368	0,2204

L^{2D} (from THERM)

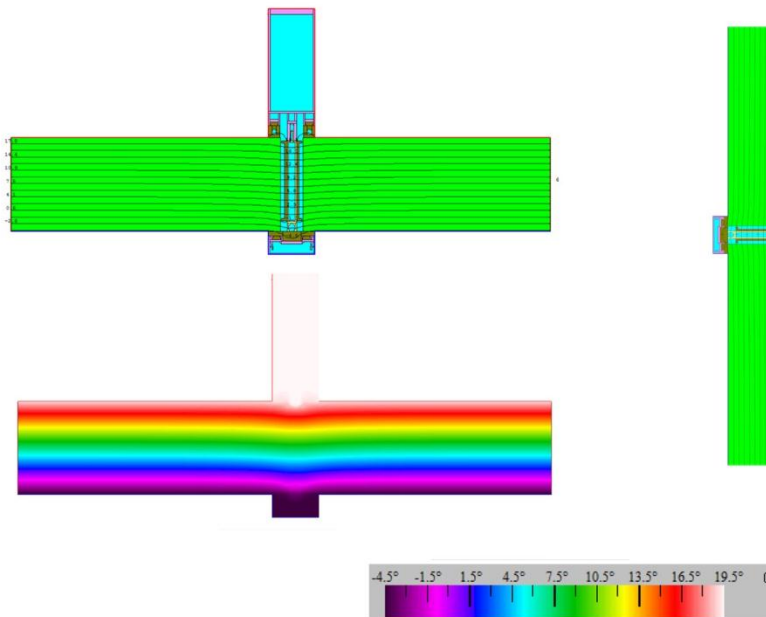
	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,1641	0,9240	0,1516
exterior	0,2195	0,6908	0,1516

L⁰

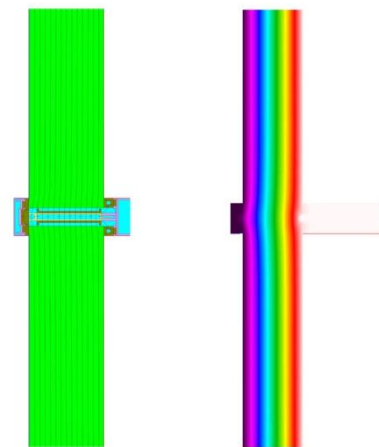
regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,2204	0,6000	0,1323
$\Sigma =$			0,1323

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0194
	0,1516	0,1323	

Thermal simulation - mullion:



Thermal simulation - transom:



Calculation of complete facade system:

facade system	translucent material	U _g [W/m²K]	Psi 1 (mullion) [W/mK]	length 1 [m]	Psi 2 (transom) [W/mK]	length 2 [m]	reference area [m²]	U _{ges} [W/m²K]
mullion-transom Schueco FW 50+	Qbiss air	0,22	0,0194	3,6	0,0194	1,5	5,4	0,35

Produktspesifikasjoner Qbiss Air med 7 kamre

Dimensjoner	Max bredde 1200 mm, maks høyde 4000. Større høyder kan produseres på forespørsel
Tykkelser	156 mm
Vekt	83 kg/m ²
U-verdi	0,21 (U _g) 0,27 (U _w - system 4000 x 1250mm)
G-verdi	0,12
Lystransmisjon LT	0,23
Lydisolasjon	> 50 dB
Farge	Naturlig grågrønn tone (i ulik grad) på film mellom kamrene, se under.
Brann	I utgangspunktet ingen, som for vinduer. EI 30 mulig med mindre formater
Kilder	http://www.trimo.eu , Peter.lampic@trimo.si

Under følger leverandørens egne, nye beregninger pr mars 2012. De er basert på leverandørens eget konstruksjonssystem og har bedre U-verdier enn de beregninger som er gjort i de sammenlignende beregningene utført av Bohlinger Grohman. U-verdien for selve panelene er også noe bedre (U_g 0,209 istedenfor 0,22 W/m²K)

QAT combinations with foils	Max T	Thickness	U_g [W/m²K]	U_w [W/m²K]	g	LT
QAT5_MateluxGreen 8mm	40 °C	114 mm	0,334	0,45	0,21	0,335
QAT6_MateluxGreen 8mm	40 °C	136 mm	0,243	0,33	0,19	0,32
QAT6_OW RXC65 XIR	50 °C	140 mm	0,243	0,33	0,143	0,206
QAT6_OW 2xRXC65 XIR	50 °C	140 mm	0,243	0,33	0,099	0,129
QAT6_OW RXC65 XIR Green 6 mm	50 °C	140 mm	0,243	0,33	0,103	0,166
QAT6_OW XIR MateluxGreen 6mm	50 °C	140 mm	0,243	0,33	0,13	0,25
QAT7_MateluxGreen 8mm	35 °C	152 mm	0,209	0,27	0,17	0,29
QAT7_OW RXC65 XIR	50 °C	156 mm	0,209	0,27	0,129	0,184
QAT7_OW 2xRXC65 XIR	50 °C	156 mm	0,209	0,27	0,089	0,115
QAT7_OW RXC65 XIR Green 6mm	50 °C	156 mm	0,209	0,27	0,093	0,149
QAT7_OW XIR MateluxGreen 6mm	50 °C	156 mm	0,209	0,27	0,12	0,23

U_g – calculated

U_w – estimated

Max T – outside

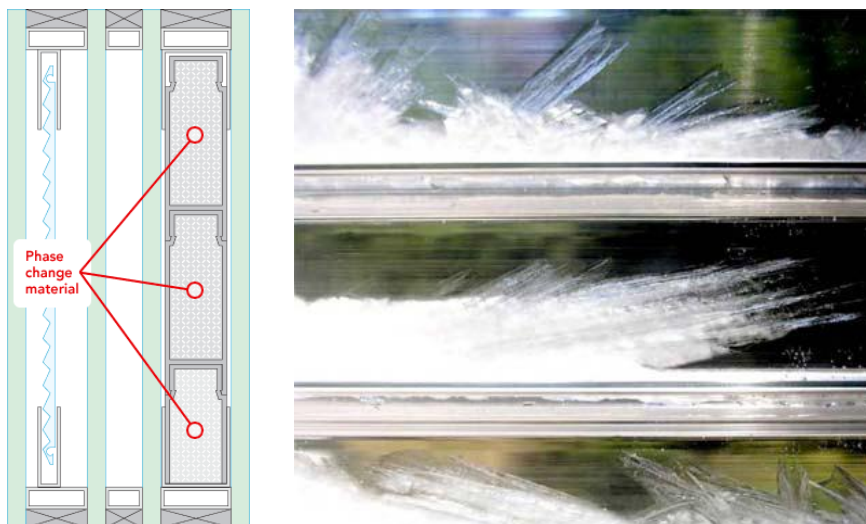
3.4. GLASSX®CRYSTAL

GLASSX®crystal integrerer fire ulike egenskaper i ett produkt: translusent varmeisolasjon, beskyttelse fra overoppheting, energilagring og termisk lagring.

De to nøkkelkomponentene i GLASSX®crystal er et prismatisk panel som reflekter/transmitterer lys ut fra lysvinkel. Dette ligger i hulrommet mellom eksteriørglasset som er herdet sikkerhetsglass, og et herdet sikkerhetsglass med lav emissivitet.

Den andre hovedkomponenten er en PCM-plate (Phase Change Material) med gode evner for termisk lagring. Denne er bygget opp av polykarbonatmoduler fylt med salthydrot og ligger i hulrommet mellom et herdet sikkerhetsglass med lav emissivitet, og interiørglasset som er et herdet sikkerhetsglass med mulighet for silketrykk. De to hovedkomponentene er igjen adskilt med et hulrom fylt med en type edelgass.

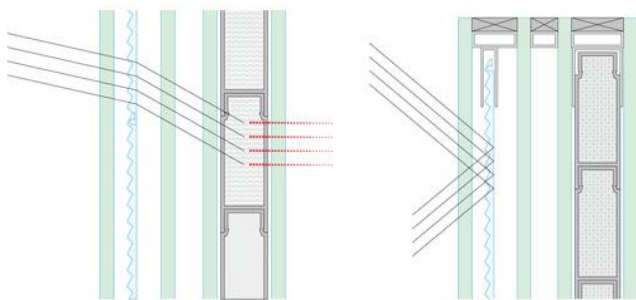
Til sammen gir dette et translusent veggelement uten mekaniske eller elektriske komponenter, med lang levetid og lite/ingen vedlikehold.



Figur 17 GLASSX®CRYSTAL: Prismatic panel, hulrom og PCM-plate

Om vinteren fungerer GLASSX®crystal som en ovn, ladet opp av solenergi. Dette gir en god strålingsvarme som forbedrer termisk komfort. En trelags isolasjonsenhet i matt glass gir produktet gode termiske isolasjonsegenskaper med en U-verdi på $U=0,48\text{W/m}^2\text{K}$ (uten karm).

Prismene i det ytterste luftrommet reflekterer solinnstrålingen om sommeren ($>40^\circ$) og transmitterer varmen gjennom fasaden om vinteren ($<35^\circ$).



Figur 18 Vinter til venstre, sommer til høyre.

Den smale modulen har 10 ganger mer termisk lagringsevne enn betong. Materialet består av salthydrot PCM (Phase Change Material). Varmen fra solen blir lagret i materialet gjennom en smelteprosess. Gjennom natten og de følgende dagene blir den lagrede varmen transmittert inn i bygget. Salthydrotet blir lagret i en polykarbonatboks.

Om sommeren beskytter systemet mot overoppheting ved ikke å frigjøre energi over 27 grader inn i rommet. Større mengder energi blir absorbert i overopphetede rom, og fører til at større «varmetopper» blir redusert. Systemet fungerer for alle typer bygninger ettersom det unngår overoppheting av inneklimate.

Den innvendige glassveggen kan om ønskelig dekoreres med forskjellig trykk.

Hele systemet opptre som en translusent vegg og er fleksibel i bruk og er uavhengig av mekaniske komponenter eller elektroniske enheter. Det kan gjøres individuelle tilpasninger.

Panelene kan benyttes i et vanlig fasadesystem.

Leverandør: GlassX AG, Zürich.

Referanser: <http://glassx.ch>
<http://www.glassxpcm.com/>

Eksempel på realiserte prosjekter med Glass X®crystal:

Marché International Support Office, Kempththal.

Arkitekt: Beat Kämpfen, Zurich



Figur 19 Første virkelige nullenergi kontorbygg i Sveits.

2. Alterswohnungen Domat Ems

Arkitekt: Dietrich Schwarz



Figur 20 Aldersboliger i Domat, Sveits. GlassX®crystal i feltene ved siden av balkongene

Referanser: <http://glassx.ch>

Beregninger av U-verdi for GlassX®crystal satt inn i standard fasadesystem

Psi-value calculation - mullion:

U-value of Glass X

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
Rsi			0,1300	
triple glazing (Krypton or Argon)	0,0400	0,0220	1,8182	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			1,9882	0,5030

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,3870	0,9260	0,3584
exterior	0,5113	0,7008	0,3583

L⁰

regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,5030	0,6000	0,3018
$\Sigma =$			0,3018

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	
	0,3584	0,3018	0,0566

Psi - value - calculation- transom:

U-value of Glass X

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
Rsi			0,1300	
triple glazing (Krypton or Argon)	0,0400	0,0220	1,8182	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$			1,9882	0,5030

L^{2D} (from THERM)

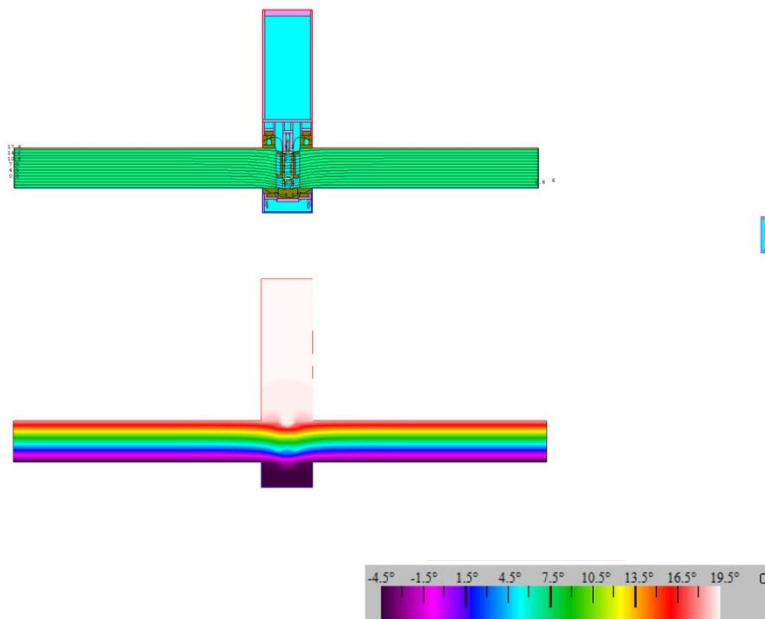
	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,3879	0,9240	0,3584
exterior	0,5189	0,6908	0,3585

L⁰

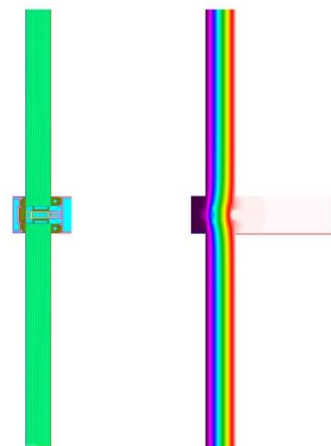
regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,5030	0,6000	0,3018
$\Sigma =$			0,3018

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	
	0,3584	0,3018	0,0566

Thermal simulation - mullion:



Thermal simulation - transom:



Calculation of complete facade system:

facade system	translucent material	U _g [W/m²K]	Psi 1 (mullion) [W/mK]	length 1 [m]	Psi 2 (transom) [W/mK]	length 2 [m]	reference area [m²]	U _{ges} [W/m²K]
mullion-transom Schueco FW 50+	Glass X	0,5	0,0566	3,6	0,0566	1,5	5,4	0,623

Produktspesifikasjoner GLASSX®crystal

Dimensjoner	H x B maks 3000 mm x 2000 mm
Areal	Maks 6,0 m ²
Tykkelser	62-86 mm
Vekt	Maks 95 kg/m ²
U-verdi	< 0,48 W/m ² K
G-verdi	33 % ± 4 % (krystallinsk PCM)
Lystransmisjon	8-28 % ± 3 % (krystallinsk PCM)
Kilder	http://glassx.ch

Spesifikasjonene U-verdi, lystransmisjon og g-verdi er sertifisert av "Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme".

3.5. 3-LAGS GLASS MED TRANSLUSENT FOLIE FYLT MED KRYPTON ELLER ARGON

Til tross for en dårligere U-verdi på selve produktet har vanlige glassprodukter fremdeles mange fordeler i forhold til translusente produkter som gjør det interessant å vurdere med en translusent folie. Vanlige glassformater er fremdeles såpass mye større at forskjellen i U-verdi vil bli redusert fordi man får reduserte kuldebroer med store formater. I bygg hvor det er mulig å arbeide med maks størrelser vil glass kunne konkurrere med andre produkter på den gjennomsnittlige U-verdien.

I alminnelig 3-lags energiglass er hulrommet vanligvis fylt med gassen Argon. Valgt alternativ med gassen krypton gir enda bedre U-verdi, ca. 0,4 for glassets midtpunkt (U_g).

Beregninger av U-verdi for 3-lags glass satt inn i standard fasadesystem Eksempel med kryptongass:

Psi-value calculation - mullion:

U-value of triple glazing

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R_i [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Rsi			0,1300	
triple glazing (Krypton)	0,0400	0,0172	2,3256	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$				2,4956
				0,4007

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m ² K]	Total Length L [m]	$L^{2D} = (U \cdot L)$ [W/mK]
interior	0,3177	0,9260	0,2942
exterior	0,4198	0,7008	0,2942

L^0

regular components	U [W/m ² K]	length [m]	$L^0 = (U \cdot L)$ [W/mK]
facade	0,4007	0,6000	0,2404
$\Sigma =$			0,2404

$\Psi = (L^{2D} - L^0)$ [W/mK]	L^{2D} [W/mK]	L^0 [W/mK]	0,0538
	0,2942	0,2404	

Psi - value - calculation- transom:

U-value of triple glazing

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R_i [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Rsi			0,1300	
triple glazing (Krypton)	0,0400	0,0172	2,3256	
Rse			0,0400	
$\Sigma R_i =$				2,4956
				0,4007

L^{2D} (from THERM)

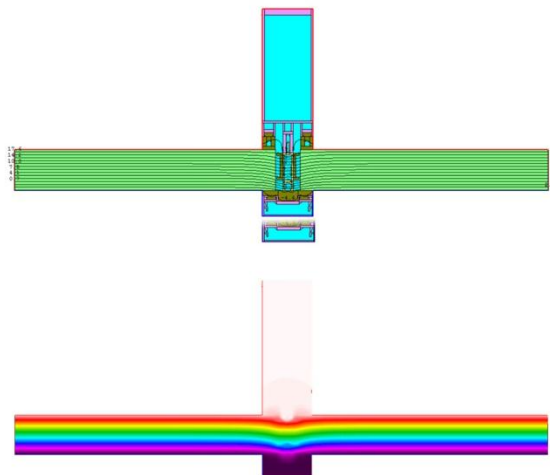
	U-factor [W/m ² K]	Total Length L [m]	$L^{2D} = (U \cdot L)$ [W/mK]
interior	0,3185	0,9240	0,2943
exterior	0,4261	0,6908	0,2943

L^0

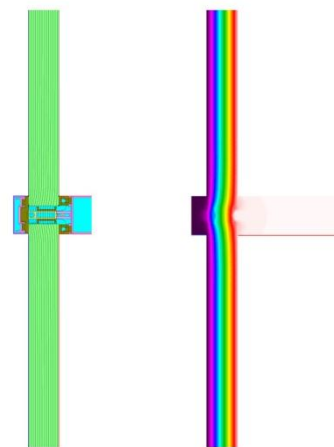
regular components	U [W/m ² K]	length [m]	$L^0 = (U \cdot L)$ [W/mK]
facade	0,4007	0,6000	0,2404
$\Sigma =$			0,2404

$\Psi = (L^{2D} - L^0)$ [W/mK]	L^{2D} [W/mK]	L^0 [W/mK]	0,0539
	0,2943	0,2404	

Thermal simulation - mullion:



Thermal simulation - transom:



Calculation of complete facade system:

facade system	translucent material	U_g [W/m ² K]	Ψ 1 (mullion) [W/mK]	length 1 [m]	Ψ 2 (transom) [W/mK]	length 2 [m]	reference area [m ²]	U_{ges} [W/m ² K]
mullion-transom Schueco FW 50+	3-L GLASS M/ KRYPTON	0,4	0,0538	3,6	0,0539	1,5	5,4	0,521

Beregninger av U-verdi for 3-lags glass satt inn i et standard fasadesystem

Eksempel med argongass:

Psi-value calculation - mullion:

U-value of triple glazing

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
R _{si}			0,1300	
triple glazing (Argon)	0,0400	0,0320	1,2500	
R _{se}			0,0400	
$\Sigma R_i =$				0,7042

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,5233	0,9260	0,4846
exterior	0,6915	0,7008	0,4846

L⁰

regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,7042	0,6000	0,4225
$\Sigma =$			0,4225

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0620
	0,4846	0,4225	

Psi - value - calculation- transom:

U-value of triple glazing

layers	thickness [m]	lambda λ [W/mK]	R _i [m²K/W]	U [W/m²K]
R _{si}			0,1300	
triple glazing (Argon)	0,0400	0,0320	1,2500	
R _{se}			0,0400	
$\Sigma R_i =$				0,7042

L^{2D} (from THERM)

	U-factor [W/m²K]	Total Length L [m]	L ^{2D} = (U*L) [W/mK]
interior	0,5244	0,9240	0,4845
exterior	0,7015	0,6908	0,4845

L⁰

regular components	U [W/m²K]	length [m]	L ⁰ = (U*L) [W/mK]
facade	0,7042	0,6000	0,4225
$\Sigma =$			0,4225

Psi = (L ^{2D} - L ⁰) [W/mK]	L ^{2D} [W/mK]	L ⁰ [W/mK]	0,0620
	0,4845	0,4225	

Calculation of complete facade system:

facade system	translucent material	U _g [W/m²K]	Psi 1 (mullion) [W/mK]	length 1 [m]	Psi 2 (transom) [W/mK]	length 2 [m]	reference area [m²]	U _{ges} [W/m²K]
mullion-transom Schueco FW 50+	3-L GLASS MED ARGON	0,7	0,0620	3,6	0,0620	1,5	5,4	0,83

Produktspesifikasjoner 3-lags glass

Dimensjoner	Opp til ca. 6000 mm x 2500-3000 mm eller ca. 15m ² som spesialbestilling
Tykkelser	36 mm (4-12-4-12-4)
Vekt	90 kg/m ²
U-verdi U _g	0,4 W/m²K
G-verdi	46 %
Lystransmisjon	68 %
Lydisolasjon	31 R _w dB (info fra tilsvarende Pilkingtonglass)
Farge	lyst grønnskjær
Kilder	Interpane / Skandinaviska Glassystem – referanseprøve

3.6. OPPSUMMERING TRANSLUENTE FASADEPRODUKTER

Tabellen nedenfor viser en sammenstilling av de utvalgte materialenes nøkkelegenskaper.

Beregninger av U_g er utført av Bohlinger Grohman Ingenieure i Frankfurt, basert på standard Schüco fasadesystem. U_g står for u-verdi midt i det enkelte glassfelt. U_{ges} (evt U_w) står for gjennomsnittsverdien for hele fasadefeltet

Eventuelle kuldebroer i forbindelse med innfesting til dekkeforkant, åpningsbare vinduer og dører etc. er ikke inkludert. Avhengig av hvordan disse detaljene løses vil den endelige U -verdien for en fasade med disse elementene bli noe høyere enn det tabellen over viser.

Produktnavn	Tykkelse mm	U_g W/m ² K	G-verdi %	LT Lystransm.%	U_{ges} W/m ² K
SCOBATHERM	60	0,33	15	28	0,46
SOLEERA	64 +glass	0,30	28	29	0,44
QBISS AIR	160	0,22 0,209*	12	23	0,35 0,27*
GLASS X	62-86	0,50	33 (+/- 4%)	28 (+/-3%)	0,62
3-LAG GLASS MED KRYPTON	34-68	0,40			0,52
3-LAG GLASS MED ARGON	34-68	0,70**	37	55	0,83

*Nye tall fra leverandør (Trimo). Det finnes en rekke variabler på dette produktet avhengig av folier etc. En U_g på 0,27 er beregnet med det integrerte bæresystemet i motsetning til de øvrige beregninger hvor produktet er satt inn i et standard fasadesystem.

**Det finnes 3-lags glass med Argon fra andre produsenter som kan komme ned i en U -verdi på 0,50. 0,70 er her valgt som en referanse på standard glass.

U-verdi i forhold til lystransmisjon og solfaktor

For Nanogel er U -verdi og lystransmisjon direkte knyttet til hverandre. Det betyr at jo bedre U -verdi jo lavere lystransmisjon. Dette er ugunstig fordi det ikke utnytter potensialet for å maksimere dagslys, slik f.eks. en aktiv solavskjermet fasade kan.

Tabellen over viser at alle de valgte fasadene har problemer med å tilfredsstille solfaktorkravet (g -verdi) på maks 15 % i TEK 10 for solutsatte fasader og samtidig ha akseptabel lystransmisjon, uten aktiv solskjerming.

Varmereflekterende filmer kan reflektere den usynlige delen av sollyset, slik at g -verdien kan senkes til et visst nivå uten at lystransmisjonen blir redusert. (Gjelder bl.a. produktene Heat Mirror, Qbiss Air og energiglass).

Formatstørrelser

Formatstørrelser påvirker de totale U -verdiene ved at materialenes kanter og profilsystemet de settes inn i har dårligere U -verdi enn feltene selv. Større felt gir lavere gjennomsnittlig U -verdi for fasaden.

De største formatene fåes med Scobatherm med $h \times b = 8000 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$ eller ca. 20 m^2 .

3-lagsglass kan også produseres i relativt store formater, opp til ca. 6000 mm x 2500-3000 mm eller ca. 15m² som spesialbestilling.

De øvrige produktene har en begrensning på ca. 5-6 m², med litt ulikt forhold mellom høyde og bredde.

Byggbarhet- vekt, fleksibilitet og brannkrav

Vekt påvirker håndterbarhet og dermed indirekte formatstørrelser. Scobatherm er det klart letteste fasadematerialet, mens GlassX er det tyngste.

Alle de utvalgte materialene bortsett fra Qbiss Air er beregnet å kunne gå inn i et ordinært fasadesystem. Qbiss Air er et betydelig tykkere produkt og har utviklet et eget integrert bæresystem.

Scobatherm må branntestes i Norge før det kan godkjennes som fasadeprodukt. Dette er gjort bl.a. i England og Tyskland. De øvrige produktene har ubrennbar overflate (glass)

Tilgang på og erfaring med produktet vil også påvirke anvendbarheten, men er ikke vurdert her.

Kostnader

Investeringskostnadene ser ut til å være lavest for 3-lags glass med argon, med krypton om lag 600 kr/m² dyrere, mens de øvrige produktene ligger noenlunde likt.

Qbiss Air har en noe høyere kvadratmeterpris, men her er bæresystemet inkludert.

Monteringskostnadene er ikke vurdert, og vil sannsynligvis variere veldig, avhengig av prosjektets omfang, elementformater, monteringsutstyr, grad av prefabrikasjon etc.

Levetid og vedlikeholdskostnader er heller ikke vurdert spesielt. Dels er produktene nye og dels skjer det en kontinuerlig utvikling av produktene. Tidligere utfordringer har vært punktering av gassfylte glassruter, Nanogel som synker, gulning av plast og glassfiberprodukter etc.

Miljøfaktorer kan også påvirke kostnadene betydelig, blant annet i forbindelse med sanering eller mulighet for resirkulering, og indirekte i forbindelse med miljøsertifiseringer.

Erfaringer fra realiserte prosjekter med translusente fasadeprodukter

Mange av produktene er relativt nye i markedet og er i stadig utvikling. Likevel er det mulig å se noen tendenser i ulik bruk av de forskjellige materialene hvor to er nevnt under.

Store og dype rom

En stor utfordring de siste årene med stadig større krav til redusert energiforbruk er å sørge for nok lys og fortrinnsvis dagslys samtidig som U-verdiene holdes på et akseptabelt nivå. Spesielt gjelder dette i store og dype rom. Mange referansebygg, både i Europa og Nord-Amerika, viser at flere av de ovenstående produktene prøver å svare på disse utfordringene.

Mange av referansene finnes i to hoved varianter, eller kombinasjon av disse.

Overlys:

Translusente produkter gir ofte bedre spredning og mindre varmetap enn tilsvarende i klart glass: idrettshaller, svømmehaller, indre gårdsrom. Her virker de nanogelfylte produktene å ha et ekstra fortrinn med bedre lysspredning og ingen/veldig liten konveksjon.



Figur 21 Monkseaton School, UK

Større veggfelt, evt. i kombinasjon med transparent glass:

Dette er spesielt relevant for klasserom og dype kontorlokaler hvor overlys ikke lar seg utføre. I klasserommene er det translusente materialet ofte benyttet øverst på veggen slik at lyset dermed diffuserer lenger inn i rommet og også opp i taket, mens transparent glass med i normale høyder sørger for utsyn. Referanser fra Sveits og Tyskland er stort sett Scobatherm eller polykarbonatplater fylt med Nanogel. Tilsvarende referanser for USA og Canada er ofte Solera, også med Nanogel.



Figur 22 Sports Complex - Souchais, Carquefou, France, Murail Architectures – Nantes & Paris, France



Figur 23 Buchwiesen skole i Zurich, Arnold Amsler Architekt BSA/SIA Stadthausstrasse 51 8400 Winterthur

I boliger og kontor, som kombinasjon skjerming og dagslystilsjudd og evt. energifanger:

Mindre veggfelt, ofte brukt i kombinasjon med klart glass slik at man ivaretar både isolering, skjerming mot sol og innsyn (f.eks. soverom) og utsyn. I en slik sammenheng er også glassX benyttet i en del prosjekter, spesielt i Sveits.



Figur 24 Marché International Support Office, Kempththal. GlassX, Arkitekt: Beat Kämpfen, Zurich



Figur 25 Queens University Cancer Research Centre, Kingston, Ontario, Solera, Architect: AJ Diamond, Donald Schmidt and Company, Toronto

4. DAGSLYSVURDERINGER OG FARGEFORSKYVINGER

Dette kapittelet beskriver og oppsummerer tre forskningsforsøk relatert til translusente fasader gjennomført i Dagslyslaboratoriet ved NTNU (2000-12).

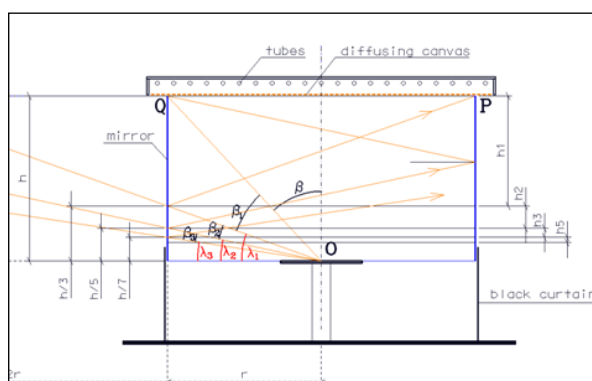
4.1. DAGSLYSLABORATORIET VED NTNU

Kunstig Himmel

En kunstig himmel simulerer tett overskyet himmel, så tett at solringen ikke er synlig. Tett overskyet himmel representerer en ekstrem variant av luminansfordelingen på himmelhvelvet som kjennetegnes av gjennomgående lave luminanser og meget jevn lysfordeling med høyeste verdier ved senit. Det er utviklet en standard teoretisk CIE modell av overskyet himmel, basert på målinger av reell himmel i flere geografiske strøk, som brukes internasjonalt i forskning. For å forsikre minimum dagslysnivå i bygninger også i dager med lite dagslys, brukes denne modellen som en dagslyskildemodell i dagslysberegninger og -målinger. Målet med utviklingen av en kunstig himmel ved NTNU i Trondheim var å etterligne denne teoretiske modellen. En lang serie med lysberegninger og -simuleringer, som var nødvendig for å finne den optimale geometriske formen av himmelen samt de mest passende materialer, var gjennomført i forkant av byggingen. Kunstig Himmel ved NTNU, Fakultet for arkitektur og billedkunst, er den beste som finnes i Norden i dag. Lysfordelingen ligger meget nært den teoretiske modellen.

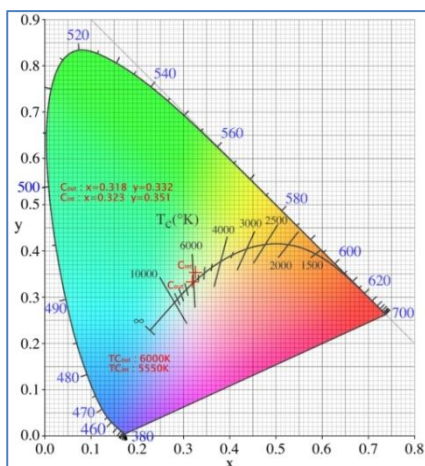
Kunstig Himmel ved NTNU består av to stålkonstruksjoner. Den eksterne konstruksjonen (i rødt) bærer taket som er laget av korrugerte stålplater med rekker av lysstoffrør festet på undersiden. Det er spent opp en gjennomskinnelig, diffuserende duk 20 cm under lysstoffrørene. Den interne konstruksjonen utgjør en støtte for vertikale speil plassert rett under duken. Kunstig Himmel er oktogonal i plan og dens innvendig diameter er 4,0 m, noe som muliggjør bruk av store modeller.

Utviklingen av Kunstig Himmel (1999-2002) resulterte også i en vitenskapelig artikkel publisert i Lighting Research & Technology (2005) med tittelen "The limits of the mirror box concept as an overcast sky simulator", forfattet av B. Matusiak og H. Arnesen.



Figur 26 Fra venstre; Kunstig Himmel sett fra utsiden. Fra høyre; vertikalt snitt med høyde på 3 meter. Foto: Barbara Matusiak

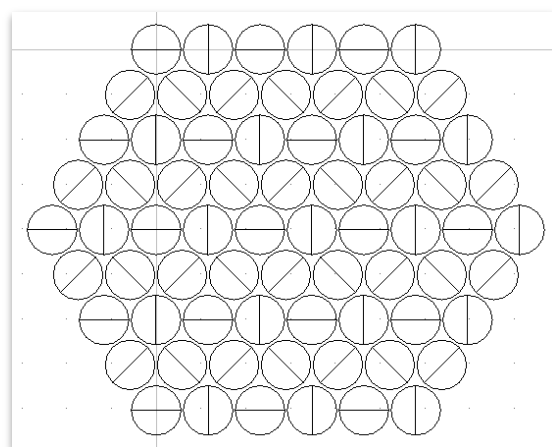
Fargetemperaturen for lyset ved Kunstig Himmel ble målt av arkitekt Julie Guichard med «Spectra Scan 650» i juli 2010. Den ligger nært fargetemperaturen for en perfekt tett overskyet himmel, se Figur 27.



Figur 27 Kunstig himmel, fargetemperatur til venstre, bildet tatt fra innsiden til høyre, foto: B. Matusiak.

Kunstig Sol

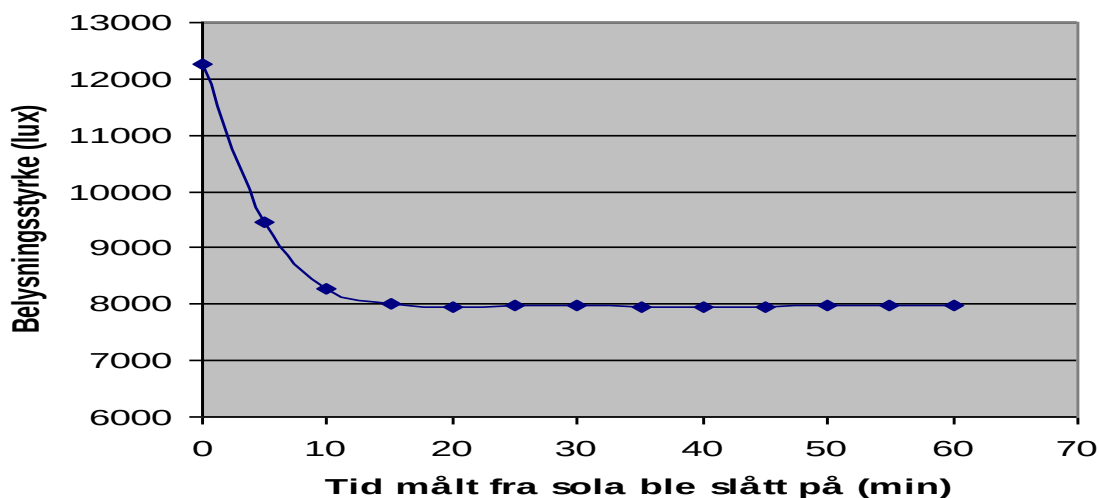
Kunstig Sol brukes til forskningsformål ved NTNU, Fakultet for arkitektur og billedkunst, og er sammensatt av smalstrålede halogenlamper, Osram 4135 SSP 12V 50W, med blendingsbeskyttere; de er 110 mm i diameter og har utstrålingsvinkel lik 4°. Lampene er festet til en vertikal stålplate. De sender ut tilnærmet parallell, horisontal stråling, akkurat som det direkte lyset fra solen. Kunstig Sol måler 920 mm i høyde og 1150 mm i bredde.



Figur 28 Kunstig Sol ved NTNU: bilder av Kunstig Sol til venstre, prinsippskisse til høyre. Foto: Barbara Matusiak

Kunstig Sol ble testet for tidsavhengige variasjoner i forkant av målingene av transmittans og lysspredning. Figur 29 viser hvordan belysningsstyrken av lyset fra Kunstig Sol varierer over tid, målt fra øyeblikket solen ble slått på. Resultater viser tydelig at den høye belysningsstyrken reduseres kraftig i løpet av de første 15 minuttene, mest sannsynlig på grunn av varmestråling fra de tett plasserte lampene, og at lysnivået stabiliserer seg deretter på 7950-8000 lux. Konklusjonen var at solen må slås på minimum 15 min i forkant av målingene.

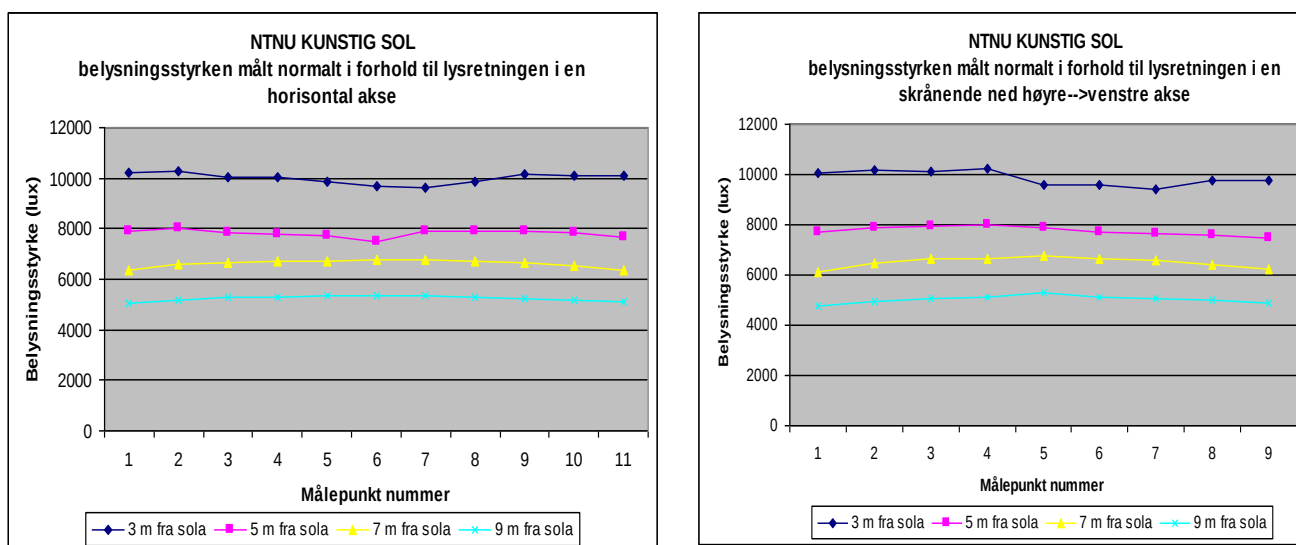
Tidsavhengig variasjon av belyningsstyrke



Figur 29 Tidsavhengig variasjon av belyningsstyrke fra Kunstig Sol målt i en avstand av 5,5m fra solen.

Jevnheten av belysningen fra den kunstige solen ble også testet, se Figur 30.

Belysningsstyrken ble målt normalt på (90 grader) lysretningen for fire avstander fra solen: 3,0, 5,0, 7,0, og 9,0 m.



Figur 30 Belysningsstyrke målt normalt i forhold til lysretningen for fire avstandstørrelser fra Kunstig Sol; horisontal akse til venstre, vertikal akse til høyre.

Målingene viste at belysningen er svært jevn; selv i 5,0 m avstand fra den kunstige solen kan man forvente en jevn belysning på ca. 8000 lux normalt på lysets retning. Jevnheten er enda større ved 7,0 m og 9,0 m..

4.2. TRANSMITTANS AV TRANSLUSENTE FASADEMATERIALER

Det har vært gjennomført målinger av total transmittans samt av lysfordeling på baksiden av sju alternative materialprøver i Dagslyslaboratoriet.

Følgende materialprøver er testet:

- Okagel (nanogel granulater) fra Okalux. Heretter referert til som "Nanogel" eller "Nanogel fasadeelement".
- HeatMirror, MGTherm med 2 folier TC88
- Scobatherm, 100mm
- GlassX, 120 mm
- Qbiss 5 layers 140 mm
- Qbiss 6 layers 140 mm
- Qbiss 7 layers 162 mm

HeatMirror er laget av 4 mm glassflater på innsiden og utsiden og 2-lag folier mellom glassene. En av glassflatene er belagt med en diffuserende translucent folie som gjør produktet ugjennomsiktig. Når det gjelder optiske egenskaper er materialet meget likt 3-lags glass med en translucent folie. De øvrige materialene er beskrevet i kapittelet om translusente fasadeprodukter.

Materialprøvene hadde en størrelse på 500 x 500 mm, tykkelsen varierte fra 54 mm for HeatMirror til 162 mm for Qbiss 7.

Transmittans

Transmittans er definert som forholdet mellom den lysfluksen som slippes gjennom et material og innfallende lysfluks (under gitte forhold).

I prinsippet kan man definere flere typer transmittans avhengig av karakteristikken av innfallende lys og transmittert lys:

Tabell 1 Transmittanstyper

Innfallende lys	Transmittert lys	Kommentarer
Direkte (specular)	Direkte (specular)	For eksempel klart glass belyst med sollys
Diffus	Diffus	For eksempel klart glass belyst med himmellys
Direkte (specular)	Diffus	For eksempel et translucent material belyst med sollys
Diffus	Diffus	For eksempel et translucent material belyst med himmellys

Når det gjelder translusente materialer kan to typer av transmittans måles: diffus–diffus og direkte–diffus.

Diffus-diffus transmittans (Kunstig Himmel og Hegnar luxmeter).

Belysningsstyrke ble målt ved hjelp av Kunstig Himmel på forsiden og på baksiden av prøven som ble plassert vertikalt rett under og i flukt med et av speilene. Diffus–diffus transmittans ble beregnet som forholdet mellom de to belysningsstyrkeverdiene.

Direkte-diffus transmittans (Kunstig Sol og Hegnar luxmeter).

Materialprøven ble plassert i en avstand på 5,5 m fra den kunstige solen. Belysningsstyrken ble målt på begge sider. På solsiden ble det tatt målinger i 9 punkter, og en gjennomsnittsverdi ble beregnet, se Figur 33. For å teste hvilken innfallsvinkel av sollys ble denne målingen gjennomført for to innfallsvinkler: 0° og 30°.

Lysspredning

Graden av spredning av transmittert lys er meget viktig for den visuelle opplevelsen av rommet og for opplevelsen av fasadeveggen både på innsiden og utsiden. Formidling av visuell informasjon minsker med økning av diffuserende egenskaper.

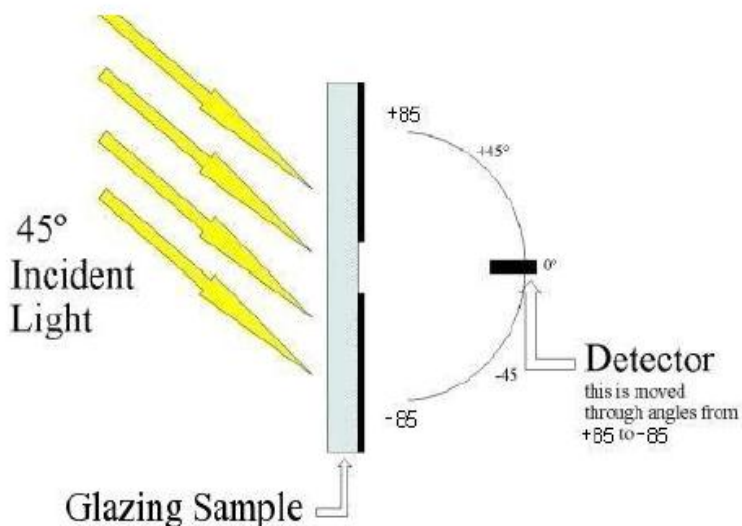
Vi klarer å gjenkjenne objekter som står på baksiden av et svakt diffuserende material (selv om vi ikke ser dem skarpt), spesielt når objektet står nært materialet. På den annen side kan fasadematerialer som har høye diffuserende egenskaper forhindre at vi klarer å anslå posisjonen av den sterkeste lyskilden vi kjenner til (dvs. solen på en klar himmel) når vi står i rommet på baksiden av materialet.

Opplevelsen av rommet forandres også med diffuseringsgraden, se Figur 31, ved at skygger blir smurt ut eller forsvinner helt, modellering av objekter blir mindre tydelig, og luminanskontraster blir svakere. Rommet kan fremstå som større og lunere men også som mindre stimulerende eller kjedeligere, se Figur 31.



Figur 31 Innvirkning av diffuserende egenskaper av fasadematerialer på opplevelse av rom og objekt. hentet fra <http://www.advancedglazings.com/ldp/>.

Advanced Glazing Ltd har foreslått en metode for måling av diffuserende egenskaper av materialer, en så kalt Light Diffusing Power (LDP). Metoden baserer seg på målinger som er gjort på baksiden av materialprøven belyst med halogenlampe (spot). Innfallsvinkelen til lyset er 45°, se Figur 32.

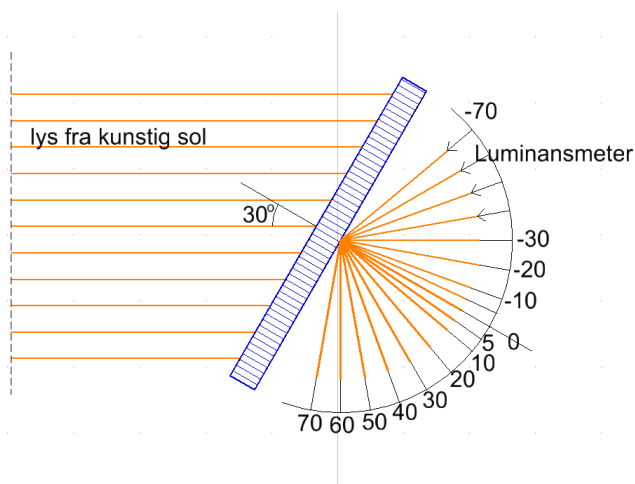


Figur 32 Illustrasjon av metoden for måling av LDP, hentet fra <http://www.advancedglazings.com/ldp/>.

En lignende metode er brukt ved målinger av lysspredning i Dagslyslaboratoriet ved NTNU. I stedet for halogenlampe, brukte vi kunstig sol, som gir meget jevn parallell belysning over en stor overflate. Dette muliggjør måling av forholdsvis tykke materialprøver som må ha store dimensjoner for å unngå en negativ innvirkning av opake kanter. Vi målte lysspredningen både for lys som faller normalt på flaten (innfallsvinkel lik 0°) og for innfallsvinkel lik 30° grader. 30° grader er et bedre valg enn 45° grader for norske forhold, fordi den representerer en gjennomsnittlig solvinkel over året midt på dagen i Osloområdet over hele året.

Siden transmittans er avhengig av innfallsvinkelen på lyset, har vi utarbeidet vår egen måle- og evalueringsmetode av lysspredningsevnen. Den er basert på størrelsen av hovedspredningsvinkelen; vinkelen som omfatter mesteparten av utfallende lysflux (90 % og 60 % av lysflux henholdsvis for innfallsvinkler 0° og 30°).

I likhet med LDP-metoden, ble luminansen på baksiden målt ved hjelp av luminansmeter for utfallsvinkler fra -70 til +70 med 10 graders avstand, i tillegg ble luminansen målt for 5 og -5 grader, se Figur 33.



Figur 33 Illustrasjon av målingsmetoden for lysspredning med 30 graders innfallsvinkel.

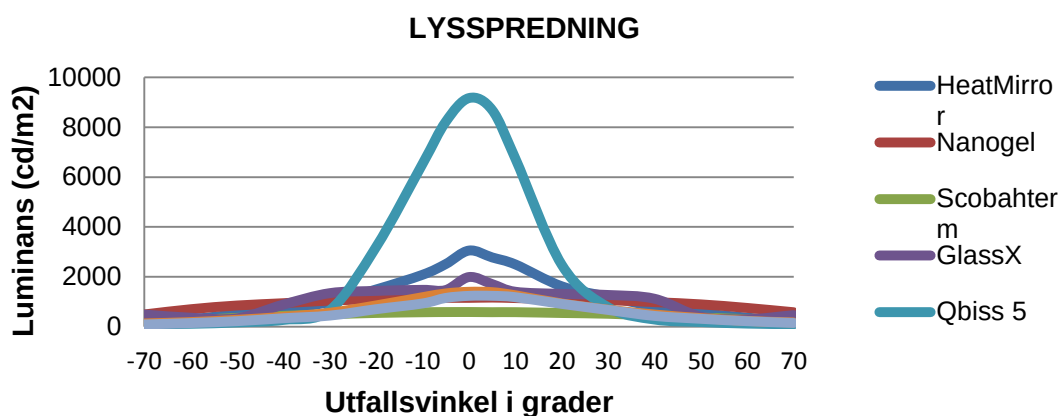
Resultater

Måleresultater av direkte-diffus transmittans viser store forskjeller mellom materialene.

Scobatherm har lavest transmittans, direkte-diffus er på 13-14 % og diffus-diffus: 12 %, Qbiss 5 har høyest direkte-diffus transmittans: 39 % for lys som kommer normalt på overflaten av prøven og 33 % for lys som kommer fra 30 graders innfallsvinkel.

Tabell 2 Måleresultater av transmittans.

	Direkte-diffus (kunstig sol) Innfallsvinkel = 0	Direkte-diffus (kunstig sol) Innfallsvinkel = 30°	Diffus-diffus (kunstig himmel)
HeatMirror	0,29	0,26	0,25
Nanogel	0,31	0,31	0,30
Scobatherm	0,14	0,13	0,12
GlassX	0,21	0,19	0,17
Qbiss 5	0,39	0,33	0,23
Qbiss 6	0,17	0,14	0,14
Qbiss 7	0,15	0,13	0,11



Figur 34 Lysspredning på baksiden av materialet, innfallsvinkel lik 0°.

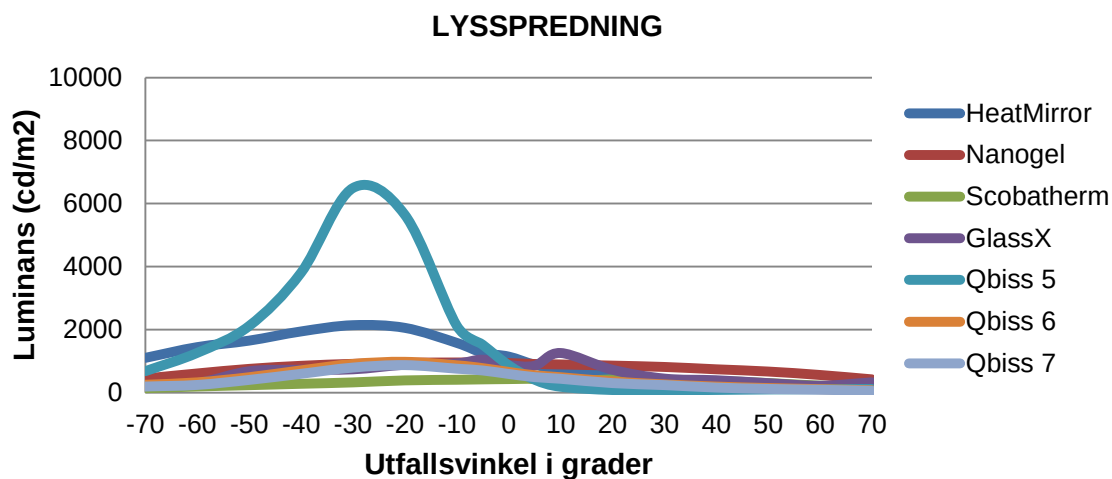
Det er meget store forskjeller mellom prøvene når det gjelder lysspredning; figurene Figur 34 og Figur 35 viser hvordan lyset fordeles i diverse retninger på baksiden av prøvene belyst med direkte lys.

Qbiss 5 har laveste diffuserende egenskap, den transmitterte lysstrålingen befinner seg stort sett innenfor 10-15 grader fra retningen av innfallende lysstråling. Dette er i liten grad avhengig av innfallsvinkelen.

Av alle de undersøkte materialene er Nanogel og Scobatherm de mest diffuserende. Dette betyr at luminansen til Nanogel og/eller Scobatherm hverken er avhengig av lysets innfallsvinkel eller observatørens synsretning. Siden transmittansverdiene av Scobatherm er betydelig lavere enn for Nanogel (under 50 %), vil gjennomsnittlig luminans fra et Scobathermelement bli tilsvarende lavere enn luminansen fra Nanogel, noe som har betydning for blending.

GlassX ble målt i ugjennomsiktig tilstand; i romtemperatur fremstår PCM som en hvit masse med et lett merkbart blått skjær. GlassX er det materialet som sprer lyset mest ujevnt.

HeatMirror og alle Qbiss-typene (5, 6 og 7) har liknende mønstre for lysspredning: størst transmisjon i retningen av innfallende lys, moderat spredning til sidene. Det er meget liten forskjell mellom Qbiss 6 og 7, begge sprer lyset litt mer enn HeatMirror og mye mer enn Qbiss 5.

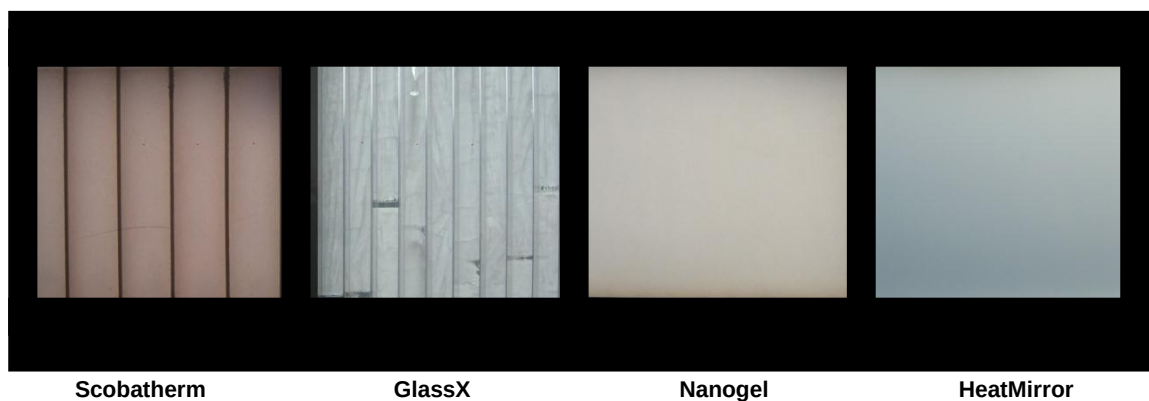


Figur 35 Lysspredning på baksiden av materialet, innfallsvinkel lik 30°.

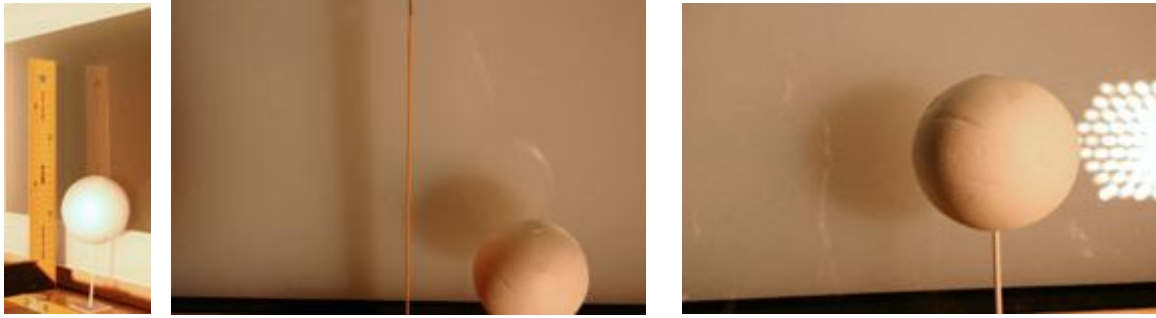
Lysspredningsevnen av alle materialene evaluert med NTNU-metoden er presentert i Tabell 3. Skala: ingen, svak, moderat, sterk, meget sterk.

Tabell 3 Lysspredningsevne av translusente materialer.

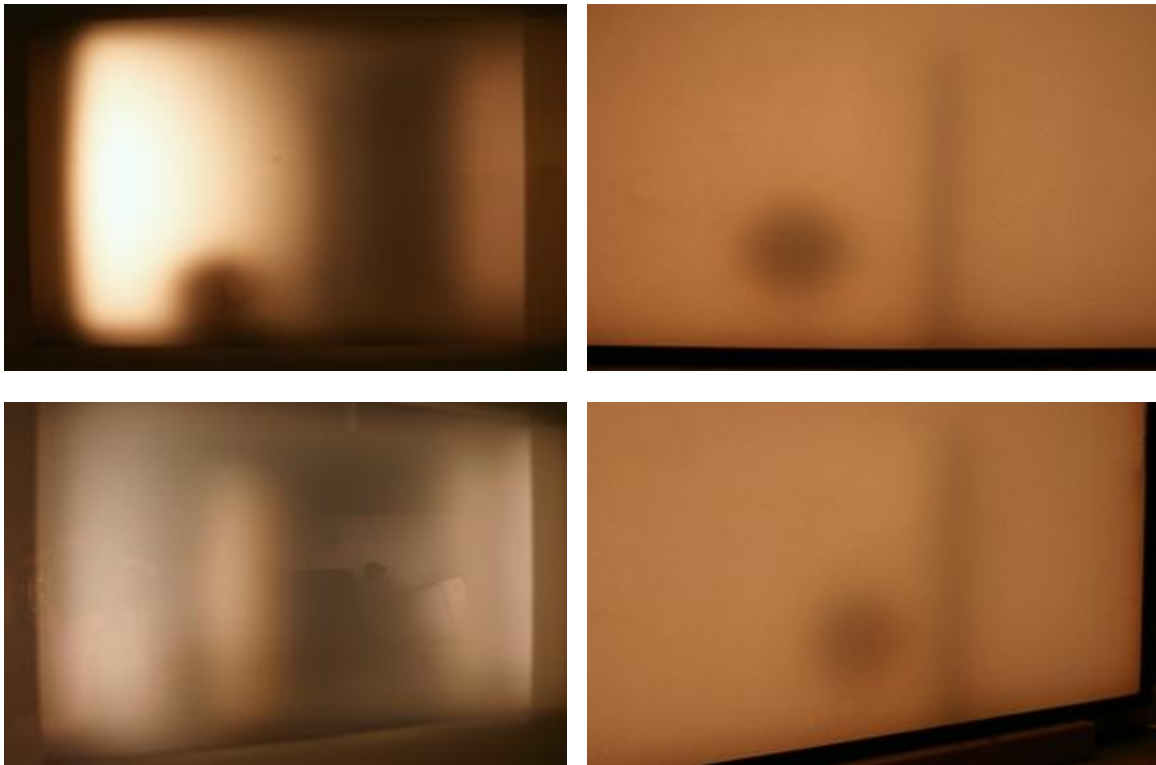
HeatMirror	Sterk
Nanogel	Meget sterk
Scobatherm	Meget sterk
GlassX	Sterk
Qbiss 5	Moderat/Svak
Qbiss 6	Sterk
Qbiss 7	Sterk



Figur 36 Bilder av prøvene tatt i dagslyslaboratoriet, prøvene ble fotografert med kunstig himmel som baklys.



Figur 37 Bildet av Qbiss 5 til venstre og to bilder av Nanogel til høyre, tatt på solsiden av Kunstig Sol.



Figur 38 Qbiss 5 til venstre og Nanogel til høyre, bilder tatt på baksiden av Kunstig Sol.

4.3. BLENDING

Blending kan være både ubehagelig og slitsomt, spesielt hvis man ikke har mulighet til å redusere det. I ekstreme situasjoner kan blendingen redusere eller ødelegge synet.

Siden flere translusente materialer kan ha forholdsvis høy luminans når de er belyst med sollys, er faren for blending meget reell.

Forskningsspørsmålene som ble stilt i blendingsforsøket var:

1. Hva er en målbar terskelverdi for opplevelse av blending?
2. Kan blending bli redusert med hjelp av utsyn?
3. Kan blindingen redusere lesehastigheten? Hvis ja, kan brukerne overvinne det?

Forsøksmetode

En gruppe på 23 personer deltok. Tidligere internasjonale studier har vist at det ikke er merkbare forskjeller mellom deltakere med og uten kontaktlinser, eller mellom menn og kvinner. På den annen side er alder og synsforhold (bruk av briller eller ikke) viktig². Deltakerne i studien representerte et vidt spektrum i alder, fra 22 til 54 år, hvorav omtrent 40 % brukte briller. De sistnevnte ble bedt om å ha dem på seg under studien. En av deltakerne hadde R-G fargeblindhet.

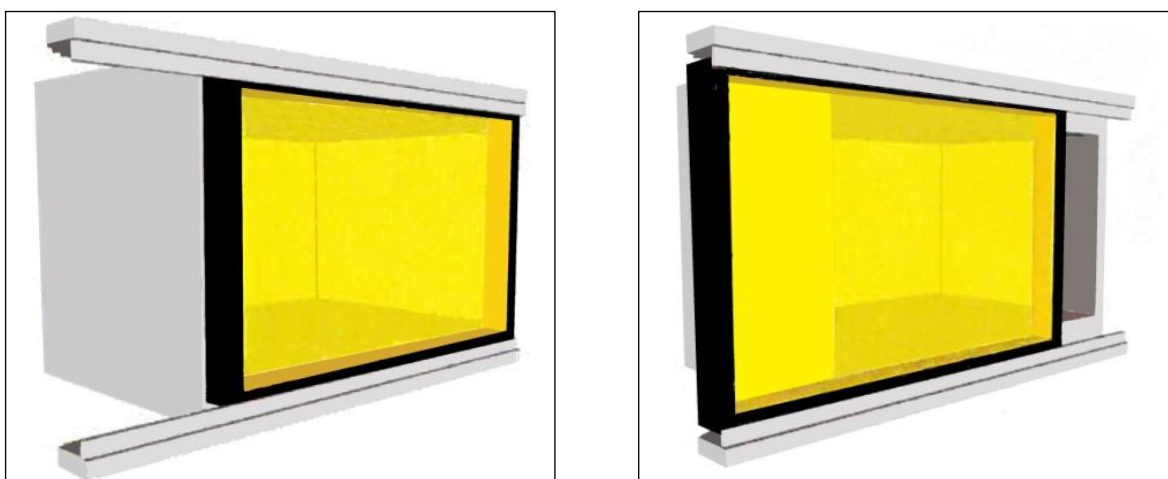
Basismodellen er på 100x70x70 cm³ og representerer et rom med én fasade i glass, se Figur 39. En prøve av et translusent material var plassert inntil modellen på utsiden. Festeordningen tillot forskyvning av prøven horisontalt slik at andelen av fasaden dekket med translusent material kan forandres.

To posisjoner ble testet:

Scenario 1 Hele fasaden dekket med et translusent material.

Scenario 2 1/3 av fasaden tillater utsyn og 2/3 av fasaden er dekket med et translusent material.

To materialprøver var valgt til forsøket: Nanogel og HeatMirror.



Figur 39 Skisse av modellen som ble brukt i forsøket, sett fra utsiden. Scenario 1 til venstre og scenario 2 til høyre.

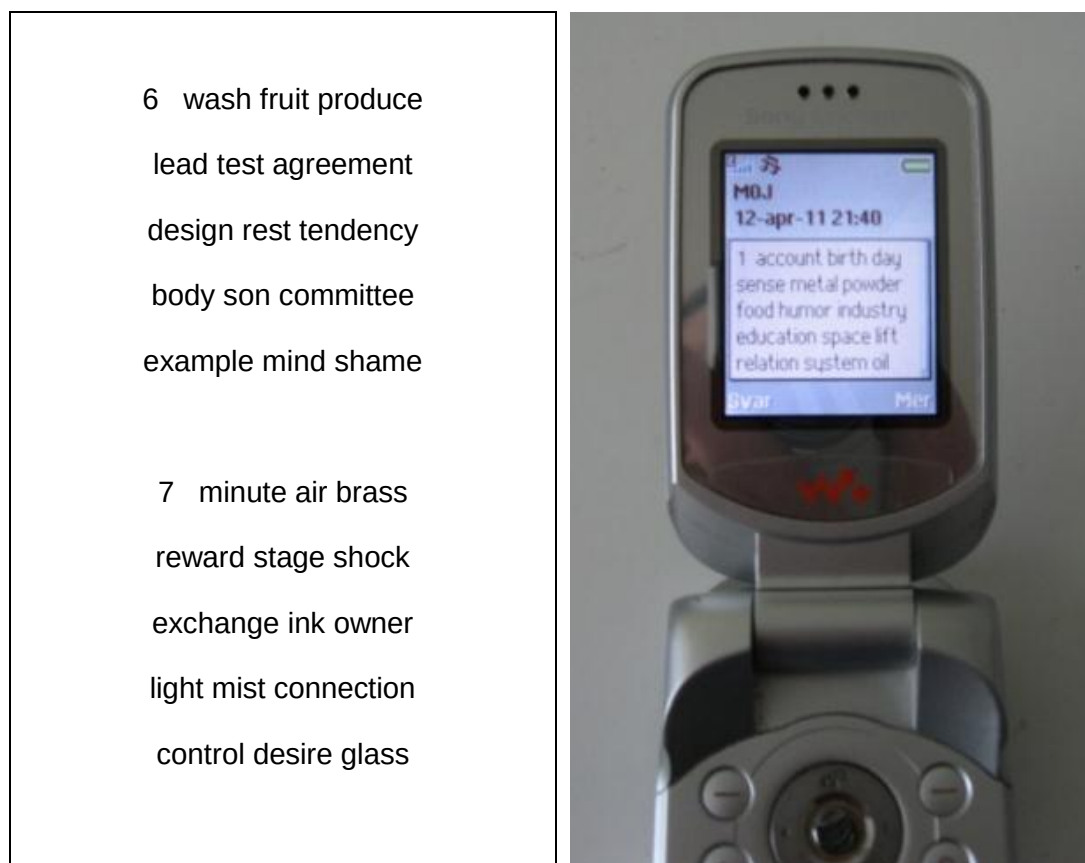
Lesetest

For å teste om blending fra en translusent fasade påvirker lesehastigheten brukte vi en mobiltelefon med et display som kan vippes. Displayet kan betraktes som en dataskjerm i skalamodellen. Siden flere av deltakere behersket norsk i begrenset grad, laget vi en lesetest med enkle engelske ord.

² ARIES B.C. VEITCH J.A. NEWSHAM G.R. (2010) Windows, view and office characteristics predict physical and psychological discomfort *Journal of Environmental Psychology* 1-9.

VELDS M. (2002) User acceptance studies to evaluate discomfort glare in daylight rooms. *Solar Energy* Vol. 73, No. 2, pp. 95-103.

Vi brukte ord fra ordboken Basic English, kjent altså som Simple English, utviklet av Charles Kay Ogden og presentert for første gang i boken “*Basic English: A General Introduction with Rules and Grammar*” i 1930. Vi brukte 400 såkalte “general words” fra denne ordboken, vi tok bort de 10 lengste av dem, blandet dem for å unngå repetisjon av meget like ord og laget 26 alternative ordsett med 15 ord i hver og med nøyaktig 3 ord i hver linje. To eksempler på ordsett er vist i Figur 40.



Figur 40 Eksempler på ordsett til venstre, mobiltelefon til høyre.

Fremgangsmåte

Forsøket ble gjennomført ved klart og stabilt vær. Fremgangsmåten var som følger:

Scenario 1

Forsøket begynte med at en deltaker satt seg ned foran modellen med haken plassert på et gitt merke i kanten av modellen. Han/hun ble bedt om å se mot fasaden i ca. 5 min for å venne seg til lysnivået. I mellomtiden forklarte en assistent forskjellen mellom parametrene oppgitt i spørreskjemaet.

Deltakeren ble spurt om å evaluere blendingen han/hun opplevde ved å merke av en av følgende:

- ☐ uutholdelig
- ☐ forstyrrende
- ☐ merkbart
- ☐ så vidt følelig

Han/hun ble så spurt om å lese et av ordsettene/SMS-ene på mobilen. Telefonen ble plassert foran det translusente fasadeelementet av assistenten, Figur 41. Assistenten målte lesetiden og noterte om deltakeren gjorde lesefeil. Lesingen ble gjentatt tre ganger; hver gang ble en ny SMS brukt. I etterkant gjorde deltakeren en subjektiv evaluering av hvor vanskelig lesingen var på skalaen:

- ☐ umulig å lese
- ☐ vanskelig å lese
- ☐ ukomfortabelt å lese
- ☐ ingen problemer



Figur 41 Foto av modellen, scenario 1.

Scenario 2

Fremgangsmåten fra scenario 1 ble gjentatt i scenario 2. Men denne gangen ble mobiltelefonen plassert nær den åpne delen av fasaden, se Figur 42.



Figur 42 Foto som viser plassering av mobiltelefon i scenario 2 (til venstre) og eksempel på valgt plassering av mobiltelefon i scenario 3 (til høyre).

Scenario 3

Deltakeren ble bedt om å plassere/vinkle telefondisplayet for å oppnå mest mulig komfortabel lesestilling. Lesehastigheten ble målt i tre omganger.

I tillegg ble belysningsstyrken målt vertikalt på utsiden av fasaden og i øyehøyde på observatøren. Luminansen ble målt i 8 jevnt fordelte punkter på fasaden og gjennomsnittlig luminans av fasaden ble kalkulert.

Resultater

Figur 43 viser hvordan gjennomsnittlig luminans fra innsiden av fasaden forandres med styrken av solstrålingen, målt vertikalt på utsiden av fasaden.

For eksempel kan vi, når den utvendige belysningsstyrken er 80 000 lux, forvente at fasadeluminansen på innsiden av et Nanogel fasadeelement vil bli ca. 7 800 cd/m². Luminansen av fasadeelementet varierer fra 2500 til over 10.000 cd/m².

I tillegg kan man estimere belysningsstyrken av lyset som faller på øyet til en stående person som er vendt mot fasaden; når den utvendige belysningsstyrken er 80 000 lux blir den ca. 8 500 lux.

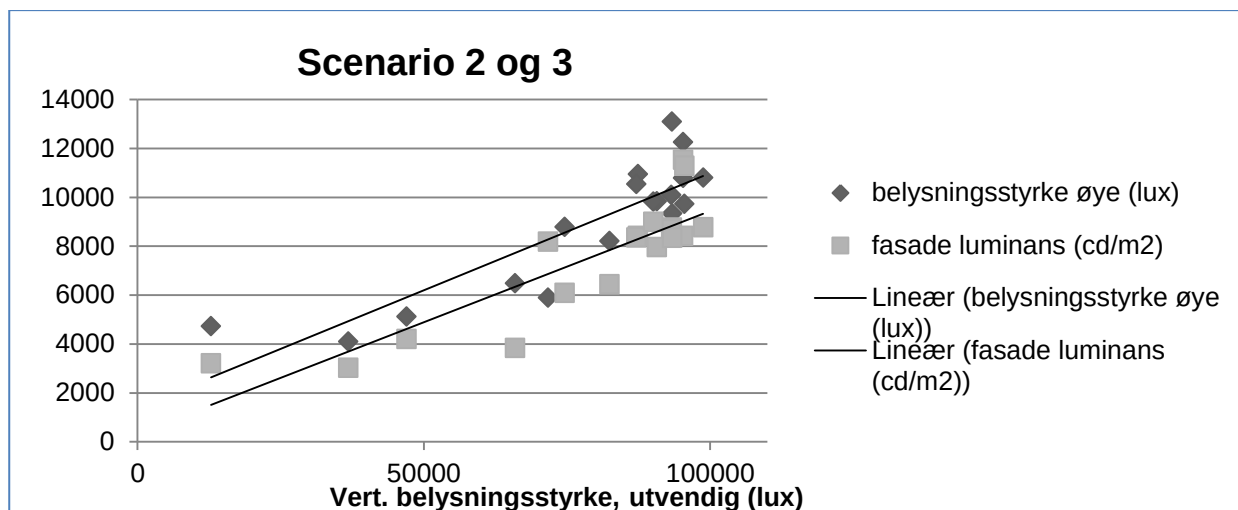
Betydelige kvalitative forskjeller ble funnet mellom scenariene 1 og 2-3. Det visuelle miljøet i scenario 1 var beskrevet som kjedelig, uten stimulans eller fokus, mens i scenario 2 var det mye mer interessant og stimulerende, men også mer komplekst³.

Da belysningsstyrken mot øyet ved klar himmel nådde verdier opp til 20 000 lux med HeatMirror-prøven festet til modellen, måtte vi ta bort HeatMirror fra forsøket for å unngå ødeleggende belastning av synet til forsøkspersonene.

³ KIM W. et al. (2008) A first approach to discomfort glare in the presence of non-uniform luminance. *Building and Environment* 43 1953-1960

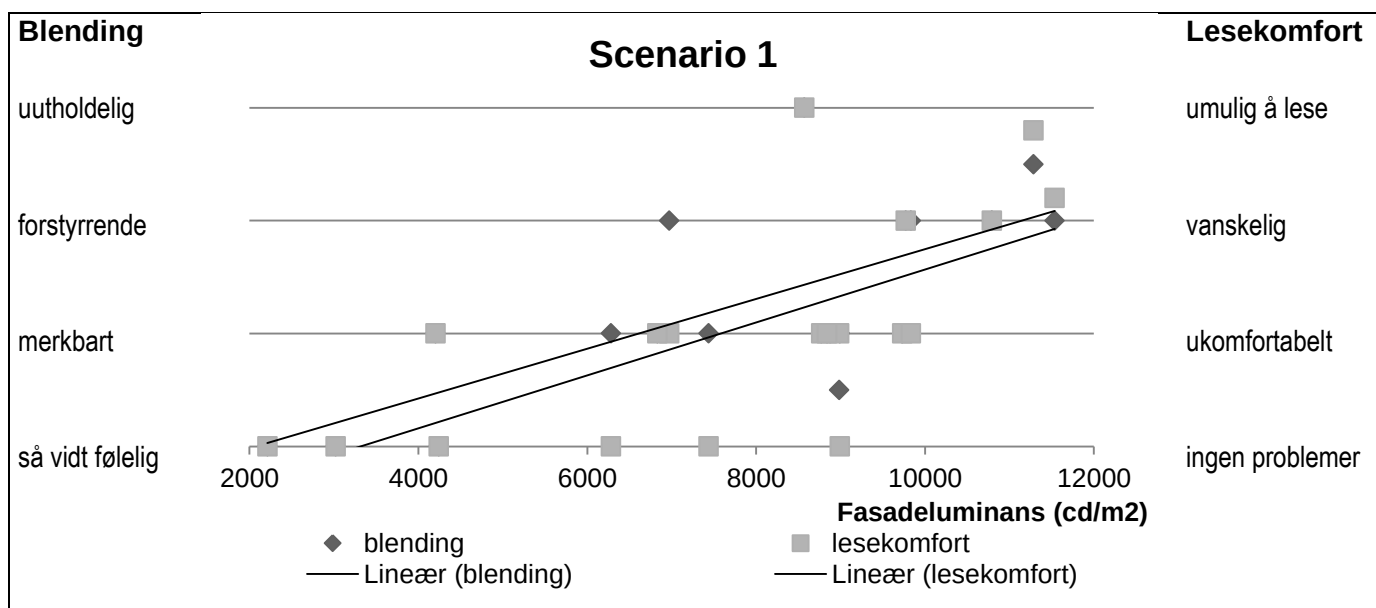
OSTERHAUS W.K.E. BAILEY I.L. (1992) Large Area Glare Sources and Their Effect on Discomfort and Visual Performance at Computer Workstations *Proceedings of the 1992 IEEE Industry Application Society Meeting* October 4-9, Huston LBL-35037 WG-312.

OSTERHAUS W.K.E. (1998) Brightness as a simple indicator for discomfort glare from large area glare sources. *Proceedings of the First CIE Symposium on Lighting Quality*, Ottawa, Ontario, Canada 9-10 May, CIE Report x015-1998, pp. 113-124.

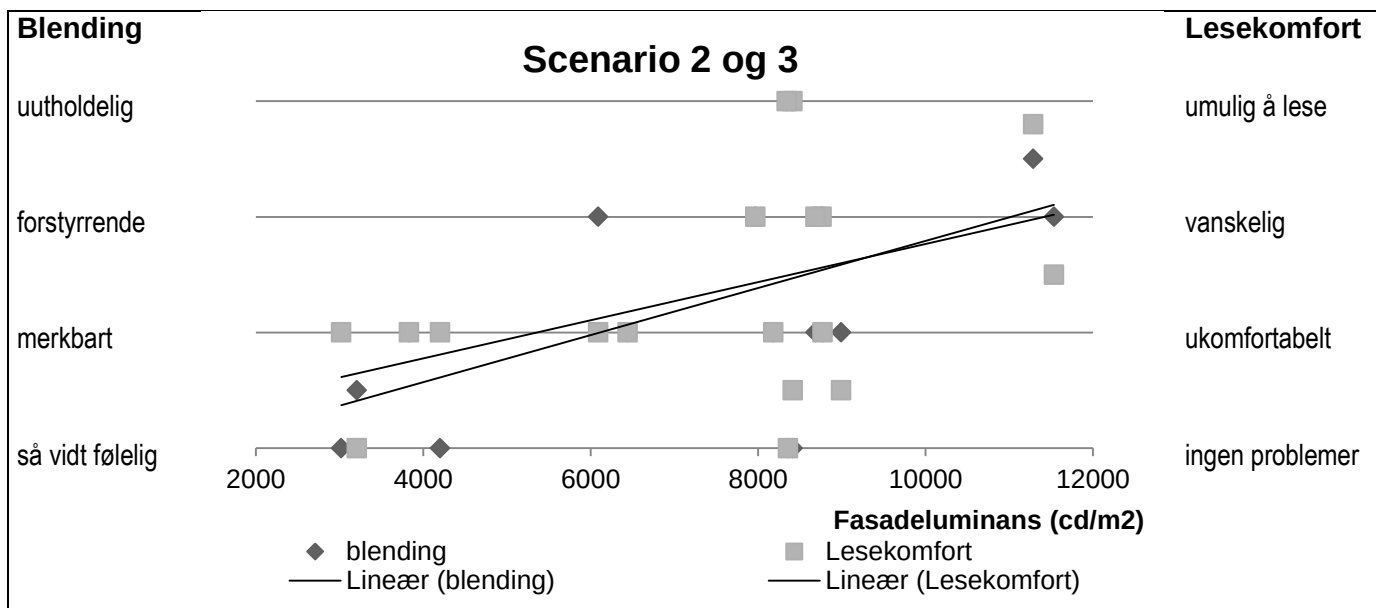


Figur 43 Fasadeluminans og belysningsstyrke på øye som funksjon av vertikal belysningsstyrke målt på utsiden. Scenario 2 og 3.

Fra Figur 44 og Figur 45 kan vi se at forskjellene mellom deltakere er meget store. Et fasadematerial som har luminans på ca. 8000 cd/m² kan forårsake opplevelse av merkbart, forstyrrende eller utålelig blending avhengig av personen, dette gjelder for begge scenariene. Trendlinjen viser at opplevelsen av blending øker med luminansen i alle scenariene.



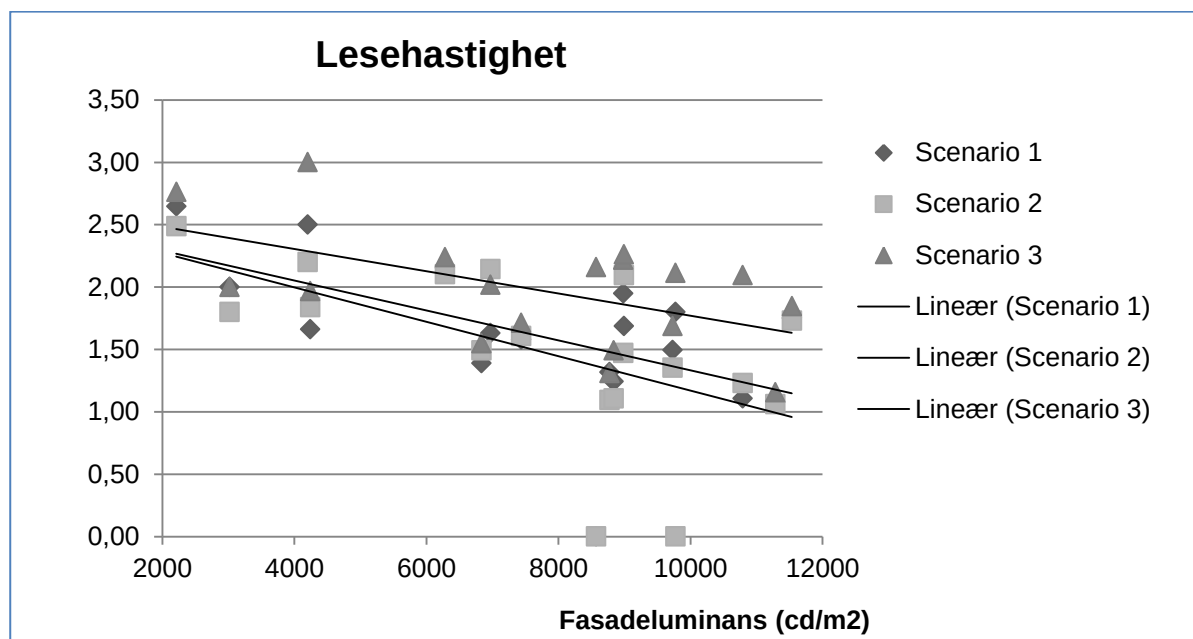
Figur 44 Blending og lesekomfort som funksjon av innvendig fasadeluminans, scenario 1.



Figur 45 Blending og lesekomfort som funksjon av innvendig fasadeluminans, scenario 2 og 3.

Terskelverdien for merkbar blending er ikke enkel å peke på basert på dette forsøket alene. Personer som er mer følsomme for blending melder merkbar blending ved 4000 cd/m², mens andre ved 6000-9000cd/m². Når fasadeluminansen er høyere enn 10 000 cd/m² svarer alle deltakerne at blendingen er forstyrrende eller utålelig.

Figur 46 viser sammenheng mellom fasadeluminans og lesehastighet for alle scenarios. Det er en klart tendens: lesehastighet synker med økning av fasadeluminans. Trendlinjene for de respektive scenariene peker på at lesehastigheten i scenario 2 er noe lavere enn i scenario 1, spesielt for høye luminansverdier. Det mest overraskende funnet er at lesehastigheten målt i scenario 3 var betydelig høyere enn i scenario 1 og 2.



Figur 46 Lesehastigheten i ord pr sekund som funksjon av fasadeluminans for alle scenariene.

Konklusjon og diskusjon

Blendingsforsøkene bekreftet at et Nanogel fasadeelement kan forårsake merkbart, forstyrrende og til og med uutholdelig blending når det blir belyst med sollys.

Blending kan forårsake reduksjon av lesekomfort og -hastighet på elektroniske skjermer plassert i nærheten av translusente fasadeelement.

Forsøket viste også at brukerne setter stor pris på visuell kontakt med utemiljø, opplevelsen av blending var lavere når deltakerne hadde mulighet til å se ut. Men hvis den åpne delen av fasaden muliggjør sollysinnslipp, blir det visuelle miljøet mer kontrastfullt, noe som kan forårsake en svak reduksjon i lesekomfort og -hastighet.

Det mest interessante resultat fra blendingsforsøkene er muligens at lesehastigheten kan økes selv med forstyrrende blending, hvis man har mulighet til selv å velge plassering og helning av displayet.

Forsøket ble gjennomført med Nanogel materialprøve med meget høy diffuserende egenskaper og 30-31 % total lystransmittans. Siden blendingen øker med lysnivå, vil andre translusente materialer som har høyre transmittans og/eller lavere diffuserende egenskaper (HeatMirror, Qbiss5) forårsake enda sterkere grad av blending.

Luminansen større enn 8000cd/m² vil kunne oppfattes som blendene av mesteparten av brukerne mens de mer lysfølsomme vil oppleve ubehagsblending allerede ved 4000cd/m². Slike luminansverdier vil oppstå ved en utvendig vertikal belysningsstyrke av henholdsvis 80.000 og 40.000 lux. En belysningsstyrke på ca. 40.000 lux kan forventes hele året på sørvendte fasader og fra mars til oktober også på øst- og vestvendte fasader i Oslo. Dette betyr at for å skape visuell komfort i bygninger med translusente fasadeelementer som har 30% lystransmisjon og meget sterk lysspredningsevne er det behov for reduksjon av fasadeluminansen, for eksempel ved hjelp av innvendige (rulle)gardiner.

4.4. FARGEFORSKYVNING

Fargene vi oppfatter i et rom, og kontrastene mellom disse, er avgjørende for vår oppfattelse av atmosfære, visuell klarhet og, som en konsekvens av dette, den opplevde lyskvaliteten.⁴ Farger oppfattes som et resultat av en kompleks prosess i hjernen, der inngående signaler formes av intensiteten og bølgelendefordelingen hos den stråling som når netthinnen vår. Dette er igjen et resultat av de samme egenskapene – intensiteten og bølgelendefordelingen – i lyset fra lyskilden tilsammen med den fargede overflatens refleksjonsegenskaper.⁵

Translusente fasadematerialer og transparente vindusglass forandrer bølgelengdenes distribusjon av innkommende dagslys og kan dermed påvirke vår oppfattelse av fargene i et rom. Imidlertid har mennesket en stor kapasitet til å tilpasse seg (adaptere) til forskjellige lyssituasjoner, noe som resulterer i det vi kaller fargekonstans. Den oppfattede fargen på et objekt - eller slike følsomme ting som menneskelig hud – endrer seg langt mindre under ulike lysforhold enn det skulle kunne antas, sett ut fra distribusjon av bølgelengde eller lysintensiteten. Dette er en biologisk utviklet persepsjonsmekanisme for at vi skal kunne kjenne igjen verden og dens innhold uavhengig av lyssituasjon.

Derfor blir fargeforvrengning som skyldes vinduer eller fasadematerialer påtagelig når det finnes mer enn én lyssituasjon som vårt visuelle system kan adaptere til. En slik situasjon vil oppstå når et translucent fasadematerial kombineres med transparente vinduer, eller når vinduer åpnes og slipper inn ufiltrert dagslys. I en slik situasjon – når en bygning har translusente fasader og transparente vinduer som kan åpnes - kan det være tre samtidige lysforhold skapt av dagslys. Resultatet blir at vi tydelig ser de fargeforskjeller som skapes av lyset, se Figur 47.



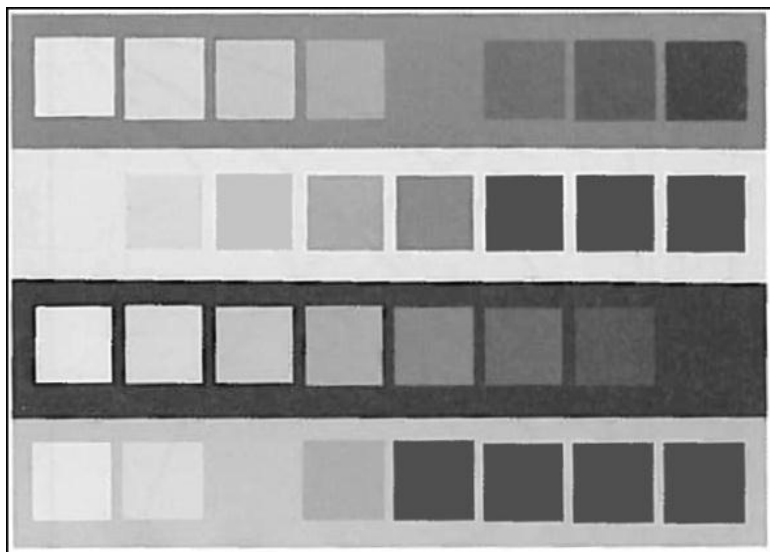
Figur 47 Mies van der Rohe-pavillionen i Barcelona. Foto: Kine Angelo.

En ytterligere faktor som påvirker vår fargeoppfatning er kontrasten mellom fargen som betraktes og dens bakgrunn. Vår evne til å se små kontraster reduseres med økningen av adaptasjons luminans; altså den «gjennomsnittlige» luminansen i synsfeltet. Med en svart

⁴ Nyere studier av romlig samspill mellom lys og farge har blitt gjennomført innenfor det transdisiplinære nordiske forskningsprosjektet SYN-TES. Se Fridell Anter 2011 og Häggström & Fridell Anter 2012.

⁵ VALBERG A. (1998) *Lys Syn Farge*, Trondheim: Tapir Forlag

bakgrunn er selv den minste endring i en farge synlig. Med en hvit bakgrunn synker vår evne til å oppdage fargeforandringer⁶.



Figur 48 Omfeltets betydning for oppfattet lyshet. Fire fysisk identiske lyshetsrekker er omgitt av fire forskjellige omgivelser. Fra Valberg 1998 fig 106, side 136.

Hovedmålet for dette eksperimentet var å utforske hvordan ulike translusente og transparente materialer påvirker hvilke farger vi oppfatter - og dermed atmosfæren - i et rom. Resultatene er fullt gyldig kun i lignende situasjoner som i testen, inkludert bakgrunnsfarge for prøvene. Resultatene indikerer også i hvilken grad vår adaptjonskapasitet blir anstrengt i situasjoner med de testede materialene, og innom hvilket fargeområde det er trolig at kontrastene minsker eller øker.

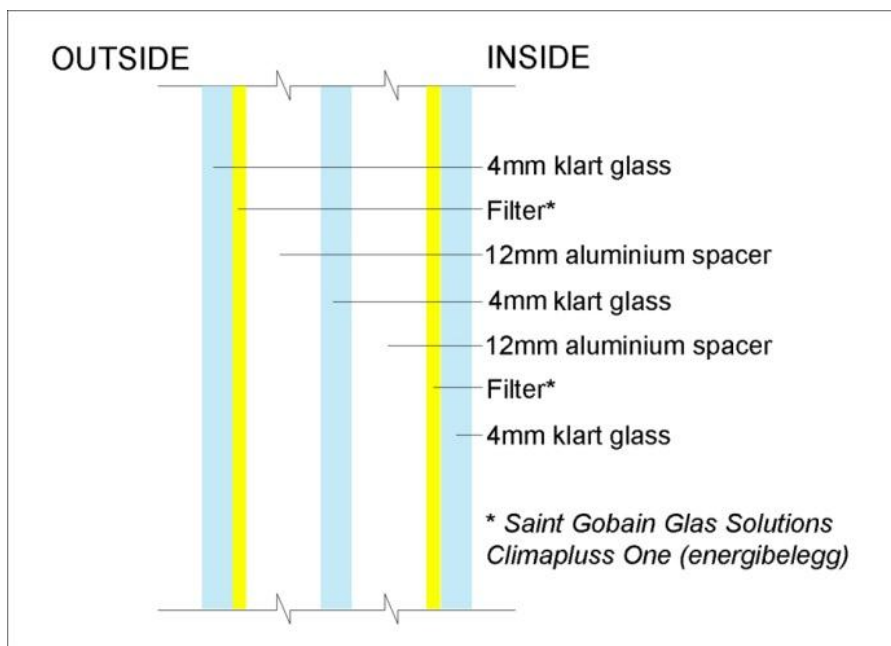
De testede materialene

Totalt ble det testet 13 transparente vindusglass og tre typer translusente fasadematerialer. De to som er tatt med som eksempler her i veilederen er de to som i utgangspunktet var tiltenkt brukt i det nye Deichmanske hovedbibliotek.

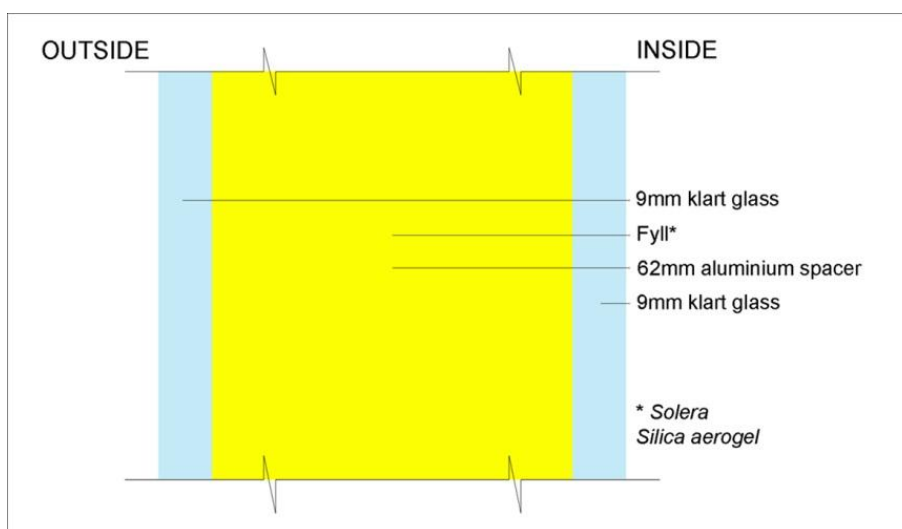
Det transparente vindusglasset er fra Saint Gobain Glass Solutions, og er et 3-lags glass med to lavemisjonsbelegg, 4E-12Ar-4-12Ar-E4, som gir en emissivitet på 0,03 og U-verdi på 0,7. Dette er et eksempel på 3-lags glass som normalt brukes i dag når det er spørsmål om gode U-verdier. Se Figur 49.

Det translusente fasadematerialet er fra Okalux, og er fylt med Okagel (nanogel granulater), heretter referert til som «Nanogel». Se Figur 50 for oppbygging, og se kapittel om translusente produkter for fasader for nærmere opplysninger om materialet.

⁶ Hvite fargers funksjon som anker for lyshetsadaptasjon og fargeadaptasjon diskuteres i Klarén & Fridell Anter 2009.



Figur 49 Illustrasjon som viser oppbyggingen av det transparente vindusglasset. Kine Angelo.



Figur 50 Illustrasjon som viser oppbyggingen av det translusente fasadematerialet. Kine Angelo.

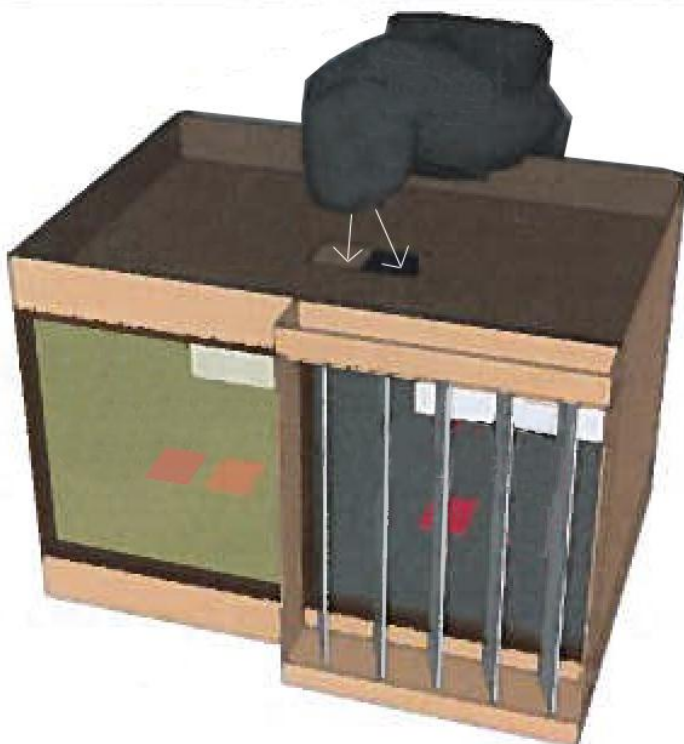
Andre transparente glass og translusente materialer som ble testet blir presentert i en kommende rapport.⁷

Forsøksmetoden

Vi brukte en skalamodell i 1:10. Modellen besto av to identiske kamre med et kikkhull i toppen som tillot observatøren å se inn i begge kamre samtidig. I fronten av det ene kammeret plasserte vi det materialet som skulle testes, mens det andre kammeret var åpent. Inne i modellen var alle overflatene dekket med matt, svart papp.⁸

⁷ Matusiak, B., Angelo, K. & Fridell Anter, K: *Glazing*. SYN-TES rapport 7. Blir utgitt på www.konstfack.se/SYN-TES.

⁸ HUSSEIN, I. (2007) *Hur olika glas och ljus samverkar ur färgåtergivningssynpunkt*. Stockholm: KTH Teknik och hälsa Report 2005:178.



Testglass Åpent kammer + persienne

Figur 51 Den anvendte skalamodellen. Illustrasjon av Julie Guichard.

Fra baksiden kunne vi plassere fargeprøver i kamrene. Fargeprøvene var NCS-prøver og målte 2 cm x 5 cm. Observatørene var en arkitekt og en interiørarkitekt med fargekompetanse. Deres oppgave var å bedømme visuelt hvilke av et stort antall prøver, sett bak testmaterialet, som så like ut som testprøven i det åpne kammeret.

Translusente materialer har lavere lystransmisjon enn transparente glass, men også transparent glass reduserer det innkomne lysets intensitet. For at gi samme belysningsstyrke inne i kamrene brukte vi vertikale persienn foran det åpne kammeret.

Først plasserte vi to identiske fargeprøver i begge kamrene. Deretter byttet vi systematisk ut prøvene bakom det testede materialet til vi fant en som matchet referanseprøven i det åpne kammeret. Hver gang fikk observatøren velge hvilken av to prøver som var mest lik referansen. Vi testet nærliggende farger i NCS-sirkelen for å finne den oppfattede kulørtonen, og nærliggende farger i NCS-triangelen for å finne den oppfattede nyansen.

BILLGER, M. (1999) *Colour in Enclosed Space. Observation of Colour Phenomena and Development of Methods for Identification of Colour Appearance in Rooms*. Göteborg: Chalmers University of Technology, Architecture (diss.)

FRIDELL ANTER, K. (2000) *What colour is the red house? Perceived colour of painted facades*. Stockholm: KTH Architecture (diss.)

HÅRLEMAN, M. (2007) *Daylight Influence on Colour Design. Empirical Study on Perceived Colour*. Stockholm: Axl Books (diss.)

Samme prosedyre ble gjennomført to ganger for hver kombinasjon av referanseprøve og testmateriale, og kombinasjonene ble igjen testet mot enten en sort eller en hvit bakgrunn. Bakgrunnene var i begge tilfellene matte og like for begge kamre.

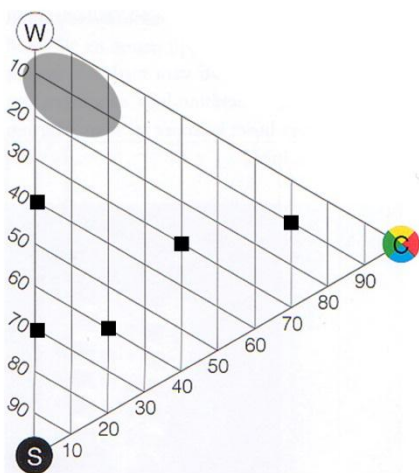
Resultatene ble analysert ved hjelp av NCS-systemet og dens begreper, og ble illustrert i NCS-symbolene triangelen og sirkelen⁹.

Resultater

Observasjonene viste tydelig at overflater med lyse og blasse farger har en tydelig forskyvning mellom de ulike lyssituasjonene, mens mørkere og sterkere kulørte farger er mye mer stabile. Figur 52 viser det nyanseområdet der man kan forvente seg tydeligere fargeforskyvninger samt de nyansene vi har testet uten å finne noen tydelig forskyvning.

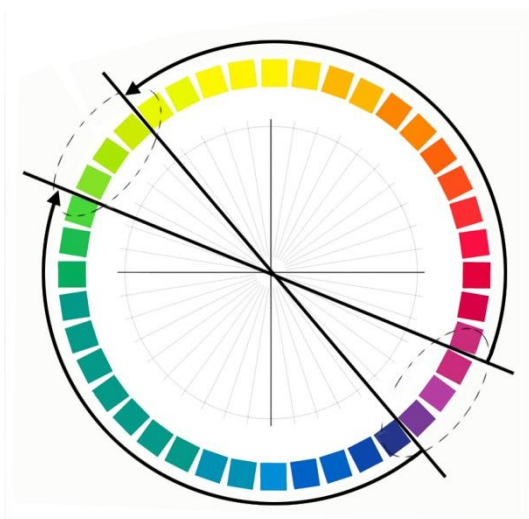
Figur 53 viser hoveddragene i de lyse og blasse fargenes kulørtoneforskyvning når de sees i ufiltret dagslys sammenlignet med de bak de testede transparente eller translusente fasadematerialene. Farger med dominerende blåhet og/eller grønnhet (kulørtoneområde mellom circa R50B og G50Y) tenderer å få sin kulørtone forskjøvet med klokken i NCS-systemet. Farger med dominerende rødhet og/eller gulhet tenderer å få sin kulørtone forskjøvet mot klokken i NCS-systemet. Disse tendensene er de samme for både transparent vindusglass og translucent fasademateriale, men er tydeligst for det transparente vindusglass. De var også like for svart og hvit bakgrunn, men sterkere med svart bakgrunn.

Når det gjelder nyanseforandringer er disse ulike i ulike deler av fargesirkelen. Disse vises i figurene Figur 54-Figur 58.



Figur 52 Omtrentlig nyanseområde der testede farger viste seg ømfintlige for fargeforskyvning årsaket av glass- og fasademateriell (skravert). Punktene viser testede nyanser som ikke viste seg ømfintlige for slike forskyvninger.

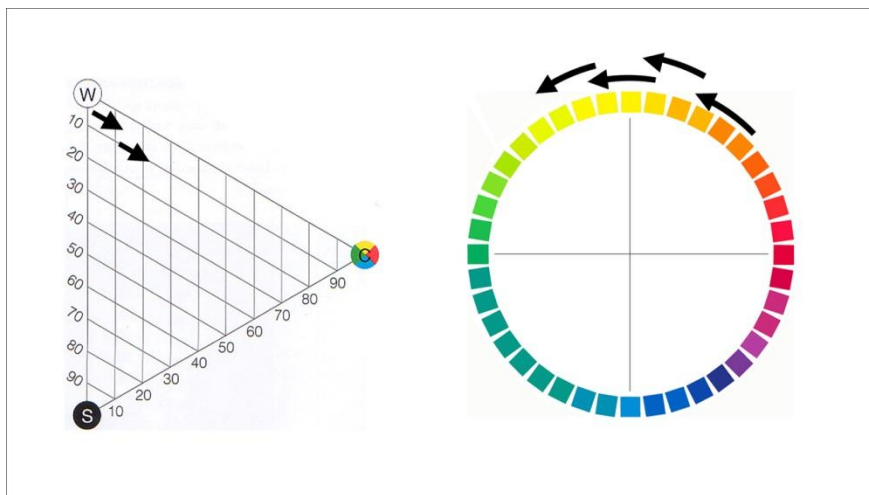
⁹ HÅRD, A. (1995). Det naturliga färgsystemet. I Hård A. & Å. Svedmyr .Färgsystemet NCS. Tanke, tillkomst, tillämpning. Färgantologi bok 1 sid 53-125. Stockholm: Byggeforskningsrådet.



Figur 53 Prinsippet for kulørtoneforskyvelse for lyse og blasse fargeprøver sett bakom de testede flass- og fasademateriell sammenlignet med hvordan de ser ut i ufiltrert dagslys.

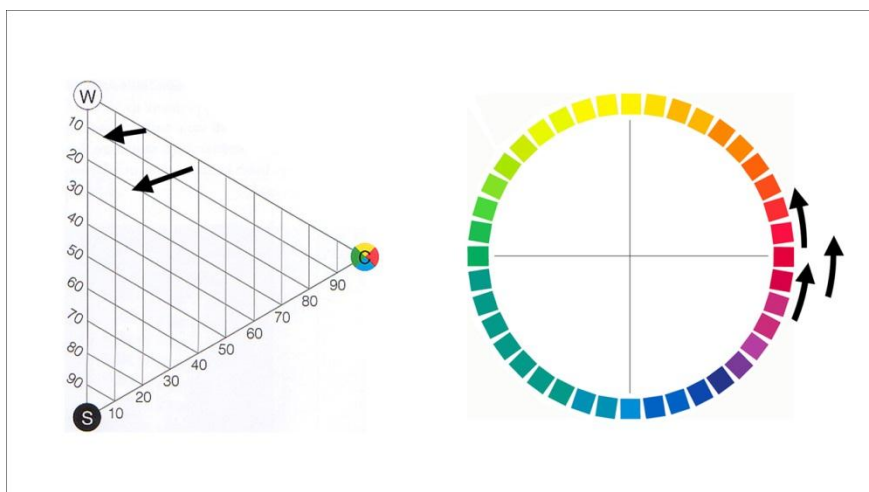
Pilen viser fargeforandringens retning fra fargeprøven sett i dagslys til samme fargeprøven sett bakom testmaterialene. Figuren viser bare retningen, ikke størrelsen på farge-forskyvingen. Linjene gjennom sirkelen peker på de fiolette og grønn-gule «brytningspunktene» for fargeforskyvningene. Ulike materialer kan gi noe ulike brytningspunkt. Innenfor de ovale, stiplede områdene er fargeforskyvningen derfor særdeles vanskelig å forutsi.

Figurene Figur 54 -Figur 58 viser prinsippene for fargeforskyvelse for lyse og blasse farger sett bak det testede transparente vindusglasset (pilens spiss) sammenlignet med ufiltrert dagslys (pilens start).



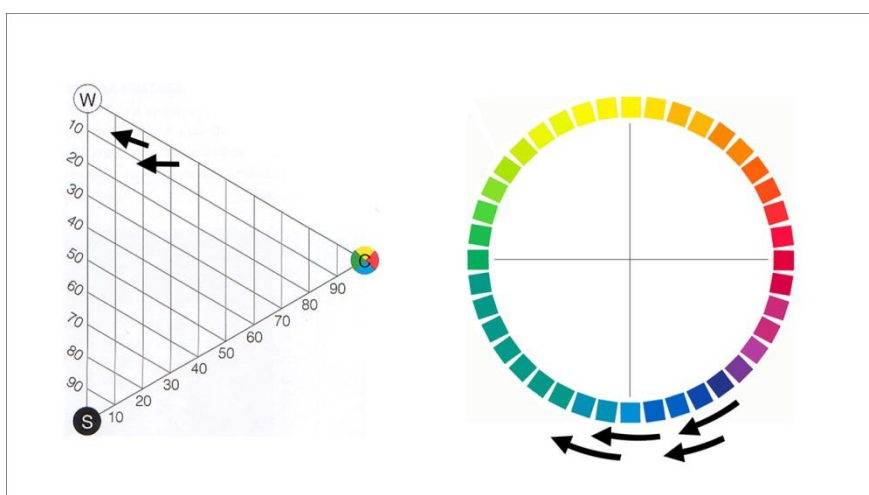
Figur 54 GULAKTIGE FARGER: Nyansen blir mer kulørt (sterkere farge).

Kulørtonen forskyves fra rødt – mot grønt.



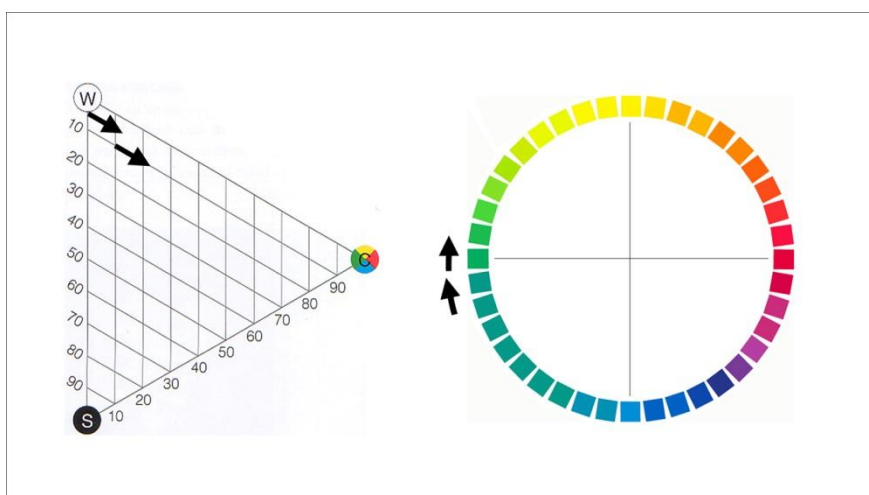
Figur 55 RØDAKTIGE FARGER: Nyansen blir mørkere og mindre kulørt (fargen dempes).

Kulørtonen forskyves fra blått – mot gult.



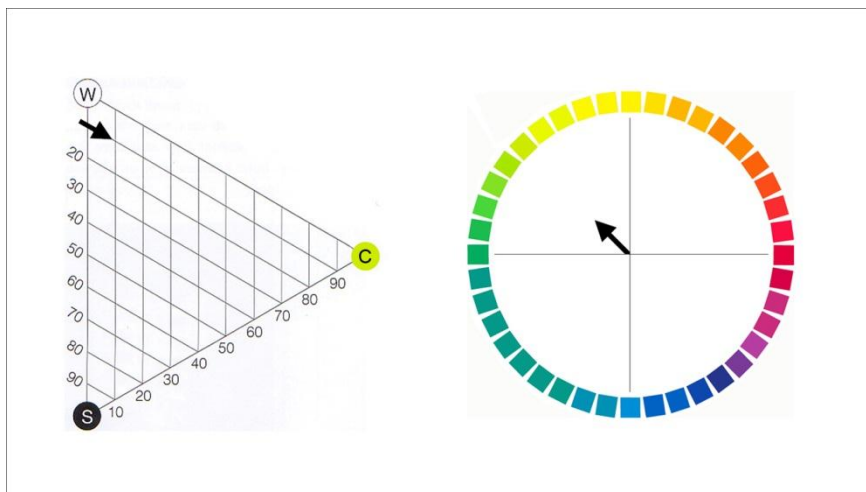
Figur 56 BLÅAKTIGE FARGER: Nyansen blir mindre kulørt (svakere farge).

Kulørtonen forskyves fra blått – mot gult.



Figur 57 GRØNNAKTIGE FARGER: Nyansen blir mer kulørt (sterkere farge).

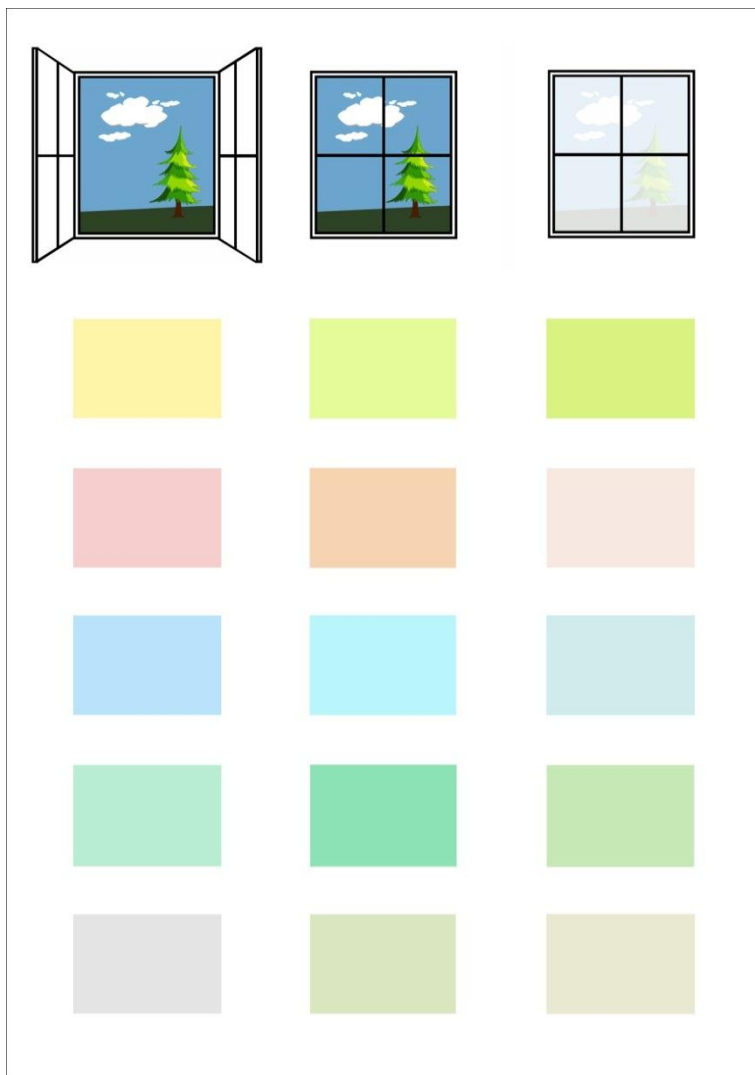
Kulørtonen tenderer å forskyves fra blått – mot gult.



Figur 58 GRÅ FARGER: Nominelt grå farger får en gulgrønnaktig kulørtone.

Konklusjoner

Resultatet viser at det testede transparente vindusglasset tenderer å gi ganske sterke fargeforvrengninger sammenlignet med det åpne kammeret (vinduet) som slipper inn ufiltrert dagslys. Resultatet for det translusente materialet viser et lignende mønster, men ikke like sterkt som for det transparente glasset, se Figur 59 («fargeprøver» bak åpent, lukket og translusent vindu).



Figur 59 Illustrasjonen viser hovedtrekket i fargeforskyvningen for en og samme fargeprøve sett innenfor et åpent vindu, innenfor et lukket vindu med det testede transparente glasset og innenfor det testede translusente fasadematerialet. Det er her ikke tatt hensyn til adaptasjon. Fargegjengivelsen i veilederen kan medføre avvik fra originalen, og forskyvningen er noe forsterket for å tydeliggjøre tendensene. De viste fargene er altså ikke ment som eksakte gjengivelser av hva som kan observeres i det virkelige rommet, men som en illustrasjon av de tendenser vi har funnet.

Lyse, blasse farger, altså farger med lav sorthet og lav kulørthet, er veldig mottagelig for forandring, mens sterkt kulørte, intense farger, og mørke farger tenderer å være mer stabile. Dette betyr at den totale rekkevidden av farger, og deres kontraster, forandres mellom de testede situasjonene. Glasset gir en grønnaktig tone til lyst gule og grå overflater, og gjør lyst røde, blå og fiolette overflater mindre kulørte, det vil si mer blasse og gråaktige. Lyse, grønne overflater blir mer intensive når de belyses gjennom glasset. Alt dette er veldig logisk, ettersom begge de testede materialene i høy grad består av grønnaktig glass.

Menneskelig adaptasjon kompenserer imidlertid delvis for fargeforskyvningene. Vi fant ut at fargeforskyvningene mellom forskjellige situasjoner var noe større når fargeprøvene ble testet mot sort bakgrunn sammenlignet med hvit bakgrunn. Dette resultatet ble forventet av to årsaker. Det ene er adaptasjonsluminansens betydning, som vises i Figur 48. Den andre årsaken er at vårt visuelle system bruker hvitt – eller det vi oppfatter som hvitt – som et anker i vår bedømmelse av alle andre farger i synsfeltet. Det betyr at om hele scenen - inklusive hvite

overflater - belyses med samme lys, kommer vårt visuelle system til å se bort ifra den mulige fargeforskyvningen, som skyldes lyskilden ¹⁰.

Når det gjelder de testede materialene vil imidlertid fargeforskyvninger skje til tross for adaptasjonen. Vi vil dermed oppfatte en mindre rekkevidde av farger i rommet enn det det i virkeligheten er, og dermed kommer helheten til å se mer blass ut enn når det belyses gjennom et åpent vindu.

I tillegg vil balansen og kontrastene mellom ulike farger påvirkes. I noen fargeområder kommer kontrastene mellom ulike fargede overflater til å forandres drastisk. Lyse, blasse overflater i det grønnngule fargeområdet blir mer like bak glasset ettersom alle farger, inklusive de nominelt¹¹ nøytralgrå vil påvirkes av det gulaktig grønne glasset. For blasse, rød-blå farger vil det motsatte skje. Fiolette farger, nominelt nærmere rødt, forskyves mot rødt, mens fiolette farger som er nominelt nærmere blått forskyves mot blått. Samtidig vil blasse farger i det rød-blå området miste mye av sin intensitet.

Hvis vi tenker på at de sterke og mer intensive fargeoverflatene påvirkes mindre av glasset enn de lysere, blasse overflatene, så kan dette bety at en fargesetting som bygger på kulørtonelikheter eller på subtile fargeforskjeller vil forandres, og til og med bli ødelagt, om man ikke tar hensyn til glasset gjennom hele designprosessen.

Et spørsmål som ennå ikke er diskutert er hva som vil skje når ulike lyssituasjoner kombineres i samme rom. Noen eksempler:

Hvis ett glass, i en rad av vinduer med energiglass, åpnes og slipper inn ufiltrert dagslys kommer fargene til å oppfattes drastisk ulikt i de to situasjonene. Om vi er adaptert til det grønne lyset, så kommer det ufiltrerte dagslyset til å oppfattes som blå-rødt og samtidig mer intensivt og sterkt. Dagslyset kommer til å avsløre fargekontraster som knapt kan oppfattes innenfor vinduene, og visse farger i rommet kommer til å endre karakter dramatisk.

Om transparente vinduer plasseres i den translusente fasaden, så blir lyset som kommer inn gjennom vinduet mye mer intenst og noe grønnere enn det svake lyset som diffuseres gjennom det translusente materialet. Hvordan dette påvirker vår fargeoppfattelse avhenger av hvordan vi adapteres til helheten, og dette beror i sin tur på plasseringen av, og den relative størrelsen på de to materialene.

I virkelige bygninger fins naturligvis også en mengde kunstige lyskilder med ulike lysfarger og ulike evner til fargegjengivelse (colour rendering index). Deres interaksjon med de transparente glassene eller de translusente fasadematerialene har ikke blitt undersøkt eller diskutert innenfor dette prosjektet. Vi kan imidlertid se et stort behov for ytterligere studier av samspillet mellom

¹⁰ KLARÉN U. & FRIDELL ANTER K. (2009) *Så vitt vi vet. Nominellt kulörta färger som vithetsankare*. <http://www.konstfack.se/sv/Forskning/Konstnarligt-utvecklingsarbete-KU/KU-projekt/Avslutade-KU-projekt-2009/>

KLARÉN U. & FRIDELL ANTER K (2011). Colour and light in space: Dynamic adaptation and spatial understanding. *AIC 2011, Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences, Midterm Meeting of the International Color Association, Zurich, Switzerland, 7–10 June 2011: Conference Proceedings* pp 485–488. Eds: V. M. Schindler & S. Cuber. Zürich: pro/colore, 2011

¹¹ Den nominelle fargen hos en fargeprøve er den som angis av dens NCS-kode. For eksempel: 1010-R50B er koden for en blass fiolett farge med kulørtone midt mellom rødt og blått.

ulike lystransmitterende materialer og lyskilder, inklusive de eksterne som er plassert utenfor bygningen og lyser inn når det er mørkt ute.

“en fargesetting som bygger på kulørtone­likhet eller på subtile fargeforskjeller kommer til å forandres, og til og med ødelegges, om man ikke tar hensyn til glasset gjennom hele designprosessen.”

5. ENERGIBEREGNINGER

Translusente fasader har mulighet for bedre U-verdi enn vanlige vinduskonstruksjoner. De translusente fasadene har dermed lavere varmetap i kalde perioder enn konvensjonelle glassfasader. Og de gir et høyere tilskudd av dagslys og varmetilskudd enn vanlige (ugjennomskinnelige) fasader.

Elektrisitet er ansett som en kostbar energikilde med tilhørende utslipp, som man ønsker å bytte ut med termisk energi der det er mulig. Ved å benytte translusente materialer og dimming av belysning vil det elbehovet til belysning reduseres og en større del av det totale energibehovet kan dekkes av termisk lavverdig energi. Samtidig vil det være høyere varmetap enn en vanlig fasade og høyere varmetilskudd i perioder med kjølebehov.

Det eksisterer per i dag en rekke verktøy for å beregne bygningers energibehov. Slike verktøy er av stor betydning for å lykkes med å utforme energieffektive bygg. Men det er variasjoner i detaljering og beregningsalgoritmer for ulike beregningsprogrammer og dermed også usikkerhet knyttet til resultatene. Et delmål i prosjektet har vært å undersøke i hvilken grad programmene er lagt til rette for å vurdere av translusente fasader.

Det er utført sammenligninger av ulike beregningsprogrammer. Det arbeidet har konkludert med at et av programmene er bedre egnet enn de andre.

Dette programmet er benyttet videre for å se på konsekvensene ved å bytte ut en andel av fasadene med translusente materialer. Videre er det sett på tiltak som skal til for at denne typen fasader kan benyttes til energieffektive bygg med godt innklima.

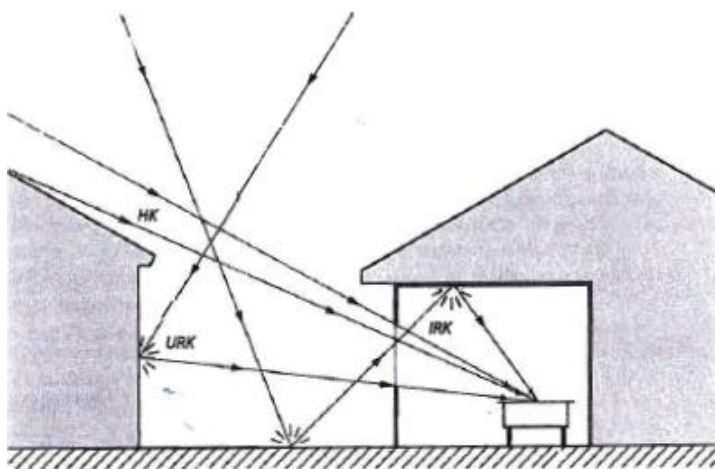
Avgrensning

Prosjektet startet med å se på et større kontorbygg. Men for å få et mer detaljert bilde av termisk innklima ble det besluttet å avgrense beregningene til å se på mindre soner.

5.1. TEORI OG INNDATA

Teori

Solstråling kan deles inn i stråling fra himmelen og stråling reflektert fra omgivelsene (albedo).



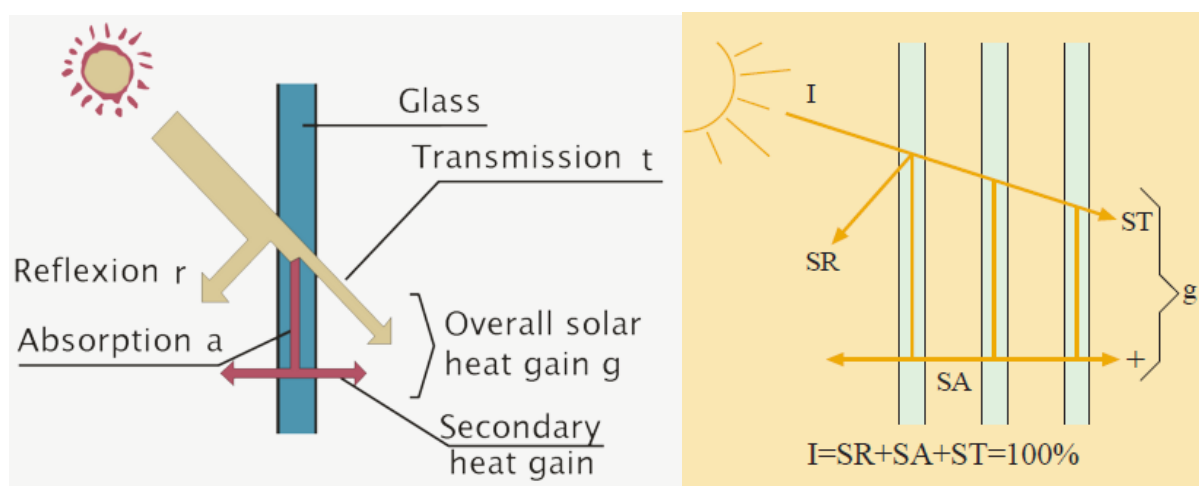
Figur 60 Lyskultur, 1A "Lysboken. Grunnleggende begreper", 2009

Solstrålingen fra himmelen er fordelt i direkte normal og diffus horisontal stråling. Direkte normal stråling er solstråling som kommer i rett linje fra solens posisjon på himmelen mot en overflate som holdes vinkelrett (normalt) på strålene. Diffus horisontal stråling er mengden solstråling mot en horisontal overflate (uten skygge), som ikke kommer direkte fra solen, men som har blitt spredt av molekyler og partikler i atmosfæren og dermed kommer fra alle retninger.

Fordelingen mellom diffus og direkte stråling avhenger av skydekke. På en skyfri dag vil den direkte strålingen være dominerende, mens når det er overskyet vil det hovedsakelig være diffus. Over året er i underkant av en tredjedel av den totale himmelstrålingen diffus for det gitte Oslo-klimaet.

Ved bar bakke i bebygde strøk kan man anta at omgivelsene reflekterer 20 % av himmelstrålingen, dette er standardverdien som benyttes i energiberegninger. Ved nysnø eller andre høyt reflekterende omgivelser kan omgivelsesstrålingen være opptil 90 %. Jorda har en gjennomsnittlig albedo på 37-39 %. Omgivelsesstrålingen er i hovedsak diffus.

For de aktuelle klimadataene fra Oslo benyttet i de følgende beregningene utgjør diffus stråling (himmelstrålingen sammen med albedo) rundt halvparten av den totale solenergien i løp av et år.



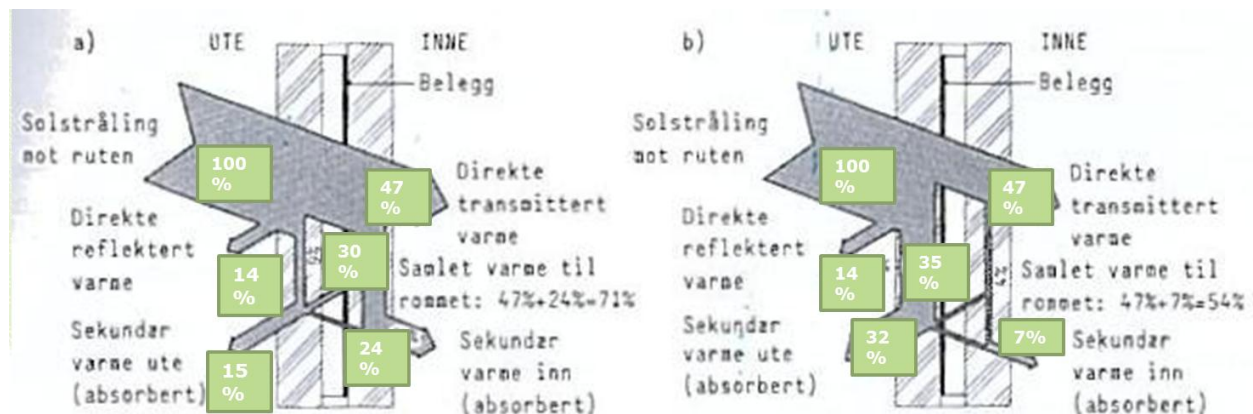
Figur 61 Stråling mot gjennomskinnelig flate blir enten transmittert, absorbert eller reflektert.¹²

Ved beregning av varmetilskudd fra solstråling modelleres dette som en fordeling mellom reflektert, transmittert og absorbert andel. Vinduskonstruksjonen vil altså reflektere en andel av strålingen og absorbere en andel, som avgis som konveksjon og langbølget stråling, resten transmitteres gjennom glassflaten.

Fordelingen av energien vil være avhengig av vinduskonstruksjonens oppbygning. For eksempel vil forflytting av et lavemisjonsbelegg fra innerste til ytterste flate i en vinduskonstruksjon redusere solfaktoren (andel tilført energi; g -verdien) med en tredjedel (se Figur 19). Det er da den absorberte andelen varme som reduseres, mens de transmitterte og reflekterte andelen er like.

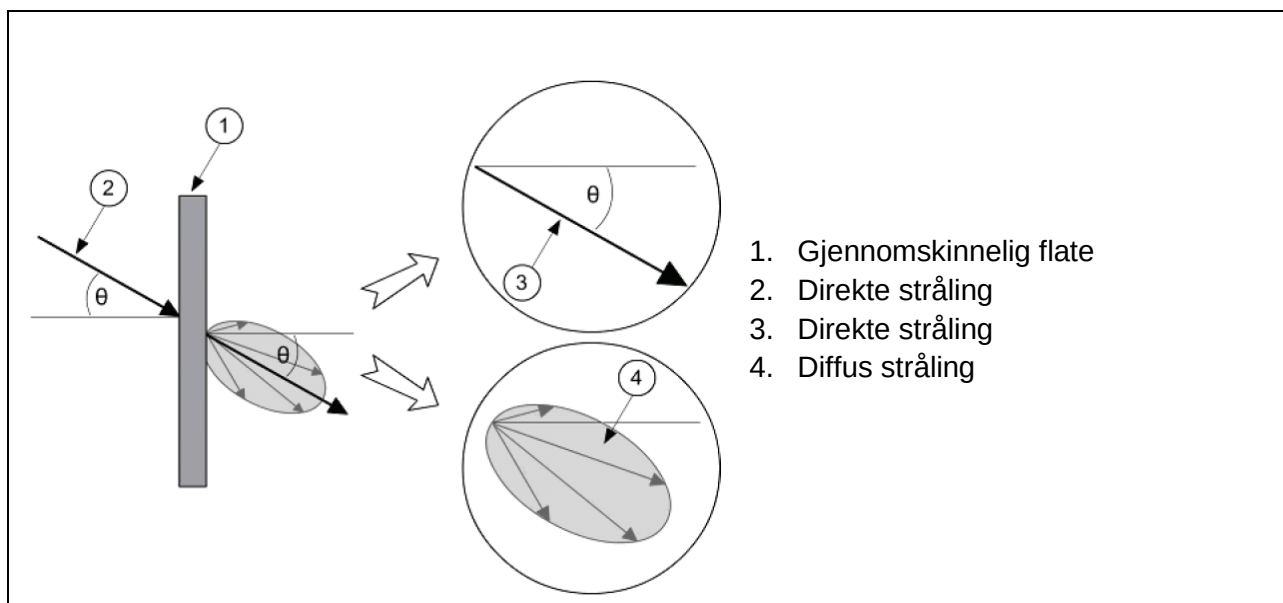
¹² EULEB - European high quality Low Energy Buildings (www.acca.it/euleb/en/glossary/index5.html)

En andel av den transmitterte direkte strålingen vil bli diffus ved transporten gjennom flaten. Solhøyden og de optiske egenskapene til den gjennomskinnelige flaten avgjør diffuseringen. For en translusent komponent vil en stor andel av den direkte strålingen blir diffus.



Figur 62 Solenergiens fordeling gjennom vindusglass med lavemisjonsbelegg på a) innerste glasset ($g=0,71$) og b) ytterste glasset ($g=0,54$).¹³

En andel av den transmitterte direkte strålingen vil bli diffus ved transporten gjennom flaten. Solhøyden og de optiske egenskapene til den gjennomskinnelige flaten avgjør diffuseringen. For en translusent fasade antar vi at en stor andel av den direkte strålingen blir diffus.

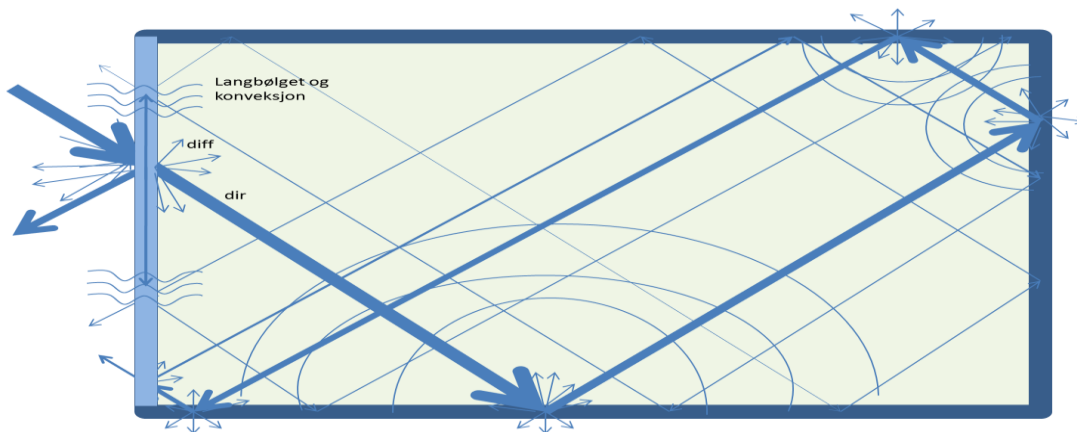


Figur 63 Modell av transmittert direkte stråling.¹⁴

¹³ ENØK I BYGNINGER, Effektiv energibruk, s. 207, Gyldendal 2007

¹⁴ NS-EN 14501:2005 Persiennner, sjalusier og skodder - Komfort med hensyn til varme og lys - Ytelsesegenskaper og klassifisering, vedlegg E

Når solstrålingen kommer inn i sonen vil den spres tilsvarende modellen under. All stråling vil etter hvert reflekteres ut eller gå over til varme (langbølget stråling).



Figur 64 Distribusjon av solinnstråling mot vinduer og inne i rommet

Inndata for energisimuleringene

Transmissivitet atmosfære:	0.74	Maksimaltemperatur [°C]:	25.0
Vindhastighet [m/s]:	2.5	Minimumstemperatur [°C]:	15.0
Markrefleksjonsfaktor:	0.20	Tidspunkt maks. temperatur:	17:00
CO2 konsentrasjon [PPM]:	380	Vanndampinnhold luft [g/kg]:	10.00

Figur 65 Inndata for sommerdøgn.

Transmissivitet atmosfære:	0.89	Døgnmiddeltemperatur [°C]:	-20.0
Vindhastighet [m/s]:	2.0	Temperaturamplitude [°C]:	2.5
Markrefleksjonsfaktor:	0.20	Tidspunkt maks. temperatur:	16:00
CO2 konsentrasjon [PPM]:	380	Vanndampinnhold luft [g/kg]:	0.70

Figur 66 Inndata for vinterdøgn.

Markrefleksjonen er satt likt året rundt (0,20, antatt at sonen er plassert i bebyggt område).

Tabell 4 Passivhus minimumskrav til komponenter

Komponent	Krav
Vindu U [W/m ² K]	< 0,8
Vegg U [W/m ² K]	< 0,15
Tak U [W/m ² K]	< 0,13
Gulv U [W/m ² K]	< 0,15
Lekkasjetall [h ⁻¹]	< 0,6
Kuldebro [W/m ² K]	< 0,03

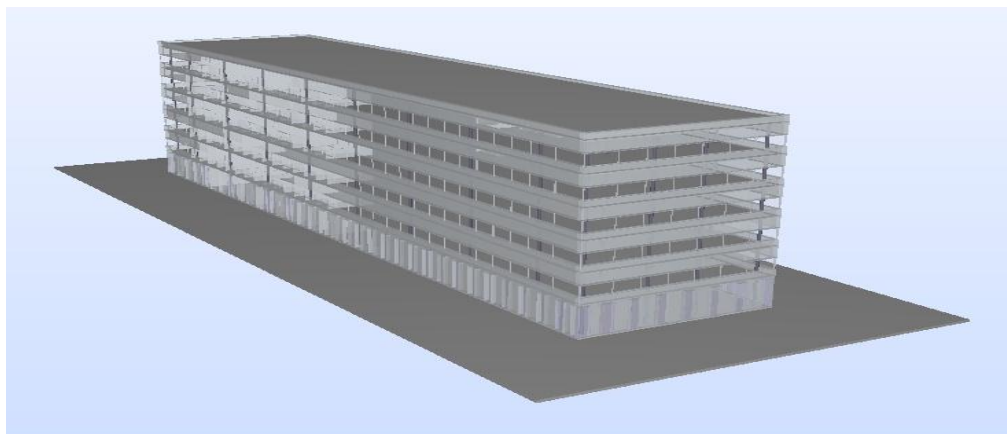
Tabell 5 3-lags transparent vindu med argon

	U [W/m ² K]	U _g [W/m ² K]	g	T _s	T _v
Vindu	0,73	0,60	0,38	0,32	0,63

5.2. VURDERING AV PROGRAMVARE

Innledende beregninger

I første del av prosjektet ble beregningsprogrammet SIMIEN benyttet. Det ble utformet et typisk kontorbygg og det ble sett på energibehovet for hele bygget ved ulike fasadesammensetninger, spesielt med tanke på å tilfredsstille kravene til passivhusnivå iht. SINTEF Byggforsk prosjektrapport 42/2009 (PR42).



Følgende alternativer ble undersøkt:

1. Tradisjonell fasade med fast vegg og transparente vinduer. (Vindusandel på 36 % av veggareal – tilsvarer 20 % av BRA)
2. Fasade med 80 % translucent materiale og 20 % vindu, med 2 forskjellige U-verdier for de translusente partiene*.
3. Fasade med fast 50 % vegg, 20 % vindu og 30 % translusente partier.

*Årsaken til de ulike U-verdiene var at det var usikkert hvor god totalverdi som var oppnåelig medregnet innfesting og karm/ramm

Tabellen nedenfor viser de ordinære bygningsdelenes egenskaper.

Tabell 6 Egenskaper for bygningsdelene

Fastfelt [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,10
Tak [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,09
Gulv [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,08
Vinduer [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,8
Vinduer g-verdi	0,45/0,10

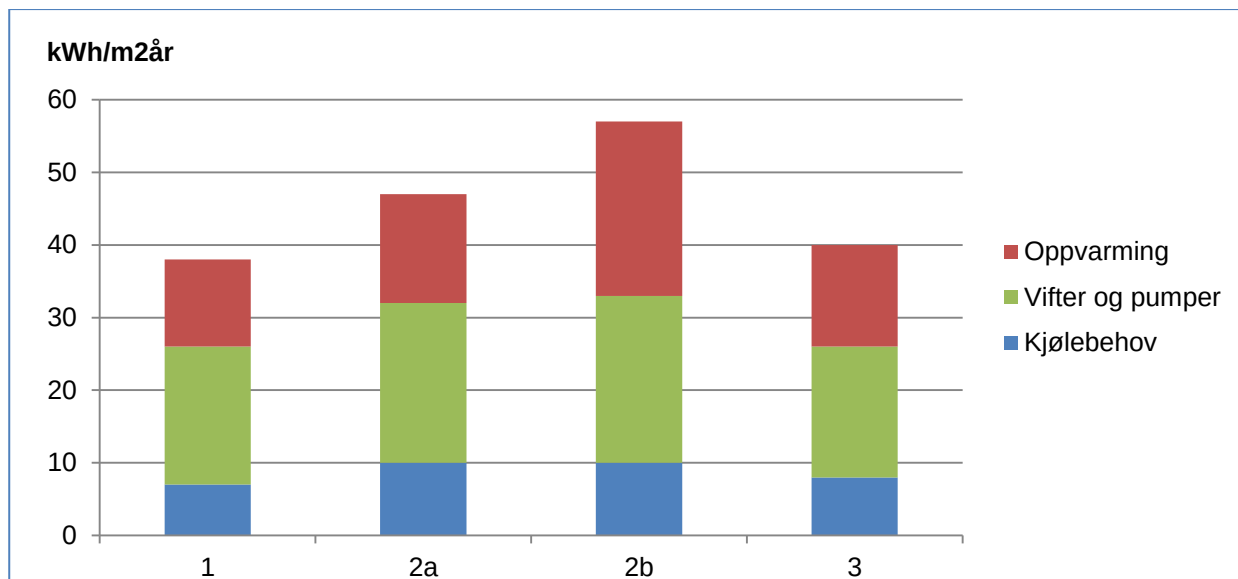
Tabellen nedenfor viser de verdiene for de transparente arealene som ble benyttet i beregningene.

Tabell 7 Egenskaper for de translusente flatene** Tallalternativene henføres til avsnittet over.

	2a	2b	3
U [$\text{W/m}^2\text{K}$]	0,30	0,55	0,55
g	0,15	0,15	0,15

** Oppgitte verdier for Scobatherm.

Beregning av årlig energibehov og vurdering mot passivhuskriteriene ga følgende resultater:



Figur 67 Årlig netto energibehov beregnet med standardiserte inndata og klimadata for Oslo.

Tabell 8 Alternativene kontrollert mot passivhuskravene gitt i PR42.

		Krav	1	2a	2b	3
Varmetapstall for hele bygget	[W/m²K]	0,50	0,49	0,50	0,61	0,50
Oppvarming	[kWh/m²år]	15	12	15	24	14
Kjølebehov	[kWh/m²år]	10	7	10	10	8

Beregningene viser at 2b (med dårligste U-verdi og største translusente flater) ville gi det høyeste energibehovet. Dessuten blir både varmetapstall og årlig varmebehov for høyt i forhold til passivhuskravene i PR42. Resultatene tyder på at det vil bli vanskelig å tilfredsstille passivhuskravene med så store translusente partier dersom ikke U-verdien er 0,35 W/m²K eller bedre.

Alternativ 3 med samme høye U-verdi, men med fastfelt som erstattet en større andel av det translusente, ga mer tilfredsstillende resultater. Men fremdeles krevde disse totalt mer energi for å klimatisere bygget enn referansebygget i alternativ 1.

For å ta hensyn til ulikt solinnfall var beregningsmodellen av kontorbygget delt i 3 soner; nord, sør og midtdel. Men det ble vurdert til at de store arealene ga for lite detaljert informasjon. Dermed ble det besluttet å se på en mindre sone i en midtetasje av bygget for de videre beregningene.

Aktuell programvare

Basert på de innledende beregningene i SIMIEN ble det besluttet å prøve ut mer avanserte energiberegningsprogrammer. Da forutsetningene for bruk av translusente fasader var spesielt

basert på effekten av soltilskudd og muligheten for å redusere behovet for kunstig belysning var det ønskelig at den utvalgte programvaren hadde detaljert håndtering av soltilskudd og muligheter for dimming av elektrisk belysning når det var tilstrekkelig bidrag fra dagslys.

Det ble foretatt en overordnet gjennomgang av aktuelle beregningsprogrammer for å finne ut hvilke man ønsket å kjøpe inn for testing. Detaljert geometrisk oppbygning og visualisering av bygningsmodellen var ønsket både av beregningstekniske og pedagogiske årsaker. I tillegg ble det sett på som et fortrinn om programmet støttet ÅpenBIM/IFC for å støtte opp om samhandling mellom arkitekter og ulike andre rådgivere i designprosessen.

	SIMIEN	IDA ICE	BSIM	DesignBuilder	Ecotect
Grafisk fremstilling	-	2d/3d	2d/3d	2d/3d	2d/3d
BIM/IFC	-	x	-	-	(x)
Belysningsregulering	-	x	x	x	x

SIMIEN er utviklet ved SINTEF Byggforsk og selges i dag av Programbyggerne AS. Beregningsprogrammet er det som blir brukt i størst utstrekning for kontrollberegninger mot byggereglene i Norge i dag.

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) er et verktøy for simulering av termisk komfort, innendørs luftkvalitet og energibehov i bygninger. Det er utviklet av EQUA AB.

BSIM er utviklet ved Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark. Det tilbyr simulering av bl.a.: termisk inneklima, energibehov, dagslysforhold, fukt og ulike typer ventilasjon.

DesignBuilder har Energy Plus simuleringsmotor og kan beregne dagslysnivå, detaljerte luftstrømmer, CFD-funksjonalitet og dekning for å vise effekten av skyggeobjekter.

ECOTECT er et DAK-basert verktøy. Det kan benyttes til sol/skyggestudier, analyse av solinnfall, belysningsstudier, termiske egenskaper, akustiske analyser, og kost/nytte-analyser.

På grunnlag av den overordnede gjennomgangen og nærmere demotesting ble IDA ICE valgt ut for videre forsøk.

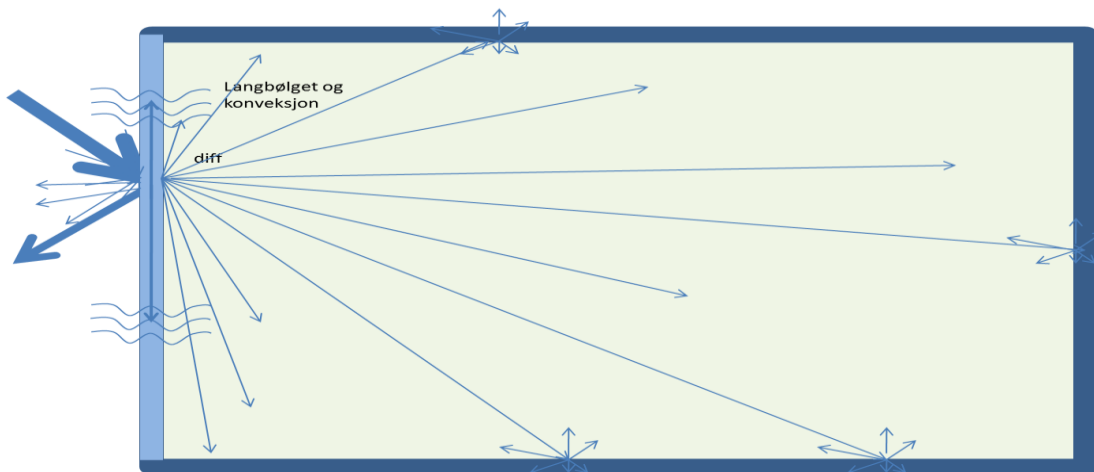
Solstråling i beregningsprogrammer

For grunnleggende teori om og modellering av solstråling mot gjennomskinnelig flate se vedlegg (s. 68).

SIMIEN

SIMIEN har en forenklet beskrivelse av bygningsmodellen, med areal, orientering og skjerming for hver ytterflate. Inndata for klima er timesbaserte verdier med informasjon om direkte og diffuse verdier for solstråling. For vinduer angis U-verdi, total g-verdi til vinduskonstruksjon og eventuell solskjerming, og styringsparameter for av/på for solskjerming styrt etter solfluks mot fasaden.

Programmet anser all solstråling som kommer inn i sonen som diffus og langbølget og antar at den ikke reflekteres ut.

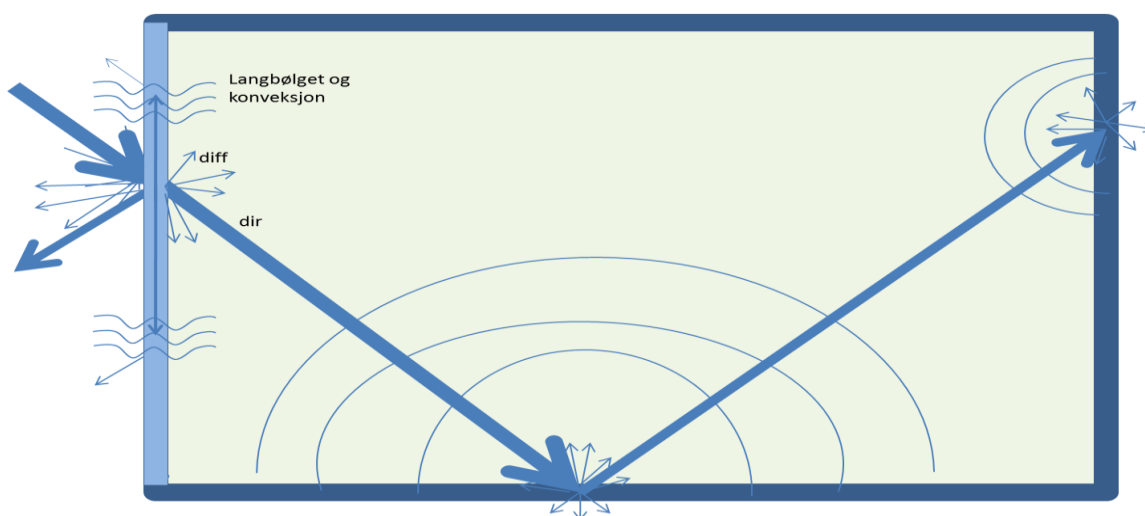


Figur 68 Fordeling av solstråling i SIMIEN

IDA ICE

IDA ICE har en geometrisk beskrivelse av beregningsmodellen og inndata for klima er timesbaserte verdier med informasjon om direkte og diffuse verdier for solstråling. For hver ytterflate er det egne verdier for skjerming fra nabobygg, solskjerming etc., samt informasjon om graden av omgivelsesstråling. Etter å ha tatt hensyn for omgivelsenes skjermende effekt vil den mengden solstråler som treffer vindusflaten reflekteres, absorberes eller transmitteres avhengig av vinduets gitte egenskaper.

Den diffuse solstrålingen som kommer inn i sonen blir spredd diffust mot alle flater, mens treffpunktet til den direkte strålingen mot en innvendig flate blir beregnet. Etter den første refleksjonen fra en flate blir også den direkte strålingen spredd diffust. Hele flaten regnes som strålingskilde, ikke bare delen som blir truffet av strålingen (dette gjelder både for gjennomskinnelige og opake flater).



Figur 69 Fordeling av solstråling i IDA ICE

I IDA ICE er det to måter å modellere vinduer på. Standardmodellen for vinduer har verdier for solfaktor, U-verdi og lystransmisjon. Mens den detaljerte modellen beregner temperatur og refleksjon for hvert lag og basert på dette gir en total U-verdi, solfaktor og lystransmisjon for hele konstruksjonen¹⁵.

Da translusente fasader i stor grad diffuserer lyset som kommer i gjennom flaten var det interessant at den detaljerte konstruksjonen i IDA ICE også hadde mulighet for diffusering. Effekten av diffusering var antatt å reflektere mindre stråling ut av sonen igjen, men for de mindre forsøkene som ble gjort viste beregningene at endring i faktoren ga svært liten innvirkning på beregnet energibehov. Det ble ikke tid for å ettergå dette i større skala, og både empiriske forsøk og simulering av effekten av diffusering vil være aktuelt å se nærmere på ved eventuelle videre prosjekter.

De translusente flatene ble modellert som vanlige transparente vinduskonstruksjoner, men med de oppgitte data for g-verdi, transmisjon av direkte stråling og lys og U-verdi.

Glazing properties at reference conditions	
Solar heat gain coefficient	0.454 -
Solar transmittance	0.35 -
Visible transmittance	0.45 -
Glazing U-value	0.31 W/(m2.K)

Figur 70 IDA ICE inndata for vindu med Qbiss.

Refleksjon fra innerflatene

Som tillegg til de andre simuleringene ble det gjort en parameterstudie på noen av justeringene IDA ICE har mulighet til, men som ikke finnes i SIMIEN. Blant annet graden av stråling fra innerflatene.

Utgående stråling fra en flate består av reflektert lys (kortbølget) og emittert varme (langbølget). For de fleste ikke-metaller og for emaljelakk på metaller, kan den langbølgede emissiviteten settes til 0,9, mens for blank aluminium vil den være 0,04. Dette sier noe om den følbare varmestrålingen, men vil i liten grad påvirke varmetilskuddet.

Kortbølget refleksjon varierer vanligvis fra 0,05 til 0,9 avhengig av fargen. Hvit har høyere, mens mørke farger har lavere og vil påvirke varmetilskuddet om det er mulig å reflektere strålingen ut av rommet.

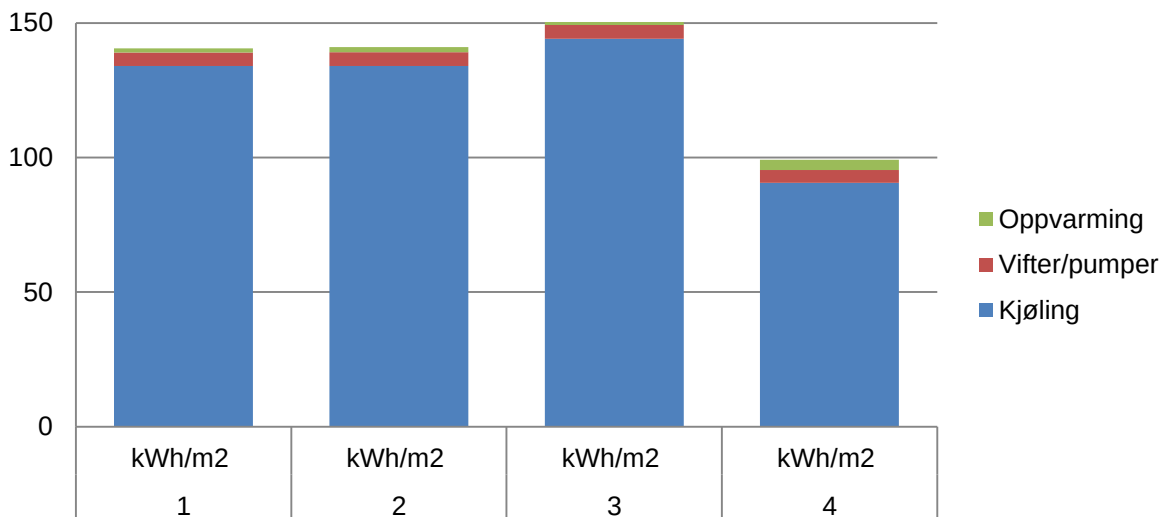
I sammenligningen nedenfor er et typisk kontorlandskap med to gjennomskinnelige fasader i et hjørne benyttet som beregningsmodell. I tilfelle 1 er verdiene som ligger som standard for innerflatene i IDA ICE benyttet, med en emissivitet satt til 0,9 og refleksjon 0,5.

Den translusente fasaden hadde inndata for Qbiss og ingen utvendig solskjerming.

¹⁵ Oppsettet for inndata i detaljert vinduskonstruksjon er basert på standarden ISO 15099.

	U_g [W/m ² K]	g	T_s	T_v
Qbiss ¹⁶	0,31	0,45	0,35	0,45

Innerflatenes egenskaper	1	2	3	4
Emissivitet	0,9	0,1	0,9	0,9
Kortbølget refleksjon	0,5	0,5	0,1	0,9



Figur 71 Beregnet årlig netto energibehov for en enkel sone ved parameterstudie av innerflatenes strålingsegenskaper.

Resultatene bekreftet teorien om fordeling av varmetilskuddet i sonen. Det ga en markant effekt å justere den kortbølgede lysrefleksjonsevnen til innerflatene, mens ved endring i emissiviteten var det neglisjerbar påvirkning. Altså vil valg av innerflater med høy refleksjonsevne (lyse farger) gi et lavere kjølebehov.

Det vil sannsynligvis ikke være så store forskjeller ved stor bruk av utvendig skjerming, men for soner med større gjennomskinnelige flater uten skjerming kan dette være en energisparende effekt man kan benytte seg av.

Sammenligning av beregningsprogrammer

En svensk studie av energiberegningsprogrammer med ulik kompleksitet for håndtering av varmetilskudd fra sol viste at enkle beregningsprogrammer overestimerte mengden tilført solvarme i soner med store glassarealer¹⁷. Programmene ga dermed en høyere innetemperatur enn hva som var realistisk, med resultat i høyere kjølebehov.

I bygninger med vanlige vindusarealer (ikke glassfasader) vil mellom 95 og 100 % av den transmitterte solstrålingen forbli inne i sonen, mens ved større gjennomskinnelige flater vil det også reflekteres ut igjen, og dermed kan det være under 50 % som forblir i sonen. Studien konkluderte med at det er nødvendig med detaljerte beskrivelser av romgeometri, hensyn til strålingens refleksjon og overflatenes optiske egenskaper for å kunne gi tilfredsstillende beregninger av energibehov ved store glassarealer.

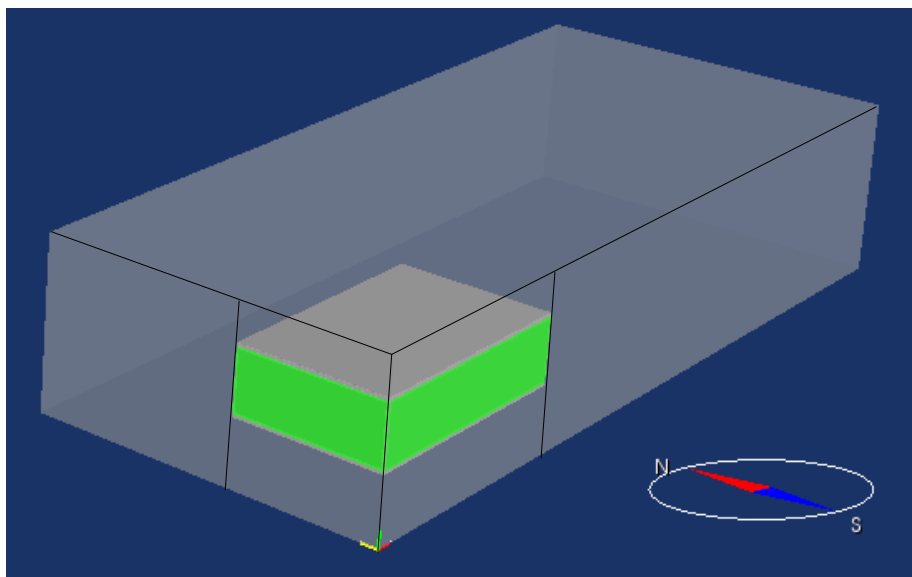
¹⁶ Oppgitt fra leverandør 2011.

¹⁷ Maria Wall, Distribution of solar radiation in glazed spaces and adjacent buildings. A comparison of simulation programs, s. 129-135, Energy and buildings 26, 1997

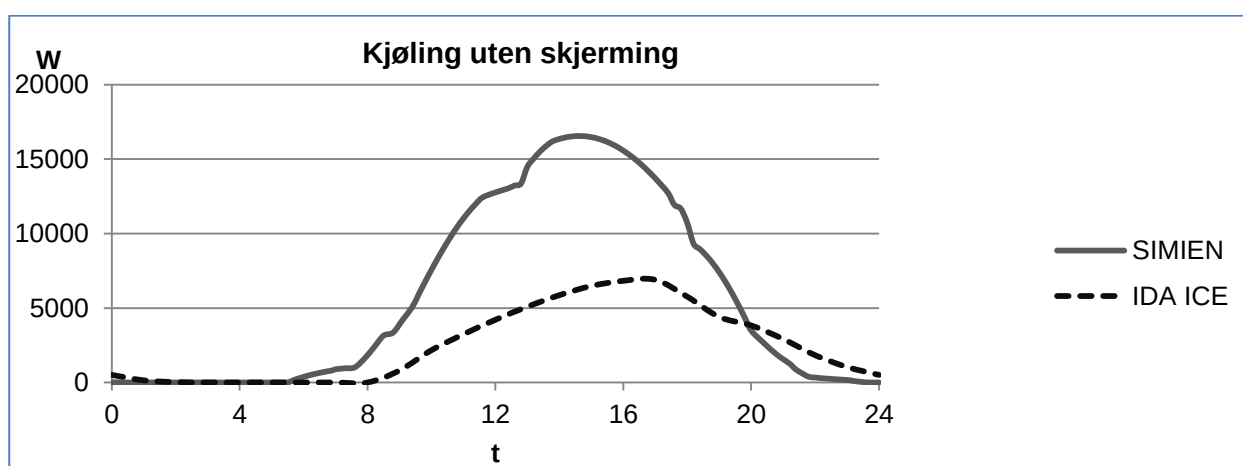
Resultatene for beregninger med SIMIEN og IDA ICE, ga dermed forutsigbare resultater. SIMIEN, som ikke har beskrivelse av romgeometri, beskrivelse av optiske egenskaper eller sporing av solstrålene, ga over dobbelt så høyt kjølebehov som IDA ICE.

De samme beregningene ble i tillegg utført med solskjerming. Solskjermingen var satt til å gå ned når solfluksen på innsiden av vinduet var høyere enn 60 W/m^2 . Med solskjerming overensstemte resultatene i programmene i mye større grad.

Beregningene er gjort for dimensjonerende sommer- og vinterdøgn med inndata vist i vedlegg (se s. 71) samt timesbaserte data¹⁸ for beregning av årlig energibehov. Sonen for beregning er et kontorlandskap med bruksareal på 121 m^2 og volum på 435 m^3 (lengde 14,4 m, bredde 8,4 m og høyde 3,6 m) som tilfredsstiller passivhusstandard (s. **Feil! Bokmerke er ikke definert.**). Ytterflatene er transparente glassfasader vendt mot sør ($51,84 \text{ m}^2$) og vest ($30,24 \text{ m}^2$).

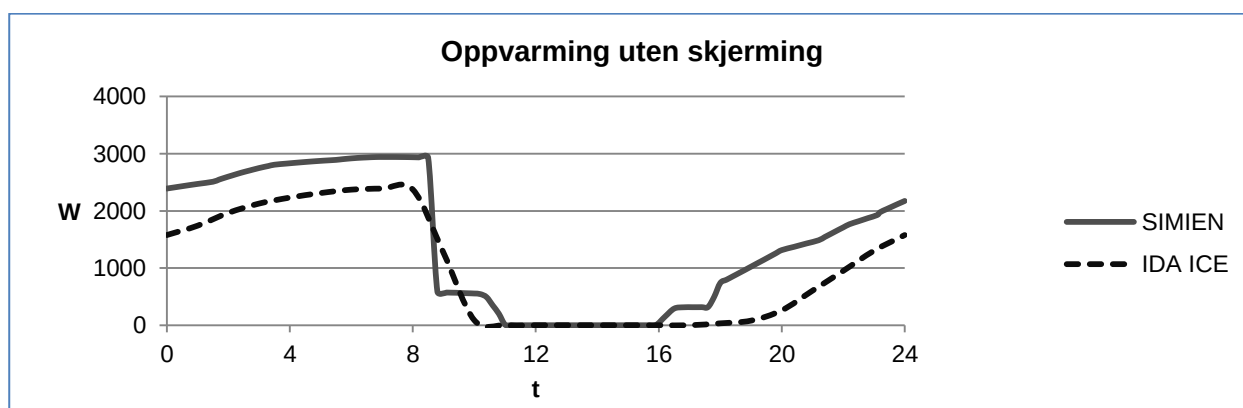


Figur 72 Kontorlandskap med glassfasader.

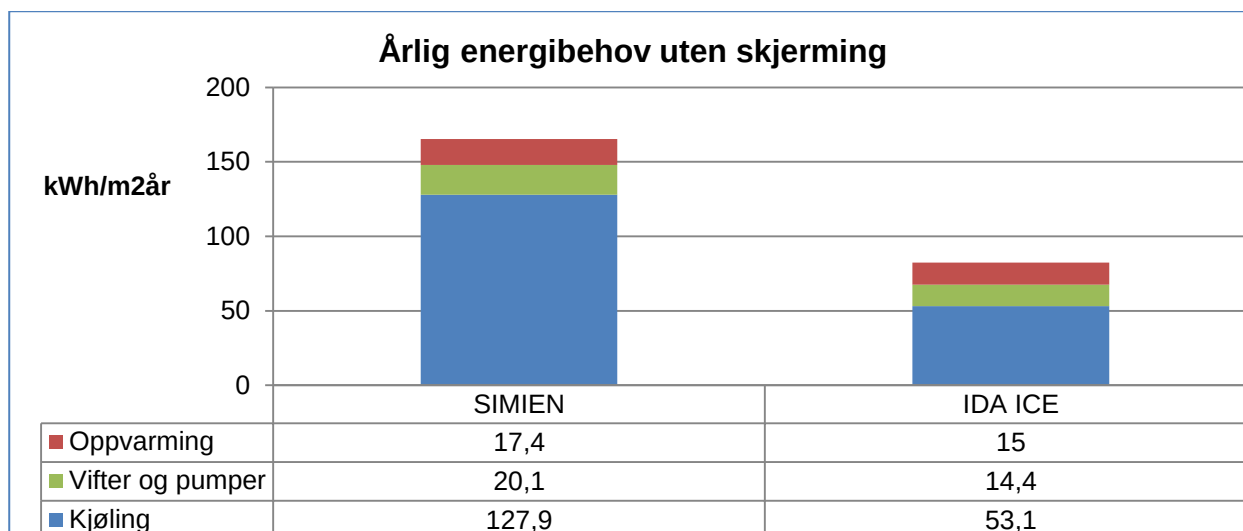


Figur 73 Beregnet netto kjølebehov en sommerdag uten solskjerming.

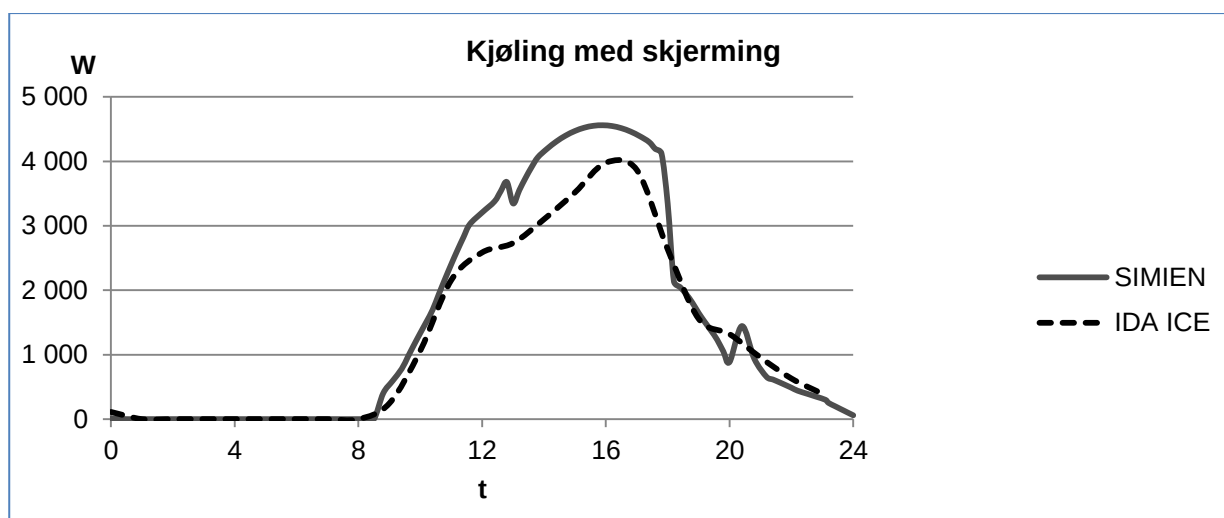
¹⁸ Standardiserte klimadata (DRY) for Oslo fra www.standard.no/ns3031



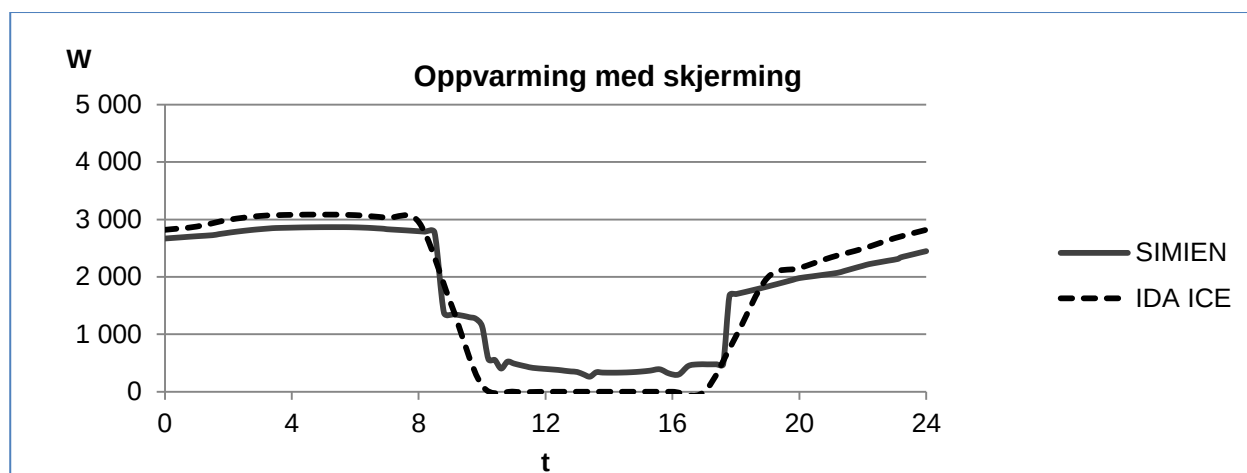
Figur 74 Beregnet netto varmebehov en vinterdag uten solskjerming.



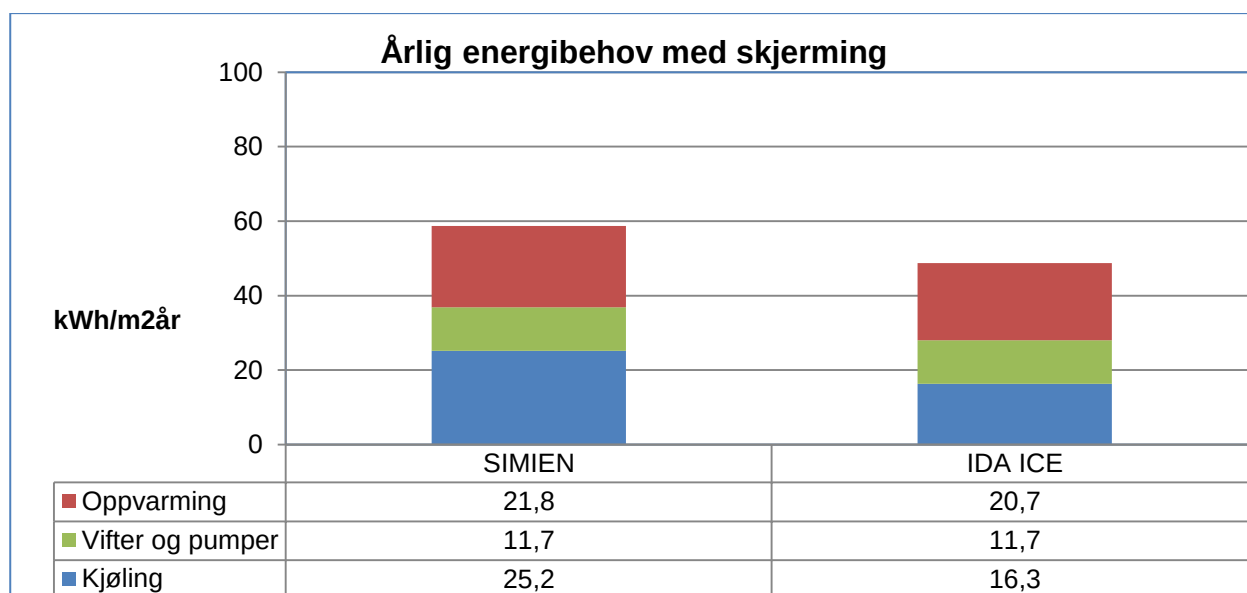
Figur 75 Årlig netto energibehov til klimatisering for kontorlandskapet, uten skjerming.



Figur 76 Beregnet netto kjølebehov en sommerdag med solskjerming ($g=0,06$) ved solfluks større enn 60 W/m^2 på innsiden av vindusglasset.



Figur 77 SIMIEN beregnet netto varmebehov en vinterdag med solskjerming ($g=0,06$) ved solfluks større enn 60 W/m^2 på innsiden av vindusglasset.



Figur 78 Årlig netto energibehov til klimatisering for kontorlandskapet, med skjerming.

I samsvar med den svenske studien så SIMIEN ut til å overestimere effekten av soltilskudd sammenlignet med IDA ICE. Effekten ble redusert betraktelig ved bruk av utvendig skjerming. Uten skjerming ga SIMIEN et høyere varmebehov på en dimensjonerende vinterdag, sett i sammenheng med det høye kjølebehovet på sommerstid kan dette muligens knyttes til at programmet ikke i samme grad gjør regning for den termiske massen som IDA ICE.

I de videre beregningene er det kun IDA ICE som er benyttet.

5.3. EFFEKTEN AV TRANSLUSENTE FASADER

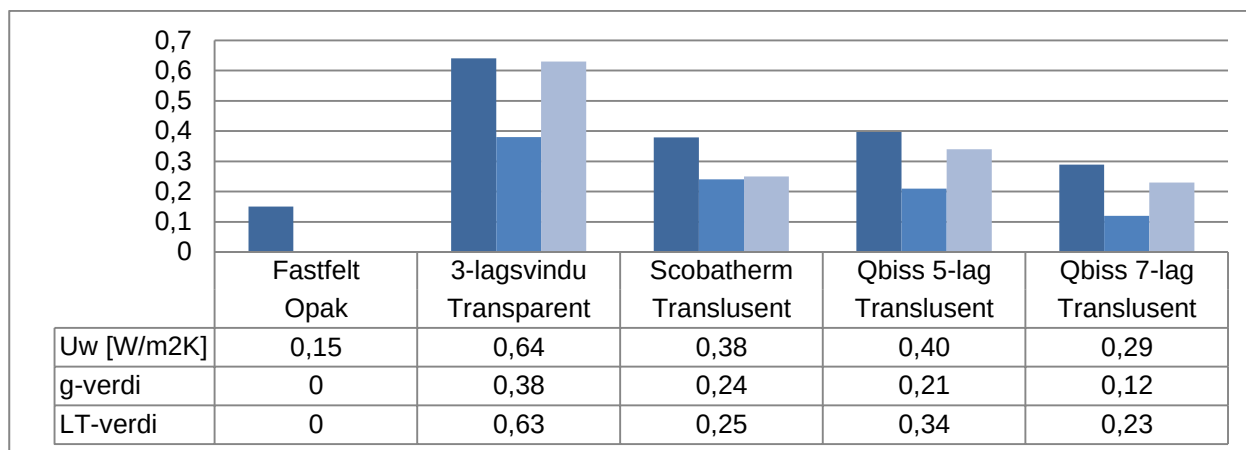
Translusente fasader kan variere svært mye med tanke på varme- og lysoverførende egenskaper. For dette prosjektet var det aktuelt å se på komponenter med lavt varmetap og lavt soltilskudd.

Det er mange ulike produkter for gjennomskinnelige fasadematerialer. Her er det valgt å benytte som referanse 3-lags transparente vinduer for utsyn, tilsvarende det som brukes i vanlige kontorbygg. I tillegg er det sett på tre ulike translusente produkter som erstatning for fastfeltet i fasaden.

I tabellen nedenfor vises egenskapene for produktenes som er benyttet i beregningene. U_w er beregnet på grunnlag av 10 % ramme/innfesting med U -verdi $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det gir noe avvik fra det som er oppgitt fra leverandør, men ble benyttet for å forenkle inndata til beregningsmodellen.

Tabell 9 Varmetapsfaktor (U (g-glass, w-inkl.karm)), soltilskudd (g) og lystransmisjon (LT) for de gjennomskinnelige flatene.

Produkt	Type	U_g [$\text{W/m}^2\text{K}$]	U_w [$\text{W/m}^2\text{K}$]	g	LT
3-lagsvindu	Transparent	0,60	0,64	0,38	0,63
Scobatherm ¹⁹	Transludent	0,31	0,38	0,24	0,25
Qbiss 5-lag ²⁰	Transludent	0,33	0,40	0,21	0,34
Qbiss 7-lag ²⁰	Transludent	0,21	0,29	0,12	0,23



Figur 79 Figuren illustrerer tabellen ovenfor - tabell 7

Beregningsmodell

Det er sett på et kontorlandskap på 121 m^2 med ytterfasade vendt mot sør. For å se på effekten med solinnstråling fra flere himmelretninger ble det også gjennomført beregninger for en hel etasje med bruksareal på 1000 m^2 . Dette ga samme tendens som for det sørvendte landskapet Beregningsmodellene er beskrevet etter passivhusnivå (se vedlegg side **Feil! Bokmerke er ikke definert.**).

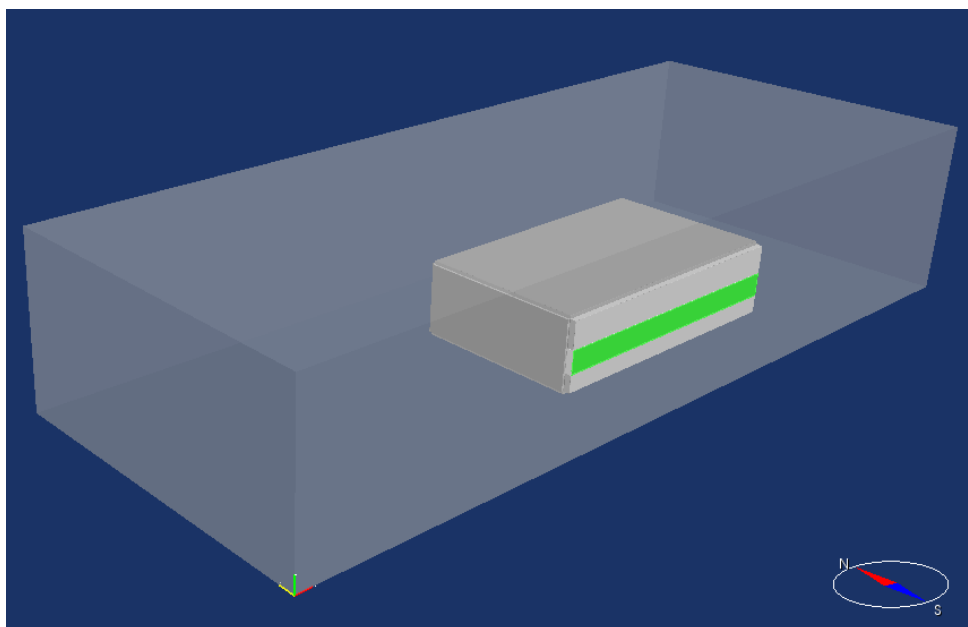
¹⁹ Dokumentasjon oversendt fra Aerogel Norge den 20. mars 2012.

²⁰ Dokumentasjon oversendt fra Trimo den 9. mars 2012.

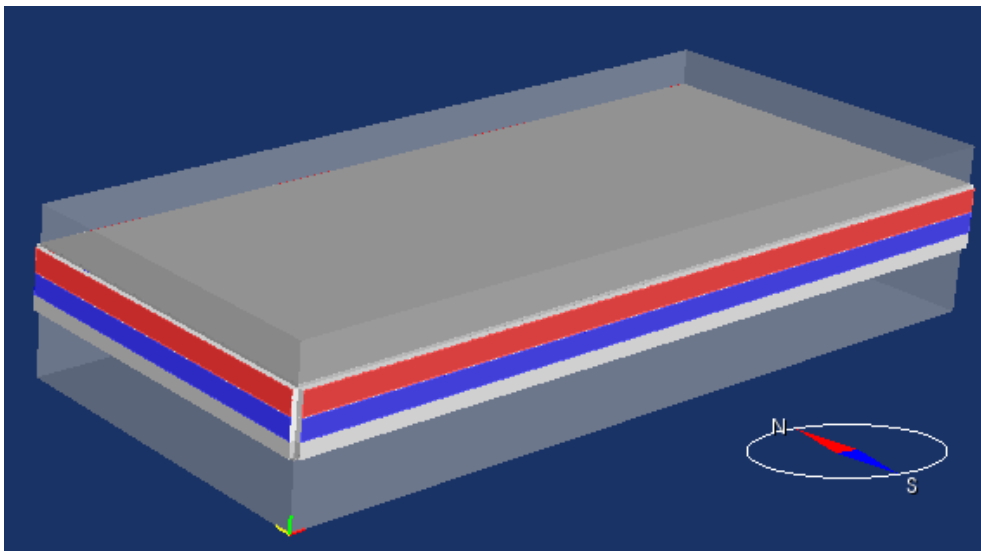
Fasaden er gitt i følgende versjoner:

- Versjon V1** Har vanlig transparent vindu i hele fasadebredden (horisontalt plassert 0,9 m over bakken) som utgjør 36 % av fasadeareal. (tilsvarer 20 % av BRA). Det resterende er vanlig vegg.
- Versjon V2** Har i tillegg til vanlig vindusfelt et translusent felt over vinduet som utgjør 40 % av fasadearealet. Den transparente vindusflaten utgjør fortsatt 36 % som i V1, mens ordinær vegg utgjør 24 % av totalt fasadeareal. V2 har det translusente materialet Scobatherm.
- Versjon V3** Som versjon 2 men med Qbiss 5-lag.
- Versjon V4** Som versjon 3 men med Qbiss 7-lag.

Plasseringen av de translusente arealene øverst er begrunnet med at det er lysåpning høyt på veggene som gir best dagslysutnyttelse inn i rommet. Det er også gjennomført beregninger der det translusente arealet erstatter den ordinære vegg under vinduet. Beregningene viste at lavtliggende lysåpninger har liten effekt på dagslysutnyttelsen. Det ga liten effekt på belysningsbehovet og varmebehovet økte. Dette konseptet ble derfor ikke bearbeidet videre.



Figur 80 Illustrasjon av beregningsmodellen for kontorlandskapet uten translusente partier (Referansemodellen V1).



Figur 81 Illustrasjon av beregningsmodellen for et etasjeplan med translusente partier øverst (Versjon V2, V3 og V4).

I de følgende beregningene er det sett på energibehovet for følgende tilfeller:

- i) **Ingen lysdimming** Regulering av solskjerming etter innstrålt solfluks og ingen dagslysdimming for belysning.
- ii) **Lysdimming** For å få utnyttet dagslyset som kommer inn er belysningen regulert etter dagslysinntak midt i sonen. Det reduseres lineært fra 0 lux og blir skrudd helt av ved 300 lux²¹.

Det er forutsatt settpunkttemperatur mellom 21 og 23 °C for oppvarming og kjøling.

	Varmeeffekt
Belysning	6 W/m ²
Teknisk utstyr	8 W/m ²
Personbelastning	12 W/m ²

De transparente vindusflatene er skjermet med utvendig solskjerming styrt etter innstrålt solfluks. De translusente partiene ble simulert uten solskjerming.

Det ble også laget en reguleringsrutine der solavskjermingen ble styrt av romtemperatur. Motivet for dette var en antagelse om at solfluksregulert solskjerming kunne føre til at den kunne slå inn samtidig som det var behov for både dagslys og varmetilskudd til rommet. Beregningsresultatene viste imidlertid små effekter i forhold til tradisjonell regulering med solfluks mot fasaden.

Beregningsresultater

Beregningsresultatene er fremstilt for netto energibehov, samt levert (kjøpt) energi (jfr. NS3031) og primærenergi beregnet med full dekning av varmebehov med henholdsvis fjernvarme og varmepumpe.

²¹ Det er antatt et krav til lysstyrke på gjennomsnittlig 300 lux i et typisk kontorlandskap.

Følgende typiske systemfaktorer er benyttet for å beregne det leverte energibehovet:

Tabell 10 Systemeffektfaktorer

Energiforsyning	Oppvarming	Kjøling
Fjernvarme	0,88	2,5
Varmpumpe	3,5	2,5

Elektrisitet blir som regel vurdert som en mer verdifull energiform enn varme. I de fleste europeiske land produseres el fra termiske kraftverk med bruk av kull, olje eller naturgass som energikilde. Det benyttes derfor såkalte primærenergifaktorer (PEF) som forteller hvor mye primærenergi som går med for å produsere en enhet energibærer (el, varme, kulde).

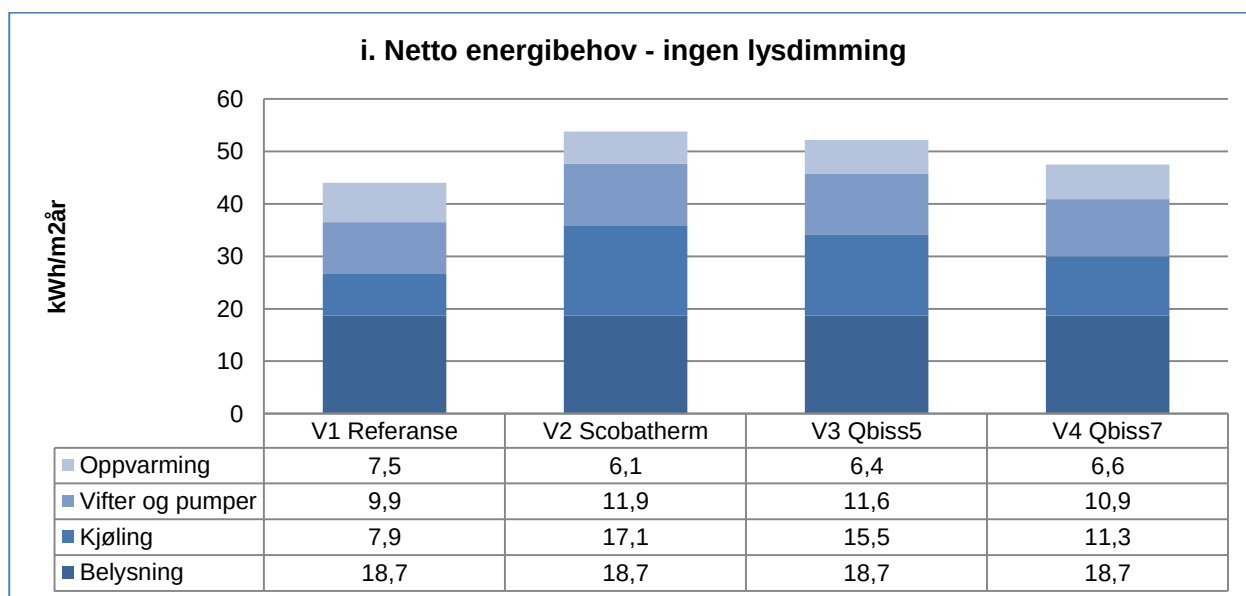
Her er det benyttet primærenergifaktorer som er typisk for mange europeiske land. Det er tatt utgangspunkt i typiske europeiske standarder som gir følgende faktorer for å beregne behovet for primærenergi:

Tabell 11 Primærenergifaktorer

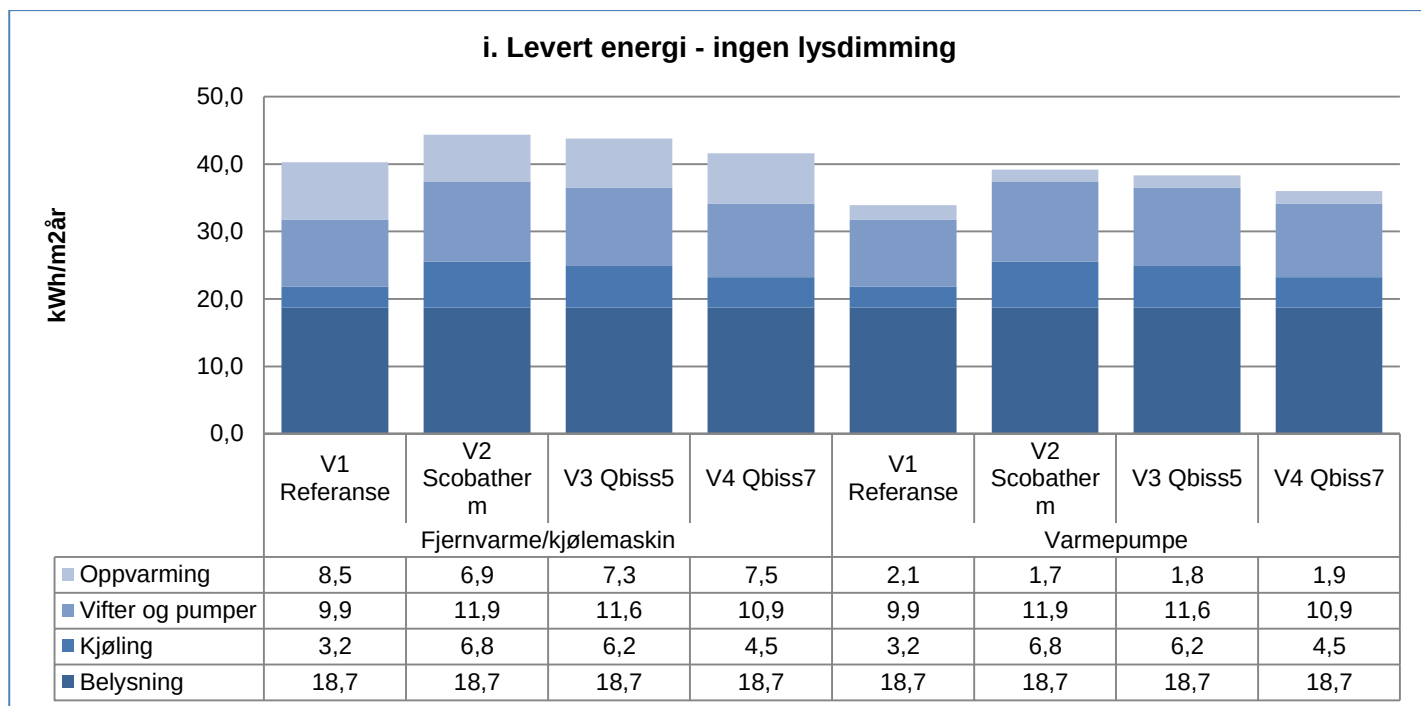
Energikilde	
Elektrisitet (EU17 Grid)	2,35
Fjernvarme (oljebasert)	1,48

i. Ingen lysdimming

Figurene nedenfor viser effekten av å erstatte veggfeltet over vindu med henholdsvis Scobatherm og Qbiss i et sydvendt kontorlandskap. I disse beregningene er det ingen lysdimming og solskjermingen styres etter solfluks mot fasaden.



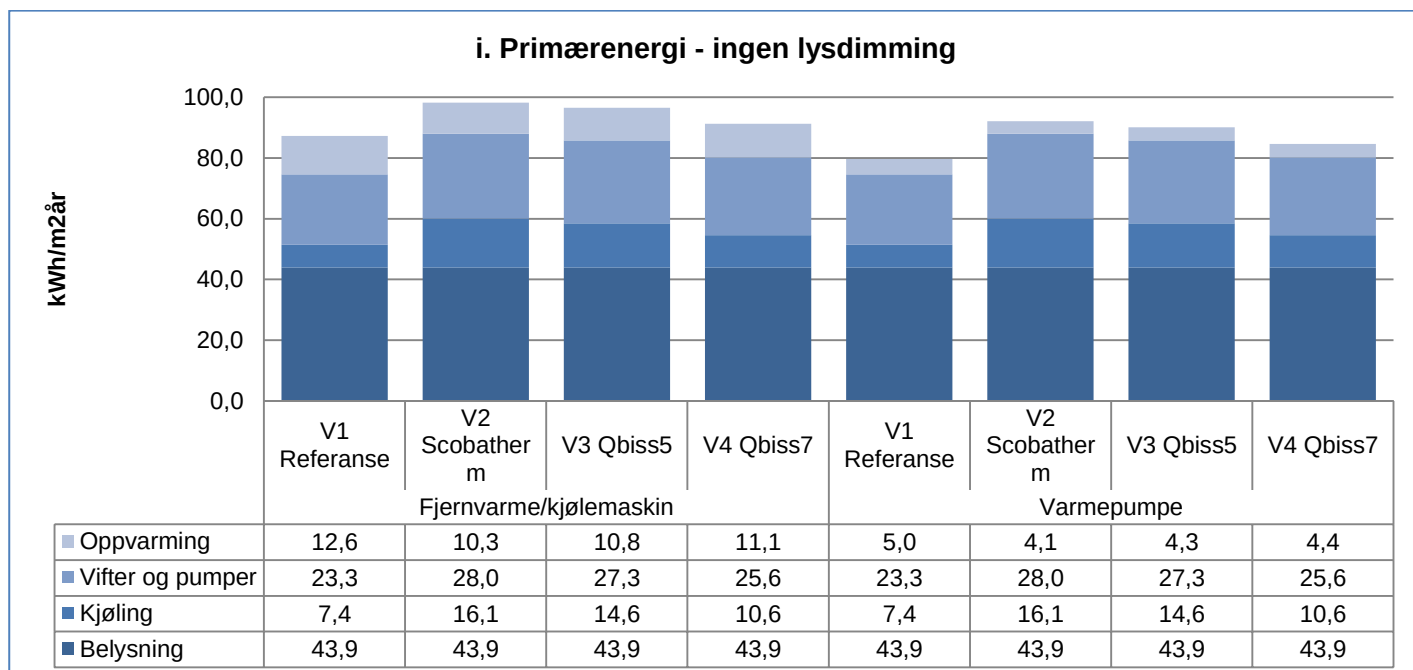
Figur 82 Netto energibehov - ingen lysdimming



Figur 83 Levert energi - ingen lysdimming

Beregningene viser en økning i det totale energibehovet (både for netto, levert og primærenergi) ved bruk av translusente produkter som erstatning for fastfelt.

Den høyere U-verdien sammenlignet med fastfelt gir større varmetap, men det økte solinnslippet er med å utjevne dette. Hovedårsaken til økt energibehov ved translusente komponenter er altså ikke varmebehovet, men kjølebehov og mer energi til drift av pumper og vifter.



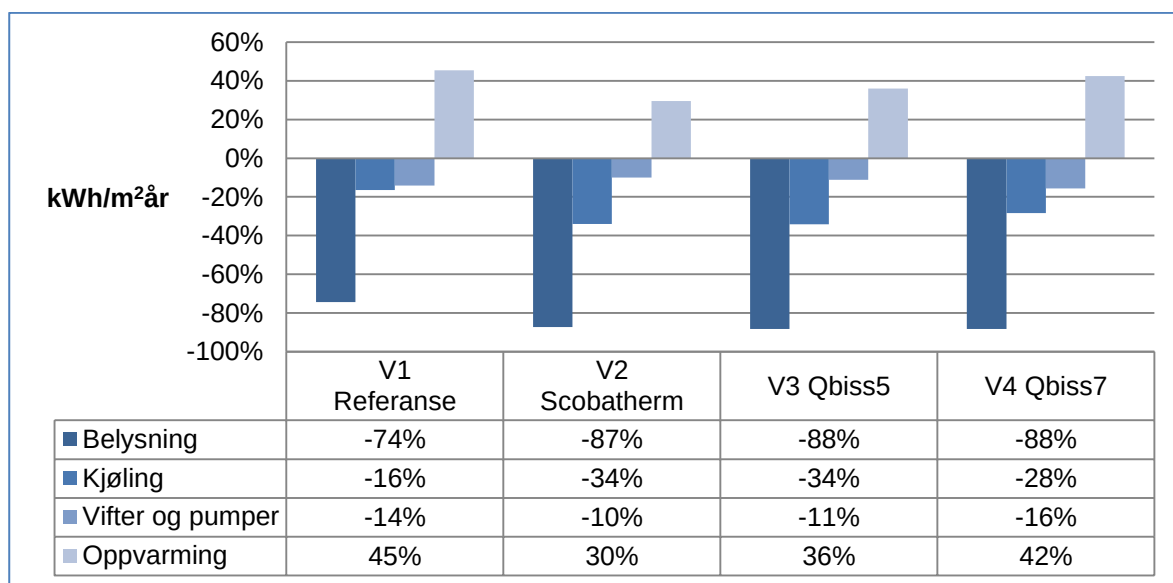
Figur 84 Primærenergi - ingen lysdimming

ii. Med lysdimming

I denne beregningsmodellen var det ønske om å se på effekten av økt dagslys gjennom dimming av belysningen. Beregningene viser en betydelig innsparing i behovet for kunstig belysning når det styres etter dagslyset som slipper inn i rommet.

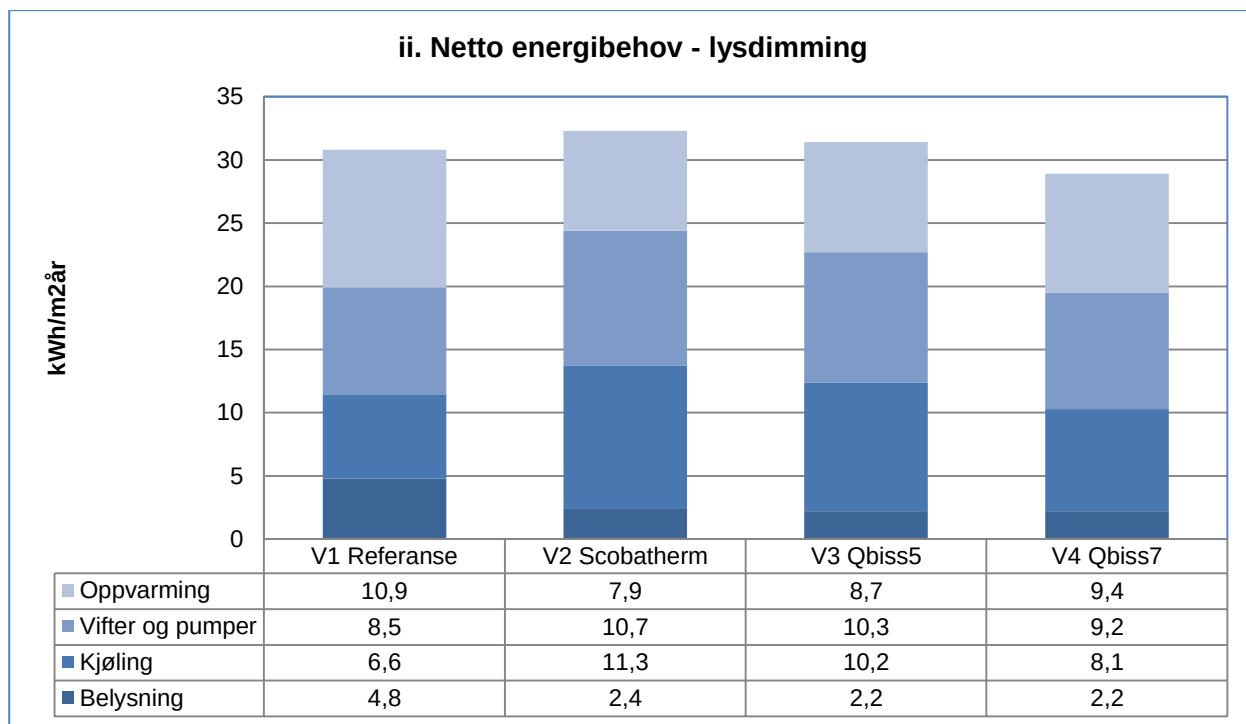
Referansetilfellet uten translusente komponenter vil med dagslysstyring utgjøre 26 % av energibehovet til belysning i forhold til uten lysdimming. Ved translusente felter vil det være en ytterligere reduksjon. I versjonen med Scobatherm i veggfeltet over vinduet utgjør behovet for kunstig lys kun 13 % i forhold til uten styring. Qbiss har tilsvarende 12 % for både 5-lag og 7-lag.

I figuren under ser man en prosentvis endring for de ulike versjonene med og uten lysstyring. Figuren viser at selve bruken av lysstyring gir de største effektene, deretter er effektene relativt mindre mellom de ulike alternativene.



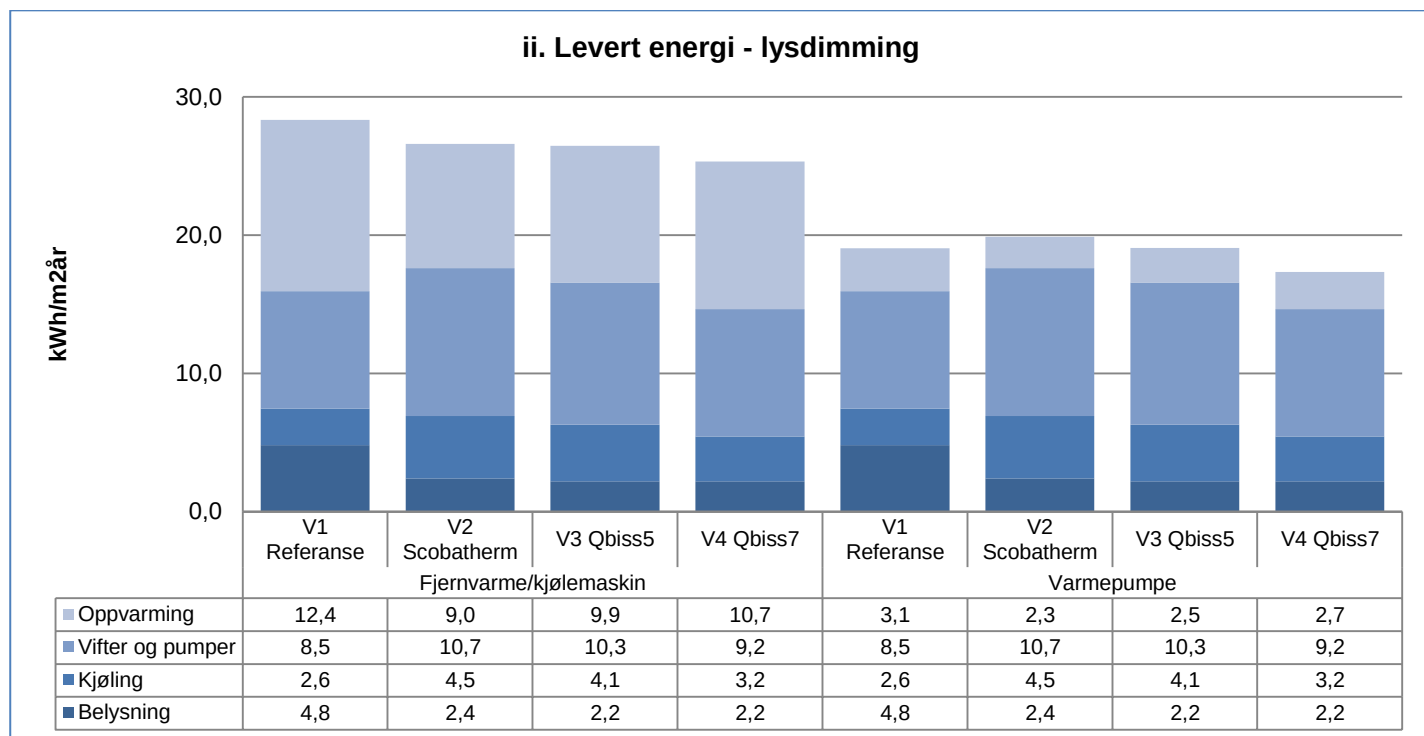
Figur 85 Prosentvis endring av energiforbruk ved bruk av lysdimming i forhold til uten slik bruk

Netto varmebehov ved bruk av lysstyring er høyere enn tilfellet uten. Dette på grunn av at avgitt varme fra den kunstige belysningen blir redusert og da må kompenseres med mer oppvarming i fyringssesongen. Tilsvarende reduseres kjølebehovet og også el-behovet til vifter og pumper på grunn av det lavere belysningstilskuddet.



Figur 86 Netto energibehov - lysdimming

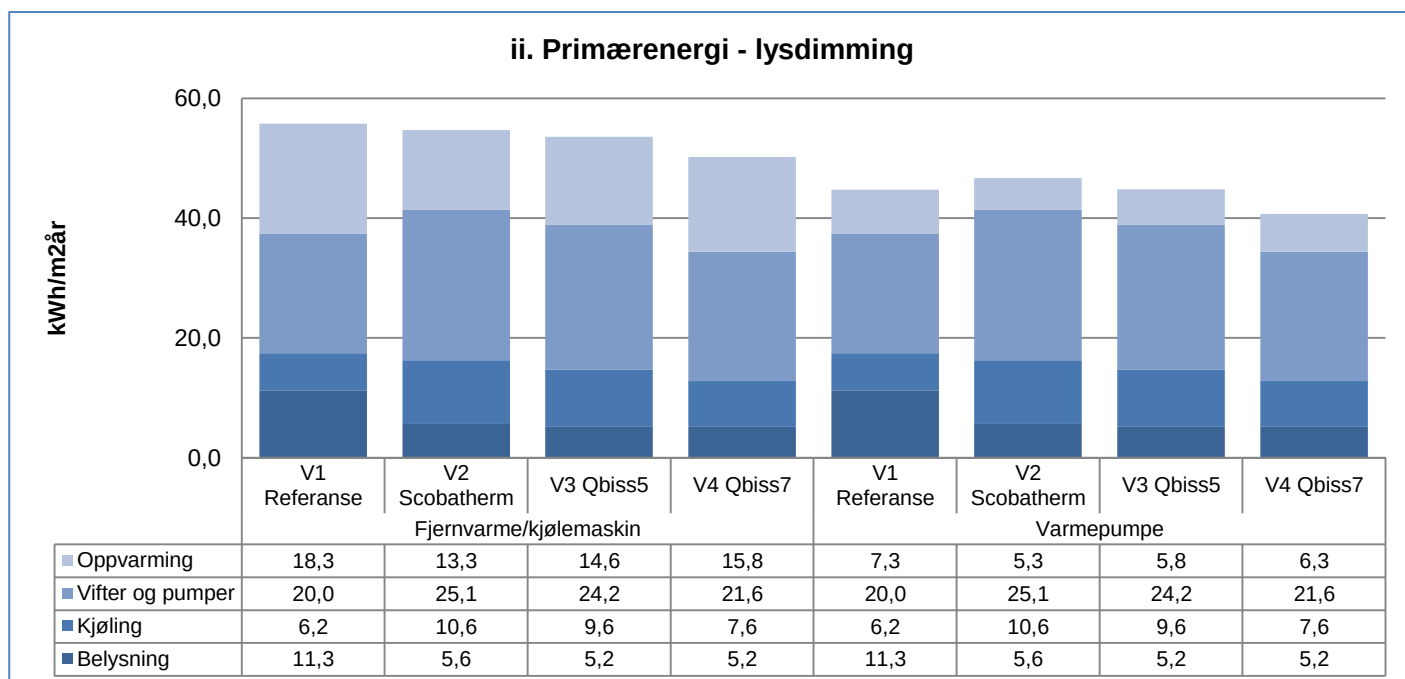
For netto energibehov vil det lavere el-behovet til belysning sammen med det lavere oppvarmingsbehovet ikke veie opp for høyere kjølebehov og energibehov til vifter og pumper når man sammenligner V2 og V3 med referansetilfellet V1. Men for V4, 7-lag Qbiss, vil det samlede energibehovet være 6 % lavere enn for V1.



Figur 87 Levert energi - med lysdimming

For levert energi vil Qbiss 7-lag også gi mest reduksjon. Løsningen med fjernvarme/kjølemaskin gir 11 % lavere energibehov enn V1, mens med varmepumpe vil den tilsvarende energibesparelsen være på 9 %. Dette fordi oppvarmingen gir mindre utslag ved varmepumpe, da en stor del av varmebehovet hentes fra omgivelsene og dermed ikke inngår i det leverte energibehovet og primærenergi behovet.

Det totale behovet for både levert energi og primærenergi med lysstyring gir en total reduksjon på mellom 50 og 60 % for alle de translusente tilfellene, og en høyere besparelse i primærenergi enn for referansen V1 for begge typene energiforsyning. Dette er på grunn av at det større dagslysinnsippet gir redusert behov for el til belysning, men også at reduksjon i belysningstilskuddet gir lavere kjølebehov.



Figur 88 Primærenergi - med lysdimming

5.4. KONKLUSJON/SAMMENDRAG

Effekten av programvare

Innledende beregninger med SIMIEN synliggjorde begrensninger i programmet med tanke på beregning av soltilskudd og ønske om å simulere behovsstyring av dagslys. Dette er viktig i forbindelse bruk av translusente fasader.

Resultatet i energiberegninger uten solskjerming avhenger i stor grad av hvordan innstrålt solenergi håndteres i sonen. Ulike beregningsprogrammer har ulik detaljeringsgrad for beregning av denne typen energitilskudd.

Energiberegningsprogrammet IDA ICE har geometrisk beskrivelse av sonen og beregner hvordan direkte solstråler reflekteres fra innerflatene mot andre innerflater eller mot vindusflater

og ut igjen. I tillegg tar programmet hensyn til solstråler som går inn gjennom et vindu og direkte ut gjennom et annet. Beregningsprogrammet SIMIEN regner all solstråling som diffus når den kommer inn gjennom en vindusflate og reflekterer ingenting videre ut av sonen.

Beregninger på et hjørnerom med vanlige transparente glassfasader viser at SIMIEN får et mye høyere varmetilskudd (kjølebehov) enn IDA ICE når det ikke er utvendig solskjerming. Ulikheten reduseres ved bruk av solskjerming fordi mengden innstrålt sol reduseres og dermed får effekten av den reflekterte andelen ikke så stor innflytelse på kjølebehovet. Beregningene viser at for bygningssoner uten solskjerming vil IDA ICE gi mer realistiske resultater. Mens ved bruk av utvendig solskjerming vil effekten av soltilskudd gi mindre utslag og resultatet fra modellene er mer like.

Det er knyttet usikkerhet til effekten av diffusering av solstråling ved translusente fasader. Det er antatt at translusente flater i mindre grad vil reflektere solstråling ut av bygget igjen på grunn av de diffuserende egenskapene, og at man dermed får et større varmetilskudd enn ved vanlige transparente flater. IDA ICE har en parameter for diffusering ved bruk av detaljerte vinduskonstruksjoner, men ved det benyttede oppsettet for translusente vinduer (modellert som ett lag) med angitt full diffusering får man ikke den forventede virkningen. Det er svært små forskjeller fra vinduskonstruksjoner uten diffusering.

Effekten av translusente fasader

Energiberegninger med sammenligning av ulike translusente produkter mot et referansetilfelle med vanlig fastfelt og vindusandel, viste at bruk av translusente felter uten dagslysstyring vil gi dårligere energisparing på grunn av økt solinnstråling og dermed et høyere kjølebehov. Men ved å styre belysningen med utgangspunkt i tilgjengelig dagslys vil man få en reduksjon i el-behovet til kunstig belysning. Det reduserte varmetilskuddet fører også til en reduksjon i kjølebehovet sammenlignet med tilfellene uten dimming av den kunstige belysningen.

For å få en positiv effekt på el-, kjøle- og varmebehov er følgende momenter viktige:

- Den totale U-verdien for de translusente feltene bør ikke være særlig dårligere enn 0,40 W/m²K.
- Lav U-verdi for å minimere varmetap, sammen med lav solfaktor for å redusere varmetilskudd, men høyest mulig lystransmisjon er stikkord for å oppnå god energiytelse.
- Dimming av kunstig belysning for å utnytte dagslystilskudd er et svært gunstig virkemiddel for å utnytte translusente produkter på en positiv måte med hensyn på byggets energiytelse.
- Den translusente fasadedelen bør plasseres høyt i fasaden slik at dagslyset slipper langt inn i rommet.
- Med hensyn på levert energibehov vil bruk av kombinert varmepumpe/kjølemaskin gi et lavere forbruk enn fjernvarme. For primærenergi er disse ulikhetene noe mindre. Dette skyldes høy primærenergifaktor til elektrisitet som er energikilde til varmepumper, sammenlignet med faktor for fjernvarme.

6. KONKLUSJONER

Det finnes en lang rekke ulike produkter innenfor begrepet translusente materialer. I denne rapporten er det kartlagt og beskrevet 36 ulike varianter. Fra disse er det valgt ut fem produkter som grunnlag for de ulike studiene som er utført i prosjektet. De utvalgte produktene er vurdert relevante i forhold til grunnleggende funksjonskrav og representerer en stor spennvidde i egenskaper og materialer. De utvalgte produktene har også en mulighet til å bli produsert i formater som kan oppnå en god gjennomsnittlig U-verdi.

Følgende fasadematerialer er vurdert:

- Scobatherm-Scobalit, med Nanogel (Lumira aerogel) som fyllmateriale
- Solera, med Nanogel (Lumira aerogel) som fyllmateriale
- Qbiss Air, isolerglass med 5 sjikt translusent folie (innvendig)
- Glass X®crystal, (phase changing material)
- 3-lags glass med Argon fylling, med translusent folie
- 3-lags glass med Krypton fylling, med translusent folie

U-verdi i forhold til lystransmisjon og solfaktor

For Nanogel er U-verdi og lystransmisjon direkte knyttet til hverandre. Det betyr at jo bedre U-verdi jo lavere lystransmisjon. Dette er ugunstig fordi det ikke utnytter potensialet for å maksimere dagslys, slik en aktiv solavskjermet fasade kan. Alle de valgte fasadene har problemer med å tilfredsstille solfaktorkravet i (g-verdi) i TEK10 på maks 15 % for solutsatte fasader og samtidig ha akseptabel lystransmisjon, uten aktiv solskjerming.

Varmereflekterende filmer kan reflektere den usynlige delen av sollyset, slik at g-verdien kan senkes til et visst nivå uten at lystransmisjonen blir redusert. (Gjelder bl.a. produktene Heat Mirror, Qbiss Air og energiglass).

Formatstørrelser

Formatstørrelser påvirker de totale U-verdiene ved at materialenes kanter og profilsystemet de settes inn i har dårligere U-verdi enn feltene selv. Større felt gir lavere gjennomsnittlig U-verdi for fasaden. De største formatene fås med Scobatherm med $h \times b = 8000 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$ eller ca. 20 m^2 . 3-lagsglass kan også produseres i relativt store formater, opp til ca. $6000 \text{ mm} \times 2500\text{-}3000 \text{ mm}$ eller ca. 15 m^2 som spesialbestilling.

De øvrige produktene har en begrensning på ca. $5\text{-}6 \text{ m}^2$, med litt ulikt forhold mellom høyde og bredde.

Vekt, fleksibilitet, brannkrav

Vekt og dermed indirekte formatstørrelser, påvirker i hvilken grad et produkt er håndterbart. Scobatherm er det klart letteste fasadematerialet, mens GlassX er det tyngste.

Alle de utvalgte materialene bortsett fra Qbiss Air er beregnet å kunne gå inn i et ordinært fasadesystem. Qbiss Air er et betydelig tykkere produkt og har utviklet et eget integrert bæresystem.

Scobatherm må branntestes i Norge før det kan godkjennes som fasadeprodukt. Dette er gjort bl.a. i England og Tyskland. De øvrige produktene har ubrennbar overflate (glass)

Kostnader

Investeringskostnadene ser ut til å være lavest for 3-lags glass med argon, med krypton om lag 600 kr/m² dyrere, mens de øvrige produktene ligger noenlunde likt. Qbiss Air har en noe høyere kvadratmeterpris, men her er bæresystemet inkludert.

Monteringskostnadene er ikke vurdert, og vil sannsynligvis variere mye, avhengig av prosjektets omfang, elementformater, monteringsutstyr, grad av prefabrikasjon etc.

Levetid og vedlikeholdskostnader er ikke vurdert spesielt. Dels er produktene nye og dels skjer det en kontinuerlig utvikling av produktene. Tidligere utfordringer har som kjent vært punktering av gassfylte glassruter. Andre forhold som kan skape utfordringer er Nanogel som synker, gulning av plast og glassfiberprodukter etc.

Miljøfaktorer kan også påvirke kostnadene betydelig, blant annet i forbindelse med sanering eller mulighet for resirkulering, og indirekte i forbindelse med miljøsertifiseringer men dette er ikke vurdert her.

Erfaringer fra realiserte prosjekter med translusente fasadeprodukter

Mange av produktene er relativt nye i markedet og er i stadig utvikling. Likevel er det mulig å se noen tendenser i ulik bruk av de forskjellige materialene hvor to er nevnt under.

En stor utfordring de siste årene med stadig større krav til redusert energiforbruk, er å sørge for nok lys og fortrinnsvis dagslys samtidig som U-verdiene holdes på et akseptabelt nivå. Spesielt gjelder dette i store og dype rom. Mange referansebygg, både i Europa og Nord-Amerika, viser at flere av de ovenstående produktene prøver å svare på disse utfordringene.

Overlys med translusente materialer gir ofte bedre spredning og mindre varmetap enn tilvarende i klart glass og kan være aktuelt i idrettshaller, svømmehaller, indre gårdsrom etc. Her virker produktene med Nanogel å ha et ekstra fortrinn med bedre lysspredning.

Større veggfelt, eventuelt i kombinasjon med transparent glass, er spesielt relevant for klasserom og dype kontorlokaler hvor overlys ikke lar seg utføre. I klasserommene er det translusente materialet ofte plassert øverst på veggen slik at lyset diffuserer lenger inn i rommet og også opp i taket, mens transparent glass med i normale høyder sørger for utsyn.

I boliger og kontor vil translusente fasadeprodukter kunne brukes i mindre veggfelt, ofte brukt i kombinasjon med klart glass slik at man ivaretar både isolering, skjerming mot sol og innsyn (f.eks. soverom) og utsyn.

Transmittans og blending

Måleresultater av direkte-diffus transmittans viser store forskjeller mellom materialene. Scobatherm har lavest transmittans, direkte-diffus er på 13-14 % og diffus-diffus: 12 %. Qbiss 5 har høyest direkte-diffus transmittans: 39 % for lys som kommer normalt på overflaten av prøven og 33 % for lys som kommer fra 30 graders innfallsvinkel.

Blendingsforsøkene bekreftet at et Nanogel fasadeelement kan forårsake merkbart, forstyrrende og til og med uutholdelig blending når det blir belyst med sollys.

Blending kan forårsake reduksjon av lesekomfort og -hastighet på elektroniske skjermer plassert i nærheten av translusente fasadeelement.

Forsøket viste også at brukerne setter stor pris på visuell kontakt med utemiljø, opplevelsen av blending var lavere når deltakerne hadde mulighet til å se ut. Men hvis den åpne delen av fasaden muliggjør sollysinnslipp, blir det visuelle miljøet mer kontrastfullt, noe som kan forårsake en svak reduksjon i lesekomfort og -hastighet.

Det mest interessante resultat fra blendingsforsøkene er muligens at lesehastigheten kan økes selv med forstyrrende blending, hvis man har mulighet til selv å velge plassering og helning av displayet.

Forsøket ble gjennomført med Nanogel materialprøve med meget høy diffuserende egenskaper og 30-31 % total lystransmittans. Siden blendingen øker med lysnivå, vil andre translusente materialer som har høyere transmittans og/eller lavere diffuserende egenskaper (HeatMirror, Qbiss5) forårsake enda sterkere grad av blending.

Luminansen større enn 8000cd/m² vil kunne oppfattes som blendene av mesteparten av brukerne mens de mer lysfølsomme vil oppleve ubehagsblending allerede ved 4000cd/m². Slike luminansverdier vil oppstå ved en utvendig vertikal belysningsstyrke av henholdsvis 80.000 og 40.000 lux. En belysningsstyrke på ca. 40.000 lux kan forventes hele året på sørvendte fasader og fra mars til oktober også på øst- og vestvendte fasader i Oslo. Dette betyr at for å skape visuell komfort i bygninger med translusente fasadeelementer som har 30% lystransmisjon og meget sterk lysspredningsevne er det behov for reduksjon av fasadeluminansen, for eksempel ved hjelp av innvendige (rulle)gardiner.

Fargeforskyvning

Det er gjennomført fargeforsøk der det er benyttet et transparent energiglass og et translusent materiale nemlig Solera (nanogel med glass på begge sider). Resultatet viser at det testede transparente vindusglasset tenderer å gi ganske sterke farge-forvrengninger sammenlignet med det åpne kammeret (vinduet) som slipper inn ufiltrert dagslys. Resultatet for det translusente materialet viser et lignende mønster, men ikke like sterkt som for det transparente glasset.

Lyse, blasse farger, altså farger med lav sorthet og lav kulørthet, er veldig mottagelig for forandring, mens sterkt kulørte, intense farger, og mørke farger tenderer å være mer stabile. Dette betyr at den totale rekkevidden av farger, og deres kontraster, forandres mellom de testede situasjonene. Glasset gir en grønnaktig tone til lyst gule og grå overflater, og gjør lyst røde, blå og fiolette overflater mindre kulørte, det vil si mer blasse og gråaktige. Lyse, grønne overflater blir mer intensive når de belyses gjennom glasset. Alt dette er veldig logisk, ettersom begge de testede materialene i høy grad består av grønnaktig glass.

Menneskelig adaptasjon kompenserer imidlertid delvis for fargeforskyvningene. Vi fant ut at fargeforskyvningene mellom forskjellige situasjoner var noe større når fargeprøvene ble testet mot sort bakgrunn sammenlignet med hvit bakgrunn. Dette resultatet ble forventet av to årsaker. Det ene er adaptasjonsluminansens betydning og den andre er at vårt visuelle system bruker hvitt – eller det vi oppfatter som hvitt – som et anker i vår bedømmelse av alle andre farger i synsfeltet. Det betyr at om hele scenen - inklusive hvite overflater - belyses med samme lys, kommer vårt visuelle system til å se bort ifra den mulige fargeforskyvningen, som skyldes lyskilden.

Når det gjelder de testede materialene vil imidlertid fargeforskyvninger skje til tross for adaptasjonen. Vi vil dermed oppfatte en mindre rekkevidde av farger i rommet enn det det i

virkeligheten er, og dermed kommer helheten til å se mer blass ut enn når det belyses gjennom et åpent vindu.

I tillegg vil balansen og kontrastene mellom ulike farger påvirkes. I noen fargeområder kommer kontrastene mellom ulike fargede overflater til å forandres drastisk. Lyse, blasse overflater i det grønnngule fargeområdet blir mer like bak glasset ettersom alle farger, inklusive de nominelt nøytralgrå vil påvirkes av det gulaktig grønne glasset. For blasse, rødblå farger vil det motsatte skje. Fiolette farger, nominelt nærmere rødt, forskyves mot rødt, mens fiolette farger som er nominelt nærmere blått forskyves mot blått. Samtidig vil blasse farger i det rødblå området miste mye av sin intensitet.

Dersom vi tenker på at de sterke og mer intensive fargeoverflatene påvirkes mindre av glasset enn de lysere, blasse overflatene, så kan dette bety at en fargesetting som bygger på kulørtonelikheter eller på subtile fargeforskjeller vil forandres, og til og med bli ødelagt, om man ikke tar hensyn til glasset gjennom hele designprosessen.

I virkelige bygninger fins naturligvis også en mengde kunstige lyskilder med ulike lysfarger og ulike evner til fargegjengivelse (colour rendering index). Deres interaksjon med de transparente glassene eller de translusente fasadematerialene har ikke blitt undersøkt eller diskutert innenfor dette prosjektet. Vi kan imidlertid se et stort behov for ytterligere studier av samspillet mellom ulike lystransmitterende materialer og lyskilder, inklusive de eksterne som er plassert utenfor bygningen og lyser inn når det er mørkt ute.

Energisimuleringer

Innledende beregninger med SIMIEN synliggjorde begrensninger i programmet med tanke på beregning av soltilskudd og ønske om å simulere behovsstyring av dagslys. Dette er viktig i forbindelse med bruk av translusente fasader.

Resultatet i energiberegninger uten solskjerming avhenger i stor grad av hvordan innstrålt solenergi håndteres i sonen. Ulike beregningsprogrammer har ulik detaljeringsgrad for beregning av denne typen energitilskudd.

Energiberegningsprogrammet IDA ICE har geometrisk beskrivelse av sonen og beregner hvordan direkte solstråler reflekteres fra innerflatene mot andre innerflater eller mot vindusflater og ut igjen. I tillegg tar programmet hensyn til solstråler som går inn gjennom et vindu og direkte ut gjennom et annet. Beregningsprogrammet SIMIEN regner all solstråling som diffus når den kommer inn gjennom en vindusflate og reflekterer ingenting videre ut av sonen.

Beregninger på et hjørnerom med vanlige transparente glassfasader viser at SIMIEN får et mye høyere varmetilskudd (kjølebehov) enn IDA ICE når det ikke er utvendig solskjerming. Ulikheten reduseres ved bruk av solskjerming fordi mengden innstrålt sol reduseres og dermed får effekten av den reflekterte andelen ikke så stor innflytelse på kjølebehovet. Beregningene viser at for bygningssoner uten solskjerming vil IDA ICE gi mer realistiske resultater. Mens ved bruk av utvendig solskjerming vil effekten av soltilskudd gi mindre utslag og resultatet fra modellene er mer like.

Det er knyttet usikkerhet til effekten av diffusering av solstråling ved translusente fasader. Det er antatt at translusente flater i mindre grad vil reflektere solstråling ut av bygget igjen på grunn av de diffuserende egenskapene, og at man dermed får et større varmetilskudd enn ved vanlige transparente flater. IDA ICE har en parameter for diffusering ved bruk av detaljerte

vinduskonstruksjoner, men ved det benyttede oppsettet for translusente vinduer (modellert som ett lag) med angitt full diffusering får man ikke den forventede virkningen. Det er svært små forskjeller fra vinduskonstruksjoner uten diffusering.

Effekten av translusente fasader

Energiberegninger med sammenligning av ulike translusente produkter mot et referansetilfelle med vanlig fastfelt og vindusandel, viste at bruk av translusente felter uten dagslysstyring vil gi dårligere energisparing på grunn av økt solinnstråling og dermed et høyere kjølebehov.

Ved å styre belysningen med utgangspunkt i tilgjengelig dagslys vil man få en reduksjon i el-behovet til kunstig belysning. Det reduserte varmetilskuddet fører også til en reduksjon i kjølebehovet sammenlignet med tilfellene uten dimming av den kunstige belysningen.

Beregninger har altså vist at det er mulig å oppnå total energireduksjon ved å øke andelen dagslys i bygget. For å få en positiv effekt på el-, kjøle- og varmebehov er følgende momenter viktige:

- Den totale U-verdien for de translusente feltene bør ikke være særlig dårligere enn 0,40 W/m²K.
- Lav U-verdi for å minimere varmetap, sammen med lav solfaktor for å redusere varmetilskudd, men høyest mulig lystransmisjon er stikkord for å oppnå god energiytelse.
- Dimming av kunstig belysning for å utnytte dagslystilskudd er et svært gunstig virkemiddel for å utnytte translusente produkter på en positiv måte med hensyn på byggets energiytelse.
- Den translusente fasadedelen bør plasseres høyt i fasaden slik at dagslyset slipper langt inn i rommet.
- Med hensyn på levert energibehov vil bruk av kombinert varmepumpe/kjølemaskin gi et lavere forbruk enn fjernvarme. For primærenergi er disse ulikhetene noe mindre. Dette skyldes høy primærenergifaktor til elektrisitet som er energikilde til varmepumper, sammenlignet med faktor for fjernvarme.