

Veiledning

Termisk komfort og energibruk knyttet til fasader

Oslo august 2005

Innhold

1. Innledning	2
1.1 Energibruk i Norge	2
2. Begreper	4
3. Designprosess	4
4. Byggherren	6
4.1 Designkriterier for fasaden - krav	6
4.1.1 Dagslys	6
4.1.2 Visuell komfort	6
4.1.3 Klimakrav	7
4.1.4 Energikrav	7
4.2 Krav til leveranse	8
4.3 Kontroll av designet fasade	9
4.3.1 Dagslys	9
4.3.2 Visuell komfort	10
4.3.3 Klimakrav uten lokal kjøling	10
4.3.4 Energikrav	12
5. Arkitekt - rådgivere	14
5.1.1 Dagslys	14
5.1.2 Visuell komfort	16
5.1.3 Inneklima	18
5.1.4 Energibruk	20
6. Teoretisk bakgrunn	22
6.1 Solstråling mot fasaden	22
6.2 Egenskaper glass og solskjerming - g-verdi	23
6.3 Fasaders betydning for inneklima og energibruk	26
6.4 Cellekontor kontra landskap	29
6.5 Fleksible fasader	29
6.6 Eksempel på designprosess:	31
6.7 Nytt Operahus	31
7. Referanser	32

1. Innledning

På oppdrag fra Enova, BE og Statsbygg har Erichsen & Horgen AS utført en analyse for å kartlegge hvordan en fasade kan utformes slik at den blir mest mulig optimal med hensyn på energibruk samtidig som lokalene har tilstrekkelig dagslys og tilfredsstillende inneklime.

Denne rapporten er utarbeidet med utgangspunkt i denne analyse som en veiledning for byggherre, arkitekter og rådgivere for design av fasaden.

Rapporten er utarbeidet av Marit Smidsrød og Ida Bryn

Bak arbeidet har det vært en arbeidsgruppe. Denne har bestått av:

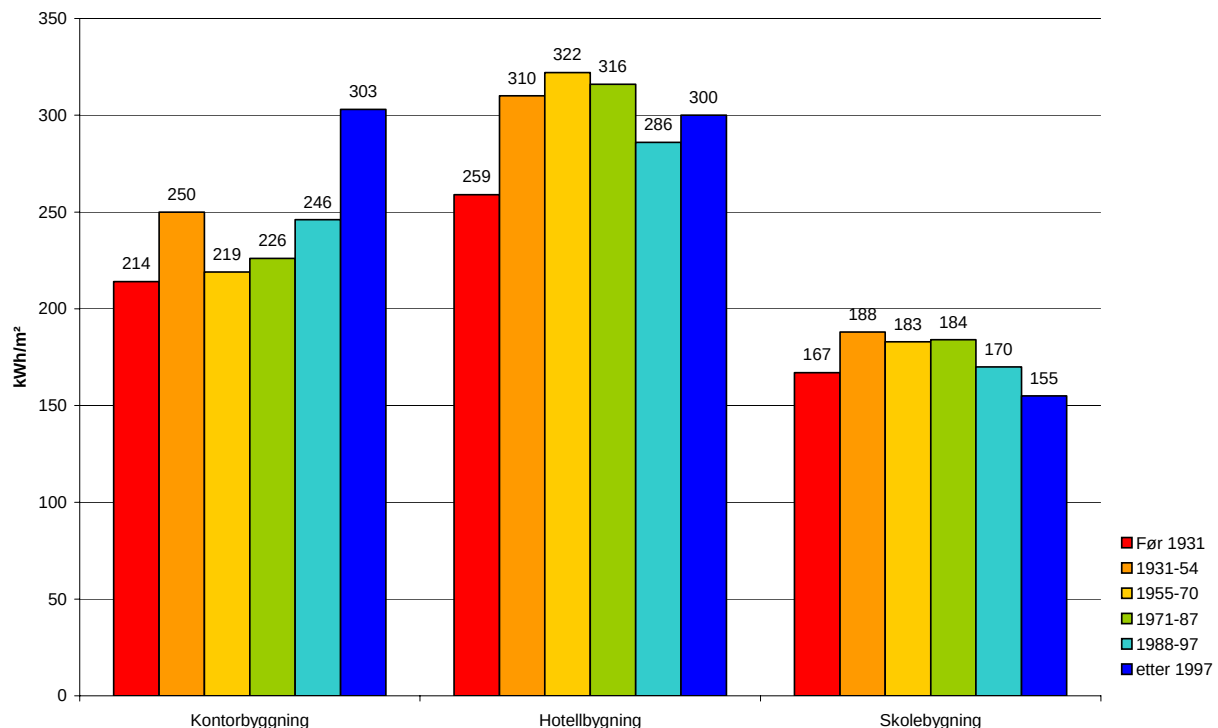
Barbara Matusiak	Sintef, Bygningsteknikk og arkitektur
Brita Dagestad	Bygningsteknisk etat
Inger Marie Oftebro	Statsbygg
Anne G. Lien	Enova
Margrethe Maisey	NABU/NAL

1.1 Energibruk i Norge

Dagens arkitekturmote med utstrakt bruk av glass har forårsaket et betydelig kjølebehov i bygg de senere år. De fleste moderne bygg har derfor både ventilasjonskjøling og lokal kjøling i rom. Lokal kjøling vil si at luften i rommet kjøles ned med en kjøleenhet eller fan coils.

Erfaringer (Enova 2002) viser at kontorbygg med lokal kjøling bruker rundt 50 kWh/m² mer energi enn bygg uten kjøling. Årsaken til det økte energibehovet i bygg med kjøling skyldes selvsagt delvis kjølingen i seg selv, men det kan også skyldes at byggene med høyt kjølebehov har store glassarealer og derfor stort varmetap samt bruker mye energi til strøm til utstyr.

Enova har ført energistatistikk for ulike bygningskategorier og byggeår både i 2002 og 2003. Figur 1.1 viser utdrag fra energistatistikken fra 2003 med total energibruk for tre hovedkategorier av bygg i forhold til byggeår. /1/



Figur 1.1: Energibruk for bygg i forhold til byggeår. Hentet fra Enovas energistatistikk for 2003 /1/

Av Figur 1.1 ser vi at energibruken i kontorbygg har økt betydelig etter 1997, mens for skolebygg fra samme periode er energibruken redusert. I 1997 ble forskriften revidert. Da ble det gitt et krav til begrenset energibruk for oppvarming og oppvarming av ventilasjonsluften. Denne har vært effektiv for skolebygg. Skolebygg har sjelden eller aldri lokal kjøling og oppvarming av bygget og av ventilasjonsluften utgjør en stor del av den totale energibruken. Dette kan gi en forklaring på at forskriften har vært effektiv på skolebygg. For nye kontorbygg derimot vet vi at det ofte er lokal kjøling, slik at i tillegg til oppvarming av bygget og ventilasjonsluften vil det være en betydelig energibruk til lokal kjøling. Ut fra den økte energibruken for nye kontorbygg som Figur 1.1, viser ser det ikke ut til å være tilstrekkelig å regulere energibruken kun for to poster av energibruken for kontorbygg. En begrensning i bruk av lokal kjøling i bygg ser ut til å være en viktig faktor for å redusere energibruken i nye kontorbygg.

Med utgangspunkt i statistikken fra Enova og erfaring med utstrakt bruk av lokal kjøling i moderne kontorbygg er tiltak for å unngå bruk av lokal kjøling analysert i denne veiledningen.

2. Begreper

En analyse av muligheten for å unngå bruk av lokal kjøling krever en oversikt over all varme som tilføres rommet. Det vil si rommets internbelastning og varmen som solstråling gjennom fasaden bidrar med. For å få en oversikt over bidraget av varme gjennom fasaden er det nødvendig å definere begreper knyttet til solstråling gjennom fasaden.

I_{tot} - Total solstråling [W/m^2]

I_b - Direkte solstråling [W/m^2]

I_d - Diffus solstråling [W/m^2]

α - Solhøyde [$^\circ$]

$G_{\text{tot_glass}}$ - Total solenergi som transmitteres gjennom glass [-]

$G_{\text{tot_system}}$ - Total solenergi som transmitteres gjennom glass og solskjerming sammen [-]

$\tau_{\text{e_glass}}$ - Direkte soltransmisjon gjennom glass [-]

$\tau_{\text{e_system}}$ - Direkte soltransmisjon gjennom glass og solskjerming sammen [-]

ρ_e - Refleksjon av direkte solstråling som treffer glasset [-]

α_e - Absorpsjon av solstråling som treffer glasset [-]

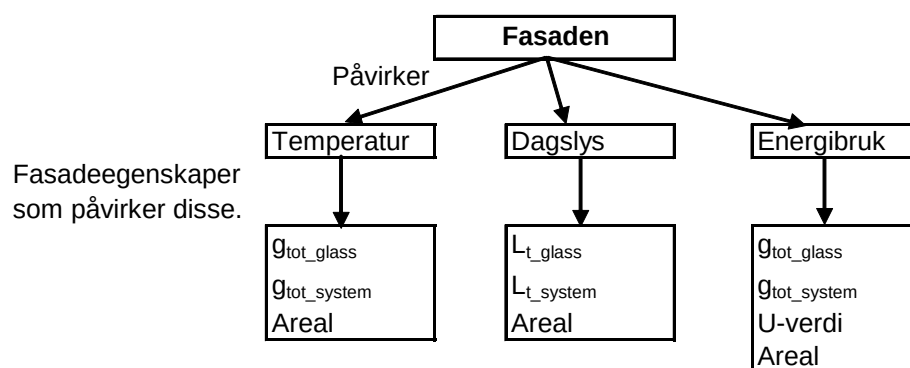
$L_{\text{tot_glass}}$ - Lystransmisjon gjennom glass [-]

$L_{\text{tot_system}}$ - Lystransmisjon gjennom glass og solskjerming sammen [-]

U_{glass} - Varmeledning gjennom bygningskonstruksjon [$\text{W/m}^2\text{K}$]

3. Designprosess

Fasaden er en faktor som påvirker energibruken i bygg betydelig. Samtidig gir fasaden bygget uvurderlige mengder dagslys. For å oppnå en optimal fasade søker vi et ideelt krysningspunkt hvor lokalene har tilfredsstillende dagslysforhold og inneklima samtidig som bygget har lav energibruk. Figur 3.1 viser hvilke faktorer i fasaden som påvirker og hvilke parametere i fasaden som regulerer dette.



Figur 3.1: Fasadeegenskaper som påvirker temperatur, dagslys og energibruk.

Figur 3.1 viser at temperatur og energibruk påvirkes av glassets og solskjermingens soltransmisjon, mens lystransmisjonen kun påvirker dagslyset.

Ved design av en fasade vil hensynet til dagslysinnsnitt gi minimums vindusareal, mens temperatur og energibruk vil gi maksimums vindusareal. U-verdien på glasset og soltransmisjon begrenser akseptabelt areal (maks begrensnings). Dette vil bli behandlet i 5.1.3 og 5.1.4.

For å oppnå et bygg hvor energibruken er lav, samtidig som både termisk komfort og dagslys er ivarettatt vil det være nødvendig med en designprosess. Målet for designprosessen må være å finne et ideelt krysningspunkt for de tre parametrene. Det er samtidig viktig at hele prosjekteringsgruppen er med i prosessen tidlig og at veien i prosessen er klart definert.

Designprosess for design av fasade:

1. Sette opp designkriterier for fasaden
 - Dagslyskrav
 - Visuell komfort
 - Klimakrav
 - Strategi for oppfyllding av klimakrav - Energikrav
2. Vurdere fasaden ut fra designkriteriene
3. Bestemme verdier på følgende parametre slik at designkriteriene oppfylles
 - Lystransmisjon for glass alene
 - Lystransmisjon for glass og solskjerming sammen
 - Total g-verdi for glasset alene
 - Total g-verdi for glasset og solskjerming sammen
 - Direkte soltransmisjon for glasset alene
 - Direkte soltransmisjon for glass og solskjerming sammen
 - U-verdi på vindu med glass og karm
4. Parameter for fasaden oppgis i beskrivelser med krav om at disse må dokumenteres av leverandør ved en gitt tilstand.

4. Byggherren

4.1 Designkriterier for fasaden - krav

For at det skal oppnås en fasade som gir tilfredsstillende dagslys og inneklima samtidig som energibruken er lav, er det viktig å stille krav. Videre vil det behandles hvordan kravene kan oppnås.

4.1.1 Dagslys

Dagslys har vist seg å være en viktig faktor for trivsel, samtidig som enkelte forskningsprosjekter viser at dagslyset er med på å påvirke ytelsen.

I CIE rapporten “Principles of Healthy Lighting” understrekker Jennifer Weitch betydningen lyset har for menneskelig fysiologi, trivsel og adferd. Hun skriver at den daglige dosen av lys som de fleste mennesker fra vestlige land får, er mest sannsynlig for lav. For å øke brukernes trivsel og lage sunnere rom, vil høyere lysnivåer og/eller lengre eksponering for lys anbefales av internasjonale forskningsmiljøer i nær fremtid. Mengden lys er viktig, men den spektrale sammensetningen av lyset har også betydning. Det er ikke funnet hvilke sammensetning som er optimal, men mye tyder på at sammensetningen som er i dagslys er nært det optimale. Rapporten konkluderer med at dagslyset bør brukes i bygninger i mye høyere grad enn dagens praksis viser

I REN veiledning til teknisk forskrift er det gitt en anbefaling for dagslys i lokaler med varig opphold.

Fra REN, veiledning til teknisk forskrift:

§ 8-35 Lys

For å oppnå tilfredsstillende dagslysforhold bør det prosjekteres ut ifra en gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet på 2 %.

Dette kravet vil sette et krav til minimumsareal på vinduer i fasaden.

I tillegg til krav om dagslysfaktor kan det være aktuelt som byggherre og stille krav til minimum lystransmisjon på glasset. Erfaringer tilsier at dagslys er en viktig faktor for trivsel. Ved SBI (Statens byggeforskningsinstitut i Danmark) har de sett på solbeskyttende glass sin innvirkning på gjengivelse av dagslyset og funnet at lystransmisjon på glasset påvirker gjengivelsen av dagslys. Forsøket viste at glass med lystransmisjon på 50 % opplevdes som ubehagelig og uakseptabelt for de fleste. Det ble her undersøkt glass hvor lystransmisjonen varierte mellom 50 og 77 %. Glassene med høy lystransmisjon ble best mottatt./2/

4.1.2 Visuell komfort

For de fleste arbeidsplasser er det ønskelig å fremheve arbeidsoppgaver ved å belyse dem sterkere enn omgivelsene, men for stor luminanskontrast i synsfeltet vil forårsake ubehagsblending og/eller synsnedsettende blending. Luminanskontrast vil si forskjellen i lysstyrke på flatene ved arbeidsplassen. Vindusflaten kan ofte ha en mye høyere lysstyrke enn vegger og bordplate. For å unngå blending er det viktig å stille krav til nødvendig minste lystransmisjon gjennom vindusflaten.

I REN, veiledning til forskriften er det ikke gitt noen anbefalinger i forhold til visuell komfort, men gjennom prosjektet glass i fasader som er arbeidet bak denne veiledningen har vi kommet fram til denne generelle anbefalingen: I alle bygg hvor PC skal brukes er det behov for bevegelige solskjermingssystemer hvor lystransmisjonen kan reduseres til 10 % for solskjerming sammen med glass.

4.1.3 Klimakrav

Klimakrav kan omfatte både friskluftmengder i rom, minimal og maksimal operativ temperatur samt temperatur asymetri. For gode arbeidsforhold er dette viktige faktorer. I dette punktet vil vi fokusere på temperatur kravene i forhold til design av fasaden/bygget. Hvordan dette kravet skal tilfredsstilles vil vurderes ut fra byggets energibruk.

Arbeidstilsynet gir anbefalinger om operativ temperatur i lokaler avhengig av type arbeid.

Fra arbeidstilsynets veiledning til best. 444:

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels tungt arbeid	Tungt arbeid
Temperatur, °C	19-26	16-26	10-26

Tabell 4.1: Operativ temperatur fra Arbeidstilsynet.

4.1.4 Energikrav

Vi har erfart at det er enkelt å løse klimakrav ved installasjon av lokal kjøling, men det har vist seg å føre til bygg med høyt energibruk. Ved å stille krav til strategi for oppfyllelse av klimakrav vil dette være et effektivt tiltak for å redusere energibehovet til bygget.

Strategi:

Klimakrav skal tilfredsstilles uten bruk av lokal kjøling.

Tilfredsstillelse av klimakrav uten bruk av kjøling er effektivt for å redusere energibruken i bygninger. For å redusere energibruken ytterligere vil det være nødvendig med flere krav til energibruk. Krav som vil være aktuelle:

1. Maksimal U-verdi for vinduer $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
2. Krav til maksimal energibruk i bygget. F.eks 160 kWh/m^2 pr år for kontorbygg.

Ramme for maksimalt energibruk er hentet fra *Nye forskriftskrav til bygningers energibehov*, Sintef rapport, 2003-12-11. Her er det gitt forslag til energiramme for flere bygningsskategorier.

Ved krav til maksimal energibruk i bygget er det viktig at det stilles krav til hvilke driftstider, internbelastninger og settpunkt for oppvarming og eventuelt lokal kjøling som rammen skal gjelde for. Regulering av varmeanlegget har vist seg å ha stor betydning for totalt energibruk. Nattsenkning fører til at glassbygg får en gunstig energibruk ved teoretiske beregninger, mens vi vet at nattsenkning er et tiltak som er vanskelig å gjennomføre i praksis for glassbygg. Dette skyldes at glasset vil være en stor kald flate som fører til trekk og for å kompensere for dette vil lufttemperaturen heves og dermed øker energi-

bruken til oppvarming. Vi anbefaler derfor ikke å legge nattsinking som en forutsetning ved design av bygget. Dette bør heller være en gevinst ved drift av bygget senere.

4.2 Krav til leveranse

For å kunne kontrollere fasaden og bygget i forhold til krav som er satt til energibruk og dagslysforhold er det viktig å stille krav til hva som leveres fra arkitekt og rådgivere i ulike faser av prosjektet.

Fasadens innvirkning på energibruken må vurderes så tidlig som mulig i et prosjekt, dvs i konkurranse eller skisseprosjekt/forprosjekt. I denne fasen legges føringene for byggets utforming og det kan være vanskelig å gjøre store endringer i fasaden etter dette.

I denne fasen vil det være nødvendig med en beskrivelse av fasadeløsningen med tekniske opplysninger. Det er vanskelig å vurdere en fasades innvirkning på energibruken, uten tekniske opplysninger, g-verdi etc. Det kan også være aktuelt at arkitekten oppgir forholdstall mellom vindusareal og gulvareal i typiske rom.

I leveranse fra Arkitekt i et forprosjekt bør det stilles krav til at følgende faktorer oppgis for fasaden:

$G_{\text{tot_glass}}$

$G_{\text{tot_system}}$

Lystransmisjon for glass alene

Lystransmisjon for glass og solskjerming sammen

U_g

Design av energiriktige fasader krever at det stilles krav til fasaden og at ytelsen dokumenteres. Det må dokumenteres:

- Dagslys
- Termisk komfort
- Energibruk

Dette krever at det foreligger dokumentasjon på følgende parametere:

- Total g-verdi for glasset alene
- Total g-verdi for glasset og solskjerming sammen
- Direkte soltransmisjon for glasset alene
- Direkte soltransmisjon for glass og solskjerming sammen
- Lystransmisjon for glass alene
- Lystransmisjon for glass og solskjerming sammen
- U-verdi på vindu med glass og karm

Ved krav til maksimalt energibruk i bygget er det nødvendig med dokumentasjon av beregningsunderlag. Ved et slikt krav er det også viktig å stille krav til hvilke parameter som skal være reelle og hvilke som skal være fastsatt av byggherren. Parametere som bør være satt fra byggherres side er driftstider, settpunkt for oppvarming og kjøling og internbelastning.

Tabell 4.2 viser nødvendig dokumentasjon av forutsetningen for beregningene.

Areal og volum	
oppvarmet gulvareal	m ²
oppvarmet luftvolum	m ³
yttervegg	m ²
vinduer	m ²
yttertak	m ²
gulv	m ²
Konstruksjonsdata	
U-verdi yttervegg	W/m ² K
U-verdi yttertak	W/m ² K
U-verdi gulv	W/m ² K
U-verdi vindu	W/m ² K
g-verdi glass	-
g-verdi glass sammen med solskjerming	-
Aktivering solskjerming	W/m ² solstråling fasade
Infiltrasjon	oms/h
Internbelastning	
Belysning	W/m ²
Utstyr	W/m ²
Personer	W/m ²
Ventilasjon	
Luftmengde	m ³ /hm ²
Virkningsgrad gjenvinner	-
Tilluftstemperatur	°C
SFP	kW/m ³ /s
Kjøling oppvarming	
Settpunkt oppvarming	°C
Settpunkt lokal kjøling	°C
Effekt lokal kjøling	W
Driftstider	
Ventilasjon	timer/dager/uker
Lys/Utstyr	timer/dager/uker
Personer	timer/dager/uker

Tabell 4.2: Dokumentasjon for beregning av energiramme.

4.3 Kontroll av designet fasade

4.3.1 Dagslys

Hvilke minimums vindusareal tilfredsstiller dagslyskravet i kap 4.1.1 avhenger blant annet av lokalenes utforming innenfor. Vindusarealet vil også avhenge av hvilke lystransmisjon som er valgt på glasset. Avstanden til og høyde på nabobygg er også avgjørende. Tabell 4.3 og Tabell 4.4 viser eksempler på minimumsarealer for cellekontor og kontorlandskap når bygget ikke har nabobygg nært.

Cellekontor

Tabell 4.3 viser eksempel på variasjon i nødvendig minimums glassareal for et cellekontor med utvendig hindring på 10 °, i forhold til lystransmisjon på glasset og utforming.

Lystransmisjon glass	Minimum glassareal % vindu/gulvareal	
	Vertikalt	Horisomtalt
0,75	10,7	11,7
0,5	16,7	16,7

Tabell 4.3: Minimums glassarealer for å tilfredsstille forskriftens dagslyskrav i cellekontor.

Kontorlandskap

Tabell 4.4 viser eksempel på variasjon i nødvendig minimums glassareal for et kontorlandskap med utvendig hindring på 10 °, i forhold til lystransmisjon på glasset og utforming. Beregningene forutsetter takhøyde på 3,1 m og en dybde 15 m.

Lystransmisjon glass	Minimum glassareal % vindu/gulvareal	
	Vertikalt	Horisontalt
0,75	8,1	9,2
0,5	12,1	12,8

Tabell 4.4: Minimum glassareal for å tilfredsstille dagslyskravene for kontorlandskap.

4.3.2 Visuell komfort

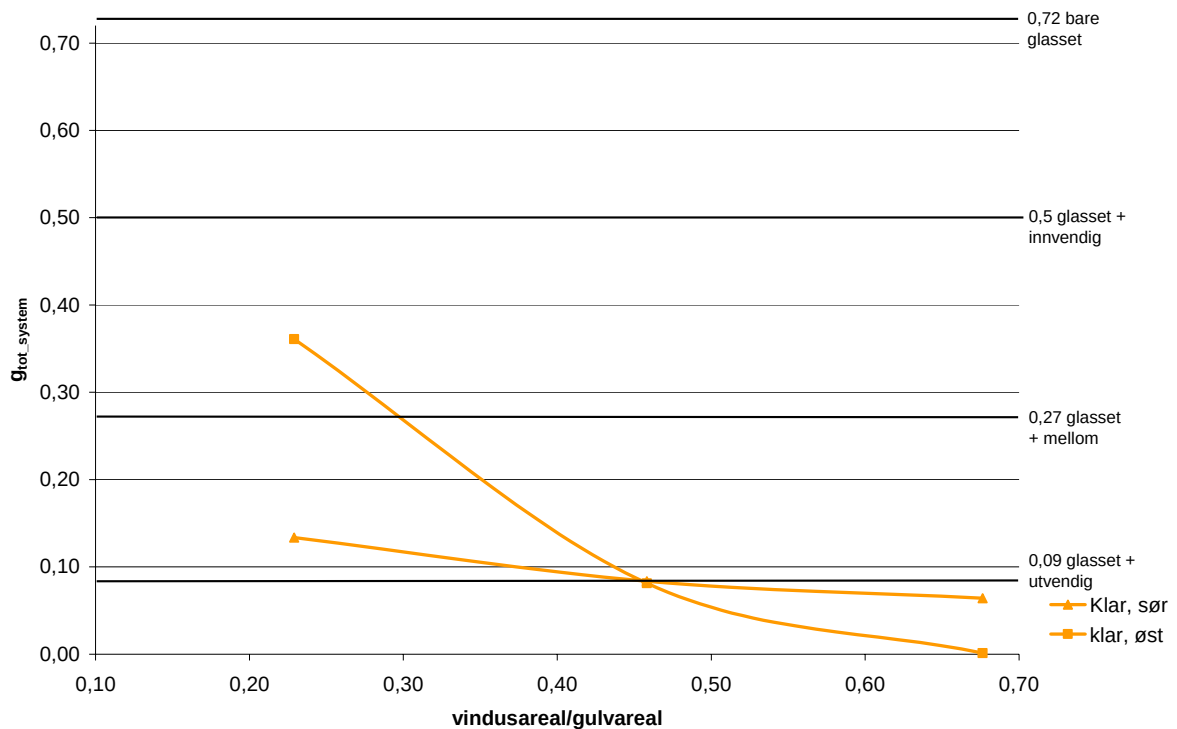
I kontorbygg hvor PC er det viktigste arbeidsverktøyet er det viktig å unngå blanding. For å oppnå dette må lystransmisjonen kunne reduseres. Det er nødvendig med en minimum lystransmisjon for solskjerming og glass på 0,1.

Dette kravet stiller krav til kvalitet på innvendig solskjerming. En solskjerming som skal hindre blanding kan ikke være en lett innvendig interiør gardin. Det må enten være en utvendig eller mellomliggende eller en innvendig solskjerming.

4.3.3 Klimakrav uten lokal kjøling

Denne strategien fører til at det er nødvendig å kontrollere fasadens egenskaper. Egenskapene som er nødvendig å kontrollere er g_{tot_glass} og g_{tot_system} . Disse må kontrolleres i forhold til glassareal som er prosjektert. Hvilke g_{tot_glass} som bør velges vil avhenge av glassareal og fasaderetning. G_{tot_system} som kan godtas vil avhenge av både glassareal, g_{tot_glass} og fasaderetning.

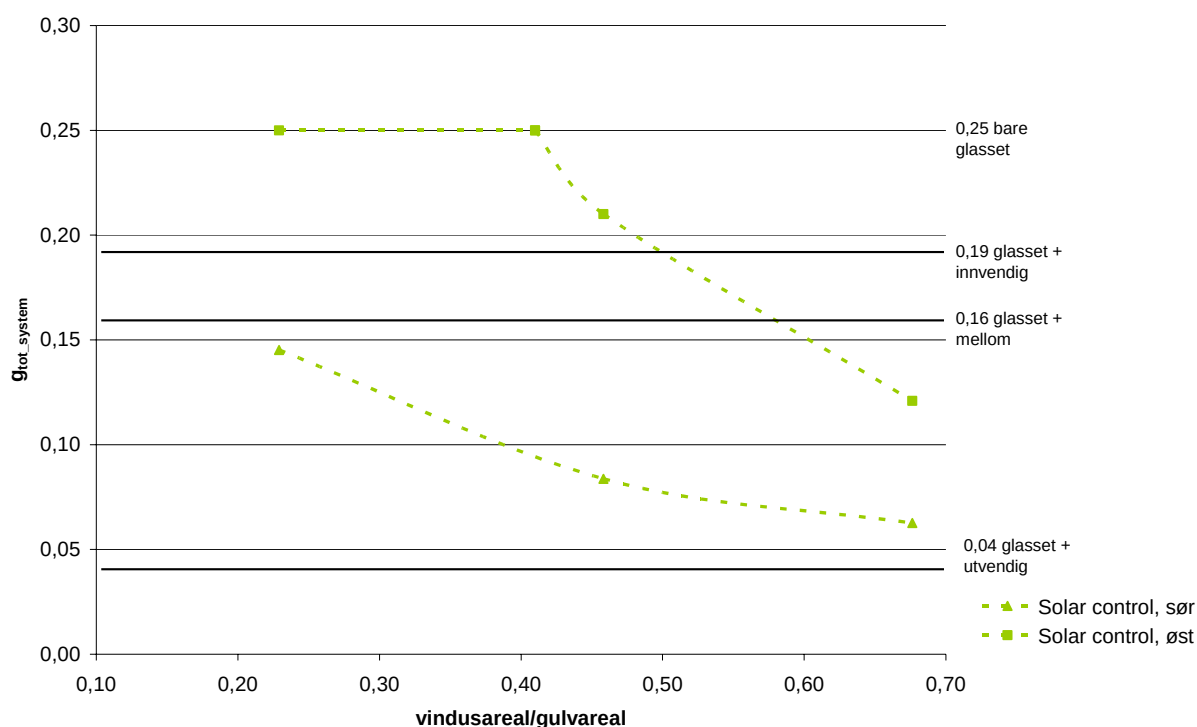
Figur 4.1 viser maksimum g_{tot_system} som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og glassareal for et cellekontor med energiglass. Gjelder for Oslo klima.



Figur 4.1: Maksimum g_{tot_system} som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og gulvareal for klart glass med g_{tot_glass} lik 0,72 for cellekontor.

Fra Figur 4.1 kan vi se at det alltid er behov for utvendig solskjerming på en sørfasade. For østfasaden vil vindusarealer på over 30 % av gulvarealet føre til behov for utvendig solskjerming. For vindusarealer under 15 % holder det med innvendig solskjerming. Ved større glassandel enn 46 % vil en ikke klare komfortkravet verken mot sør eller øst med klare glass.

Figur 4.2 viser maksimum g_{tot_system} som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og glassareal for et cellekontor med solbeskyttende glass. Dette gjelder for Oslo klima.



Figur 4.2: Maksimum g_{tot_system} som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og gulvareal for solbeskyttende glass med g_{tot_glass} lik 0,25 for cellekontor.

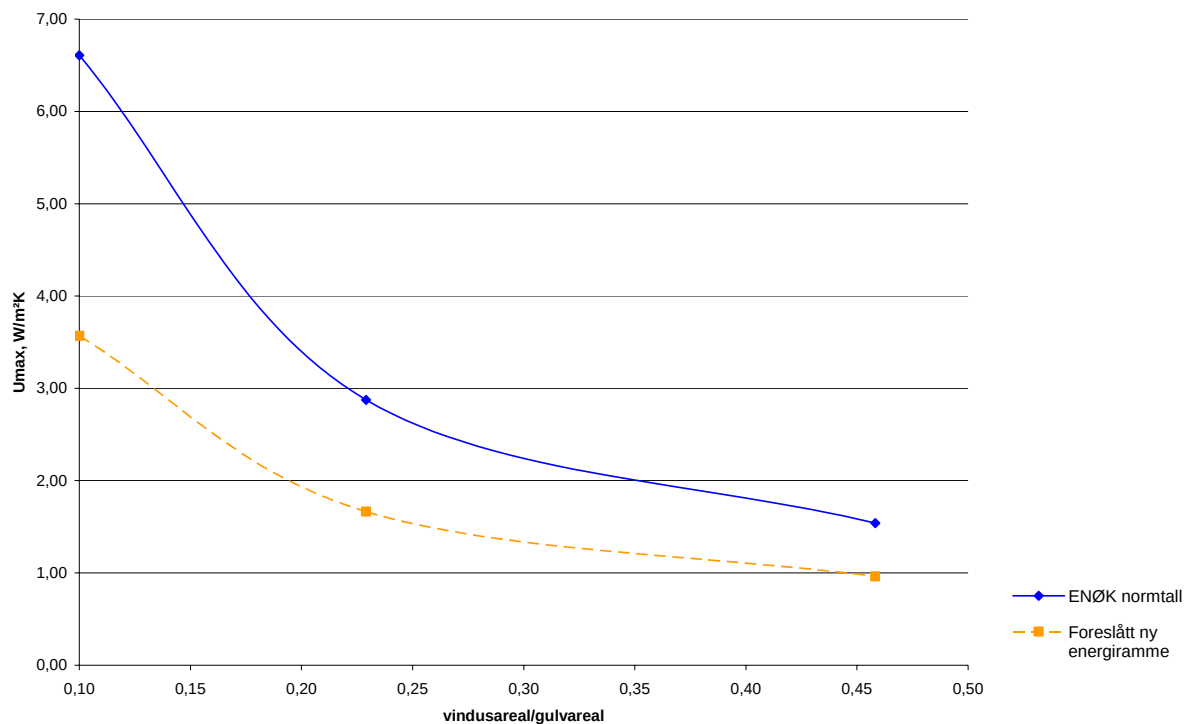
Fra Figur 4.2 kan vi se at en sørfasade har behov for utvendig solskjerming også ved solbeskyttende glass når glassandelen er $> 20\%$. Ved $< 20\%$ glassandel kan en benytte mellomliggende solskjerming og ved glassandel under 10% er innvendig solskjerming tilstrekkelig. For østfasaden vil glasset alene gi tilfredsstillende reduksjon av solinstråling opp til vindusarealer som utgjør ca 42% av gulvarealet. Dette er beregnet ut fra et krav om å oppfylle operativ temperatur i skyggen. For å oppnå tilfredsstillende operativ temperatur i sola vil, det være behov for innvendig solskjerming i tillegg til glasset.

Verken Figur 4.1 eller Figur 4.2 vil være universelle ved prosjektering av fasader. De er laget for et gitt cellekontor. Dette er allikevel et representativt eksempel på hvordan g_{tot_system} vil variere i forhold til vindusareal og glassvalg. For å vurdere konkurranser kan disse figurene brukes som retningslinjer for nødvendig g_{tot_system} for å utforme energiriktige fasader. Når fasaden skal detalj prosjekteres vil det være nødvendig med beregninger i hvert enkelt tilfelle.

4.3.4 Energikrav

Krav til maksimalt energibruk for bygget krever kontroll av beregninger. Det er viktig at beregningene er dokumentert slik som er vist i kap 4.2.

Ved konkurranser er det ofte ikke gjort energiberegninger av bygget. Det letteste å kontrollere vil da være vindusareal og U_v . Figur 4.3 viser maksimal U_v ved ulike vindusareal ved 2 ulike mål for energibruk til oppvarming. U_{max} er vurdert opp mot ENØK normtall for bygg etter 1997 og forslag til fordeling av energibruken i foreslått energigramme fra Sintef.



Figur 4.3: U_{max} ved ulike vindusarealer og grenser for energibruk til oppvarming

Figur 4.3 viser at for bygg hvor 20 % av gulvarealet er vindu vil krav til maksimal U_v være lavere enn 1,9 W/m²K. Dette er U -verdi for hele vinduet. Dette krever en lavere U -verdi på glasset avhengig av hvilke ramme glasset har.

Figur 4.3 er ikke universell. Figuren er satt opp med utgangspunkt i beregning av cellekontor. For kontroll av byggets forventede energibruk i en konkurranse vil Figur 4.3 gi et godt overslag på nødvendig U -verdi og vindusareal for oppnå de to energimålene for oppvarming som er vist her. For å kontrollere maksimalt energibruk til bygget ved forprosjekt vil det være nødvendig med beregningsresultater som er dokumentert som vist i kap 4.2.

5. Arkitekt - rådgivere

Hvordan etterkomme krav som stilles i av byggherre? I dette kapitlet omhandles hvordan krav til dagslys, inneklima og energibruk påvirker design av fasader. Mye av kapitlet vil være gjentakelse av kap 4.

5.1.1 Dagslys

Dagslys har vist seg å være en viktig faktor for trivsel, samtidig som enkelte forskningsprosjekter viser at dagslyset er med på å påvirke ytelsen.

I CIE rapporten “Principles of Healthy Lighting” understrekker Jennifer Weitch betydningen lyset har for menneskelig fysiologi, trivsel og adferd. Hun skriver at den daglige dosen av lys som de fleste mennesker fra vestlige land får, er mest sannsynlig for lav. For å øke brukernes trivsel og lage sunnere rom, vil høyre lysnivåer og/eller lengre eksponering for lys anbefales av internasjonale forskningsmiljøer i nær fremtid. Mengden lys er viktig, men den spektrale sammensetningen av lyset har også betydning. Det er ikke funnet hvilke sammensetning som er optimal, men mye tyder på at sammensetningen som er i dagslys er nært det optimale. Rapporten konkluderer med at dagslyset bør brukes i bygninger i mye høyre grad enn dagens praksis viser.

For å ivareta gode dagslysforhold inne stilles det ofte krav til dagslysfaktor i rommet. Dagslysfaktor er definert som dagslysbelysning fra jevnt overskyet himmel i et punkt i en på en flate innendørs angitt i prosent av den samtidige belysningen på en uskjermet horisontal flate utendørs.

Fra REN, veiledning til teknisk forskrift:

§ 8-35 Lys

For å oppnå tilfredsstillende dagslysforhold bør det prosjekteres ut ifra en gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet på 2 %.

Hva innebærer dette kravet for glassarealer? Minimums glassarealer for å oppfylle kravet, vil avhenge av lystransmisjon på glasset og skjerming fra bygg eller glassgårder. Type lokaler som er innenfor fasaden har også betydning for minimumsarealet.

For kontorbygg er cellekontor og kontorlandskap typiske lokaler. Videre er minimums glassarealer som tilfredsstiller forskriftskravet for disse typer arealer satt opp.

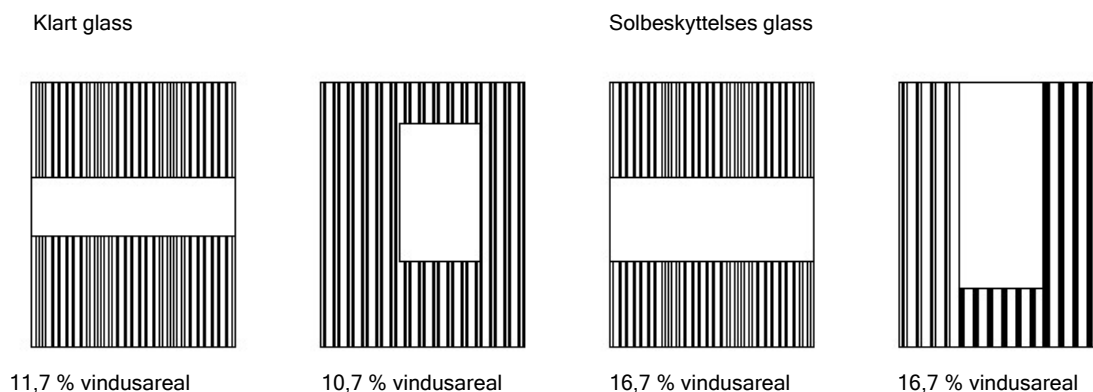
Cellekontor:

Tabell 5.1 viser eksempel på variasjon i nødvendig minimums glassareal for et cellekontor med utvendig hindring på 10 °, i forhold til lystransmisjon på glasset.

Lystransmisjon glass	Minimum glasareal % vindu/gulvareal	
	Vertikalt	Horisomtalt
0,75	10,7	11,7
0,5	16,7	16,7

Tabell 5.1: Minimums glassarealer for å tilfredsstille forskriftens dagslyskrav i cellekontor.

I Figur 5.1 er tallene i Tabell 5.1 visualisert for kontormodul på 2,4 m bredde.



Figur 5.1: Minimums glassarealer for å tilfredsstille dagslyskravene i cellekontor.

Tabell 5.1 og Figur 5.1 viser at ved valg av klare glass får man en gevinst ved å velge en vertikal utforming av vinduene. Dette gir en bedre dagslysutnyttelse. For solbeskyttende glass er gevinsten av denne utformingen minimal.

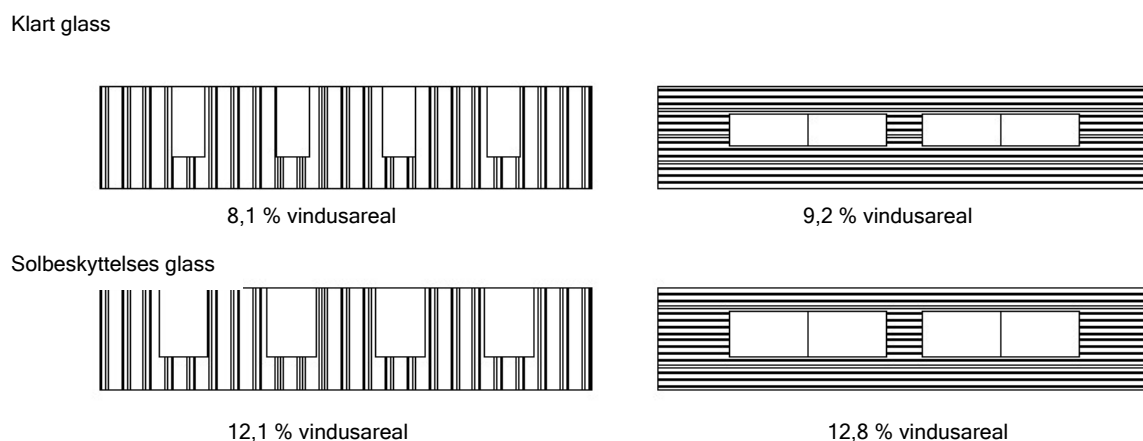
Kontorlandskap:

Tabell 5.2 viser eksempel på variasjon i nødvendig minimums glassareal for et kontorlandskap med utvendig hindring på 10 °, i forhold til lystransmisjon på glasset. Beregningene forutsetter takhøyde på 3,1 m og en dybde på 15 m.

Lystransmisjon glass	Minimum glassareal % vindu/gulvareal	
	Vertikalt	Horisontalt
0,75	8,1	9,2
0,5	12,1	12,8

Tabell 5.2: Minimum glassareal for å tilfredsstille dagslyskravene for kontorlandskap.

I Figur 5.2 er tallene i Tabell 5.2 visualisert for kontorlandskap.



Figur 5.2: Minimum glassareal for å tilfredsstille dagslyskravene ved kontorlandskap

For kontorlandskap viser Figur 5.2 og Tabell 5.2 samme tendens som for cellekontor. For kontorlandskap vil gevinsten av en vertikal utforming på vinduene være større enn for cellekontor. For kontorlandskap vil også gevinsten være størst for klare glass.

Tabell 5.1 og Tabell 5.2 viser at lystransmisjonen på glasset har stor innvirkning på minimumsarealer som er nødvendig. Det er derfor viktig å vurdere lystransmisjon på glasset ved design av fasaden. Vinduer som er vertikale vil føre til større utnyttelse av dagslyset enn horisontale.

Minimumsarealene som er vist i Tabell 5.1 og Tabell 5.2 vil ikke gjelde for kontorarealer mot glassgårder. Glassgårder stjeler mye dagslys, og hvilken grad avhenger av utformingen på glassgården. Det vil derfor være nødvendig at daglysforholdene bregnes for hver enkelt glassgård.

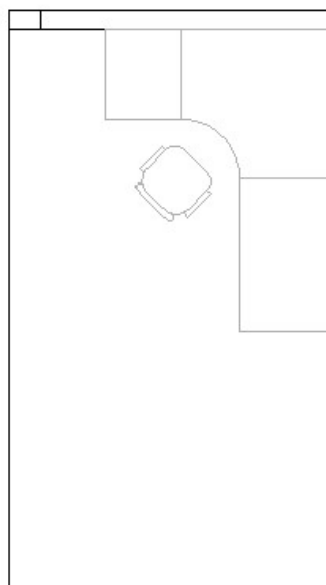
Dersom dagslys skal utgjøre en vesentlig lyskilde vil det være nødvendig med høyere dagslyskrav enn forskriftskravene. Opptil en gjennomsnittlig dagslysfaktor på 5 %. Dette betyr at det er nødvendig med høy lystransmisjon på glasset og høyere glassareal. Det medfører imidlertid at en må stille strengere krav til solbeskyttelse og U-verdi.

I tillegg til å tilfredsstille kravet til dagslysfaktor bør det søkes å oppnå fasader med høyest mulig lystransmisjon på glasset. Forskningsresultater fra SBI i Danmark viser at glassets lystransmisjon påvirker visuell oppfatning i rommet. Deres forskning viser at det bør velges glass med høyere lystransmisjon enn 50 %, men selv 50 % lystransmisjon karakteriserte de fleste dagslysforholdene som ubehagelige og uakseptable.

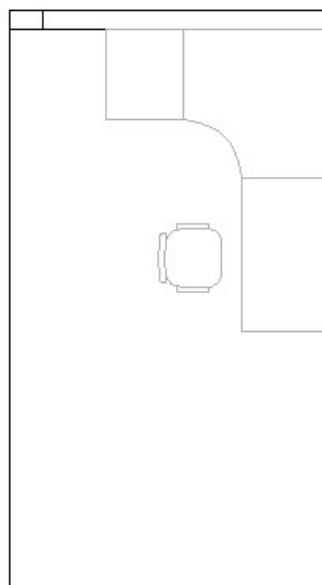
5.1.2 Visuell komfort

For å oppnå visuell komfort er det nødvendig å unngå blinding på arbeidsplassen. Dette er spesielt viktig i kontorbygg hvor PC-er er hovedarbeidsverktøy. Dette gjøres ved gjennom å kunne oppnå lav lystransmisjon gjennom fasaden. Det vil si gjennom glass kombinert med solskjerming. Hvilke minste lystransmisjon som er nødvendig avhenger av plasseringen av arbeidsplassen. Figur 5.3 viser to alternative plasseringer av arbeidsplassen.

Eksempel 1



Eksempel 2



Figur 5.3: To eksempler på plassering av arbeidsplass

Eksempel 1:

En plassering av arbeidsplass mot vinduet er den plassering som er mest utsatt for blending. For å unngå blending er det nødvendig med bevelig solskjermingssystem slik at lystransmisjonen kan reduseres ned til 10 %. Dette stiller krav til solskjermingen som velges og et krav om at det må være solskjerming.

Avhengig av glass som velges vil lystransmisjon som kan aksepteres gjennom solskjermingen varierer. Eksempelvis kan lystransmisjonene gjennom solskjermingen være maksimalt 13 % ved valg av glass med 75 % lystransmisjon. Kombineres solskjermingen med et glass som har en lystransmisjon lik 50 % kan maksimal lystransmisjon på solskjermingen være 20 %. Uansett valg av glass vil maksimal lystransmisjon som tilfredsstillers kravet være lav, og tilsvarer utvendig solskjerming eller nesten tett innvendig solskjerming.

Eksempel 2:

For denne plasseringen er det lettere å unngå blending. For glassareal som er mindre enn 24 % av gulvarealet er det tilstrekkelig å redusere lystransmisjonen ned til 22 %.

For disse vindusarealene kan maksimal lystransmisjon være 29 % ved glass med lystransmisjon lik 75 %. Har glasset en lystransmisjon lik 50 % vil det være tilstrekkelig med en lystransmisjon lik 44 %.

For glassarealer over 24 % av gulvarealet er det nødvendig å kunne redusere lystransmisjonen til 10 %, samme som for eksempel 1.

Disse to eksemplene på plassering av arbeidsplasser viser at plassering i eksempel 2 er gunstig i forhold til å skjerme mot blanding.

5.1.3 Inneklima

For inneklima vil ofte arbeidstilsynets veiledning 444 legges til grunn for krav som blir stilt.

Tabell 5.3 er hentet fra arbeidstilsynets veiledning til best. 444.

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels tungt arbeid	Tungt arbeid
Temperatur, °C	19-26	16-26	10-26

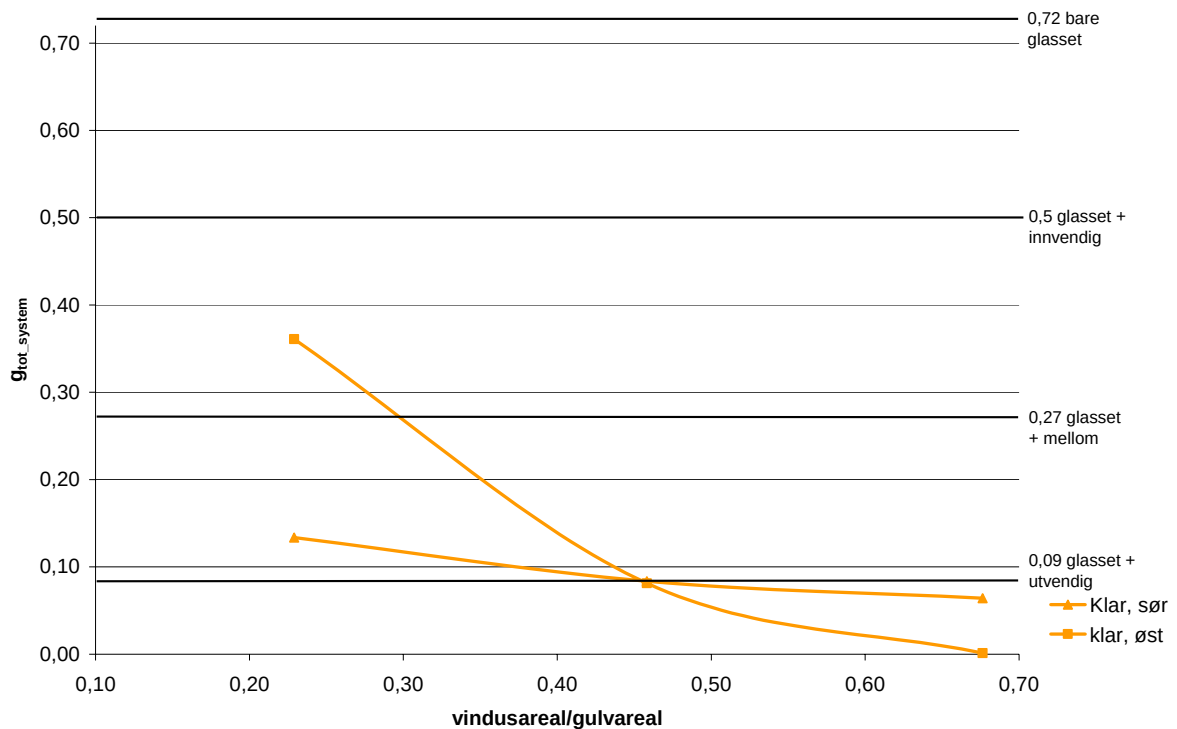
Tabell 5.3: Operativ temperatur fra Arbeidstilsynet.

Kravene i Tabell 5.3 kan tilfredsstilles vanligvis med kjølt ventilasjonsluft og supplert med lokal kjøling. Som kommentert i kap 1.1 fører lokal kjøling til høyt energibruk og det er et mål å unngå lokal kjøling for å redusere byggs energibruk.

Stilles det krav til at temperaturkravene overholdes uten bruk av lokal kjøling, er det viktig at fasaden utformes slik at den ikke bidrar til å heve temperaturen inne. Dette fører til at det er nødvendig å definere fasadens egenskaper. Hvor mye sol kan vi tillate at slippe inn i lokalene uten at temperaturen stiger over grenseverdiene som er satt?

$g_{\text{tot_glass}}$ beskriver hvor stor prosentandel solstråling som slipper inn i lokalet bare med glasset. $g_{\text{tot_system}}$ er en verdi som beskriver hvor stor prosentandel av solstråling som slipper inn i lokalet for glasset sammen med solskjerming. Hvilken g-verdi for glass alene og for glass og solskjerming sammen som kan tillates for at ikke fasaden bidrar til å heve temperaturen over gitte grenser vil variere med vindusareal, størrelse på rommet, internbelastning, reguleringsstrategier og glasstype.

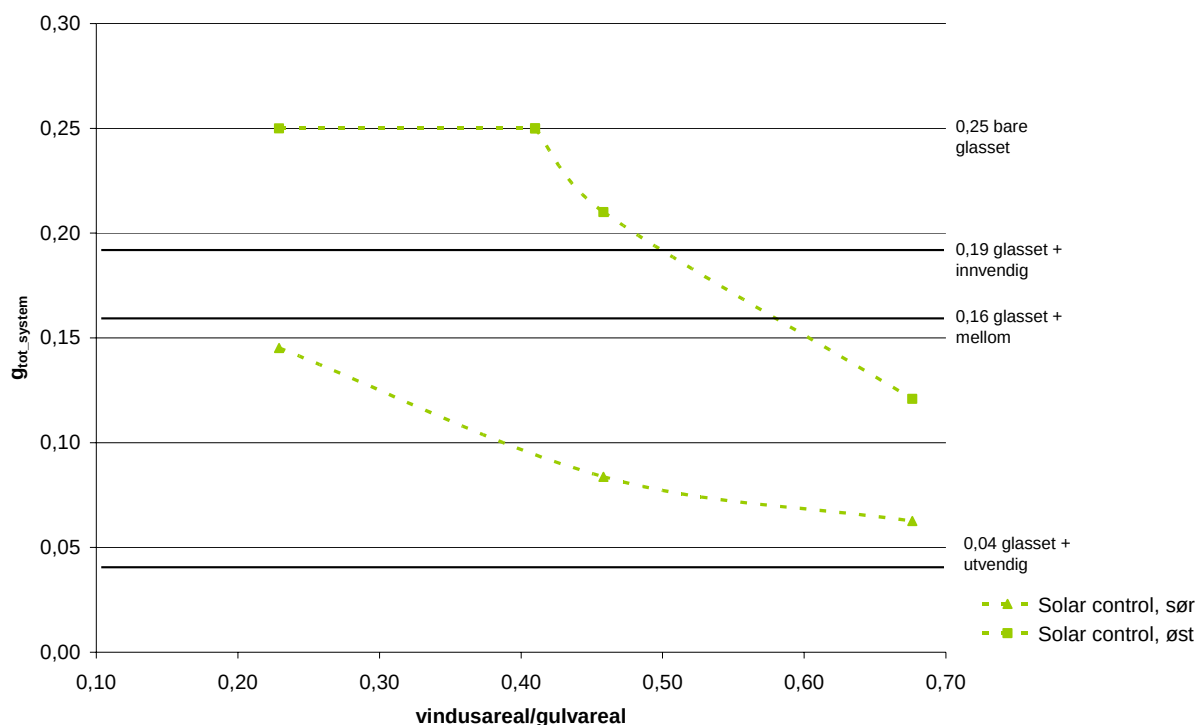
Figur 5.4 viser maksimum $g_{\text{tot_system}}$ som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og glassareal for et cellekontor med energiglass. Gjelder for Oslo klima.



Figur 5.4: Maksimum g_{tot_system} som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og gulvareal for klart glass med g_{tot_glass} lik 0,72 for cellekontor.

Fra Figur 5.4 kan vi se at på en sørfasade er det alltid behov for utvendig solskjerming. For østfasaden vil vindusarealer på over 30 % av gulvarealet føre til behov for utvendig solskjerming. For vindusarealer under 15 % holder det med innvendig solskjerming. Ved større glassandel enn 46 % vil en ikke klare komfortkravet verken mot sør eller øst med klare glass.

Figur 5.5 viser maksimum g_{tot_system} som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og glassareal for et cellekontor med solbeskyttende glass. Gjelder for Oslo klima.



Figur 5.5: Maksimum $g_{\text{tot_system}}$ som funksjon av forholdstallet mellom vindusareal og gulvareal for solbeskyttende glass med $g_{\text{tot_glass}}$ lik 0,25 for cellekontor.

Fra Figur 5.5 kan vi se at en sørfasade har behov for utvendig solskjerming også ved solbeskyttende glass. For østfasaden vil glasset alene gi tilfredsstillende reduksjon av solinstråling opp til vindusarealer som utgjør ca 42 % av gulvarealet. Dette er beregnet ut fra et krav om å oppfylle operativ temperatur i skyggen. For å oppnå tilfredsstillende operativ temperatur i sola vil, det være behov for innvendig solskjerming i tillegg til glasset.

Verken Figur 5.4 eller Figur 5.5 vil være universelle ved prosjektering av fasader. De er laget for et gitt cellekontor. Dette er allikevel et representativt eksempel på hvordan $g_{\text{tot_system}}$ vil variere i forhold til vindusareal og glassvalg. For konkurranser kan disse figurene brukes som retningslinjer for nødvendig $g_{\text{tot_system}}$ for å utforme energiriktige fasader. Når fasaden skal detalj prosjekteres vil det være nødvendig med beregninger i hvert enkelt tilfelle.

5.1.4 Energibruk

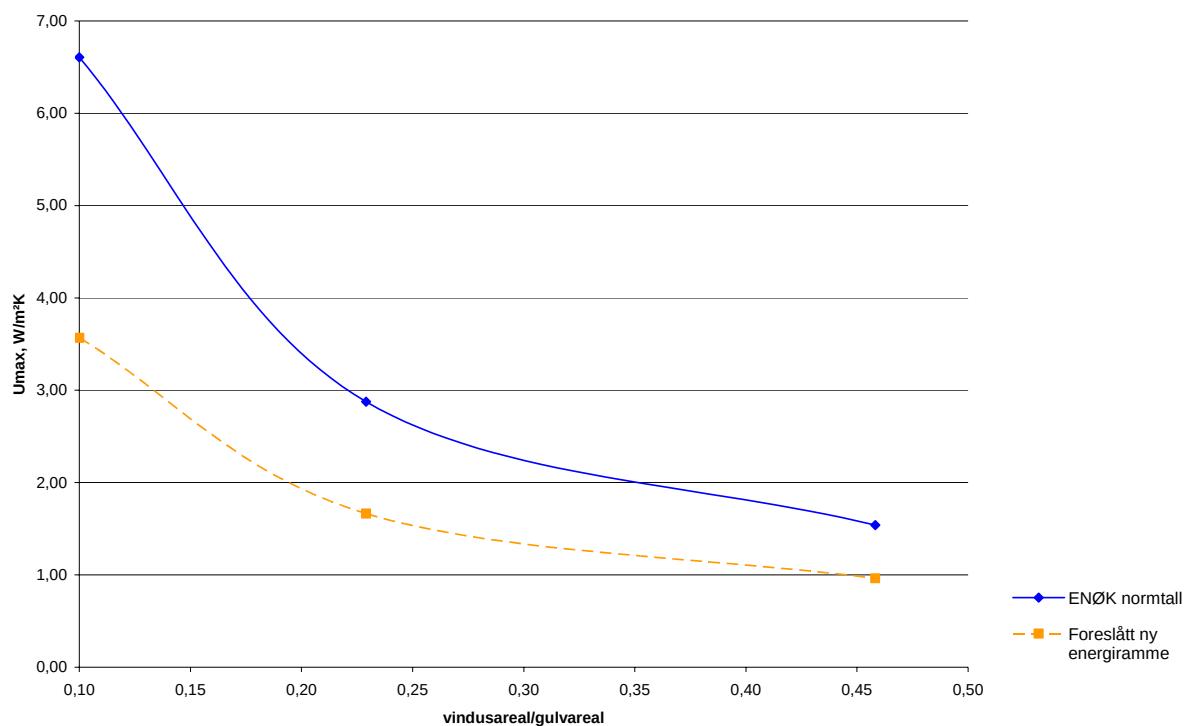
For byggets energibruk kan det være aktuelt at det stilles flere krav. Et hovedkrav kan være at bygget skal oppfylle klimakravene uten lokal kjøling. Hvordan dette kan løses er behandlet i kap 5.1.3.

Videre kan det være aktuelt at det stilles krav til maksimal U-verdi på vinduskonstruksjonen. Dette kan være satt til 1,4 W/m²K.

Ytterligere krav som kan stilles er en ramme på totalt energibruk for bygget. I Sintef sin rapport *Nye forskriftskrav til bygningers energibehov*, Sintef rapport, 2003-12-11, er det foreslått en total energibruk lik 160 kWh/m² for kontorbygg. Dette kan være et aktuelt

krav som blir stilt fra byggherre. På sikt kan dette også være et krav som blir gitt i revidert forskrift. Kravet om totalt energibruk i bygget krever at det gjøres en energiberegning for bygget. Dette kan være vanskelig å få til i konkurransefasen av et prosjekt. Det kan da være aktuelt å vurdere byggets glassfasade ut fra figurer i kap 5.1.3 og ut fra U-verdi på vindu ut fra et mål om maksimal energibruk til oppvarming.

Figur 5.6 viser maksimal U_{verdi} for ulike vindusarealer for å oppnå grenseverdier for oppvarming fra ENØK normtall og for foreslått ny energiramme.



Figur 5.6: U_{max} ved ulike vindusarealer og grenser for energibruk til oppvarming.

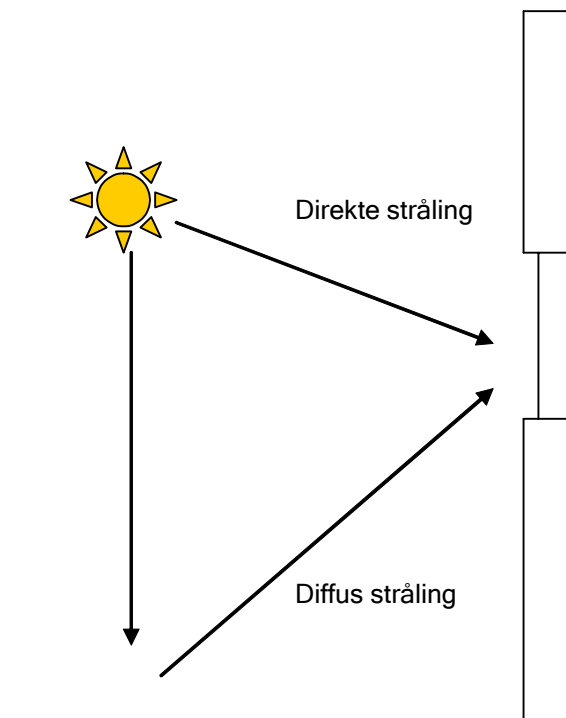
Figur 6.6 viser at for bygg hvor 20 % av gulvarealet er vindu vil krav til maksimal U_v være lavere enn $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette er U-verdi for hele vinduet. Dette krever en lavere U-verdi på glasset avhengig av hvilke ramme glasset har.

Figur 6.6 er ikke universell. Figuren er satt opp med utgangspunkt i beregning av cellekontor. For kontroll av byggets forventet energiforbruk i en konkurranse vil Figur 6.6 gi et godt overslag på energibehov til oppvarming. For å beregne maksimalt energibruk til bygget ved forprosjekt vil det være nødvendig med beregninger som er dokumentert som vist i kap 4.2. Disse kan utføres i beregningsverktøy som er utviklet for å beregne bygningers energibruk og termiske forhold i bygg.

6. Teoretisk bakgrunn

6.1 Solstråling mot fasaden

Hvor mye solstråling som treffer en fasade avhenger av retning på fasaden, tid på året og tid på døgnet. Refleksjon fra bakken vil også påvirke solstrålingen på fasaden. Figur 6.1 viser solstråling som treffer en fasade.



Figur 6.1: Solstråling mot fasade.

Figur 6.1 viser at det er to strålingstyper som treffer fasaden. Direkte stråling og diffus stråling. Den direkte strålingen varierer i forhold til tid på døgnet og tid på året. Dette gjelder også for den diffuse strålingen, men i tillegg har bakkens overflate (nysnø, sjø, grå omgivelser etc.) betydning for størrelsen på den diffuse strålingen.

Den direkte solstrålingen er høyere om vinteren enn om sommeren. Om vinteren kan bidraget fra direkte solstråling bli opptil 750 W/m^2 , mens det om sommeren blir opp til 690 W/m^2 . I tillegg til høy direkte stråling er diffus stråling fra nysnø høy. I april kan den bli opptil 350 W/m^2 . Ved sjøen vil det også været et betydelig bidrag av diffus stråling om sommeren.

I Tabell 6.1 er eksempel på total solstråling på en vertikal flate i Oslo i mars og juni vist.

Alternativer	direkte solstråling W/m^2	diffus solstråling W/m^2	global solstråling W/m^2	tillegg for lyse omgivelser W/m^2	Total solstråling W/m^2
ca 10. mars kl 12.00 nysnø	750	150	900	110	1010
ca 15. juni kl 12.00 grå omgivelser	540	180	720	0	720

Tabell 6.1: Total solstråling for sørvendt fasade vinter og sommer i Oslo.

Tabell 6.1 viser at den totale solstrålingen blir høyest om vinteren. Dette skyldes blant annet at det er regnet med nysnø, men tabellen viser at den direkte strålingen er betydelig høyere i mars enn den er i juni. Tabell 6.1 viser at solstråling i Oslo er betydelig både på sommeren og ikke minst om vinteren.

Med så høy solstråling i Norge kan man stille seg spørsmålet; Hva med solstrålingen i Sør Europa hvor det er betydelig varmere enn i Norge. Man skulle kanskje tro at solstrålingen mot vertikale flater er høyere i Sør Europa enn i Norge. Til sammenligning er total solstråling mot vertikal flate i Roma og Berlin satt opp i Tabell 6.2.

Alternativer	direkte solstråling W/m ²	diffus solstråling W/m ²	global solstråling W/m ²	tillegg for lyse omgivelser W/m ²	Total solstråling W/m ²
Roma					
ca 10. mars kl 12.00 grå omgivelser	680	180	860	0	860
ca 15. juni kl 12.00 grå omgivelser	300	180	480	0	480
Berlin					
ca 10. mars kl 12.00 nysnø	720	150	870	110	980
ca 15. juni kl 12.00 grå omgivelser	440	180	620	0	620

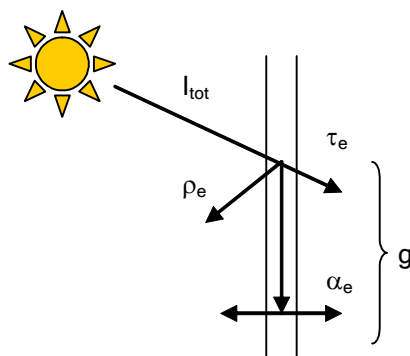
Tabell 6.2: Total solstråling for sørvendt fasade vinter og sommer i Roma og Berlin

Tabell 6.2 sammenlignet med Tabell 6.1 viser at i Oslo vil en vertikal flate få mer solinnstråling over året enn både Berlin og Roma. Sommerforhold i Roma gir betydelig lavere solinnstråling enn i Oslo. Ut fra tabellene over ser vi at en skjerming mot solstråling er viktigere i Oslo enn i sør Europa.

Hvis solstrålingen ikke reduseres vil bidraget fra denne være som en ekstra varmeovn på 700 - 1000 W for et vindu på 1 m². Om vinteren vil denne varmen være kjærkommen, men om sommeren er den overflødig og det oppstår et behov for å fjerne denne. Dette kan gjøres ved kjøling i lokalene eller ved å hindre at solstrålingen kommer inn.

6.2 Egenskaper glass og solskjerming - g-verdi

Solskjerming og solbeskyttende glass er tiltak som er effektive for å hindre solvarme i å slippe inn i lokalene. For å kunne avgjøre betydningen av solskjerming og solbeskyttende glass evne til å motvirke for varme lokaler er det nødvendig med en definert enhet. Denne enheten betegnes g-verdi og spesifiserer den totale mengden av solenergi som transmitteres gjennom en bygningskropp.



Figur 6.2: Soltransmisjon gjennom glass.

Figur 6.2 viser at av solstråling som treffer vinduet går en andel direkte gjennom glasset, en andel reflekteres ut og en andel absorberes i glasset. Av den andelen som absorberes vil en del komme inn i rommet.

$$g_{\text{tot}} = I_{\text{sol_tot_inn}} / I_{\text{sol_tot_ute}}$$

$g_{\text{tot_system}}$ - total soltransmisjon for glass sammen med solskjerming

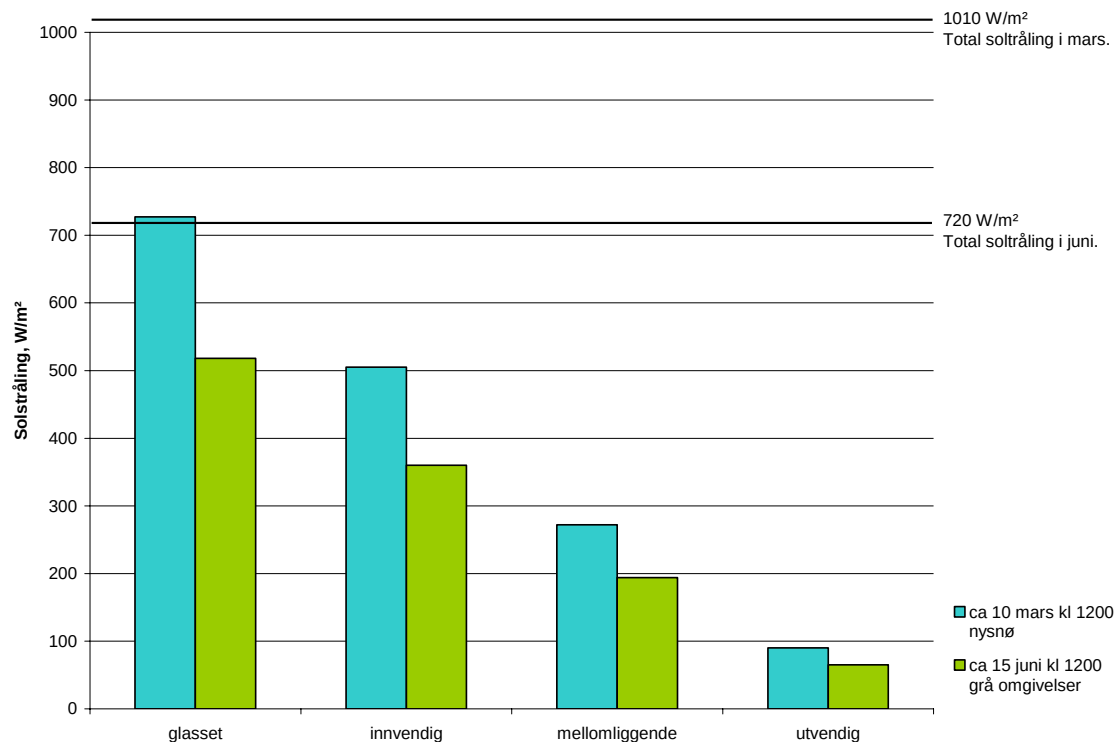
Tabell 6.3 viser eksempler på g_{tot} ved ulike solskjermingstyper.

Tabell 6.3: g_{tot} for ulike solskjermingsalternativer

Glasstype	Solskjerming	g_{tot}
Energiglass	ingen	0,72
	innvendig	0,5
	mellom	0,27
	utvendig	0,09
Solbeskyttende	ingen	0,25
	innvendig	0,19
	mellom	0,16
	utvendig	0,04

Hvilken effekt har disse verdiene på varmeovnen på 700 - 1000 W som treffer fasaden? For utvendig solskjerming vil ca 10 % av solstrålingen slippe igjennom. Det vil si 70 - 100 W vil slippe gjennom med utvendig solskjerming.

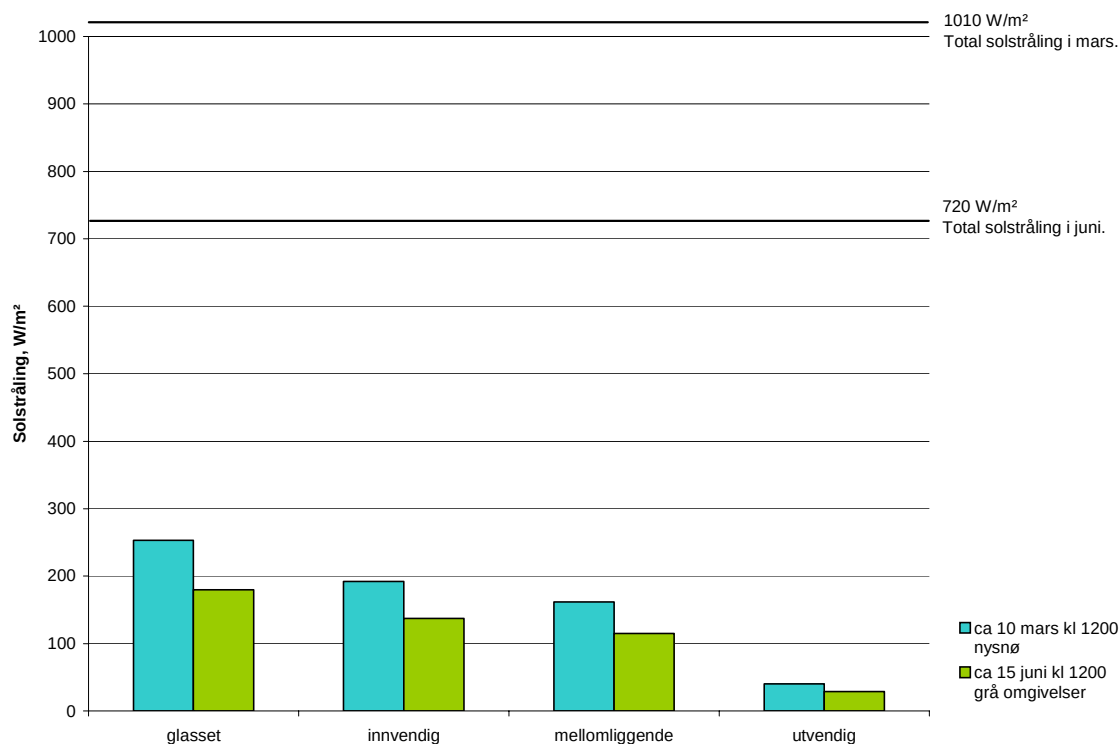
Figur 6.3 viser hvordan solstråling gjennom fasaden reduseres med ulike solskjerminger for energiglass.



Figur 6.3: Solstråling gjennom fasaden med energiglass.

Figur 6.3 viser tydelig effekten av de ulike solskjermingsprinsippene i forhold til hverandre. Hvor utvendig solskjerming er den mest effektive for å hindre solstråling gjennom vinduer.

Figur 6.4 viser hvordan solstråling gjennom fasaden reduseres med ulike solskjerminger for solbeskyttende glass. Her viser figuren at forskjellen på effekten av de ulike solskjermingsprinsippene blir små ved solbeskyttende glass.



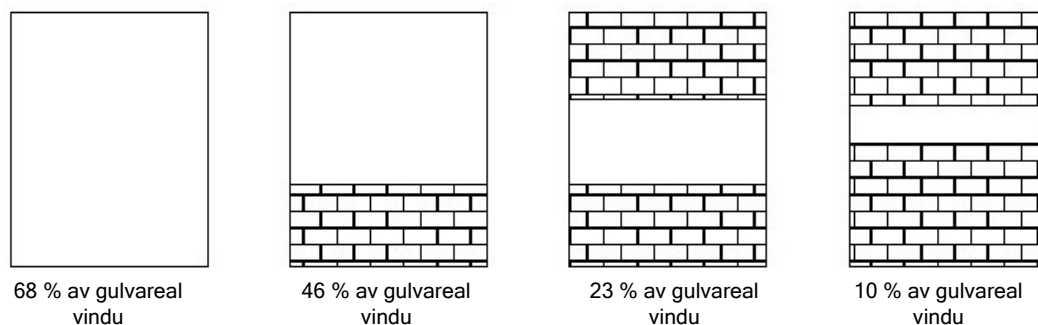
Figur 6.4: Solstråling gjennom fasaden ved solbeskyttende glass.

Det er utarbeidet flere standarder som beskriver hvordan g-verdien skal beregnes og måles for forskjellige kombinasjoner av glass og solskjerming. For en enkel beregning av g-verdi vil prEN 13363-1, *solar protection devices combined with glazing - Calculation of solar and light transmittance - Part 1: Simplified method*, være en god tilnærming. WIS er et beregningsverktøy basert på ISO/DIS 150099 - *Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed*, som beregner g-verdi for ulike systemer detaljert.

6.3 Fasaders betydning for inneklimate og energibruk

Dette kapitlet omhandler et eksempel på hvordan fasader påvirker inneklimate og energibruk. Dette vil belyses med variasjoner i vindusareal for et cellekontor på 11 m².

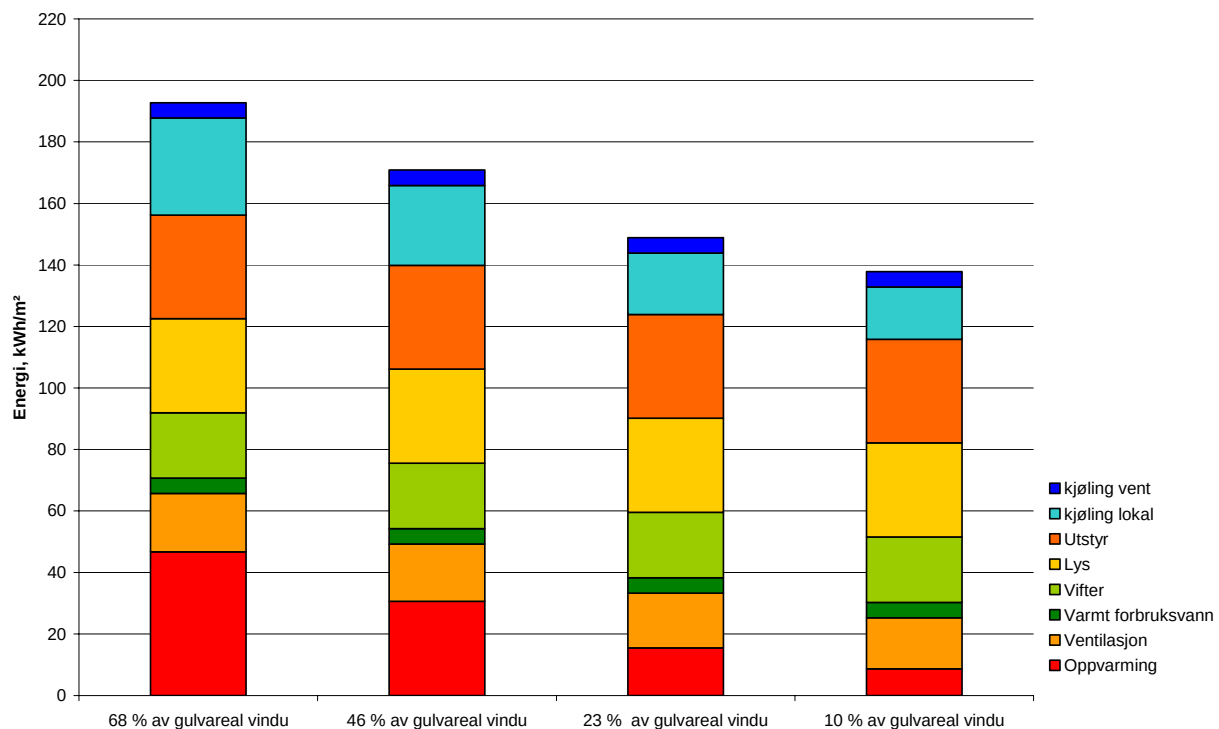
Vindusarealet er variert med 4 ulike vindusarealer, vist i Figur 6.5.



Figur 6.5: Variasjoner i vindusarealer.

Energibruk

Figur 6.6 viser resultater fra beregning med de ulike vindusarealene fra Figur 6.5. Det er ingen solskjerming i disse beregningene, og temperaturkravene i forskriften er tilfredstilt, ved bruk av lokal kjøling.



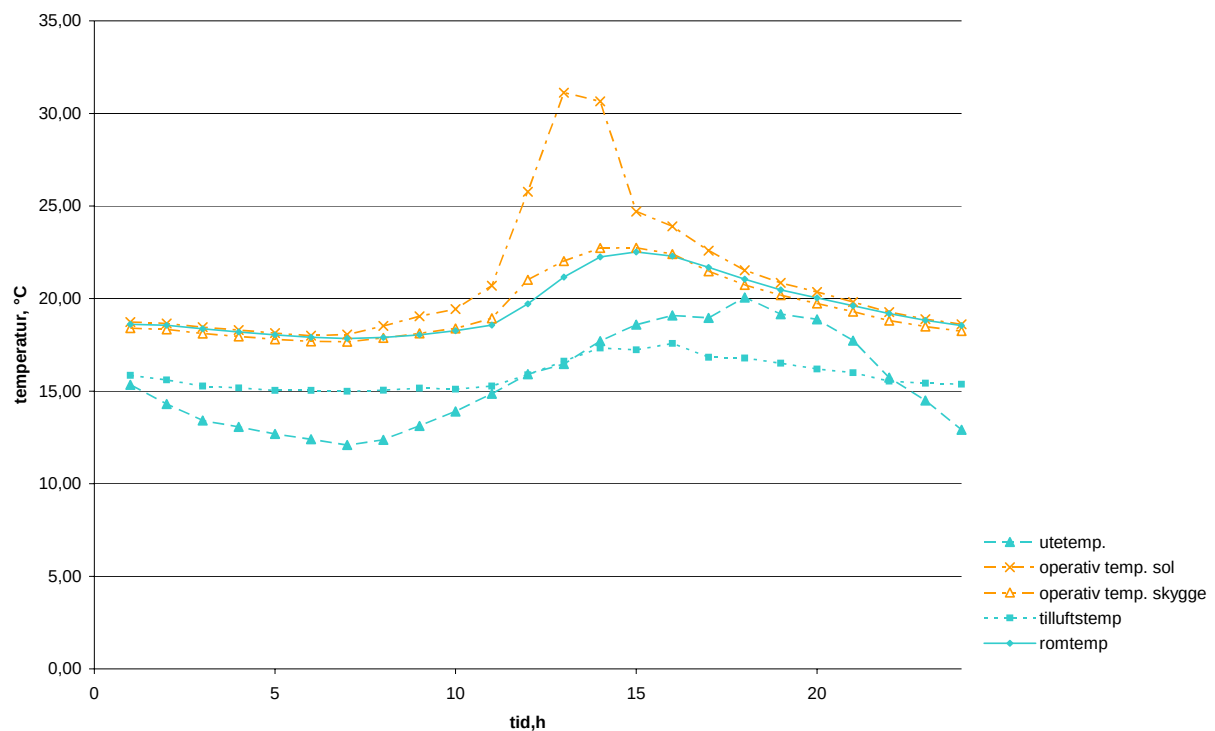
Figur 6.6: Energibruk for cellekontor ved ulike vindusarealer

Figur 6.6 viser hvordan postene til oppvarming og lokal kjøling påvirkes av fasadeendringer. Fra det største vindusarealet til det minste utgjør reduksjonen i disse to postene 53 kWh/m². Av dette utgjør reduksjon i behovet for lokal kjøling kun 15 kWh/m². Den lille reduksjonen i energibruken til kjøling skyldes blant annet at det er nødvendig med lokal kjøling for alle de 4 vindusarealene. Ved installasjon av lokal kjøling i et bygg vil systemtap føre til at lokal kjøling har en grunnlast som allerede er høye uavhengig av fasadeløsning.

Temperatur

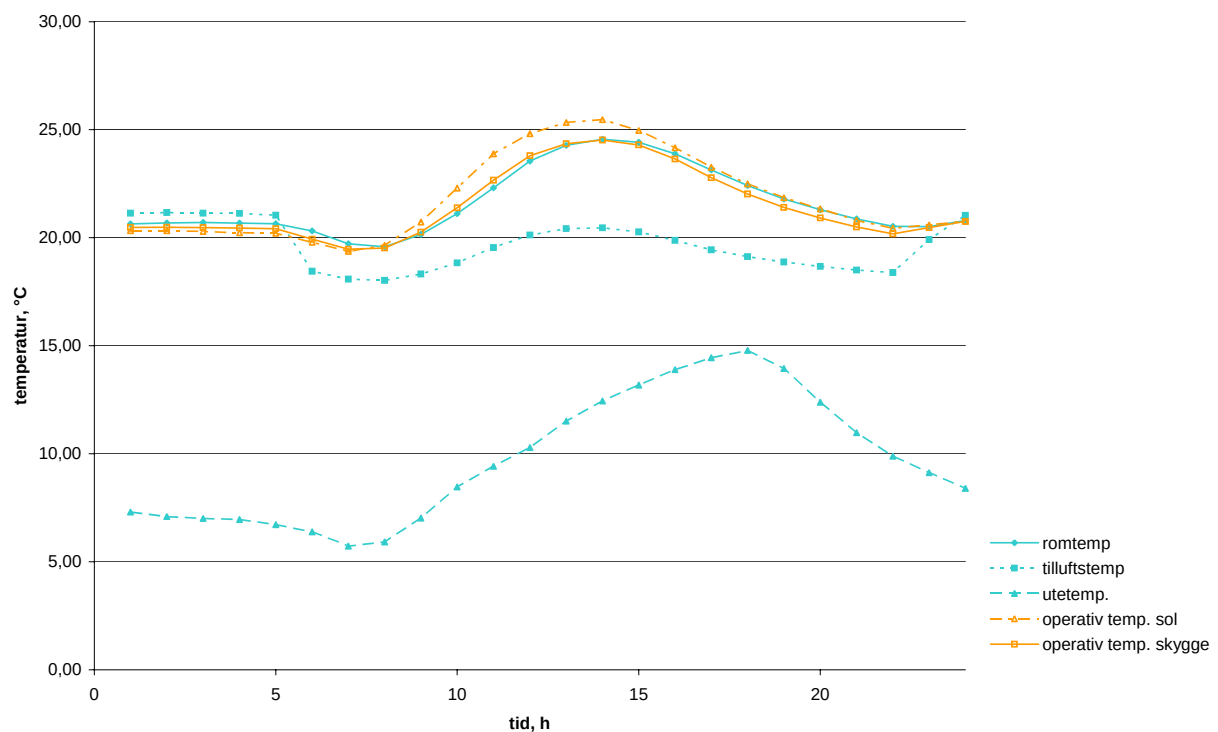
I forskriften stilles det krav til operativ temperatur i skyggen. I eksempelet som er presentert i dette kapitlet er det ingen solskjerming. Dette fører til at arbeidsplassen ved vinduet får direkte solstråling. For dette tilfellet vil det derfor ikke være reelt å snakke om operativ temperatur i skyggen for denne arbeidsplassen. Arbeidsplassen vil være i sola.

Høsten 2000 ble det utført målinger av temperaturforhold med og uten solskjerming, på et kontor hos Siemens på Linderud. Her ble også operativ temperatur i sola registrert. Figur 6.7 viser resultat fra disse målingene, uten solskjerming. Figuren viser at den operative temperaturen i sola stiger over 30 °C, samtidig som den operative temperaturen i skyggen bare er 23 °C.



Figur 6.7: Temperaturlinje i sørvendt kontor Siemens Linderud 12.08.00, Sol, ingen solskjerming.

Målinger fra kontoret med innvendig solskjerming er vist i Figur 6.8. På denne figuren er det liten forskjell mellom den operative temperaturen i skyggen og i sola.



Figur 6.8: Temperatur i sørvendt kontor på Siemens Linderud 12.09.00, Sol, Innvendig solskjerming med lamellvinkel 45°

Beregninger og målinger som er gjort av operativ temperatur i sola viser at operativ

temperatur i skyggen bare forteller halve sannheten om termisk komfort til en person som sitter ved fasaden. Selv om operativ temperatur i skyggen er tilfredstilt ved våre beregninger vil ikke nødvendigvis personer ved vindu uten solskjerming oppleve termisk komfort.

Betydningen av operativ temperatur i sola for totalbilde av termisk komfort fører til behov for å vite direkte soltransmisjon for både glass og solskjerming. Med disse verdiene kan operativ temperatur i sola beregnes og gi et bedre bilde av termisk komfort på arbeidsplassen.

6.4 Cellekontor kontra landskap

I kontorbygg vurderes bruk av lokalene ved design av bygget. Bør bruken av bygget vurderes ved design av fasaden også? Vil bruken av lokalene få betydning for design av fasaden?

I kapitlet som betrakter konsekvensen av dagslyskravet i fasaden viser Figur 5.2 og Tabell 5.2 at kontorlandskap gir minst vindusareal for å oppfylle forskriftens krav.

Ved behandling av termisk komfort og dens konsekvens på fasadeutformingen er kun cellekontor representert. Begrunnelsen for dette er at cellekontor gir de strengeste kravene til utforming av fasaden. Er lokalene innefor kontorlandskap vil det tillates høyere g-verdi og større vindusareal for å tilfredsstille kravet til operativ temperatur uten installasjon av lokal kjøling.

Ved landskap er det store volumer innenfor fasaden, som fører til at mengden solinnslipp som kan tillates vil være høyere enn for cellekontor. Samtidig vil samtidigheten av bruken av lokalene ikke være 100 % for kontorlandskap. For Cellekontor er det nødvendig å dimensjonere etter at en person vil oppholde seg i kontoret i 8 timer. (-lunsj) Dette fører til at en fasade som designes i forhold til landskap vil akseptere høyere g-verdi enn fasader som designes for cellekontor.

I moderne kontorbygg bygges ofte lokalene om etter kort tid bruk. Det kan være fra kontorlandskap til cellekontor eller visa versa. Ved design av fasaden etter bruksområdet kontorlandskap vil en ombygging til cellekontor føre til behov for installasjon av lokal kjøling. Dette vil føre til økt energiforbruk. En fasade designet etter bruksområdet cellekontor vil gi et fleksibelt bygg, hvor ombygging ikke fører til økt energibruk.

6.5 Fleksible fasader

I Norge er det store endringer i årstidene. Solhøyden i Oslo kl 1200 i mars er 30°, mens på samme tidspunkt i juni er solhøyden 56°. Dette viser at solstrålingen treffer fasaden med stor variasjon i høyde. Det vil ikke være tilstrekkelig med en fast horisontal skjerm. Store deler av året vil solstråling komme under denne skjermen. Dette fører til et behov for fleksibel solskjerming.

For byggets energibruk vil solinstråling gjennom vinduet være både et positivt og negativt bidrag gjennom året. I vinterhalvåret vil solstrålingen gjennom vinduene være et positivt varmetilskudd, som det vil være gunstig å utnytte. I sommer, vår og høstperioden

derimot fører soltilskuddet til for varme lokaler og det er nødvendig å stenge den ute. En energiøkonomisk fasade vil derfor være en fasade som gir mulighet både for å utnytte solvarmen og å stenge den ute.

Samtidig som solinstråling varierer mye er det også store variasjoner i dagslyset. Det er viktig at fasaden designes slik at den ikke hindrer dagslys å slippe inn på overskyede dager. I mange tilfeller vil for varme lokaler løses med en solfilm på glasset. Disse hindrer ofte mye dagslys å slippe inn og vil være med på redusere dagslysinnsippet uansett hvilke dagslysforhold det er ute.

Ved solinnstråling på fasaden vil blending være et problem. Det er derfor viktig at fasaden designes slik at det er mulig å unngå blending.

Oppsummert vil en fleksibel fasade gi best utnyttelse av dagslys, hindre blending og gi lavest energibruk.

Tabell 6.4 viser en oversikt over parametere for vinduer og hvordan disse bør vurderes ved design av fasaden.

Energriktige fasader	
Areal	Begrenses
U-verdi	Lav
g-verdi for glasset alene	Høy?
g-verdi for glasset og solskjerming sammen	Justerbar til lav verdi
Direkte soltransmisjon for glasset alene	Høy?
Direkte soltransmisjon for glasset og solskjerming sammen	Justerbar til lav verdi
Lystransmisjon for glasset alene	Høy
Lystransmisjon for glasset og solskjerming sammen	Justerbar til lav verdi

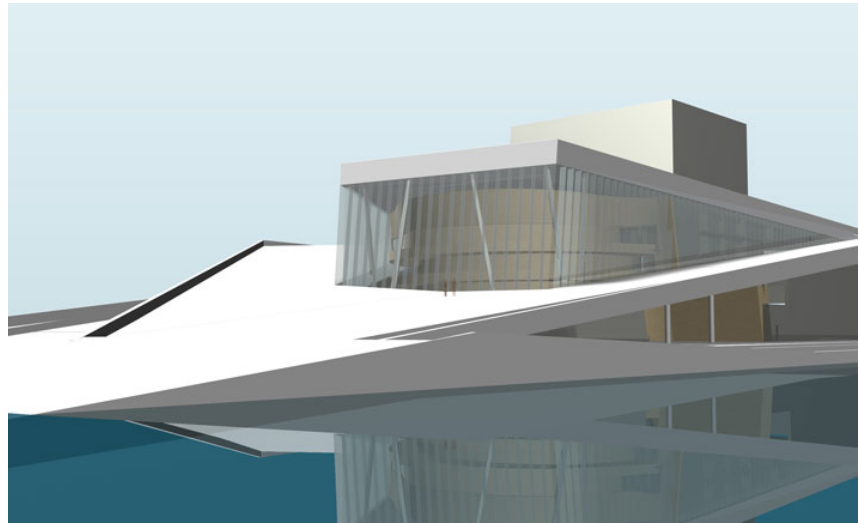
Tabell 6.4: Oversikt over parametere for vinduer og hvordan disse bør vurderes

6.6 Eksempel på designprosess:

Nytt Operahus

Ved design av fasadene på nytt operahus i Oslo har krav til g-verdi både for glasset og for glasset sammen med solskjerming vært sentralt helt fra forprosjektet.

Utfordringen for design av fasaden var klimaforholdene på galleriene innefor det store glassutspringet mot vest. Fasaden skulle bevares glatt utvendig,



Figur 6.9: Fasade utspring mot vest nytt operahus

samtidig som klimaforholdene ble tilfredsstillende på galleriene innenfor. Dette førte til at det var komfortkrav i hele høyden av foajeen. I slike høye rom blir det sjiktning i temperaturen og den høyeste temperaturen er øverst i lokalet.

Designprosessen:

1: Klimakrav var stilt i byggeprogram. Klimakrav skulle tilfredstilles med minst mulig bruk av lokal kjøling.

2: Modell for foajé ble bygd opp for å beregne nødvendig g-verdi for glasset og solskjerming sammen med glasset. Dette var en prosess for å komme fram til en løsning som ga tilfredsstillende klima og energibruk samtidig som det estetiske uttrykket ble tatt vare på. I prosessen var glassdata og solskjermingsvalg en prosess mellom ARK og RIV.

3: g-verdier for glass og glass sammen med solskjerming fra beregningene ble stilt som krav i beskrivelsen til fasaden. I beskrivelse ble det også stilt krav om dokumentasjon av g-verdi for fasadeløsningen.

4: g-verdi for fasaden ble dokumentert av leverandør ved beregning og måling.

Erfaring viste at det er viktig å stille krav til beregningsmetode og tilstand for beregning av g-verdi i tillegg til kravet om en g-verdi. Beregningsmetode og tilstand er standardisert i ISO/DIS 150099, *Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed*.

7. Referanser

- /1/ *Byggnettverkets energistatistikk 2002*, Enovas bygningsnettverk, Enova SF juni 2003.
- /2/ *Byggnettverkets energistatistikk 2003*, Enovas bygningsnettverk, Enova SF juni 2004.
- /3/ *Impact of coated windows on visual preception*, By og Byg Documentation 044, 2003
- /4/ *Sol i bebyggelseplanering*, Mauritz Glaumann, Statens råd för byggnadsforskning 1976.
- /5/ *Nye forskriftskrav til bygningers energibehov*, Sintef rapport, 2003-12-11
- /6/ *Principles of Healthy Lighting*, Jennifer Weitch. Skal publiseres som et CIE rapport i 2003.
- /7/ *REN* veiledning til teknisk forskrift til plan og bygningsloven 1997, Statens bygnings-tekniske etat.
- /8/ best. Nr 444 Veiledning, *Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*.
- /9/ prEN 13363-1, *solar protection devices combined with glazing - Calculation of solar and light transmittance - Part 1: Simplified method*, September 2003.
- /10/ ISO/DIS 150099 - *Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed*, 1999.