

Virkning av solavskjerming på energisparepotensial og dagslys i bygninger

Helge Venås Flægstad

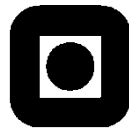
Master i energi og miljø

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

NTNU



MASTEROPPGAVE

- Kandidatens navn : Helge Venås Flægstad
- Fag : ELKRAFTTEKNIKK
- Oppgavens tittel (norsk) : **Virkning av solavskjerming på energisparepotensial og dagslys i bygninger**
- Oppgavens tittel (engelsk) : **Impact of Shading Devices on Energy Saving and Daylight in Buildings**
- Oppgavens tekst : Dagslys inn i bygninger vil både kunne gi en trivselsmessig effekt for personer i bygningen, og samtidig kunne gi et energisparepotensial ved at behovet for kunstig belysning reduseres. Kraftig sollys er derimot ikke ønsket, og bygninger utformes derfor gjerne med ulike solavskjermingsløsninger.

Kandidaten skal

- vurdere ulike løsninger for solavskjerming, både statiske og dynamiske løsninger. Det skal undersøkes hvordan løsningene påvirker dagslysforholdene i bygningen, og hvordan det påvirker energisparepotensialet.
- vurdere hvilke forhold som påvirker valg av solavskjermingsløsning. Stikkord kan være geografisk plassering, himmelretning, andre ytre avskjermingsforhold mm.

- Oppgaven gitt : 31.januar 2012
Besvarelsen leveres innen : 26.juni 2012

Trondheim, 31.01.12



faglærer

Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende oppgave i sivilingeniørstudiet Energi og miljø ved Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet i Trondheim. Oppgaven er vektlagt 30 studiepoeng. Førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen har vært hovedveileder.

Hensikten med oppgaven var å se på hvordan solavskjerming påvirker energibehov og dagslystilgang i bygninger og komme frem til hvilke egenskaper som bør vektlegges ved valg av solavskjerming.

Jeg vil takke min veileder for innspill og kommentarer underveis. Jeg vil også takke ansatte ved Erichsen & Horgen AS for hjelp og kommentarer både i forhold til dataverktøyet IDA Ice og oppgaven. EQUA Simulation AB har gitt en studentlisens for IDA Ice til gjennomføring av denne oppgaven.

Trondheim 26.06.2012

Helge Venås Flægstad

Sammendrag

I denne oppgaven er det sett på hvordan energibehov og lys i bygninger påvirkes av solavskjerming.

Solavskjermingens oppgave er ikke bare å skjerme for sjenerende lys. Økt fokus på passivhus fører til at solavskjerming i større grad enn tidligere også må skjerme for varme. Det vil være ønskelig å stenge ute varme samtidig som en slipper inn lys.

Ved hjelp av simuleringer er det sett på hvilke utslag endring av ulike egenskaper i glasset gir på energibehov og belyningsstyrke i bygninger. Det er også sett på ulike glassbelegg, bygningsutspring og himmelretning. Av aktive solavskjerminger er det sett på persiener, da både utvendig, mellomliggende og innvendig persienne og styring av disse. Simuleringene er gjennomført med tanke på skolebygg, men er overførbare til andre bygningskategorier.

De viktigste resultatene av simuleringene er:

- Glassets egenskaper:
 - g-verdi virker inn på
 - energibehovet til oppvarming og kjøling
 - effektbehovet til kjøling
 - u-verdi virker inn på
 - energibehovet til oppvarming
 - t_v-verdien virker inn på
 - belyningsstyrke
 - energibehov til belysning
- Bygningsutspring virker inn på
 - belyningsstyrke
 - energi og effektbehov til kjøling
- Himmelretning virker inn på
 - Energi- og effektbehov til både oppvarming, kjøling og belysning
 - belyningsstyrken

- Persienne:
 - Utvendig persienne gir
 - høyere energibehov til oppvarming enn innvendig persienne
 - lavere energi og effektbehov til kjøling enn innvendig persienne

Konklusjon:

- Rom med forventet kjølebehov bør
 - ha vindu med lav g-verdi
 - ha utvendig persienne
 - legges mot nord
- Rom uten forventet kjølebehov bør
 - ha vindu med lav u-verdi
 - ha vindu med høy g-verdi
 - ha innvendig persienne
 - legges mot sør
- Rom med ønske om høy belysningsstyrke bør
 - ha vindu med høy t_v -verdi
 - legges mot sør

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning	1
2.	Krav og anbefalinger.....	2
2.1.	Krav som omhandler vinduer, lysforhold og solavskjerming.....	3
2.1.1.	Arbeidsmiljøloven	3
2.1.2.	Forskrift om tekniske krav til byggverk	3
2.1.3.	Veiledning til krav i byggt teknisk forskrift	3
2.1.4.	Solavskjerming	4
2.1.5.	Belysning av arbeidsplasser	5
2.2.	Krav som omhandler energi.....	6
2.2.1.	Forskrift om tekniske krav til byggverk	6
2.2.2.	Veiledning til krav i byggt teknisk forskrift	7
2.2.3.	Energikrav i lysanlegg	7
2.2.4.	Høringsutkast til standard for passivhus yrkesbygg	8
2.2.5.	Kriterier for passivhus- og lavenergibyggt	8
3.	Solavskjerming.....	10
3.1.	Kategorisering.....	10
3.2.	Aktive solavskjermingstiltak	11
3.2.1.	Markise	11
3.2.2.	Markisoletter.....	12
3.2.3.	Skodder.....	12
3.2.4.	Persienne.....	13
3.2.5.	Gardin	15
3.2.6.	Liftgardin	15
3.2.7.	Rullegardin	16
3.2.8.	Foldegardin.....	17
3.2.9.	Plissegardin.....	17

3.3.	Passive solavskjermingstiltak	18
3.3.1.	Bygningsutspring	18
3.3.2.	Nabobygninger	18
3.3.3.	Vegetasjon.....	18
3.3.4.	Vinduets plassering	19
3.3.5.	Glassegenskaper	20
4.	Egenskaper ved glass og vindu	21
4.1.	Solenergitransmisjon	22
4.2.	Lystransmisjon og -refleksjon	24
4.3.	Varmetransmisjon.....	25
5.	Plan for simuleringer	27
5.1.	Hva skal simuleres.....	27
5.2.	Forutsetninger.....	29
5.3.	Rom benyttet for simulering.....	30
5.4.	Dataverktøy	32
6.	Resultater	33
6.1.	Referansevinduet	33
6.2.	g-verdi sin innvirkning	34
6.3.	t-verdi sin innvirkning	35
6.4.	t_v-verdi sin innvirkning	38
6.5.	u-verdi sin innvirkning	39
6.6.	Glasstypens innvirkning	40
6.6.1.	Energispareglass.....	40
6.6.2.	Solskjermingsglass	40
6.7.	Persienne.....	42
6.7.1.	Energibehov til belysning, utvendig persienne i forhold til uten persienne	42

6.7.2.	Dimensjonerende effekt til kjøling, utvendig persienne i forhold til uten persienne.....	43
6.7.3.	Styring av persienne	44
6.8.	Himmelretningens innvirkning	45
6.9.	Bygningsutspring	47
7.	Diskusjon	50
7.1.	Kjølebehov	50
7.2.	Vanlig glass, energispareglass, solavskjermingsglass	50
7.3.	Persienne	51
7.4.	Bygningsutspring	51
8.	Konklusjon	52
	Referanser.....	54
	Vedlegg.....	57

1. Innledning

Vindu har flere viktige funksjoner i et bygg. De skal skape kontakt mellom de som er inne i bygget og det som skjer på utsiden. Dette er viktig for at de som oppholder seg i bygningen skal føle seg vel. En annen viktig funksjon i forbindelse med komfort er å slippe inn lys. De naturlige variasjonene som skapes i belysning dominert av dagslys er viktig for at mennesket skal trives. Ved å slippe inn dagslys kan en også redusere energibruken til elektrisk belysning. Det som gjør at det ikke bare er positivt med store vindu som slipper inn mye lys, er at vinduene også er det området i fasaden som slipper inn og ut mest varme. Ved å redusere varmetransporten gjennom vindu, vil en kunne redusere kjøle- og varmebehovet.

Det har de senere årene vært et stort fokus på å redusere energibruk til oppvarming i bygg ved å redusere varmetapet gjennom fasader. Dette fokuset har ført til at vindusarealet er blitt redusert. Det har også blitt endringer i selve oppbygningen av vinduet, med flere lag glass og belegg på glassflatene. Belegg på glassflatene er for å redusere varme- og lysgjennomgangen. For å redusere energibehovet til oppvarming mest mulig burde en fjernet vinduene, men som nevnt i forrige avsnitt er vinduene viktig for at vi skal føle oss vel.

Det er nevnt flere grunner til å ha store glassflater av hensyn til komfort, men store glassflater medfører også større risiko for blendende solinnstråling og ubehagelig høye innetemperaturer. Det er derfor vanlig å benytte solavskjerming for å unngå disse problemene. I denne oppgaven skal det ses på hvordan solavskjerming virker inn på energisparepotensial og lysforhold i byggverk.

Det skal ses på krav og anbefalinger i forhold til solavskjerming og lysforhold i bygninger. Det vil også bli sett på en del solavskjermingstiltak, både tiltak for å skjerme for sola avhengig av solinnstrålinga og faktorer som en ikke har mulighet til å justere selv om solinnstrålinga varierer. Slike faktorer er blant annet vegetasjon og fasader på nabobygg. Det vil bli sett på egenskaper ved vindu og glassflater som har innvirkning på energibruk og lys i bygninger. Simuleringer vil bli gjort for å se på hvordan de ulike parameterne påvirker energibruk og lysforhold i bygninger.

2. Krav og anbefalinger

Det finnes flere typer dokument som gir krav og anbefalinger til hvordan bygg utformes. De viktigste er forskrifter og standarder. En forskrift er ofte hjemlet i lov, det står for eksempel i en lov at ”Departementet kan gi forskrift om...”. Forskrifter som henviser til loven er da krav som må tilfredsstilles. Forskrifter har sjelden tallkrav. Standarder gir ikke bindende krav, men er ofte et forslag til hvordan krav i forskrifter kan tilfredsstilles. Ved å følge anbefalingene i standarder slipper en selv å vise på andre måter at de løsninger en har valgt tilfredsstillt krav i forskriftene. Det er nok å henviser til standarden en har fulgt. I dette kapitlet er det sett på noen av de lover, forskrifter, standarder og rapporter som omhandler krav og anbefalinger i forhold til vinduer, lysforhold, solavskjerming og energibruk i bygninger.

Anbefalinger med tanke på lysforhold er i utgangspunktet motstridende med anbefalinger til energibruk. Dette fordi en ved å slippe inn mye lys samtidig slipper mye varme inn når det er mye sol og varmt ute og slipper mye varme ut når det er lite sol og kaldt ute. Krav og anbefalinger med hensyn til lysforhold vil derfor ofte være minimumsverdier, mens krav og anbefalinger i forhold til energibruk vil være maksimumsverdier.

2.1. Krav som omhandler vinduer, lysforhold og solavskjerming

2.1.1. Arbeidsmiljøloven [1]

Arbeidsmiljøloven gir en del generelle krav til innemiljø i bygg. §4-4 sier at ”Fysiske arbeidsmiljøfaktorer som bygnings- og utstyrmessige forhold, inneklima, lysforhold, støy, stråling o.l. skal være fullt forsvarlig ut fra hensynet til arbeidstakernes helse, miljø, sikkerhet og velferd”.

Dette er en viktig lov selv om det ikke gis krav i form av tallverdier. Ved bygging og drift av næringsbygg forpliktes en til å vektlegge helse, miljø, sikkerhet og velferd. En kan ikke kun fokusere på energibesparing.

2.1.2. Forskrift om tekniske krav til byggverk [2]

Forskrift om tekniske krav til byggverk kalles ofte byggteknisk forskrift eller TEK 10. Forskriften omhandler planlegging, prosjektering og oppføring av bygg. Den skal sikre hensynet til god visuell kvalitet, universell utforming og at tiltak oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi. Det er flere paragrafer som omhandler vinduer, solavskjerming, dagslys og belysning.

§13-12 Lys

- Byggverk skal ha tilfredsstillende tilgang på lys uten sjenerende varmebelastning.
- Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende *tilgang* på dagslys, med mindre virksomheten tilsier noe annet.

§13-13 Utsyn

- Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende *utsyn* med mindre virksomheten tilsier noe annet.

2.1.3. Veiledning til krav i byggteknisk forskrift [3]

Veiledningen til TEK 10 forklarer forskriftens krav og gir føringer for hvordan kravene kan etterkommes i praksis.

§13-12 Lys, preaksepterte ytelser [4] [5]

Det antas at kravet i forskriften er oppfylt hvis dagslysfaktoren er større enn 2 %, eller rommets dagslysflate utgjør minimum 10 % av bruksarealet. Dagslysfaktor er forholdet mellom horisontal belysningsstyrke 0,8 m over gulvet inne i et rom, i forhold til horisontal belysningsstyrke på et område utenfor bygget med uavskjermet horisont. Kravet på 2 % er den gjennomsnittlige dagslysfaktoren i rommet. Det er fire vanlige måter å dokumentere krav til dagslysfaktor på, to som gir dagslysfaktoren og to som gir dagslysflaten. Disse er gitt i blad 421.626 i byggforskserien.

§13-13 Utsyn, Preaksepterte ytelser

For at en person som sitter skal kunne ha god kontakt med det fri, må rommet ha vindu i vertikal yttervegg og med underkant vindu maksimum 0,9 m over gulvet.

Arbeidsrom, unntatt rom for spesielle formål hvor det ikke utføres regelmessige arbeidsoppgaver, må ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn når ikke hensyn til oppholds- og arbeidssituasjon tilsier noe annet.

Spiserom i arbeidslokale må ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn med mindre særlige forhold tilsier noe annet.

Undervisningsrom og rom i barnehage og fritidshjem må ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn når ikke hensyn til undervisningssituasjonen tilsier noe annet.

2.1.4. Solavskjerming [6]

Det finnes en egen standard med terminologi, benevnelser og definisjoner for solavskjerming. Standarden heter NS-EN 12216 Solavskjerming. Denne forklarer en del norske termer og definisjoner og har henvisning til tilsvarende begrep på engelsk, fransk og tysk.

2.1.5. Belysning av arbeidsplasser [7]

Standarden, NS-EN 12464-1:2011 Belysning av arbeidsplasser - Del 1: Innendørs arbeidsplasser, inneholder verdier for en rekke lyskriterier. Den gir blant annet anbefalte verdier for reflektansen i rommets flater for å gi behagelig luminans. Tabeller gir verdier for belysningsstyrke, jevnhet, blending og fargegjengivelse for en rekke forskjellige typer rom. Det er også gitt anbefalte grenser for skjermingsvinkel og for forholdet mellom belysningsstyrke i arbeidsplan og i omgivelser.

Det anbefales å beregne i punkter langs et rutenett med maksimal avstand mellom punktene angitt med en formel som tar hensyn til lengden på beregningsområdet.

2.2. Krav som omhandler energi

2.2.1. Forskrift om tekniske krav til byggverk [2]

Forskrift om tekniske krav til byggverk kalles ofte byggteknisk forskrift eller TEK 10. Forskriften omhandler planlegging, prosjektering og oppføring av bygg. Den skal sikre hensynet til god visuell kvalitet, universell utforming og at tiltak oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi. Det er flere paragrafer som omhandler energi i forhold til dagslys og sollys.

Kravene kan enten dokumenteres ved energiltak, §14-3, eller energiramme, §14-5. Energiltak stiller krav til produktene som benyttes, mens energiramme stiller krav til det beregnede energiforbruket.

§14-3 Energiltak

- Andelen av vindus- og dørareal skal være mindre enn 20 % av BRA.
- u-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme skal være mindre eller lik $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Tiltak som eliminerer bygningens behov for kjøling.

§14-5 Minstekrav energiramme

- Vindu og dører, inkludert karm og ramme, skal ha u-verdi mindre eller lik $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- I tillegg gjelder følgende minstekrav, med unntak for fritidsbolig under 150 m^2 : u-verdi for glass/vindu/dør inkludert karm/ramme multiplisert med andel vindus- og dørareal av bygningens oppvarmede BRA skal være mindre enn 0,24.
- Total solfaktor for glass/vindu (g_t) skal være mindre enn 0,15 på solbelastet fasade, med mindre det kan dokumenteres at bygningen ikke har kjølebehov.

2.2.2. Veiledning til krav i byggt teknisk forskrift [3]

Veiledningen til TEK 10 forklarer forskriftens krav og gir føringer for hvordan kravene kan etterkommes i praksis.

§14-5 Minstekrav energiramme

Det settes en øvre grense for produktet av u-verdi for vindu, dør og glass. Andelen disse utgjør i forhold til bygningens oppvarmede BRA blir også begrenset. BRA står for bruksareal. Produktet skal ikke overskride 0,24. Kravet er satt slik at arealet av vindu, dør og glass ikke kan overstige 15 % av oppvarmet BRA, dersom dårligste vinduskvalitet benyttes. Det vil si minstekrav til u-verdi for vindu, dør og glass på $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Det er viktig at et eventuelt redusert glassareal ikke kommer i konflikt med oppfyllelse av dagslyskravet, jf. § 13-12. Dersom det eksempelvis benyttes en u-verdi på vindu, dør og glass som i gjennomsnitt blir $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, vil vindu, dør og glass kunne ha et areal tilsvarende 30 % av oppvarmet BRA. Det må med andre ord velges bedre vinduer jo større areal en ønsker med vindu, dør og glass.

Total solfaktor for glass og vindu, g_t , angir andelen av solstråling som slipper gjennom både solavskjerming og glass. Solbelastet fasade er fasader orientert mellom nordøst (45°) og nordvest (315°). Kravet kan fravikes i tilfeller der naturlig permanent skjerming fra horisont, vegetasjon, nærliggende bygg, bygningsmessig utforming eller lignende gir samme solavskjerming som kunstig solavskjerming.

Naturlig skjerming kan også benyttes i kombinasjon med kunstig solavskjerming. Det må dokumenteres at naturlig avskjerming, enten alene eller i kombinasjon med kunstig avskjerming, gir samme effekt som total solfaktor for glass og vindu mindre enn 0,15. Dette både ved dimensjonerende sommerforhold og som gjennomsnitt utenom fyringssesongen. Total solfaktor for glass og vindu mindre enn 0,15 kan oppnås for eksempel med persienner eller screensystemer.

2.2.3. Energikrav i lysanlegg [8]

Standarden, NS-EN 15193:2007 Bygningers energiytelse - Energikrav i lysanlegg, angir tre metoder for å dokumentere energibruk til innendørs belysning. Disse er omfattende beregning, forenklet beregning og måling. Den forenklete beregningen har en tidsoppløsning på ett år, mens den omfattende beregningen kan ha en tidsoppløsning ned på timenivå.

Lighting Energy Numeric Indicator, LENI, er det totale årlige energiforbruket delt på bruksarealet. LENI gjør det mulig å sammenligne energiforbruket til belysning i bygg med samme funksjon men forskjellig størrelse og utforming.

2.2.4. Høringsutkast til standard for passivhus yrkesbygg [9]

Standarden NS 3701 Passivhus yrkesbygg er under utarbeidelse. I høringsutkastet foreslås det å stille krav til styringssystem for belysning. Forslaget er at 60 % av installert effekt til belysning skal være underlagt styringssystem ved dynamisk dagslys- og konstantstyring. Ved dynamisk behovsstyring ved tilstedeværelse skal det være minst en styringssone per rom eller en styringssone per 30 m² i større rom. Standarden planlegges fastsatt i løpet av 1. halvår 2012.

2.2.5. Kriterier for passivhus- og lavenergibygg [10]

Det er ikke gitt noen anbefalte verdier for dagslys i Prosjektrapport 42, Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg, men dagslys vil ha innvirkning på en del anbefalinger som er listet opp i rapporten.

Det primære kravet går på netto oppvarmingsbehov, dette er både romoppvarming og ventilasjonsvarme. Jo mer lys en får inn utenifra, jo varmere blir det. I deler av året vil det kunne bli for varmt, og en trenger derfor gode solavskjermingssystemer som stenger ute varmen fra sollyset. Samtidig som det vil være ønskelig å stenge ute varmen fra sola, ønsker en å slippe inn dagslys. Ved å slippe inn dagslys, kan en redusere den elektriske belysninga. Slik vil en kunne spare energi. Dagslys virker også positivt inn på menneskekroppen.

Ved å slippe inn dagslys vil en kunne redusere den elektriske belysninga. Hvis redusert varme fra belysninga er større enn økt varme overført utenifra og inn i rommet gjennom vinduet, vil det totale varmetilskuddet bli redusert. Forventet interne varmetilskudd i kontorlokaler er i følge rapporten 6 W/m^2 . Høringsforslaget til passivhusstandard for yrkesbygninger, NS 3701, antyder at forventet interne varmetilskudd er 5 W/m^2 .

I de delene av døgnet hvor det er mye dagslys, er det ofte kjølebehov i kontorlokaler. En vil dermed ved å redusere varmetilskuddene, også redusere energibehovet for kjøling. Kravene for maksimalt energibehov til kjøling er $10 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ for kontorlokaler. Høringsforslaget til passivhusstandard for yrkesbygninger foreslår at maksimalt energibehov til kjøling for bygg i klima tilsvarende Oslo skal være $9,4 \text{ kWh/m}^2\text{år}$.

På vinteren vil store vindusflater kunne gi stort varmetap, og dermed større varmebehov, enn om en hadde hatt mindre vindusareal. Det som begrenser hvor store vindusarealer en kan ha, er kravet til varmetapstall. For kontorlokaler og skoler er dette $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3. Solavskjerming [8] [11]

3.1. Kategorisering

Det finnes mange ulike måter å kategorisere solavskjerming på. En kan dele de opp etter om de benyttes på innsida av vinduet, på utsida av vinduet, eller i mellom glasslagene i vinduet. Det kan også skilles mellom solavskjerming som styres aktivt og solavskjerming som ikke kan beveges. Felles for de fleste måtene å kategorisere solavskjerming på er at en del av systemene hører inn under flere kategorier.

Det er her valgt å dele mellom aktive og passive, der aktive er alle hvor det finnes utgaver som styres aktivt. De passive solavskjermingene er de forholdene som virker inn på solinnstrålingen, men som en ikke endrer etter hvert som solinnstrålingen endres. Innad under hver av de to hovedkategoriene er utvendig solavskjerming nevnt først og så følger løsninger som er vanlig både utvendig, mellomliggende og innvendig. Til slutt kommer de løsningene som kun er vanlige løsninger innendørs.

3.2. Aktive solavskjermingstiltak

3.2.1. Markise [12]

I følge bokmålsordboka er markise et “solseil, skjerm over vindu, dør eller veranda”. Markiser er utsatt for vind og regn. En stor fordel med markise i forhold til en del andre aktive solavskjermingssystemer er at en har god lufting mellom vinduet og duken. Varmen stoppes da i duken og overføres ikke i like stor grad til rommet innenfor vinduet.

Om markisa gir mer eller mindre utsyn enn for eksempel persienne, kommer veldig an på blant annet om markisa går ned i en bue eller rett ut fra veggen. Hvilken etasje en er i og solhøyden vil også virke inn. Markise av typen som går rett ut vil gi bedre utsyn, men skjerme dårligere for lav sol hvis den ikke justeres riktig.



Figur 1 De to hovedtyper av markise [biltema.no]

Fargen på duken har mye å si for hvordan lyset spres i rommet innenfor. I følge Marie-Claude Dubois vil mørk markise være for mørk for de lysforhold vi har på våre breddegrader på vinteren. Lys markise bidrar derimot til å spre lys lenger inn i rommet, og er slik egna for de solforhold vi har i Norge.

3.2.2. Markisoletter

Dette er ei markise som først går ned som ei rullegardin, før den lenger ned på vinduet går ut som ei markise. Markisoletter gir mer utsyn enn ei rullegardin, spesielt i etasjer høyt over bakken. Brukt i etasjer nærme bakken vil utsynet bli begrenset til bakken nærmest vinduet. Dette gir ikke bra utsyn, men vil gi bedre lysforhold enn ei rullegardin.



Figur 2 Markisoletter [kjellsmarkiser.no]

3.2.3. Skodder [6]

Skodder er i NS-EN 12216, Solavskjerming, beskrevet som "produkt som består av ett eller flere blad som kan svinges opp og/eller foldes sammen og/eller skyves opp". Skodder isolerer godt, i tillegg til at de skjerner for sola. Dette er ikke et vanlig tiltak på nye bygg i Norge, da de ikke egner seg som eneste solavskjerming. Å lukke skoddene helt i arbeidstiden vil fjerne utsynet og er derfor ikke en tilfredsstillende løsning hvis den benyttes ofte.

Det kunne vært interessant å se på skodder for å stenge ute varmen på de varmeste sommerdagene og for å holde på varmen utenfor arbeidstid på vinteren. Det som kan være en interessant mulighet i arbeidstiden er å benytte skodder i halvåpen stilling for å redusere antall timer i døgnet med direkte solinnstråling.

Ved direkte solinnstråling vil en kunne minske vindusarealet ved å lukke skoddene inntil litt over halvveis, men fortsatt ha stor nok åpning til at tilfredsstillende utsyn oppnås. Hvis skodder lukkes utenfor arbeidstid vil en kunne redusere risikoen for ruteknusing og innbrudd.



Figur 3 Skodder

3.2.4. Persienne [13] [14]

I følge bokmålsordboka er persienne forklart som en “vindusskjerm med tykke, parallelle spiler av tre, plast eller metall”. Det finnes faste og bevegelige persiener. Fordelen med faste er at det er mindre som kan gå i stykker i selve konstruksjonen og en slipper styringssystem. Ulempen er at en ikke kan ta de opp når det ikke er behov for dem. De vil derfor skjerme for lys selv når det ikke er behov for skjerming.

Persiener kan monteres innvendig eller utvendig. Fordelen med utvendig montering er at de stopper en større del av varmeenergien fra sola på utsiden av glasset. I følge målinger gjort av Maria Wall og Helena Bülow-Hübe i perioden 1997-2002 skjermer utvendig monterte persiener i gjennomsnitt dobbelt så bra for varme som innvendig- og mellomliggende persiener.

Utvendig montert persienne er utsatt for vind og nedbør slik at det trengs en mer solid konstruksjon. I strøk med mye støv og skitt i utelufta vil det også kreve mer vedlikehold. For bygg med installert kjøling vil det være mest hensiktsmessig med utvendig avskjerming. Det reduserer kjølebehovet og gir lavere energiforbruk.



Figur 4 Innvendig og utvendig persienne [perstorpспериenn.se]

Persienner skjermer for sollys på to måter; ved å absorbere eller reflektere stråling. For mellomliggende og innvendige persienner har det stor betydning for g-verdien hvilke av de to prinsippene som benyttes. Mørke persienner absorberer lyset og fører til større oppvarming enn lyse persienner som reflekterer lyset ut igjen. Ei mørk innvendig eller mellomliggende persienne vil derfor overføre mer varme inn i rommet enn en lys persienne. For godt ventilert utvendig persienne har det ikke like stor betydning.

Fargen, og hvor ru lamellene er, har betydning for muligheten til å styre dagslys inn i rommet. Med lyse, blanke lameller kan en få lyst opp taket innover i rommet bedre enn med mørke og ru lameller.

Faste horisontale lameller skjermer dårlig for lave solhøyder hvis en skal ha bra utsyn. Det vil kunne være et problem på øst- og vestfasader på sommeren, og på sørfasader på vinteren. For faste vertikale lameller er det solas bevegelse fra øst til vest en ikke får tatt hensyn til. Denne løsningen er mest aktuell hvis fasaderetningen er slik at en kan oppnå tilfredsstillende solavskjerming i arbeidstiden uten å hindre for mye av utsynet.

For bevegelig horisontale lameller gjelder det samme som for faste, det blir lite utsyn hvis en skal skjerme for lave solhøyder. I motsetning til for de faste vil en ved bevegelige persienner bare ha dette problemet i de perioder hvor sola står lavt.

Bevegelig vertikale lameller kan følge solas gang over himmelen. Dette fører til at en har bra utsyn, bortsett fra hvis sola står rett på vinduet. Brede lameller gir best utsyn. Ved lav sol vil en i de fleste tilfeller ha bedre utsyn ved tilfredsstillende solavskjerming med vertikale persienner enn ved horisontale persienner. Vertikale lameller vil derfor trolig fungere godt for norske forhold, med lav sol.

Hvis vertikale lameller er laget av andre materialer enn tre, plast eller metall kan det kalles ei lamellgardin. I følge NS-EN 12216 er det et klart skille mellom persienne og lamellgardin i forhold til om de har vertikale eller horisontale lameller, uavhengig av materialet de består av. I norsk dagligtale benyttes ordet lamellgardin oftest kun om innvendig monterte vertikale lameller.

3.2.5. Gardin

Gardin er enkel og billig solavskjerming. Gardin kan dras ut til sidene av vinduet og kan slik justeres til å skjerme for blanding fra sola uten å stenge fullstendig for utsyn når sola skinner inn på en av sidene av vinduet. Gardinkappe i nedre del av vinduet kan skjerme for blanding fra sola når den står lavt. Gardin fungerer dårlig for å skjerme ute varme. Det meste av varmen absorberes i gardina.

3.2.6. Liftgardin

Ut i fra definisjonen av liftgardin kan dette benyttes som en samlebetegnelse for mange ulike produkter; både persienne, rullegardin, foldegardin og plissegardin.

Ved å se på hva de ulike produktene markedsføres som i Norge, kan en si at begrepene foldegardin og liftgardin benyttes om hverandre for gardiner laget av tekstiler som ikke har persede folder, men som foldes når gardina trekkes opp. Gardiner laget av tekstiler som er foldet kalles plissegardin.

3.2.7. Rullegardin [12]

Rullegardin ligger parallelt med, og inntil, vindusruta. Duken rulles opp på en rull når det ikke er behov for å ha den trukket ned. Dette gjør den godt egna som skjerming når det er sjenerende solinnstråling kun i korte deler av dagen, en kan da gi slipp på utsyn for en kort periode. Screen benyttes både om utvendig rullegardin og rullegardiner en kan se ut igjennom, ofte laget med delvis gjennomsiktig plast.



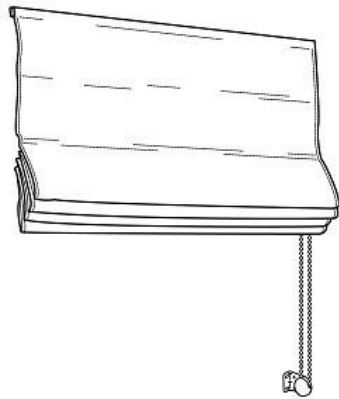
Figur 5 Rullegardin [kjellsmarkiser.no]

Fordelen med å ha duken på utsiden av vinduet er at mer av solvarmen stoppes før den kommer inn i bygningen. Ulempen er at det stiller større krav til konstruksjonen i forhold til fukt og vind.

I følge Marie-Claude Dubois er mørk screen funnet å være for mørk for skandinaviske forhold. En lys og litt tett duk vil spre lyset på en bedre måte enn en tynnere og mørk duk. For at en mørk duk skal slippe inn like mye lys som en lys duk, må duken være tynnere. Den vil da ikke skjerme like bra mot lav vintersol.

3.2.8. Foldegardin

Foldegardin er ei gardin i tynt stoff som, når den er strukket ut, er som ei gardin. Når den dras opp foldes den sammen. Denne blir også kalt liftgardin. Liftgardin er alt som henges opp og som kan foldes, brettes eller på andre måter samles i toppen av opphenget.



Figur 6 Foldegardin

3.2.9. Plissegardin [6]

Plissegardin er i følge standard NS-EN 12216 Solavskjerming et produkt som består av et foldet materiale som trekkes opp ved at det foldes sammen. Forskjellen på plissegardin og foldegardin er at plissegardina er laget av et stoff med persede bretter, mens foldegardina er laget av et stoff uten bretter som foldes sammen når den tas opp.



Figur 7 Plissegardin [uniggardin.se]

3.3. Passive solavskjermingstiltak

3.3.1. Bygningsutspring

Overhengende bygningsutspring er ikke egna som eneste solavskjerming for de breddegrader vi har i Norge. Sola står lavt på vinteren og skal utspringet skjerme for dette, vil det skjerme uønsket mye for utsyn. Vertikale bygningsutspring er derfor mest aktuelt som grunnavskjerming, og vil i mange tilfeller måtte suppleres med annen solavskjerming.

3.3.2. Nabobygninger [15]

I områder hvor bygninger ligger tett, vil nabobygg kunne ha stor innvirkning på lysforhold. Som en tommelfingerregel vil et nabobygg ha innvirkning på lysforhold hvis det ligger nærmere enn 2,7 ganger sin egen høyde.

Material og farger på fasadene på omkringliggende bygg har mye å si for hvordan lyset reflekteres mot bygningen. Lyse og blanke fasader reflekterer mye lys, mens mørke og rue fasader reflekterer lite lys. Nabobygg som reflekterer mye lys, vil gi mer lys inn i bygningen enn nabobygg som reflekterer lite lys. Hvis det reflekteres mye lys kan det føre til blanding.

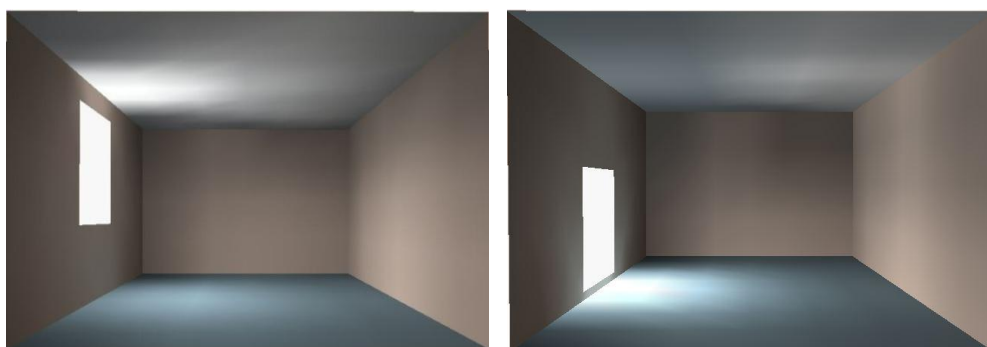
3.3.3. Vegetasjon [12]

Utforming av uteområder har mye å si for lysforhold inne i bygninger. Om det er vegetasjon, grus, asfalt eller vann utenfor vinduene vil ha betydning for hvor mye av lyset som reflekteres fra bakken og inn gjennom vinduene.

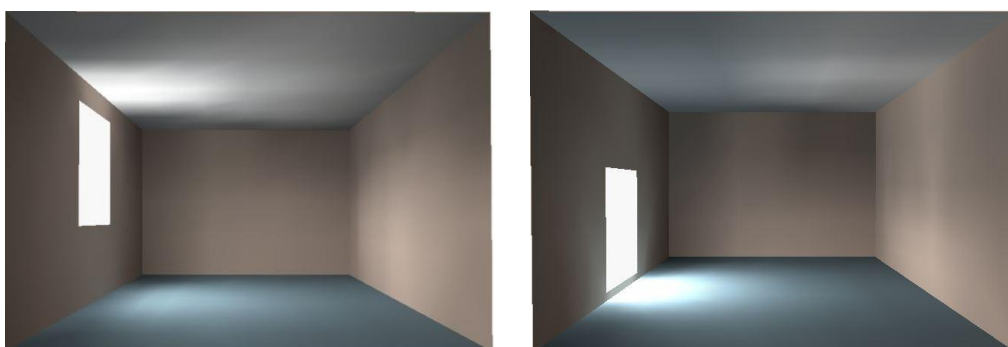
Høye trær kan skjerme for direkte solinnstråling og slik være et positivt bidrag til solavskjermingen. Her er løvtrær mest interessant. Løvtrær skjermer mye om sommeren, da behovet for solavskjerming er stort. Om vinteren, da en gjerne vil ha inn mer lys, har bladene falt av og skjerminga er mindre. For å unngå sjenerende blanding på vinteren, bør dette skjermingstiltaket suppleres med annen solavskjerming for å redusere blendende lys fra lav sol.

3.3.4. Vinduets plassering

Plasseres vinduet høyt på veggen får en mye lys i tak og innover i rommet. Plasseres vinduet nærme gulvet vil en få høy belyningsstyrke på gulvet ved vinduet og lav belyningsstyrke lenger inn i rommet. Høy vindusplassering vil derfor i de fleste tilfeller gi den beste lysfordelingen i rommet. Ulempen ved å ha vinduet plassert høyt på veggen er større risiko for blending fra direkte solstråling.



Figur 8 Høy og lav vindusplassering 21. desember kl. 10.30. Simulert i Relux



Figur 9 Høy og lav vindusplassering 21. juni kl. 10.30. Simulert i Relux

Det har også betydning for lysforholdene om vinduet er plassert langt ut i veggen eller inn mot rommet. Trekket vinduet inn i veggkonstruksjonen vil en få tilsvarende effekt som bygningsutspring, bare med dårligere ventilasjon av utsiden av vindusglasset.

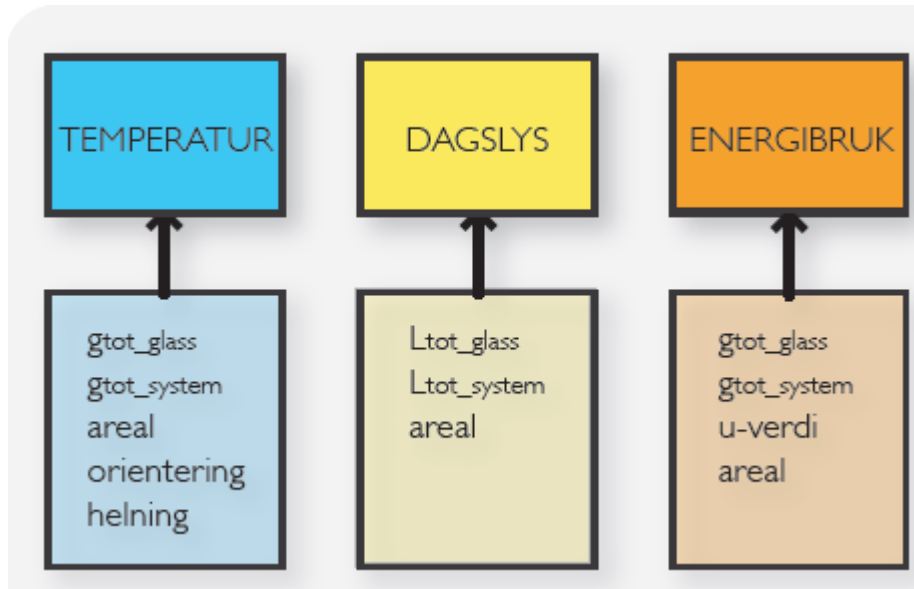
Vinduskarmens utforming vil også ha innvirkning. Er vinduskarmen lys og har større omkrets ut mot rommet enn inn mot vinduet vil lyset reflekteres inn i rommet.

3.3.5. Glassegenskaper

Glass trenger ikke å være klart, det kan ha vært igjennom ulike behandlinger slik at enten selve glasset er forandret eller glasset er belagt med et belegg som endrer egenskapene. Glasset kan blant annet sandblåses eller påføres silkestrykk for å endre hvor stor del av solenergien og lyset som glasset skal slippe igjennom. Dette kan også oppnås med et belegg. Hvor stor del av solenergien og lyset som slippes igjennom påvirkes først og fremst av g - og t_v - verdien. Dette er det skrevet mer om i neste kapittel.

4. Egenskaper ved glass og vindu

Glasset har mange egenskaper som påvirker både energibruk og inneklime i bygninger. Noen av disse er vist i figuren under. En del av disse egenskapene vil bli beskrevet i dette kapitlet.



Figur 10 Glassegenskaper som påvirker temperatur, dagslys og energibruk i rom [16]

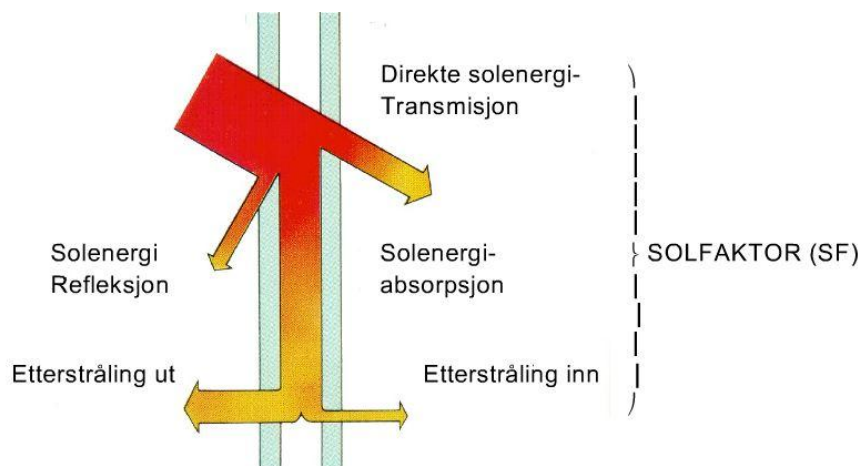
4.1. Solenergitransmisjon [20] [21] [22]

Hvor stor andel av den solenergien som treffer utsida av glasset som transporteres inn i rommet, som stråling gjennom vinduet, angis med g-verdien. Denne kalles ofte for solfaktor (SF), total solenergitransmisjon (TST) eller Solar Heat Gain Coefficient (SHGC). Solfaktor er andelen oppgitt som desimaltall, mens total solenergitransmisjon er andelen angitt som prosentverdi. Det er g-verdi som benyttes i de fleste simuleringsprogram som benyttes i Norge.

I stedet for g-verdi kan det oppgis en faktor for hvor stor del av den totale g-verdien solavskjermingen står for, dette er lite brukt i Norge. Denne faktoren kalles F_c eller $g_{\text{solskjerming}}$, hvor $g_{\text{solskjerming}}$ er avhengig av hvilken vindusløsning som benyttes, mens F_c er knyttet til et referansevindu.

$$F_c = \frac{g_{\text{system}}}{g_{\text{ref vindu}}}$$
$$g_{\text{solskjerming}} = \frac{g_{\text{system}}}{g_{\text{vindu}}}$$

For F_c benyttes g_{vindu} -verdi for et referansevindu. Hva som benyttes som referansevindu varierer fra leverandør til leverandør. For $g_{\text{solskjerming}}$ benyttes g_{vindu} -verdien for det vinduet som skal benyttes. Det kan også oppgis total skjermingskoeffisient, SC. Dette er g_{system} , delt på 0,87. g_{system} , er summen av $g_{\text{solskjerming}}$ og g_{vindu} . Hvis enkeltglass benyttes som referanse for F_c vil SC og F_c være lik.

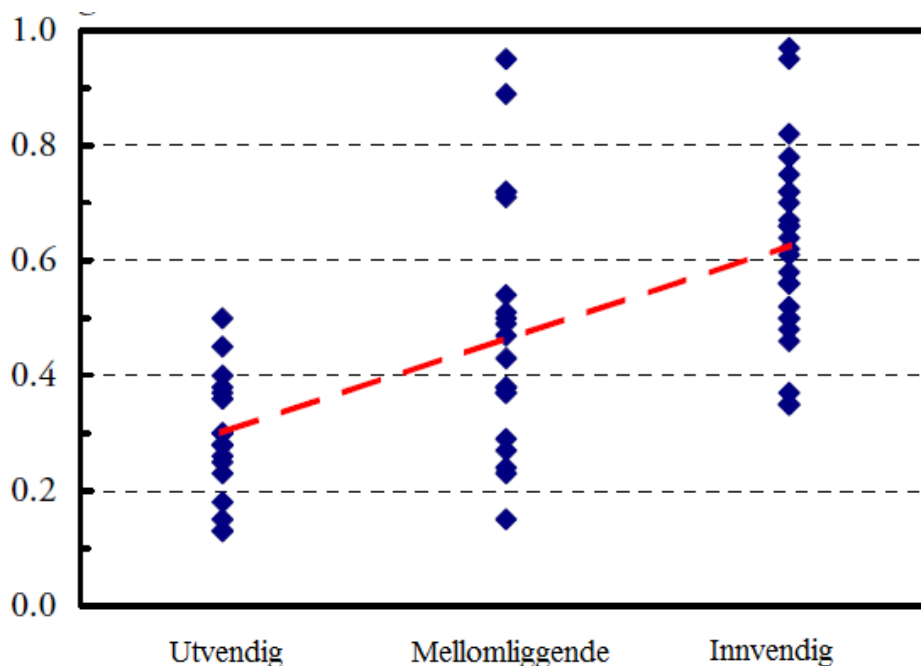


Figur 11 Bidrag til g-verdi [18]

Total solfaktor for kombinasjonen av glasset og den kunstige solavskjermingen, som gjennomsnitt i løpet av måneden, kalles blant annet solfaktor, \bar{g}_t eller g_{system} . Intensiteten på solinnstrålinga normalt inn på vindusruta er lik g_{\perp} . Hvis det ikke benyttes kunstig solavskjerming kan \bar{g}_t settes lik $0,9 * g_{\perp}$. [17]

g-verdien er en kombinasjon av direkte transmisjon, refleksjon og absorpsjon. Direkte transmisjon angis ved t-verdi, T_{sol} , ST eller andre kombinasjoner av t og s. Denne må ikke blandes sammen med lystransmisjon som ofte angis med en kombinasjon av t og v. g-verdien er tilskuddet fra stråling med bølgelengder 300 nm - 2500 nm.

g-verdi for persienner varierer mye, men den vil som hovedregel være minst for utvendig montert persienne og størst for innvendig montert persienne. Dette blant annet fordi en del av strålinga som reflekteres av den innvendige persiennen vil reflekteres tilbake igjen på tur ut gjennom glassene.



Figur 12 Målte g-verdier for utvendig, mellomliggende og innvendig montert persienne [14]

4.2. Lystransmisjon og -refleksjon [20] [21] [22]

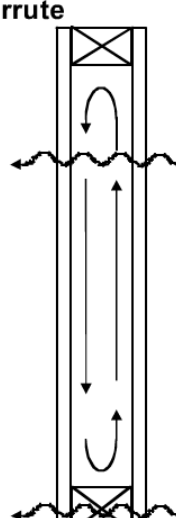
Lystransmisjon er andelen av det synlige lyset som treffer glasset som transmitteres inn i rommet. Synlig lys er i denne sammenhengen stråling i intervallet 380 nm – 780 nm. Lystransmisjon gis ofte som t_v -verdi, LT eller τ_v .

Solskjermingsglass vil ha en lav lystransmisjon. Vanlig glass og lavenergiglass har lystransmisjon på 65-75 %, mens solskjermingsglass gjerne har en lystransmisjon ned mot 20 %. Fasader med speiling i glasset kan ha lystransmisjon helt ned mot 5 %. I følge undersøkelser gjort ved Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark bør en bruke glass med høy lystransmisjon i rom for varig opphold. Lystransmisjon ned mot 50 % oppleves som ubehagelig.

Den prosentvise andelen synlig lys som reflekteres fra glasset kalles lysrefleksjon, LR eller ρ_v . Denne har mye å si for hvordan fasaden blir seende ut fra utsida. Høy lysrefleksjon gir speilende overflate med lite innsyn. Hvis mye lys reflekteres vil det gi mye lys til nabobygg og omgivelser. Dette kan føre til blendingsproblemer.

4.3. Varmetransmisjon [19]

Varmegjennomgangskoeffisienten, u-verdi, er et tall på hvor mye varme som går gjennom et materiale. For et vindu er dette summen av varmetransporten gjennom karm, ramme og glassflater. Varme transporteres gjennom vinduskonstruksjon via tre prinsipper; strålingstap, konveksjon og varmeledningstap.

TYPE VARMETAP	PROBLEM	LØSNING
Strålingstap	 <p>Stort varmetap, dårlig U-verdi Kaldras, trekk fra vinduet Kaldstråling</p>	<p>2-lags energiglass 3-lags isolerruter 3-lags energiglass</p>
Konveksjon	<p>Stort varmetap, dårlig U-verdi Kaldras, trekk fra vinduet Kaldstråling</p>	<p>Gassfylling, argon eller krypton Riktig avstand mellom glassene 3-lags isoler og energiglass har liten konveksjon selv uten gass.</p>
Varmeledningstap	<p>Kondens i randsonen, nede</p>	<p>3-lags isolerruter Spesial avstandslist (superspacer)</p>

Figur 13 Varmetap gjennom vindu [19]

Strålingstap er varme som stråler gjennom glassruta. Denne strålinga reduseres ved å belegge glasset med lavemisjonsbelegg.

Konveksjon er at lufta imellom glassene settes i bevegelse ved at lufta inn mot det innerste glasset varmes opp, stiger oppover og deretter ut mot ytterglasset hvor det avkjøles. Slik transporteres varme fra den innerste glassruta til den ytterste. På varme sommerdager vil det gå motsatt vei, men varmetransporten vil være mye mindre på en varm sommerdag enn på en kald vinterdag. Dette fordi temperaturforskjellen mellom det ytterste og innerste glasset er mye mindre på sommeren enn på vinteren.

Varmetapet kan reduseres ved å fylle mellomrommet mellom glassene med gass i stedet for luft. Det er vanlig å benytte argon eller krypton. En kan også benytte flere lag glass med luft eller gass imellom. Temperaturforskjellen mellom hvert av glassene blir da mindre.

Varmeledningstap er at varme ledes via materialet i rammekonstruksjonen og gjennom selve glassflata. Dette tapet kan reduseres ved å benytte materialer som leder varme dårligere.

5. Plan for simuleringer [12] [13]

5.1. Hva skal simuleres

Enkeltparametere i glass skal varieres for å se på hvordan endringer i disse virker inn på energi- og effektbehov og belysningsstyrke i rommet. Det ses på hvordan kombinasjoner av glassbelegg og ulike systemer for solavskjerming virker inn.

Et trelagsglass uten belegg benyttes som referanseglass. Enkeltparameterne som varieres er g -, t -, t_v - og u -verdi. Av solavskjermingssystem ses det på utvendig, mellomliggende og innvendig persienne. Grunnen til at disse velges er at de er blant de vanligste løsningene det står imellom når det skal installeres solavskjerming. De passive tiltakene bygningsutspring og himmelretning skal også simuleres.

Tabell 1 Glassbelegg

Glassbelegg	g	T	t_v	u_{glass} W/m ² K	u_{ramme} W/m ² K	u_{vindu} W/m ² K
Referansevindu Valgt vindu på Marienlyst	0,68	0,60	0,74	0,95	2,00	1,06
Vindu energibesparende Pilkington Optitherm S3	0,49	0,41	0,71	0,60	2,00	0,78
Vindu solskjermende Pilkington Suncool 30/17	0,19	0,16	0,3	1,10	2,00	1,18

Dataene for vinduene er hentet fra databasen Glass Constructions i IDA Ice.

Tabell 2 Persienser

Persienne	$g_{\text{solskjerming}}$	$t_{\text{solskjerming}}$	$u_{\text{solskjerming}}$
Persienne utvendig	0,14	0,09	1,00
Persienne mellomliggende	0,39	0,12	0,87
Persienne innvendig	0,65	0,16	1,00

Dataene for persiennene er hentet fra databasen Integrated Shading i IDA Ice.

Vinduet som benyttes er referansevinduet, se tabell 1.

Tabell 3 Glassegenskaper

Glassegenskaper	Forklaring
g-verdi	Total solenergitransmisjon
t-verdi	Direkte solenergitransmisjon
t_v-verdi	Varmegjennomgang
u-verdi	Lystransmisjon

Disse er forklart nærmere i kapittel 4. Vindu- og glassegenskaper.

5.2. Forutsetninger

Å endre kun på én egenskap ved produksjon av glass kan være vanskelig, da så godt som alle egenskapene på forskjellig vis er avhengig av glassets tykkelse og hvilke stoffer glasset er tilsatt. Endring av enkeltparametere vil allikevel være interessant. I videre utvikling av glass og valg av glass til bygg vil det være nyttig å vite hvilke egenskaper en bør fokusere på og hvilke som kan endres uten at de har stor innvirkning på resultatet.

Resultatene bygger på simulering av en gitt bygningskropp og et sett internbelastninger i form av personer, teknisk utstyr og belysning. Endring av internbelastninger vil påvirke størrelsen på energi- og effektbehov, og forholdet mellom disse. Endring av bygningskroppen vil også ha innvirkning på disse. Vindusplassering og areal vil virke inn på belysningsstyrken.

Rommet som benyttes til simuleringer er ganske likt klasserommene ved Marienlyst skole i Drammen. Disse simuleringene vil derfor være veldig relevant for skolebygg med forholdsvis ny bygningskropp. Ved å ta hensyn til at det her kun er internbelastninger fra kl. 07 til kl. 17, og forholdsvis lavt energibruk til oppvarming og kjøling, vil resultatene også kunne overføres til andre byggkategorier. I et kontorbygg hvor en relativt ofte har folk i lokalet fra kl. 07 til kl. 20 og større interne varmebelastninger, vil energibehovet til kjøling være større. Behovet for solavskjerming vil derfor være større på vestfasaden.

Energibehovet til oppvarming, kjøling og belysning simuleres over et år, og oppgis som kWh/m². Energibehovet til belysning er energibehovet til allmennbelysning. Dimensjonerende effektbehov til kjøling og oppvarming er den største effekten henholdsvis kjøling og oppvarming trekker i løpet av et år. Belysningsstyrke er belysningsstyrken uten elektrisk belysning, beregnet som gjennomsnittlig belysningsstyrke i rommet over et år. Det er gjennomsnittlig belysningsstyrke i rommet som er beregnet.

5.3. Rom benyttet for simulering [23]

Det skal i denne oppgaven utføres simuleringer av et klasserom. Det blir tatt utgangspunkt i høringsforslaget til standarden NS3701 og klasserom ved Marienlyst skole i Drammen. Klasserom ved Marienlyst skole blir benyttet fordi det for dette bygget er tilgang til plantegninger og inndata benyttet i simuleringprogrammet SIMIEN.

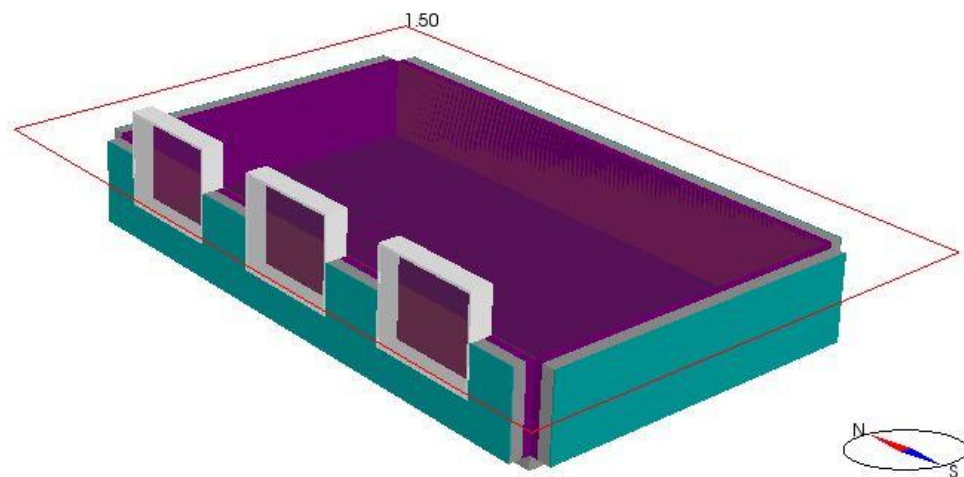
Marienlyst skole i Drammen ble bygd i 2010. For simuleringene tas det utgangspunkt i plantegning datert 01.10.2010. Det ses på lys og energibruk i et klasserom på 60 m². Dette rommet ligger i den øverste etasjen, med gulvet 6 meter over bakken. Der ikke himmelretning gis er rommet slik vist i figur 15, med vindusfasade mot vest. Takhøyde er 2,8 m. Det er tre vindu i rommet, hvert er 2 m bredt og 1,7 m høyt. Vindusarealet er 17 % av gulvarealet. Dette er innenfor kravet i TEK 10 om at vindusarealet skal være under 20 % av gulvarealet.

Taket har en u-verdi på 0,13 W/m²K. Det er antatt at to av veggene grenser mot rom med samme temperatur, mens to er yttervegger med u-verdi 0,15 W/m²K. Bygget har et lekkasjetall på 0,6 omskiftinger i timen. Vinduene er 3-lags vindu med u-verdi 1 W/m²K, der glassflatas u-verdi er 0,8 W/m²K. Ventilasjonsanlegget har en gjenvinningsfaktor på 0,80 og SFP på 1,5. SFP, Specific Fan Power, er et uttrykk for viftas effektbehov i forhold til levert luftmengde.

Belysning og utstyr står på fra kl. 7 til kl. 17, belysning med 4,5 W og utstyr med 4,0 W. Mellom kl. 8 og 16 er det 24 personer i rommet. Ventilasjonsanlegget driftes fra kl. 5 til kl. 19.

Ved Marienlyst skole går utvendig persienne ned ved 175 W/m² målt på utsida av vinduet. Styring av solavskjerming er et område det ikke er gjort mange undersøkelser på i Norge. 175 W/m² er i øvre del av det området det er vanlig å benytte ved simulering. Som standard er settverdi for styring av solavskjerming både i SIMIEN og IDA Ice 100 W/m².

I SIMIEN måles solintensiteten på utsida av glasset, mens den i IDA Ice måles på innsida av glasset. Ved samme settverdi i de to programmene vil derfor solavskjermingen gå ned tidligere i IDA Ice enn i SIMIEN. Solinnstrålinga på innsida av ruta er lik solinnstrålinga på utsida av ruta ganget med g-verdien. For et bygg med settverdi 175 W/m^2 målt på utsida av vinduet vil settverdi målt på innsida av vinduet være omkring 120 W/m^2 , for ei glassrute med g-verdi 0,7. Hvilken virkning valg av settpunkt har for energibruk og dagslys i bygg er diskutert i kapittel 6.7.3.



Figur 14 Rom brukt for simulering av ulike parameteres innvirkning på energibruk og lys. Skjerm bilde fra IDA Ice

5.4. Dataverktøy [24] [27]

Det finnes flere dataverktøy for å utføre simuleringer av energibruk og lysforhold. Valget falt på IDA Ice, da dette verktøyet er godt egnet til de simuleringer som skal gjøres i denne oppgaven. Erichsen & Horgen AS benytter IDA Ice til simulering av energibruk og lysforhold og kunne bidra med veiledning og hjelp underveis til dette dataverktøyet.

IDA Ice er laget for dynamisk simulering av energi og inneklime. Det er utviklet av det svenske selskapet EQUA Simulation AB. Dataverktøyet gir mange forskjellige muligheter til å legge inn inndata og egner seg godt for simulering av uvanlige løsninger og komplekse geometrier. Ekspertutgaven av versjon 4.2 av programmet er benyttet. Dette dataverktøyet krever en lisens. Equa Simulation AB har gitt en studentlisens til denne oppgaven mot at Erichsen & Horgen står for opplæring og veiledning underveis.

I IDA Ice måles settverdien for styring av solavskjerming på innsiden av vindusglasset. I andre simuleringprogram kan det være verdien målt på utsiden av glasset som oppgis. Solavskjermingen vil gå ned tidligere om settverdien gis for utsida av glasset. 100 W/m^2 på utsida av ruta tilsvarer 68 W/m^2 på innsida av ruta hvis det benyttes ei rute med g-verdi lik 0,68.

6. Resultater

6.1. Referansevinduet

Tabell 4 Referansevindu

Energibehov oppvarming	20,9 kWh/m ²
Energibehov kjøling	3,8 kWh/m ²
Energibehov belysning	3,3 kWh/m ²
Dimensjonerende effektbehov oppvarming	18,3 W/m ²
Dimensjonerende effektbehov kjøling	28,2 W/m ²
Gjennomsnittlig belysningsstyrke over året	659 lux

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

6.2. g-verdi sin innvirkning

Tabell 5 Endring av g-verdi

g-verdi	0,68		0,85	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	20,9	100	19,4	93
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	3,8	100	5,6	147
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,3	100	3,3	100
Effektbehov oppvarming (W/m ²)	18,3	100	18,3	100
Effektbehov kjøling (W/m ²)	28,2	100	41,5	147
Belysningsstyrke (lux)	659	100	653	99

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

g-verdien kan ikke være lavere enn t-verdien. Det er derfor bare simulert en g-verdi høyere enn den opprinnelige.

g-verdi er et mål for hvor stor andel av den solenergien som treffer ruta som overføres inn i rommet. Som verdiene i tabellen over viser, vil en reduksjon i g-verdien med 20 % redusere energi- og effektbehovet til kjøling med nesten 50 %. Dette fordi solinnstrålinga står for en vesentlig del av rommets varmetilskudd. Energibehovet til oppvarming reduseres ikke så mye, da et vindu med den laveste g-verdien også i store deler av året vil slippe inn mer varme enn ønskelig.

6.3. t-verdi sin innvirkning

Tabell 6 Endring av t-verdi

t-verdi	0,48		0,60	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	20,8	100	20,9	100
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	4,1	108	3,8	100
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,3	100	3,3	100
Effektbehov oppvarming (W/m ²)	18,3	100	18,3	100
Effektbehov kjøling (W/m ²)	32,8	116	28,2	100
Belysningsstyrke (lux)	656	100	659	100

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

t-verdi kan ikke være høyere enn g-verdi. Det er derfor bare simulert med en t-verdi lavere enn den opprinnelige verdien

Tabell 7 Overflatetemperatur tak, gulv og vindu

	Tak °C	Endring °C	Gulv °C	Endring °C	Vindu °C	Endring °C
gj. snitt	20	0,1	19,7	0,1	19,2	0,6
min	16.5	0	16.0	0	14.4	
maks	24.8	0,2	24.5	0,2	25.4	1,1

Temperatur ved t-verdi lik 0,48. Endringen er antall °C endring fra temperaturen ved t-verdi 0,6.

Tabell 8 Overflatetemperatur vegger

	Vegg N °C	Endring °C	Vegg Ø °C	Endring °C	Vegg S °C	Endring °C	Vegg V °C	Endring °C
gj. snitt	19,9	0,1	19,9	0,1	19,9	0,1	19,9	0,1
min	16.4	0	16.3	0	16.3	0	16.4	0
maks	24.8	0,3	24.8	0,3	24.8	0,3	24.7	0,2

Temperatur ved t-verdi lik 0,48. Endringen er antall °C endring fra temperaturen ved t-verdi 0,6.

Tabell 9 Temperatur og operativ temperatur

	gj.snitt temperatur °C	Endring °C	Operativ temperatur °C	Endring °C
Januar	17.0	0	16.5	0
Februar	17.2	0	16.9	0
Mars	17.6	0	17.4	0
April	18.9	+0,1	18.8	+0,1
Mai	21.5	+0,2	21.5	+0,2
Juni	23.2	+0,1	23.3	+0,1
Juli	24.5	+0,3	24.7	+0,4
August	23.8	+0,2	24.0	+0,3
September	21.8	+0,1	21.9	+0,1
Oktober	19.6	+0,1	19.5	+0,1
November	17.7	0	17.4	+0,0
Desember	16.9	0	16.5	+0,0
gj.snitt	20.0	0,1	19.9	0,1
min	16.9	0	16.5	0
maks	24.5	0,3	24.7	0,4

Temperatur ved t-verdi lik 0,48. Endringen er antall °C endring fra temperaturen ved t-verdi 0,6.

t-verdien er andelen av solenergien som passerer gjennom glassruta som direkte stråling. g-verdien minus t-verdien gir andelen av den solenergien som overføres til rommet via absorpsjon og refleksjoner. Høy t-verdi vil si at en stor del av solenergien som passerer gjennom ruta passerer som direkte stråling. Lav t-verdi vil si at en stor del av energien kommer inn i rommet via absorpsjon i vinduet.

Den operative temperaturen vil bli påvirket av om varmen fra solinnstråling kommer som direkte stråling eller absorberes i vinduet. Lavere t-verdi vil føre til høyere operativ temperatur.

Simuleringene viser at overflatetemperaturen på innsida av glasset i vinduene i gjennomsnitt over året er 0,6°C høyere for den lave t-verdien enn for den høye. Gulv, tak og vegger er i gjennomsnitt over året 0,1 °C varmere. Operativ temperatur er 0,4 °C høyere. Dermed blir energi- og effektbehovet til kjøling høyere ved lavere t-verdi.

6.4. t_v-verdi sin innvirkning

Tabell 10 Endring av t_v-verdi

t _v -verdi	0,59		0,74		0,93	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	20,7	99	20,9	100	21	101
Energibehov kjøling	3,8	100	3,8	100	3,8	100
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,7	112	3,3	100	2,9	88
Effektbehov oppvarming (W/m ²)	18,3	100	18,3	100	18,3	100
Effektbehov kjøling (W/m ²)	28,2	100	28,2	100	28,2	100
Belysningsstyrke (lux)	526	80	659	100	828	126

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

Energibehovet til oppvarming påvirkes lite av t_v verdien. Denne verdien er et tall for hvor mye lys i det synlige spekteret som slipper gjennom vindusglasset. Belysningsstyrken endres prosentvis like mye som endringen i t_v-verdien, noe som også gir endring i energibehovet til belysning. Ved å øke t_v-verdien fra 0,59 til 0,93, reduseres energibehovet til belysning med 0,8 kWh/m².

t_v-verdien har stor innvirkning på innemiljøet ved at den i stor grad påvirker belysningsstyrken. Det å ha en høy t_v-verdi uten å endre g-verdien vil slik være positivt.

6.5. u-verdi sin innvirkning

Tabell 11 Endring av u-verdi

u-verdi	0,64 W/m ²		0,8 W/m ²		1 W/m ²	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	19,6	94	20,9	100	22,5	108
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	3,9	103	3,8	100	3,7	97
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,3	100	3,3	100	3,3	100
Effektbehov oppvarming (W/m ²)	18,2	99	18,3	100	18,5	101
Effektbehov kjøling (W/m ²)	28,2	100	28,2	100	28,2	100
Belysningsstyrke (lux)	659	100	659	100	659	100

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

u-verdien er hvor mye varme som transporteres gjennom vinduet. Lav u-verdi vil si at varme transporteres dårlig gjennom vinduet. Ved å endre u-verdien med 20 % endres energibehovet til oppvarming med ca. 7 %. Energibehovet til kjøling endres med 3 %. Denne endringen er mindre fordi temperaturdifferansen mellom inne og ute er mindre når det er kjølebehov enn når det er oppvarmingsbehov. Dette er også grunnen til at det ikke er endring i effektbehovet til kjøling, men i effektbehovet til oppvarming.

6.6. Glasstypens innvirkning

Tabell 12 Energispareglass og solskjermingsglass i forhold til referansevinduet

Glassbelegg	VE		VS		REF	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	21,0	101	29,5	141	20,9	100
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	2,3	61	0,5	13	3,8	100
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,4	103	5,2	157	3,3	100
Effektbehov oppvarming (W/m ²)	18,1	99	18,6	102	18,3	100
Effektbehov kjøling (W/m ²)	20,1	72	4,3	24	28,2	100
Belysningsstyrke (lux)	637	97	274	41	659	100

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

6.6.1. Energispareglass

Energispareglass har lav g-verdi og u-verdi. Lav u-verdi reduserer varmetapet ut gjennom ruta og skal slik gi lavere energibehov. Den lavere g-verdien reduserer varmetilskuddet fra sola overført gjennom ruta. Dette gjør at det totale energibehovet til oppvarming ikke reduseres for dette rommet. Energi og effektbehovet til kjøling blir derimot sterkt redusert ved bruk av energiglass, energibehovet med 40 % og effektbehovet med 30 %.

6.6.2. Solskjermingsglass

Solskjermingsglass har lav g-verdi og t_v-verdi. Lav g-verdi betyr at kun en liten del av den solenergien som treffer glassruta blir overført inn til rommet. Lav t_v-verdi betyr at kun en liten del av strålingen i det spekteret som er synlig lys passerer gjennom glassruta.

Solskjermingsglass med lav g-verdi, men normal eller høy u-verdi vil stenge ute solvarmen, og fortsatt ha relativt stort varmetap ut når sola ikke står på ruta. Energiforbruket til oppvarming blir derfor høyt, mens energi- og effektbehovet til kjøling blir lavt.

Den lave t_v -verdien fører til at belysningsstyrken blir betydelig redusert, og dermed også at energiforbruket til belysning øker. Hvis dagslysfaktoren ved glass uten belegg ligger på grensen til kravet på 2 %, vil en på grunn av den reduserte lysgjennomgangen måtte øke vindusarealet for å slippe igjennom like mye lys som et vindu uten solskjermingsbelegg.

6.7. Persienne

Tabell 13 Energibehov og belysningsstyrke for utvendig, mellomliggende og innvendig persienne

Persienne	Utvendig		Mellomliggende		Innvendig	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	22,9	110	22,1	106	21,4	102
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	1,2	32	1,9	50	3,1	82
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,7	112	3,6	109	3,5	106
Effektbehov kjøling (W/m ²)	6,2	22	17,7	63	31,4	111
Belysningsstyrke (lux)	320	49	334	51	348	53

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m². Prosentverdiene er i forhold til referansevinduet, se tabell 4.

Utvendig persienne skjermer best for varme fordi solstrålinga stoppes på utsida av glasset. Strålinga blir dermed stanset før den fører til direkte oppvarming av glasset. Ved å sørge for god ventilering mellom solavskjermingen og vinduet, vil en mindre del av varmen som tas opp i solavskjermingen bli overført til vinduet.

6.7.1. Energibehov til belysning, utvendig persienne i forhold til uten persienne

Energibehovet til belysning går opp ved bruk av persienne. IDA Ice regner med at solavskjermingen går helt ned med lamellene i 45° vinkel når solinnstrålinga mot vinduet er over settverdien. Den elektriske belysninga vil derfor stå på når solavskjermingen er nede.

Det ideelle er hvis persiennen går ned når solinnstrålinga kommer over settverdien for solinnstråling, mens vinkelen på lamellene styres etter målt

belysningsstyrke i rommet. Settverdi for solinnstråling mot vinduet, før solavskjermingen går ned, bør settes litt over settverdien for ønsket belysningsstyrke i rommet. Da vil en utnytte dagslyset fullt ut før den elektriske belysninga skrur på.

Ved å vinkle lamellene i persiennen riktig og ha hensiktsmessig plassarmatur, vil en klare å utnytte dagslyset bra. Hensiktsmessig plassarmatur kan benyttes for å gi høyere belysningsstyrke på arbeidsområdet i perioder hvor dagslystilgangen gir nok allmennbelysning.

For mellomliggende og innvendig persienne vil en del av lyset som reflekteres av solavskjerminga reflekteres tilbake av glasset og slik bidra til at belysningsstyrken blir høyere og energibehovet til belysning lavere.

6.7.2. Dimensjonerende effekt til kjøling, utvendig persienne i forhold til uten persienne

Som forventet er dimensjonerende effekt til oppvarming uavhengig av om det er installert persienner eller ikke. På den tiden av året hvor oppvarmingsbehovet er størst, er solintensiteten lav og varmetilskuddet fra sola utgjør kun en liten del av det totale varmetilskuddet.

Dimensjonerende effekt til kjøling oppstår på sommeren når solinnstrålinga står for en stor del av den totale varmebelastningen. Med utvendig montert persienne blir effektbehovet til kjøling redusert med 78 %. Ved redusert effektbehov til kjøling vil en kunne dimensjonere kjøleanlegget mindre og slik redusere investeringskostnadene.

6.7.3. Styring av persienne

Tabell 14 Endring av settpunkt solavskjerming

Settverdi	96 W/m ²		120 W/m ²		150 W/m ²	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	23,3	102	22,9	100	22,4	98
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	1,0	83	1,2	100	1,4	117
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,8	102	3,7	100	3,6	97
Effektbehov kjøling (W/m ²)	6,3	100	6,3	100	6,3	100
Belysningsstyrke (lux)	293	92	320	100	359	112

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

En økning av settpunktet for når persiennen skal gå ned gir redusert energibehov til oppvarming og økt energibehov til kjøling. Dette fordi solavskjermingen er nede sjeldnere så det slippes inn mer lys. Energibehovet til belysning reduseres også. Størrelsen på besparelsen er avhengig av settpunktet belysninga styres etter, og ved mulighet for manuell styring, ved hvilke nivå folk i rommet vil skru på belysning igjen. Lave settpunktet vil redusere dimensjonerende effekt til kjøling.

Det bestemmende for settpunktet for solavskjerming bør være innetemperatur og lysforhold i rommet. Disse to faktorene har stor innvirkning på arbeidseffektiviteten. Besparelsene som følge av økt effektivitet og bedre arbeidsmiljø, vil i mange tilfeller være større enn besparelsene som følge av redusert effekt- eller energibehov.

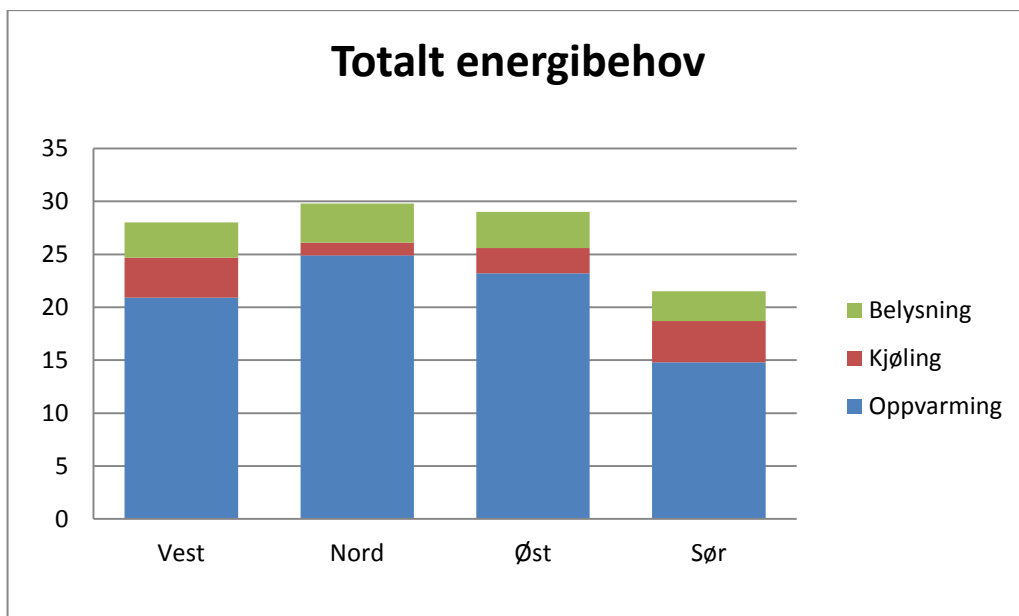
6.8. Himmelretningens innvirkning

Tabell 15 Endring av himmelretninger

Himmelretning	Vest		Nord		Øst		Sør	
	Verdi	%	Verdi	%	Verdi	%	Verdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m²)	20,9	100	24,9	119	23,2	111	14,8	71
Energibehov kjøling (kWh/m²)	3,8	100	1,2	32	2,4	63	3,9	103
Energibehov belysning (kWh/m²)	3,3	100	3,7	112	3,4	103	2,8	85
Effektbehov oppvarming (W/m²)	18,3	100	18,3	100	18,3	100	18,3	100
Effektbehov kjøling (W/m²)	28,2	100	5,3	18	21,6	77	23,9	85
Belysningsstyrke (lux)	659	100	297	45	375	57	1448	220

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

Rommenes retning er gitt etter hvilken retning ytterveggen med vindu peker.



Figur 15 Totalt energibehov, kWh/m²

Rommet mot sør får størst solinnstråling. Rommet mot nord får minst solinnstråling. Gjennomsnittlig belysningsstyrke over året i rommet mot nord er en femtedel av belysningsstyrken i rommet med vindu mot sør. Det er naturlig at det er slik, da rommet mot sør får direkte solstråling i den tiden av døgnet hvor sola er høyest. Dette utgjør også en stor del av den tiden hvor belysninga driftes.

Energibehovet til belysning i rommet med vindu mot nord er allikevel bare 1,3 ganger energibehovet i rommet med vindu mot sør. Forklaringa på dette kan være at solinnstrålinga i rommet med vindu mot sør en stor del av tida er større enn det nivået elektrisk belysning skrus av ved, slik at det diffuse lyset er nok til at belysninga i store perioder også er avslått i rommet mot nord.

6.9. Bygningsutspring

Tabell 16 Bygningsutspring over vindu på fasade mot vest

Bygningsutspring	Vest		Ref. vest	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	21,9	105	20,9	100
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	2,7	71	3,8	100
Energibehov belysning (kWh/m ²)	3,6	109	3,3	100
Effektbehov kjøling (W/m ²)	23,2	82	28,2	100
Belysningsstyrke (lux)	537	81	659	100

Tabell 17 Bygningsutspring over vindu på fasade mot nord

Bygningsutspring	Nord		Ref. nord	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m ²)	25,6	103	24,9	100
Energibehov kjøling (kWh/m ²)	0,9	75	1,2	100
Energibehov belysning (kWh/m ²)	4,1	111	3,7	100
Effektbehov kjøling (W/m ²)	3,9	74	5,3	100
Belysningsstyrke (lux)	250	84	297	100

Tabell 18 Bygningsutspring over vindu på fasade mot øst

Bygningsutspring	Øst		Ref. øst	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m²)	24,0	103	23,2	100
Energibehov kjøling (kWh/m²)	1,7	71	2,4	100
Energibehov belysning (kWh/m²)	3,7	109	3,4	100
Effektbehov kjøling (W/m²)	18,1	84	21,6	100
Belysningsstyrke (lux)	310	83	375	100

Tabell 19 Bygningsutspring over vindu på fasade mot sør

Bygningsutspring	Sør		Ref. sør	
	Tallverdi	%	Tallverdi	%
Energibehov oppvarming (kWh/m²)	15,9	107	14,8	100
Energibehov kjøling (kWh/m²)	2,5	64	3,9	100
Energibehov belysning (kWh/m²)	3,1	111	2,8	100
Effektbehov kjøling (W/m²)	15,8	66	23,9	100
Belysningsstyrke (lux)	1164	80	1448	100

Energibehovet er samla behov over året, gitt i kWh pr m². Belysningsstyrken er gjennomsnittlig verdi over et år, gitt i lux. Effektbehovet er dimensjonerende effektbehov, gitt i W pr m².

Det er simulert med et bygningsutspring som stikker 30 cm ut fra ytterveggen like over overkant på vinduet. Simuleringene viser at lysinslippet blir redusert med 15 - 20 % for alle fire himmelretninger. Energibehovet til oppvarming øker med 4 - 7 %. Økningen er størst mot sør. Den store økningen mot sør skyldes at det er i denne retningen sola står høyest på himmelen og skjermes mest av bygningsutspringet.

Ved bygningsutspring vil en få store besparelser i energibehovet til kjøling, 25 - 35 % for alle himmelretninger. Reduksjonen i effektbehov er størst mot sør.

For alle himmelretningene blir det totale energibehovet redusert.

7. Diskusjon

7.1. Oppvarmings- og kjølebehov

g- og u-verdien har lik innvirkning på energibehovet til oppvarming. Energiforbruket til kjøling er derimot svært forskjellig for de to. En reduksjon av u-verdien på 20 % fører kun til en liten økning i energibehovet til kjøling. Reduseres g-verdien med 20 % halveres energibehovet til kjøling. Det er varmetilskudd fra solinnstråling som gir det store varmeoverskuddet, og ikke varmegjennomgang grunnet temperaturdifferansen mellom ute og inne. Denne differansen er lav når det er kjølebehov.

Rom med kjølebehov bør ha vindusruter med lav g-verdi og høy t-verdi. Økning av u-verdien vil redusere energibehovet til kjøling, men med mindre det er kjølebehov hele tiden vil dette i de fleste tilfeller øke energibehovet for oppvarming mer enn det reduserer energibehovet til kjøling.

7.2. Vanlig glass, energispareglass, solavskjermingsglass

For rom uten kjøling hvor det ikke er forventet at høy innetemperatur vil bli et problem, er det vanlig glass som er best egnet. Da med lav u-verdi. Ved kjølebehov vil det være fornuftig med energispareglass. Dette reduserer kjølebehovet uten stor økning i oppvarmingsbehov og reduksjon i belysningsstyrke.

I rom en ikke får innetemperaturen ned på et akseptabelt nivå uten å overskride forskriftens krav til kjøleeffekt, kan solavskjermingsglass være en løsning. Belysningsstyrken blir sterkt redusert. Energiforbruket til kjøling reduseres mer enn ved utvendig persienne, men effektbehovet reduseres like mye.

7.3. Persienne

Ved stort kjølebehov bør utvendig persienne benyttes. Utvendig persienne vil være dyrere å installere og dyrere å vedlikeholde enn innvendig persienne. Hvis det ikke er kjølebehov er det derfor innvendig persienne som er mest aktuelt. Settpunktet for når persiennen går ned må tilpasses ønsket belysningsstyrke og innetemperatur.

7.4. Bygningsutspring

Et bygningsutspring over vinduet vil redusere energibehovet til kjøling og øke energibehovet til oppvarming og belysning. I det simulerte rommet ble samla energibehov lavere med bygningsutspring både for nord, sør, øst og vest.

7.5. Valg av løsning

Ved valg av løsning vil det være viktig å se på kombinasjonen av oppvarmingsbehov, kjølebehov og forholdet mellom dagslystilgang og ønsket belysningsstyrke. Alle disse tre påvirkes av dagslysmengden. Dagslysmengden varierer, både i intensitet og varighet, etter hvor i landet en er og hvilken himmelretning rommet er vendt mot. Oppvarmings- og kjølebehov og ønsket belysningsstyrke vil også være avhengig av hva rommet skal brukes til.

8. Konklusjon

Energibehov til oppvarming:

- Lavest energibehov til oppvarming er mot sør. Rom mot sør har 40 % lavere energibehov enn rom mot nord, 35 % lavere enn rom mot øst og 30 % lavere enn rom mot vest.
- Høy g-verdi og lav u-verdi gir lavt energibehov.

Dimensjonerende effektbehov til oppvarming:

- Lav u-verdi gir lavt effektbehov

Energibehov til kjøling:

- Lavest energibehov til kjøling er mot nord. Rom mot nord har 70 % lavere energibehov enn rom mot vest.
- Lav g-verdi gir lavt energibehov. t-verdien bør utgjøre en stor del av g-verdien.

Dimensjonerende effektbehov til kjøling:

- Lavest effektbehov til kjøling er mot nord. Rom mot nord har 80 % lavere effektbehov enn rom mot vest.
- Lav g-verdi gir lavt effektbehov. t-verdien bør utgjøre en stor del av g-verdien.

Energibehov til belysning:

- Lavest energibehov til belysning er mot sør. Rom mot sør har 25 % lavere energibehov enn rom mot nord.
- Høy t_v-verdi gir lavt energibehov.

Belysningsstyrke:

- Høyest belysningsstyrke er mot sør. Belysningsstyrken i rom mot sør er nesten 5 ganger større enn i rom mot nord, 4 ganger større enn i rom mot øst og 2 ganger større enn i rom mot vest.
- Høy t_v -verdi gir høy belysningsstyrke. Endres t_v -verdien med 20 % endres også belysningsstyrken med 20 %.

Hvilke rom bør ha hva:

- Rom med kjølebehov bør
 - legges mot nord
 - ha lav g-verdi
 - ha utvendig persienne
- Rom uten kjølebehov bør
 - legges mot sør
 - ha lav u-verdi
 - ha høy g-verdi
 - ha innvendig persienne
- Rom med ønske om høy belysningsstyrke bør
 - legges mot sør
 - ha høy t_v -verdi

Hva bestemmer kjøle- og oppvarmingsbehov og ønsket belysningsstyrke:

- Bruk av rommet påvirker
 - interne varmebelastninger
 - ønsket innetemperatur
 - ønsket belysningsstyrke
- Hvor i landet og hvor i terrenget bygget er påvirker
 - dagslystilgang
 - varmebelastning fra sola

Referanser

- [1] Arbeidsdepartementet; Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv., arbeidsmiljøloven, endret 2012-03-01;
<http://www.lovdata.no/all/nl-20050617-062.html>
- [2] Kommunal og regionaldepartementet; FOR 2010-03-26 nr. 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk, byggt teknisk forskrift - TEK10, endret 2012-04-01;
<http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>
- [3] Direktoratet for byggkvalitet; Veiledning til Plan og bygningsloven, Publikasjonsnummer: HO-2/2011;
<http://byggeregler.be.no/dxp/content/tekniskekrav>
- [4] Sintef Byggforsk; 421.626, Beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor og areal, 2004
- [5] Lyskultur 21/98, Dagslys i bygninger Prosjekteringsveiledning kapittel 12, 1. utgave 1998
- [6] Standard Norge; NS-EN 12216:2002 Solavskjerming - Terminologi, benevnelser og definisjoner
- [7] Standard Norge; NS-EN 12464-1:2011 Belysning av arbeidsplasser - Del 1: Innendørs arbeidsplasser
- [8] Standard Norge; NS-EN 15193:2007 Bygningers energiytelse - Energikrav i lysanlegg
- [9] Standard Norge; Høringsutkast til NS 3701, Kriterier for passivhus og lavenergibygnings-Yrkesbygninger, 2011
- [10] Tor Helge Dokka o. fl.; Kriterier for passivhus- og lavenergibygging – Yrkesbygg, SINTEF Byggforsk, 2009, ISBN 978-82-536-1107-5,

- [11] Norges solavskjermingsforbund sin hjemmeside;
<http://www.solavskjerming.no>
- [12] Marie-Claude Dubois; Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices- Simulations with Radiance, Lund Universitet, 2001, ISSN 1103-4467
- [13] Tobias Rosencrantz, Performance of Energy Efficient Windows and Solar Shading Devices, Lund Universitet, 2005, ISBN 91-85147-13-3
- [14] Maria Waal og Helena Bülow-Hübe, Solar Protection in Buildings, Lund Universitet, 2003, ISBN 91-85147-00-1
- [15] Ulrike Brandi Licht; Lighting Design, 2006, ISBN: 978-3-7643-7493
- [16] Marit Smidsrød og Ida Bryn; Veileder for utforming av glassfasader, mai 2007
- [17] Standard Norge; NS 3031:2007 - Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data
- [18] Inneklima sommer, artikkel på glassportalen.no;
<http://www.glassportal.no/inneklima-sommer.76522.no.html>
- [19] Inneklima vinter, artikkel på glassportalen.no;
<http://www.glassportal.no/inneklima-vinter.76523.no.html>
- [20] Glassprodusenten Saint-Gobain Bøckmann sin hjemmeside;
<http://www.bockmann.sggs.com/Bockmann/Home/home.asp>
- [21] Standard Norge; NS-EN 410:2011 Bygningsglass - Bestemmelse av lys- og strålingsegenskaper
- [22] Hjemmesida til Pilkington, leverandør av bygningsglass;
<http://www.pilkington.com/europe/norway/norwegian/building+products/for+trade+customers/faqs.htm>

- [23] Artikkel om Marienlyst skole i Ecobox prosjektdatabase;
<http://www.futurebuilt.no/?nid=202336&lcid=1044>
- [24] Equa sin hjemmeside, IDA Ice;
<http://www.equa.se/eng.ice.html>
- [25] Programbyggerne sin hjemmeside, SIMIEN;
www.programbyggerne.no
- [26] Artikkel om SIMIEN i Ecobox grønn verktøykasse;
<http://www.arkitektur.no/?nid=178840&lcid=1044>
- [27] Relux Informatik AG sin hjemmeside;
<http://www.relux.biz/>
- [29] Standard Norge; NS-ISO 15099:2003 Termiske egenskaper til vinduer, dører og skjerming - Detaljerte beregninger
- [30] Glassfakta 2009; Pilkington, leverandør av bygningsglass, sin håndbok for valg av glass,
<http://www.pilkington.com/resources/valgavfunksjonsglass1.pdf>

Vedlegg

Sentrale inndata

Sted		Oslo/Gardermoen
Klima		Oslo/Fornebu_ASHRAE
Bygningskategori		Skolebygg
<hr/>		
Arealer	Yttervegger	74,2 m ²
	Tak	60 m ²
	Gulv	- m ²
	Vinduer, dører og glassfelt	10,2 m ²
Oppvarmet del av BRA		60 m ²
Oppvarmet luftvolum		156 m ³
Arealandel for vinduer, dører og glassfelt		0,17 %
<hr/>		
u-verdi	Yttervegger	0,15 W/m ² K
	Tak	0,13 W/m ² K
	Gulv	- W/m ² K
	Vinduer, dører og glassfelt	0,8 W/m ² K
Normalisert kuldebroverdi		0,03 W/m ² K
Lekasjetall		0,6 h ⁻¹
<hr/>		
Temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner		0,8 %
SFP relatert til luftmengder i driftstiden		1,5 kW/(m ³ /s)
Installert effekt for oppvarming; rom og ventilasjon		58,5 W/m ²
Settpunkttemperatur for oppvarming		19,8 ^a °C
Settpunkttemperatur for kjøling		23 °C
Installert effekt for kjøling; rom og ventilasjon		16,5 W/m ²
Driftstid ventilasjon		7-17 unntatt i juli
Driftstid oppvarming og kjøling		0-24 unntatt i juli
<hr/>		
Lys	Driftstid	7-17 unntatt i juli
	Effektbehov	4,5 W/m ²
	Varmetilskudd	4,5 W/m ²
Utstyr	Driftstid	7-17 unntatt i juli
	Effektbehov	4 W/m ²
	Varmetilskudd	4 W/m ²
Personer	Driftstid	8-16 unntatt i juli
	Antall	24 stk

^a Nattsinking mellom kl. 16 og 07. Settpunkttemperatur er da 17 °C