

Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys

Johnsen, Kjeld; Christoffersen, Jens ; Sørensen, Henrik; Jessen, Gilbert

Publication date:
2011

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Johnsen, K., Christoffersen, J., Sørensen, H., & Jessen, G. (2011). *Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys*. SBI forlag. SBI Forskning

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys



Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys

Kjeld Johnsen
Jens Christoffersen
Henrik Sørensen
Gilbert Jessen

Titel	Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys
Serietitel	SBi 2011:15
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2011
Forfattere	Kjeld Johnsen, Jens Christoffersen, Henrik Sørensen, Gilbert Jessen
Sidetæl	112
Litteratur-henvisninger	Side 68
Emneord	Solafskærmning, regulering, integreret regulering, indeklíma, optimering
ISBN	978-87-563-1522-7
Fotos	Forfatterne
Omslag	Foto: Blendex A/S
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Indhold

1. Forord	4
2. Sammenfatning og konklusion.....	5
Rapportens opbygning, læsevejledning	5
Konklusioner	7
3. Vejledning til valg af solafskærmning	8
Myndighedskrav og standarder	8
Krav i byggeprogram	12
Energikrav.....	16
Valg af facadeudformning og vinduesstørrelser	17
Termiske analyser	19
Tjekliste for facadeudformning.....	20
Valg af solafskærmning	21
Erfaringer vedrørende praktisk brug af solafskærmninger	23
Egenskaber for regulerbare afskærmninger.....	24
4. Strategier for regulering og styring	25
Regulering og styring – terminologi	25
Et strategisk diagram	26
Generelle reguleringsløsninger.....	28
5. Optimal, integreret regulering	30
Omkostningsfunktion eller optimeringsfunktion	30
Bidrag til optimeringsfunktionen.....	31
Vægtning af faktorer i optimeringsfunktionen	40
6. Demonstrationsprojekter.....	46
Udvikling og afprøvning i SBI's Dagslyslaboratorium	46
Implementering, afprøvning i demonstrationsbygninger	50
Alsion (Syddansk Universitet).....	59
Funktionsmodel, programmering og afprøvning af reguleringssystem	60
Controller funktion.....	61
Testbygning Alsion / SDU.....	66
7. Litteratur	68
Bilag 1. Litteraturstudie vedrørende praktisk brug af solafskærmninger.....	71
Bilag 2. Fuldskalaforsøg til kortlægning af visuelle parametre og brugernes grænseværdier for disse	77
Metode	77
Måleprogram.....	78
Styringsparametre, værdier og variationsområder	83
Technical data of the luminance measuring camera type LMK mobile.	84
Udendørsmålinger	85
Bilag 3. Udvikling og validering af modeller for solafskærmningers reguleringsfunktion	87
Udvikling af modeller for styring og regulering af solafskærmninger.....	87
Beskrivelse af solafskærmning og nye reguleringsformer i BSim	88
Sammenligning af reguleringsstrategier	104
Resultater.....	105
Bilag 4. Spørgeskema vedr. solafskærmning	109

1. Forord

I dagens byggeri med glasdominerede facader er anvendelsen solafskærmninger helt afgørende for det resulterende indeklima og for energiforbruget til belysning, ventilation, køling og opvarmning. Der er imidlertid mange modsætningsfyldte hensyn at opfylde i styringen af facadens systemer i samspil med rummets belysning, opvarmning og ventilation, fx mellem ønsket om at udnytte solvarmen og dagslyset mest muligt og ønsket om at begrænse overtemperaturer i sommerperioden. Mangel på data for solafskærmninger i kombination med nye rudetyper og avancerede facadeløsninger samt utilstrækkelig viden om afskærmningernes funktion i praksis har ofte ført til 'nemme løsninger' med solafskærmende ruder og kraftig ventilation med mekanisk køling og heraf følgende overforbrug af energi.

Rapporten er resultatet af PSO-projektet 'Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys'. Dette projekt har kørt parallelt med EU-projektet 'ECCO-Build' (Energy and Comfort COntrol for BUILDing management systems). Som et resultat af projekterne er der udviklet en prototype på et integreret reguleringssystem, som er blevet afprøvet både i laboratoriet og i lokaler i Syddansk Universitet i Sønderborg.

Rapporten giver et praktisk grundlag for valg af solafskærmninger og integrerede reguleringsstrategier til både nybyggeri og renoveringer inden for kontor-, erhvervs- og institutionsbyggeri. Den beskrevne regulering skelner mellem en 'indeklimastrategi' på tidspunkter, hvor der er personer i bygningen (eller det regulerede rum) og en 'energistrategi' på tidspunkter, hvor der ikke er personer. Reguleringsstrategien medtager solafskærmningens betydning for det termiske indeklima (temperatur), det visuelle miljø (blændingsforhold, lysniveau og udsyn), samtidig med at den vægter indeklimahensyn mod energihensyn (varmebehov og kølebehov).

Med integrationen af flere parametre i én reguleringsalgoritme, som optimerer brugernes oplevelse af komfort på en energirigtig måde, banes vejen for at få komponenter på markedet, som vil give en væsentlig komfortforbedring med en samtidig energimæssig besparelse. Det er interessant, at fortrængningen af el primært sker i perioder med høj sol og varme, netop de perioder hvor der ikke er behov for varmen fra kraft/varmeproduktionen. Systemkonceptet trækker derfor den rigtige vej med hensyn til mest mulig brændselsreduktion og bedre udnyttelse af elsystemets kapacitet.

Rapporten henvender sig til projekterende ingeniører og arkitekter, virksomheder der udvikler styrings- og reguleringsudstyr til solafskærmninger samt til myndigheder, der i fremtiden skal lovgive om begrænsninger i bygningers energiforbrug, herunder tilpasse reglerne for energirammeberegninger til ny teknologi.

Projektet er udført i samarbejde mellem SBI, Servodan A/S og Esbensen, Rådgivende Ingeniører FRI. SBI ønsker hermed at takke de medvirkende virksomheder for samarbejdet.

Projektet er støttet af Elnetselskabernes F&U program for effektiv el-anvendelse (PSO j. nr. 334-009).

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og miljø
Maj 2011

Søren Aggerholm
Forskningschef

2. Sammenfatning og konklusion

Ud fra en række forsknings-, udviklings- og demonstrationsaktiviteter giver rapporten en praktisk vejledning i, hvordan der kan vælges solafskærmning med tilhørende reguleringsstrategi for kontor-, erhvervs- og institutionsbyggeri. Projektets hovedformål har været at beskrive og udvikle en optimal reguleringsstrategi, der sikrer optimal termisk og visuel komfort, samtidig med at energiforbruget minimeres.

Der er to store udfordringer ved at opstille en funktion for 'optimal', integreret regulering. Den ene er, at man skal veje energiomkostninger mod komfort, den anden - og ofte endnu større udfordring - er, at man skal veje en form for komfort mod en anden form for komfort. I bygningens brugstid reguleres solafskærmningen primært for at forbedre visuel og termisk komfort, og herved påvirkes energiforbruget til belysning, opvarmning, ventilation og køling. For at tage hensyn til alle disse forhold i en matematisk formel, som udtrykker en reguleringsstrategi, er det hensigtsmæssigt i stedet for komfort at regne med diskomfort eller sandsynligheden for diskomfort. Herefter får alle bidrag til formelen samme 'fortegn' eller sagt med andre ord: Både diskomfort og energiforbrug bliver en 'omkostning' i reguleringsfunktionen. Rapporten beskriver, hvordan reguleringsfunktionen kan opbygges, og hvordan de enkelte led kan vægtes mod hinanden.

Rapportens opbygning, læsevejledning

Rapporten er opbygget, så den giver de enkelte kapitler giver en naturlig rækkefølge i forhold til de beslutninger, som skal træffes gennem projektførelsen, fra formulering af de første krav til det færdige byggeri og endelig afprøvning i praksis.

Kapitel 3: Vejledning til valg af solafskærmning

Giver en oversigt over de relevante krav i Bygningsreglementet, fra Arbejdstilsynet og i standarder. Desuden gives der en gennemgang af typiske krav formuleret i byggeprogrammet eller på anden måde, med særlig vægt på de visuelle forhold, som er vigtige i forbindelse med solafskærmninger. Dernæst gives der en beskrivelse af de nødvendige energireduktioner, som vil være nødvendige for at overholde både BR10-krav og de kommende krav i BR15 og BR20. Energiforbruget vil i stigende grad blive flyttet over på poster (belysning og ventilation), hvor solafskærmningen optimale funktion er meget vigtig for at nå de nødvendige reduktioner. Ud fra de stillede krav vedrørende indeklima og energi gennemføres en række termiske analyser, af alternative bygnings- og facadeudformninger, som munder i de endelige valg. Kapitellet giver en tjekliste for facadeudformning, som kan benyttes ved planlægning og indretning af bygninger, specielt med hensyn til samspillet mellem facade og rum. Sidst i kapitlet fokuseres på selve valget af solafskærmning med en opstilling af en lang række erfaringer vedrørende praktisk brug af solafskærmninger og en oversigt over egenskaber for de mest almindelige regulerbare solafskærmninger.

Kapitel 4: Strategier for regulering og styring

Giver en oversigt over generelle styrings- og reguleringsprincipper. Efter en kort gennemgang af almindelig terminologi for styring og regulering giver kapitlet en gennemgang af fire forskellige strategier for regulering af en solaf-

skærmning i forhold til de parametre, som der styres eller reguleres efter. Til de mest avancerede styringer hører strategier, som styrer ud fra prognoser for, hvordan vejret vil udvikle sig i de kommende timer og dage. Kapitlet afsluttes med en kort gennemgang af nogle af de typiske komponenter, som indgår i reguleringen af solafskærmninger.

Kapitel 5: Optimal, integreret regulering

Dette kapitel er hovedkapitlet for rapporten. Her redegøres for, hvordan der kan opstilles en optimeringsfunktion, som tager hensyn til alle de indeklimamæssige og energimæssige forhold, afskærmningen har indflydelse på. Energiforbrug regnes som en omkostning, og for at tage hensyn til indeklimaforholdene i en matematisk formel, som udtrykker en reguleringsstrategi, er det hensigtsmæssigt i stedet for komfort at regne med diskomfort eller sandsynligheden for diskomfort. Herved får alle bidrag til formelen samme 'fortegn' eller sagt med andre ord: Alle bidrag bliver en 'omkostning', og i den optimale regulering skal summen af omkostninger derfor være mindst mulig. Kapitlet gennemgår alle led i optimeringsfunktionen, og det beskrives fx, hvordan både blændingsproblemer, for lidt lys samt reduceret udsyn kan indregnes i optimeringen.

Sidste del af kapitlet beskriver, hvordan man kan vægte komfort mod energireduktion eller diskomfort mod energiforbrug. Hvis (sandsynligheden for) diskomfort regnes i procent (af en gruppe mennesker) kan vægtningen foretages ved at gøre energireduktionen dimensionsløs. Kapitlet beskriver dels, hvordan de forskellige komfortkriterier omsættes til sandsynligheder for diskomfort, og dels hvordan energireduktioner gøres dimensionsløse.

Kapitel 6: Demonstrationsprojekter

Kapitlet rummer beskrivelser af de gennemførte demonstrationsprojekter, først i SBI's Dagslyslaboratorium, dernæst i Syd Energi's domicil i Sønderborg og endelig i Syddansk Universitet i Sønderborg. Alle demonstrationsprojekterne gennemførtes med prototyper på det planlagte reguleringssystem. Det var projektets ambition at udvikle en avanceret kontrolenhed, kaldet ECCO-controlleren, som kommunikerede med et 'switch-board' via signaler på en EIB-Bus (European Installation Bus). Selve ECCO-controlleren rummer flere software programmer, der i prototypen kører på en bærbar computer. Hovedtanken bag ECCO-controlleren var, at den med tiden vil lære de 'vaner/handlinger' som en bruger af kontoret normalt udfører (adaptiv regulering). Det kan fx være, hvornår man kommer på kontoret om morgenen og forlader det om eftermiddagen, hvornår man går til frokost, hvilken indendørstemperatur, der foretrækkes, hvilken position persiennen har, når det er direkte solskin, tærskel for hvornår brugeren tænder og slukker for loftsbelysningen osv. Softwaren blev løbende udviklet og afprøvet gennem en række test-kørsler, software-opdateringer og hardware-justeringer i laboratorier i Europa (EPFL, ISE og SBI). Selve kommunikationen på EIB-Bus fungerede fint, men desværre fungerede softwaren ikke tilfredsstillende, især ikke den implementerede dagslysmode, som var en væsentlig del af softwarepakken. Projektet endte derfor med en reduceret version af reguleringsenheden, som kun integrerede regulering af solafskærmning og kunstlys. Denne type regulering blev afprøvet i Syddansk Universitet i Sønderborg.

Sidst i kapitlet gives derfor en kort beskrivelse af reguleringsenheden, idet dens struktur og de enkelte funktioner for regulering af solafskærmningen og lyset beskrives. Selve kontrolfunktionen fungerede via software i en pc.

Kapitel 7: Litteratur

Rapporten afsluttes med en omfattende litteraturliste, som bl.a. indeholder de referencer, der er brugt i litteraturstudiet vedrørende praktisk brug af solafskærmninger.

Sidst i rapporten findes fire bilag, som mere i detaljer dokumenterer de undersøgelser, der har været gennemført i forskningsprojektet:

Bilag 1. Litteraturstudie vedrørende praktisk brug af solafskærmninger

Bilag 2. Fuldskalaforsøg til kortlægning af visuelle parametre og brugernes grænseværdier for disse

Bilag 3. Udvikling og validering af modeller for solafskærmningers reguleringsfunktion

Bilag 4. Spørgeskema vedr. solafskærmning

Konklusioner

I det følgende oplystes en række konklusioner, som er baserede på de erfaringer, som er indhentet gennem hele projektforsøget, og ud fra beregninger, som er gennemført med BSim med forskellige reguleringsstrategier.

- Det er muligt at udvikle en integreret regulering som både optimerer brugerens komfort og reducerer bygningens samlede energiforbrug.
- Regulerbare solafskærmninger kan reducere det samlede energiforbrug (hvor elforbrug vægtes med faktor 2,5) med 5 - 20 %
- Den optimale integrerede solafskærmning vil typisk kunne reducere det samlede energiforbrug med 15 - 20 %.
- Belysningsstyrken målt på et lodret plan ved brugerens øjenposition er et godt mål for oplevelsen af generende blænding eller visuel diskomfort fra vinduer. Dette kan implementeres i en integreret regulering af solafskærmninger.
- Praxis viser, at blænding fra vindue/afskærmning samt refleksioner i edb-skærme er de hyppigste årsager til regulering af solafskærmninger.
- Den ofte anvendte Cutt-off strategi, som lukker af for direkte sollys, vil generelt ikke forhindre blænding.
- En konsekvent regulering for at forhindre blænding må påregnes at medføre et ekstra energiforbrug på 10 - 15 %.
- For at opnå den størst mulige energibesparelse er det derfor afgørende, at afskærmningen (kun) reguleres efter indeklima, når der er personer til stede i bygningen eller det aktuelle rum, mens der reguleres efter energi på alle andre tidspunkter.
- Manuelt betjente solafskærmninger reguleres kun ved radikale ændringer i vejrforholdene, eller når der opstår helt uacceptable visuelle forhold
- Motoriserede, manuelt fjernbetjente afskærmninger betjenes tre gange så hyppigt som manuelt betjente.

3. Vejledning til valg af solafskærmning

Dette kapitel beskriver en fremgangsmåde til analyse af mulige solafskærmningsprincipper og valg af den optimale løsning, inklusive reguleringsstrategier. Beskrivelsen angiver ikke en udtømmende og komplet fremgangsmåde, idet der ofte forekommer specielle forhold som skal inddrages i projekteringsovervejelserne, men metoden kan betragtes som en generel fremgangsmåde der sikrer, at vigtige beslutninger, som betyder meget for brugernes komfort og for bygningens energiforbrug træffes i en hensigtsmæssig rækkefølge.

Kapitlet beskriver en række af de forhold, som de projekterende skal forholde sig til og træffe beslutninger om i planlægningen og projekteringen af et byggeri, for bedst muligt at opfylde bygherrens ønsker. Beskrivelsen omfatter følgende punkter:

- Myndighedskrav og standarder
- Krav i byggeprogram
- Energikrav
- Valg af facadeudformning og vinduesstørrelse
- Termiske analyser
- Tjekliste for facadeudformning
- Valg af solafskærmning
- Erfaringer vedrørende praktisk brug af solafskærmninger
- Egenskaber for regulerbare afskærmninger

Myndighedskrav og standarder

Dette afsnit giver en kort oversigt over de myndighedskrav, der findes vedrørende solafskærmninger og dagslysforhold. Der er tale om krav og vejledninger fra Erhvervs- og Byggestyrelsen (Bygningsreglement 2010), Arbejdstilsynets At-vejledning A.1.11: Arbejdsrum på faste arbejdssteder samt At-vejledning A.1.2: Indeklima. Vejledning om de hyppigste årsager til indeklima-gener samt mulige løsninger, standarderne DS 474: Norm for specifikation af termisk indeklima og DS CR 1752: Ventilation i bygninger - Projekteringskriterier for indeklimaet samt fra en ny standard, DSF 3033: Klassifikation af indeklimaets kvalitet i boliger skoler, daginstitutioner og kontorer, som giver et grundlag for en frivillig mærkningsordning for bygninger (under færdiggørelse foråret 2011).

Myndighedskrav ændres fra tid til anden. Det er derfor den projekterendes ansvar at holde sig orienteret om, hvorvidt der er ændringer i forhold til de krav, der er angivet i dette kapitel. Det bemærkes endvidere, at der findes en række krav vedrørende sikkerhed og brand, som ikke er omtalt i de følgende oversigter.

Bygningsreglement 2010

De vigtigste krav i Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) vedrørende vinduer, dagslys og solafskærmning er gengivet i tabel 1. Tabellen gengiver også den vejledningstekst, der er knyttet til kravene.

Tabel 1. Krav og vejledning i Bygningsreglement 2010 vedrørende dagslys, solafskærmning og udsyn.

BR Kravtekst	BR vejledning
BR Kapitel 6: Indeklima	
Afsnit 6.5 Lysforhold	
6.5.1 Lysforhold Generelt	
Stk. 1. Arbejdsrum, opholdsrum, beboelsesrum og fælles adgangsveje skal have tilfredsstillende lys, <u>uden at det medfører unødvendig varmebelastning.</u>	(6.5.1, stk. 1) Tilfredsstillende lys skal vurderes i sammenhæng med de aktiviteter og arbejdsopgaver, som planlægges i rummet. Kravet om dagslys skal ses i sammenhæng med almene sundhedsmæssige aspekter af dagslyset. Mængden af dagslys har endvidere indflydelse på energiforbruget til elektrisk belysning.
6.5.2 Dagslys	
Stk. 1. Arbejdsrum, opholdsrum i institutioner, undervisningslokaler, spisestuer, benævnt i det følgende arbejdsrum mv. samt beboelsesrum skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er vel belyste. Vinduer skal udføres, <u>placeres og eventuelt afskærmes, så solindfald gennem dem ikke medfører overophedning i rummene, og så gener ved direkte solstråling kan undgås.</u>	(6.5.2, stk.1) I arbejdsrum kan dagslyset i almindelighed anses for at være tilstrækkeligt, når rudearealet ved sidelys svarer til mindst 10 pct. af gulvarealet eller ved ovenlys mindst 7 pct. af gulvarealet, forudsat at ruderne har en lystransmittans på mindst 0,75. De 10 pct. og 7 pct. er vejledende ved normal placering af bygningen samt normal udformning og indretning af lokalerne. Såfremt vinduestypen er ukendt, kan omregning fra karmlysningsareal til rudeareal ske ved at multiplicere karmlysningsarealet med faktoren 0,7. Rudearealet skal forøges forholdsmæssigt ved reduceret lysgennemgang (fx solafskærmende ruder) eller formindsket lysadgang til vinduerne (fx ved tætliggende bygninger). Dagslyset kan ligeledes anses for at være tilstrækkeligt, når det ved beregning eller måling kan eftervises, at der er en dagslysfaktor på 2 pct. ved arbejdspladserne. Ved bestemmelse af dagslysfaktoren tages der hensyn til de faktiske forhold, herunder vinduesudformning, rudens lystransmittans, samt rummets – og omgivelsernes karakter. Der henvises til By og Byg Anvisning 203: Beregning af dagslys i bygninger samt SBI-anvisning 219: 'Dagslys i rum og bygninger' (Johnsen & Christoffersen, 2008).
Stk. 2. Arbejdsrum m.v. og beboelsesrum skal forsynes med vinduer, <u>der er anbragt, så personer i rummene kan se ud på omgivelserne.</u>	(6.5.2, stk. 2) Udsynet eller udsigten til omgivelserne er en af de vigtigste faktorer for oplevelsen af rummet. Arbejdsrum m.v. og beboelsesrum, der primært belyses via ovenlys, skal altid forsynes med sidevinduer, så der etableres udsyn til omgivelserne.

Arbejdstilsynet

Arbejdstilsynets At-Vejledning A.1.11 (Arbejdstilsynet, 2007), som oplyser om krav til arbejdsrum, hvori der beskæftiges ansatte, angiver i pkt. 7 kravene vedrørende dagslysforhold og afskærmning, jf. tabel 2.

At-Vejledning A.1.2 (Arbejdstilsynet, 2001) vejleder om de hyppigste årsager til indeklimagener samt mulige løsninger, herunder generel vejledning om lyset i rummet, blænding samt kunstlys, jf. tabel 2.

Tabel 2. Uddrag af Arbejdstilsynets vejledninger vedrørende lys og indeklima med kommentarer og henvisninger til nærværende anvisning.

At-vejledning A.1.11, juni 2007. Arbejdsrum på faste arbejdssteder. (Arbejdstilsynet, 2007).

7. Dagslys (uddrag)

Vinduer og ovenlys skal være udført, placeret og eventuelt afskærmet således, at de ikke medfører blænding, overophedning eller generende kuldenedfald. Vær også opmærksom på blænding fra reflekser. Det skal sikres, at vinduer, der kan åbnes, ikke udgør en sikkerhedsmæssig risiko. Det er derfor ofte nødvendigt at etablere udvendig solafskærmning ved vinduer med direkte sollysindfald. Det gælder således ved vinduer mod øst, syd og vest, og især hvis glasarealet udgør en væsentlig del af væggarealet.

At-vejledning A.1.2, januar 2008. Indeklima. Vejledning om de hyppigste årsager til indeklimagener samt mulige løsninger. (Arbejdstilsynet, 2008).

2.1. Temperatur og træk (uddrag)

Temperatur og påklædning skal passe til den fysiske aktivitet.

En temperatur på 20-22 °C er passende ved let fysisk aktivitet i fx skoler, daginstitutioner og kontorer. Ved temperatur på 23°C eller derover stiger antallet af klager over indeklimasymptomer ofte, og der bør træffes foranstaltninger til at nedbringe temperaturen. Temperaturen ved stillesiddende arbejde og normale klima- og arbejdsforhold må ikke overstige 25 °C.

Temperaturen kan blive for høj, hvis lokalerne får tilført mere varme, end de kan afgive. Varme kan både komme ude- og indefra. Varme udefra skyldes fx sol gennem store vinduer, dårligt isolerede ydervægge eller at bygningen har dårligt isoleret fladt tag. Varme indefra skyldes fx personer, varmeanlæg, belysningsanlæg, elektriske maskiner som fx pc'er og fotokopimaskiner.

2.4. Lys (uddrag)

Belysningen skal - udover at give lys til arbejdet - oplyse rummet på en behagelig måde. Vinduer skal give mulighed for udsyn.

Uhensigtsmæssig belysning kan fx være blænding fra dagslys, dårlige belysningsanlæg eller forkert belysning til skærmarbejde. Mere...

DS 474. Norm for specifikation af termisk indeklima.

Standarden (Dansk Standard, 1993) opstiller en række krav for at sikre brugerne et acceptabelt termisk indeklima. En stor del af standarden omhandler generelle krav, dokumentation og målinger af termisk indeklima. Standarden definerer ikke absolutte krav, men beskriver, hvordan kravene skal opstilles. Figur 1 fra standarden er således en vejledende tabel for krav til de termiske indeklimaparametre.

<i>Generelle påvirkninger:</i>		
Operativ temperatur i opholdszonen (t_o): (beklædning: ca. 1,0 clo)		$20\text{ °C} < t_o < 24\text{ °C}$
sommerforhold dog: (beklædning: ca. 0,5 clo)		$23\text{ °C} < t_o < 26\text{ °C}$
<i>Lokale påvirkninger:</i>		
Middellufthastighed	se fig. V 2.3 b	
Forskel i vertikal lufttemperatur mellem 1,1 m og 0,1 m over gulvet (Wt_a)		$\Delta t_a < 3\text{ °C}$
Strålingstemperaturasymmetri ved vinduer og andre kolde vertikale overflader i forhold til en lille vertikal flade 0,6 m over gulvet (Wt_{pr})		$\Delta t_{pr} < 10\text{ °C}$

Figur 1. Vejledende tabel for opstilling af krav til de termiske indeklimaparametre i DS 474.

Ved valg af regulering og reguleringsstrategi skal tolerancerne for de valgte krav defineres med omtanke. Specielt ved integreret regulering, hvor flere hensyn og krav skal opfyldes samtidig, har tolerancerne stor betydning for indeklima og energiforbrug.

I praksis anvendes ofte vejledningen i DS 474 for temperaturoverskridelser, som siger: 'For varme dage med let sommerbeklædning og stillesiddende aktivitet kan kravet være, at den operative temperatur i opholdstiden højst må overskride 26 °C i 100 timer og 27 °C i 50 timer i løbet af et typisk år'.

DS CR 1752 Ventilation i bygninger - Projekteringskriterier for indeklimaet

Denne tekniske rapport eller DS Information benyttes ofte ved fastlæggelsen af designkriterier for indeklimaet i større bygninger. Efter denne er det muligt at klassificere kvaliteten af indeklimaet i klasserne A-C. DS CR 1752 belyser også nogle af de konflikter, som kan opstå, når der er modsætninger mellem de opstillede kriterier. Det anvendte princip for definition af indeklimaets kvalitet er også benyttet i opstillingen af den integrerede reguleringsstrategi, som beskrives i Kapitel 5: Optimal, integreret regulering: 'Kvaliteten af indeklimaet kan udtrykkes som den grad i hvilken menneskelige behov bliver opfyldt. Behovet varierer imidlertid fra individ til individ. Nogle mennesker er mere følsomme over for en faktor i indeklimaet og er svære at tilfredsstille, hvorimod andre er mindre følsomme og lettere at tilfredsstille. En måde at behandle disse individuelle forskelligheder er at beskrive kvaliteten af et indeklima ved procentdelen af personer, der finder en klimaparameter uacceptabel (= % utilfredse). Hvis der er få utilfredse, er kvaliteten af indeklimaet høj. Hvis der er mange utilfredse, er kvaliteten lav. Forudsigelse af procentdelen af utilfredse anvendes til at opstille betingelser for det termiske indeklima og ventilationen. En forventet værdi svarer ikke nødvendigvis til den aktuelle procentdel utilfredse i praksis, hvor også andre faktorer såsom stress kan influere'. Figur 2 viser en tabel med design-kriterierne.

Type of building/ space	Activity met	Occupancy person/ m ²	Category	Operative temperature ^{b)}		Maximum mean air velocity		Sound pressure dB (A)	Ventilation rate l/s × m ²	Additional ventilation when smoking is allowed ^{c),d)} l/s × m ²
				Summer (cooling season) °C	Winter (heating season) °C	Summer (cooling season) m/s	Winter (heating season) m/s			
Single office (cellular office)	1,2	0,1	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	2,0	—
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	1,4	—
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	0,8	—
Landscaped office	1,2	0,07	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	35	1,7	0,7
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	40	1,2	0,5
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	45	0,7	0,3
Conference room	1,2	0,5	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	6,0	5,0
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	4,2	3,6
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	2,4	2,0
Auditorium	1,2	1,5	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	16 ^{e)}	—
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	33	11,2	—
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	35	6,4	—
Cafeteria or restaurant	1,2	0,7	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	35	8,0	—
			B	24,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,22	0,18	45	5,6	5,0
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,25	0,21	50	3,2	2,8
Classroom	1,2	0,5	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	6,0	—
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	4,2	—
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	2,4	—
Kindergarten	1,4	0,5	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,16	0,13	30	7,1	—
			B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,5	0,20	0,16	40	4,9	—
			C	23,5 ± 2,5	20,0 ± 3,5	0,24	0,19	45	2,8	—
Department store	1,6	0,15	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13	40	4,2	—
			B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15	45	3,0	—
			C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18	50	1,6	—

NOTES

a) This table applies for the occupancy listed in the table and for a ventilation effectiveness of one.

b) For many types of buildings and spaces with moderate heating or cooling loads the air temperature will be approximately equal to the operative temperature. For design, the upper end of the temperature range can be used during summer and the lower end during winter.

c) Additional ventilation required for comfort when 20 % of the occupants are smokers. The health risk of passive smoking shall be considered separately.

d) Where no value is listed, data from Table 2 may be used.

e) It may be difficult to meet the Category A draught criteria.

Figur 2. Tabel med design-kriterier fra DS CR 1752.

DSF 3033 Frivillig klassifikation af indeklimaets kvalitet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer.

Standarden giver grundlaget for en ny dansk, frivillig mærkningsordning til klassifikation af indeklimaets kvalitet (indeklimastandard). Med klassifikationen kan bygningsejere og -brugere få vurderet indeklimaet i de bygninger, hvor de opholder sig. Klassifikationen er baseret på målinger og vurderinger af de væsentligste indeklimaforhold.

Tabel 3 giver en oversigt over klassificeringsgrænserne vedrørende dagslys og solafskærmninger for kontorer.

Tabel 3. Uddrag af DSF 3033: Klassifikation af indeklimaets kvalitet i boliger skoler, daginstitutioner og kontorer, der angiver klassegrænser for solafskærmninger i forbindelse med vurdering af dagslys.

Klassegrænser, kontorer					
Parametre/ værdier	A++	A+	A	B	C
Dagslysfaktor	>5	>3	>2	>1	<1
Solafskærmning, vinduer, syd $\pm 150^\circ$	Regulerbar, der kan blokere for direkte sollys m. automatisk plus manuel regul., kan trækkes helt fra	Regulerbar afskærmning, der kan blokere for direkte sollys og trækkes helt fra	Regulerbar afskærmning, der kan blokere for direkte sollys (fx 'fast' persienne)	Afskærmning, der ikke kan blokere for direkte sollys	Ingen, eller fast afskærmning, der ikke kan blokere for direkte sol
Solafskærmning, nord $\pm 30^\circ$	Bevægelig afskærmning, der kan blokere for direkte sollys og trækkes helt fra		Afskærmning, der kan blokere for udsyn til himlen (kraftigt, diffust himmellys) (fx gardin)	Afskærmning, der ikke kan blokere for udsyn til himlen	Ingen afskærmning

Krav i byggeprogram

Udover krav i Bygningsreglement, normer og standarder angiver byggeprogrammet en række krav vedrørende komfort og regulering, som vil være udgangspunktet for den videre projektering af vinduer, facader og afskærmning. På baggrund af programmet og dialog med bygherren skal fx følgende spørgsmål afklares:

- Hvordan er hvilke typer af lokaler orienteret efter verdenshjørnerne?
- Hvilke maksimale rumdybder for permanente arbejdspladser er forudsat?
- Hvilke komfortkrav forventer bygherren opfyldt i den færdige bygning?
- Hvilket brugsmønster/samtidighed skal der planlægges for?
- Er der særlige krav til betjening/automatisering og fleksibilitet i indretningen, der skal tages højde for?

Tilsvarende bør der ved formulering af byggeprogrammer tages højde for ovenstående sammenhænge, således at der allerede i byggeprogrammet gøres rede for bygherrens krav og forventninger til komfort og energiforbrug. Især i forbindelse med de skærpede energikrav i bygningsreglementet, som trådte i kraft 2010, er det vigtigt at for de projekterende at kende muligheder og begrænsninger så tidligt som muligt i projekteringsfasen for at kunne optimere bygningens udformning og tekniske løsninger i en integreret proces.

Termisk indeklima

Brugerens oplevelse af temperatur, kulde- og varmestråling er bestemt af en række parametre: lufttemperatur, strålingstemperatur, middel lufthastighed, turbulensintensitet og relativ fugtighed samt to personvariable: påklædning og aktivitetsniveau.

Ved med fastlæggelse af krav til det termiske indeklima henvises ofte til DS 474 eller DS CR 1752 med angivelse af de tilladelige variationer i *den operative temperatur*, som er middelværdien af lufttemperaturen og strålingstemperaturen på det lokale sted i rummet. For arbejdspladser nær ved store vinduer og glasfacader har *strålingstemperaturen* stor betydning for komforten, og specielt skal man være opmærksom på strålingsasymmetri, som udtrykker i hvor høj grad der er forskel på strålingstemperaturer fra flader, der omgiver personen. Her angiver DS 474 en maksimal tilladelig forskel i strålingstemperatur på 10 °C, målt på de to sider af en lodret flade. Ved anvendelse af indvendige, specielt mørke solafskærmninger, kan dette krav betyde, at der ikke kan placeres arbejdspladser tæt ved facaden, idet overfladetemperaturen på afskærmningen kan komme over 40 °C.

Visuelt indeklima

Solafskærmningen har også stor betydning for det visuelle indeklima, idet den påvirker alle de forhold, som har betydning for den visuelle oplevelse af rum og omgivelser. Her er det endvidere vigtigt at bemærke, at oplevelse af komfort eller diskomfort er betydelig mere individuel for de visuelle parametre end for de termiske, hvilket betyder, at det kan være vanskeligt at forudsige den optimale regulering af fx solafskærmningen i et givet rum. De vigtigste parametre i det visuelle miljø er gennemgået nedenfor.

Blænding

I forbindelse med simulering af bygningers termiske indeklima antages det ofte, at brugerne trækker afskærmningen for, når indetemperaturen bliver for høj. Adskillige undersøgelser viser, at dette ikke er tilfældet. Brugere lukker primært solafskærmningen mere i, når de føler sig generet af direkte sollys eller af en lys himmel med høj luminans. Derfor er *blændingen* den vigtigste parameter for, hvordan solafskærmningen bør reguleres, uanset om det sker automatisk eller om der forudsættes en manuel regulering. Der skelnes mellem to former for blænding:

Synsnedsættende blænding (også kaldet fysiologisk blænding), som fx kendes fra skærmarbejdspladser, hvor skærmen er anbragt op mod et vindue, og hvor blændingen stammer fra direkte solindfald fra vinduer, eller fra solreflekser i andre vinduer, parkerede biler, snedækkede overflader eller lignende. Blændingens skyldes en slørende spredning af lyset i øjet, hvorved kontrastfølsomheden nedsættes drastisk, således at kun emner, hvor der er en meget stor forskel mellem lys og mørke kan skelnes. Solafskærmningens vigtigste funktion er at reducere generne af synsnedsættende blænding. De metoder, som findes til at beregne blænding, er udviklet til at regne på mindre lyskilder, typisk i forbindelse med kunstlys. Derimod findes der endnu ikke en internationalt anerkendt måde at måle (synsnedsættende) blænding fra vinduer eller solafskærmninger (store lyskilder). I EU-projektet ECCO-Build (2002-2006), som har kørt parallelt med nærværende projekt, er der udviklet en ny og mere praktisk anvendelig metode, som beskrevet i Bilag 2. Fuldskalaforsøg til kortlægning af visuelle parametre og brugernes grænseværdier for disse samt i Wienold & Christoffersen (2006). Denne metode søges indarbejdet gennem internationalt standardiseringsarbejde.

Ubehagsblænding (undertiden kaldt psykologisk blænding) er den fornemelse af ubehag og irritation, der skyldes en lysgiver med høj luminans i forhold til en mørkere baggrund. Ubehagsblænding kan optræde, når en person har direkte indkig til en lyskilde i et armatur, eller når direkte sollys kan passere gennem små åbninger i en solafskærmning, fx gennem hullerne til snoretræk i en persienne. Ubehagsblænding karakteriseres ved blændingstallet, som beregnes ved UGR-metoden (Unified Glare Rating), som er en internationalt anerkendt metode til beregning af ubehagsblænding (CIE, 1995).

Belysningsstyrke og luminansfordeling

Kravene til belysningsstyrken i rummet eller på arbejdsobjektet er beskrevet i DS 700 (Dansk Standard, 2005) for forskellige typer bygninger og rum. Desværre bliver belysningsstyrken ofte brugt som den eneste parameter til at beskrive belysningen, selv om den i sig selv intet siger om den oplevede belysningskvalitet i rummet. DS 700 angiver også krav og vejledning vedrørende en række andre parametre såsom luminansforhold, formtegning og skyggedannelse, lysets farveegenskaber, blændingsforhold m.fl. Tilsammen kan disse egenskaber udtrykke noget om lysets kvalitet i forhold til en given opgave eller en oplevelse af rummet, mens den enkelte parameter i sig selv ikke siger så meget. Flere af de angivne krav er desuden formuleret som krav vedrørende kunstig belysning, og kan derfor ikke uden videre overføres til krav for dagslys. Mange undersøgelser har vist, at der generelt er langt større tolerance overfor dagslys end for kunstlys med hensyn til afvigelse fra en idealtilstand. I forbindelse med solafskærmning har det naturligvis betydning, at der tages højde for, at solafskærmningen i visse tilfælde kan reducere dagslyset så meget, at der bliver behov for at tænde mere kunstlys.

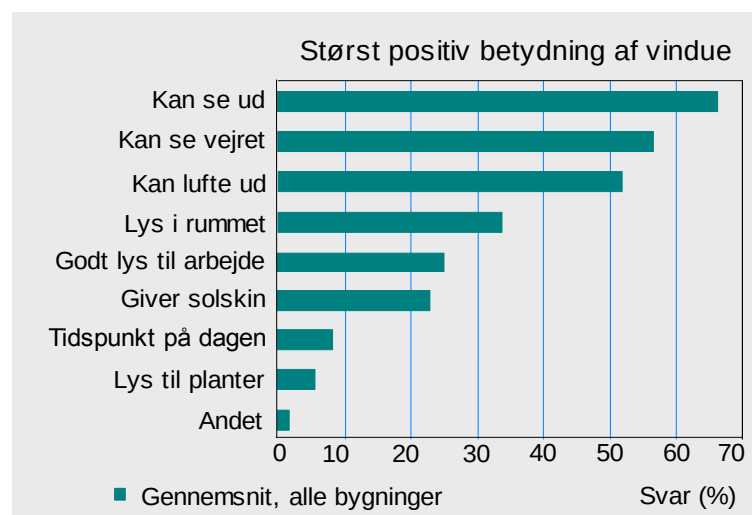
Lysets farve og farvegengivelse

For kunstlys angives farvegengivelse af lyskilder og -armaturer ved et farvegengivelsesindekset R_a , der er et udtryk for en lyskildes evne til at gengive farver korrekt. Den højst opnåelige værdi for R_a indekset er 100, som gælder for dagslys. Alle ruder forandrer farven på dagslyset og forringer farvegengivelsen. R_a er udviklet til vurdering af kunstlys, specielt lysstofrør, og er ikke særligt egnet ved vurdering af farvegengivelsen af lys, som passerer en rude. Da der endnu ikke er udviklet en bedre metode til beskrivelse af lysets farvegengivelse, anvendes R_a indekset også for glas og ruder, men det bør altså kun opfattes som en indikator. I en typisk rude vil hvert glas og hver energibelægning typisk reducere R_a indekset med 1-1,5 %, afhængigt af glastykkelsen. Det betyder, at en 2-lags energirude har en R_a værdi på ca. 96 mens en 3-lags rude ligger på 93-94. For ruder med solafskærmende belægninger bliver R_a værdien lidt lavere, samtidig med at lyset farves og mængden af transmitteret lys reduceres markant.

For at bevare en god farvegengivelse bør solafskærmninger have 'neutrale' farver (hvid-grå), således at dagslysets farve og dets farvegengivelse ændres mindst muligt.

Udsyn, udsigt og indblik

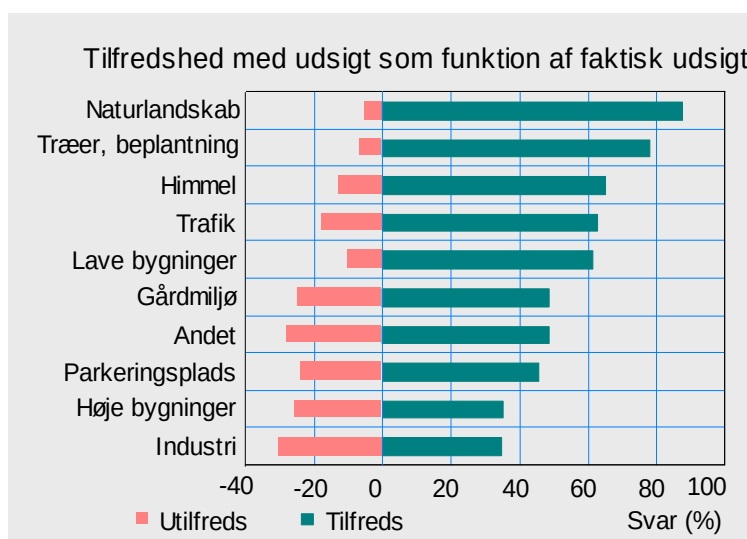
Brugerne opfatter udsynet (udsigten og det at kunne følge med i vejret udenfor) samt dagslyset i rummet blandt de vigtigste positive egenskaber ved vinduer, jf. den store undersøgelse i kontorbygninger, som SBI gennem-



Figur 3. Resultatet af 1800 kontoransattes vurdering af, hvilke forhold der har størst positiv betydning ved vinduet (der var mulighed for at vælge 3 forhold). At kunne se ud og følge med i vejret er vigtigst.

førte i 1999 (Christoffersen et al., 1999), se figur 3. Derfor bør disse faktorer prioriteres højt ved planlægningen af bygningsfacaden. Vinduer fra gulv til loft giver mulighed for fuld udsigt fra rummet, men i praksis må glasfacader mod øst, syd eller vest nødvendigvis forsynes med en effektiv solafskærmning. Ved valg af facadeløsning må projekterende derfor nøje overveje, hvordan brugernes ønsker samt hensyn til energieffektivitet og til æstetik bedst muligt kan forenes. I stedet for at designe en facade med 100 % glas og 50 % lystransmittans, så bør det i mange tilfælde analysere, fx gennem *BSim*-beregninger (Wittchen, Johnsen og Grau, 2010), om en facade med 60 % glas og 80 % lystransmittans vil give bedre lys og rumoplevelse, samtidig med et lavere energiforbrug.

Den faktiske udsigt har også stor betydning for oplevelsen af kvaliteten i rummet, man befinder sig i, jf. figur 4. Hvis der er en smuk eller interessant udsigt fra et rum, er det naturligvis særlig vigtigt, at der anvendes en solafskærmning, som i størst mulig udstrækning giver mulighed for at bevare udsigten samtidig med, at der skærmes af for solen.



Figur 4. Resultatet af 1800 kontoransattes tilfredshed eller utilfredshed med den faktiske udsigt fra deres kontor. Naturlandskab, træer og beplantning giver størst tilfredshed, mens industri, høje bygninger og parkeringspladser giver størst utilfredshed.

Solafskærmningens evne til at lukke af for indblik udefra er for mange mennesker lige så vigtigt som det at kunne se ud. Afhængigt af hvor bygningen ligger placeret, og hvor tæt man kan komme på vinduerne udefra, bør dette aspekt indgå i planlægningen af facadens udformning og bygningens indretning. Mens fx en persienne normalt kan lukke helt af for omgivelserne, vil et rullegardin eller en screendug med en vis åbningsgrad give gennemsyn fra den side, hvor der er mindst lys. Det betyder fx, at man kan kigge ud gennem rullegardinet om dagen, mens man kan kigge ind udefra, når det er mørkt udenfor.

Reflekser

Generende reflekser fra omgivelserne optræder ofte i forbindelse med at sollyset reflekteres fra modstående bygninger eller parkerede biler, således at personer udsættes for synsnedsættende blænding, se blænding side 13. Ved planlægningen og indretning af en bygning bør risikoen for blænding fra omgivelserne nøje vurderes, men i praksis overses dette problem ofte, fordi det især optræder i rum med vinduer mod nord. Figur 5 viser et eksempel på en bygning, hvor der er anvendt meget kostbare glaslameller som afskærmning på de sydvendte facader, men hvor man overså problemet med reflekser fra sydfacaderne mod de overfor liggende nordfacader. Som følge af problemet har det efter indflytningen været nødvendigt at montere indvendige solafskærmninger i de nordvendte facader.

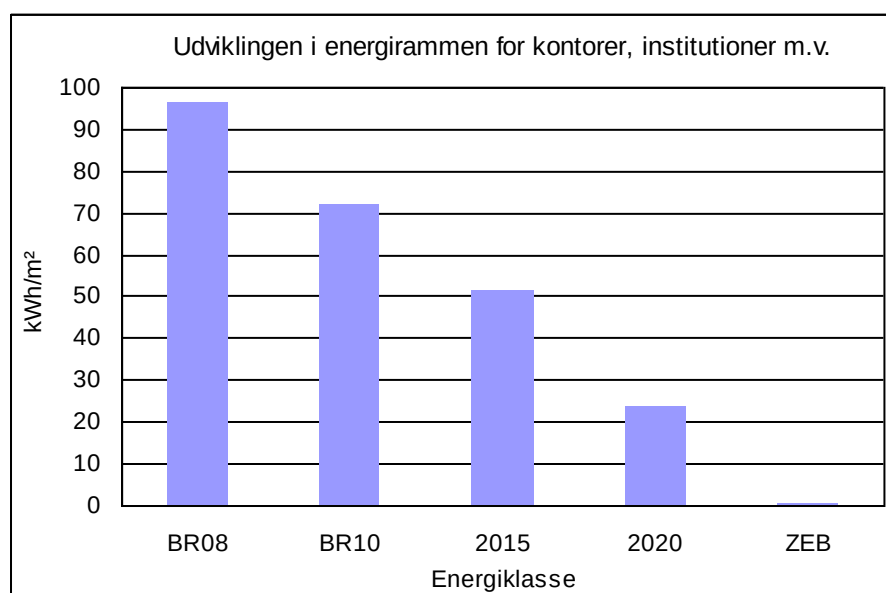


Figur 5. Udsigt gennem nordfacader i en kontorbygning. På grund af generende reflekser fra sydfacaden af den modstående bygning, har det været nødvendigt at montere indvendige screen mod nord.

Energikrav

Formålet med at udvikle en integreret regulering er at man vil optimere balancen mellem indeklima og energiforbrug, dvs. man vil opfylde de stillede indeklimakrav og samtidig holde sig inden for den givne energiramme. I forbindelse med indførelse af stramningerne i Bygningsreglementet vedr. bygningers energiforbrug er det blevet nødvendigt at skabe mere sammenhængende energiløsninger i byggeriet. Målet med stramningerne har været at bidrage til en reduktion af energiforbruget generelt og at indføre et vægtet energiforbrug, som tager hensyn til, at el-forbrug medfører en række forøgede miljømæssige påvirkninger ift. varmekonsum. I energirammen som gælder for nybyggeri og visse renoveringsprojekter, udtrykkes det gennem en relativ vægtning af elforbruget med en faktor 2,5 i forhold til varmeenergi. I forbindelse med regulering af solafskærmning, kunstlys og ventilation vil dette få betydning, idet elforbruget til kunstlys og ventilation vægtes 2,5 i forhold til energiforbruget til opvarmning. En besparelse på et absolut antal kWh el betyder således 2,5 gange mere i det vægtede energiforbrug i forhold til en tilsvarende absolut besparelse i energiforbruget til opvarmning.

Figur 6 viser, hvordan Bygningsreglementets krav til energirammen for kontorer, skoler, institutioner m.m. har udviklet sig de sidste år, og hvad planen er frem til 2020. Der er tale om bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og belysning pr. m² opvarmet etageareal. ZEB er 'zero energy buildings'.

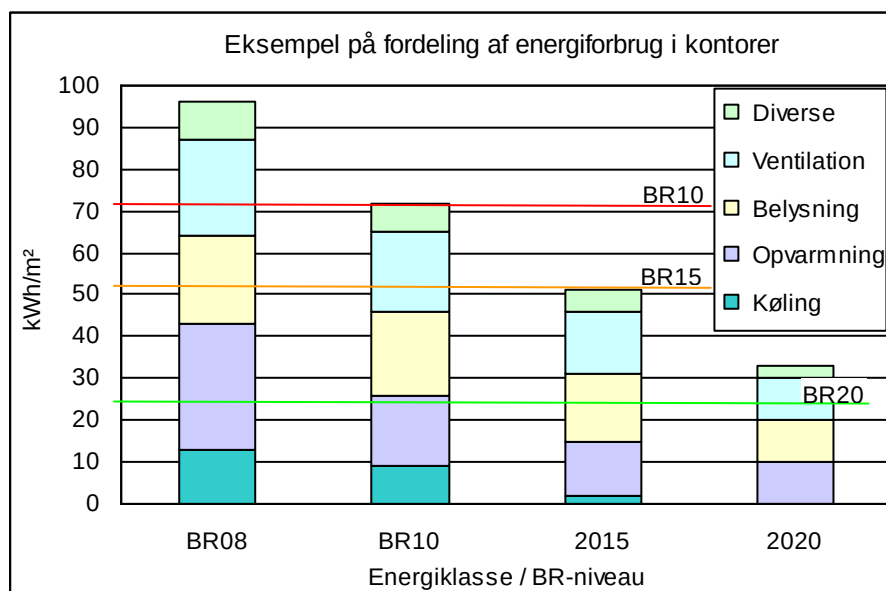


Figur 6. Udviklingen i Bygningsreglementets energiramme, dvs. behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand, for kontorer, skoler, institutioner m.m. fra 2008 til 2020.

Der er tale om meget markante reduktioner af energiforbruget, som vil betyde, at de fleste bygninger allerede fra 2015 selv skal producere en del af den nødvendige energi. Figur 7 viser en typisk fordeling af energiforbruget/bruttobehovet i 2008 og 2010, og de forventelige ændringer frem mod 2020. Den store reduktion fra 2008 til 2010 ligger på opvarmningen, hvor 3-lags ruder og reduceret vinduesareal næsten vil kunne halvere opvarmningsbehovet. Det reducerede vinduesareal betyder mindre ventilations- og kølebehov, mens en gradvis (langsom) introduktion af mere energieffektiv (LED-) belysning kun vil give en lille reduktion af elforbruget til belysning.

Energifordeling som den tegner sig for 2015 er udtryk for, hvor langt det samlede energiforbrug kan presses ned ved 'passive' tiltag, dvs. ved at forbedre klimaskærm, installationer og regulering. Yderligere reduktioner vil nødvendigvis enten kræve dynamiske, mere intelligente løsninger eller direkte energiproduktion af bygningen selv (solceller, små vindmøller, etc.).

For at opnå et totalt samspil mellem klimaskærm og installationer vil der være et stærkt behov for integrerede reguleringssystemer, der kan sikre, at der hele tiden sker en indeklimate optimering inden for de enkelte rums brugstid, mens der sker en energioptimering uden for brugstiden.



Figur 7. Typisk fordeling af energiforbrug i en kontorbygning inden for Bygningsreglementets gældende og kommende krav til energiramme. Frem mod 2015 vil der være et stigende krav om bedre optimering af facade og installationer i form af integrerede reguleringssystemer.

Valg af facadeudformning og vinduesstørrelser

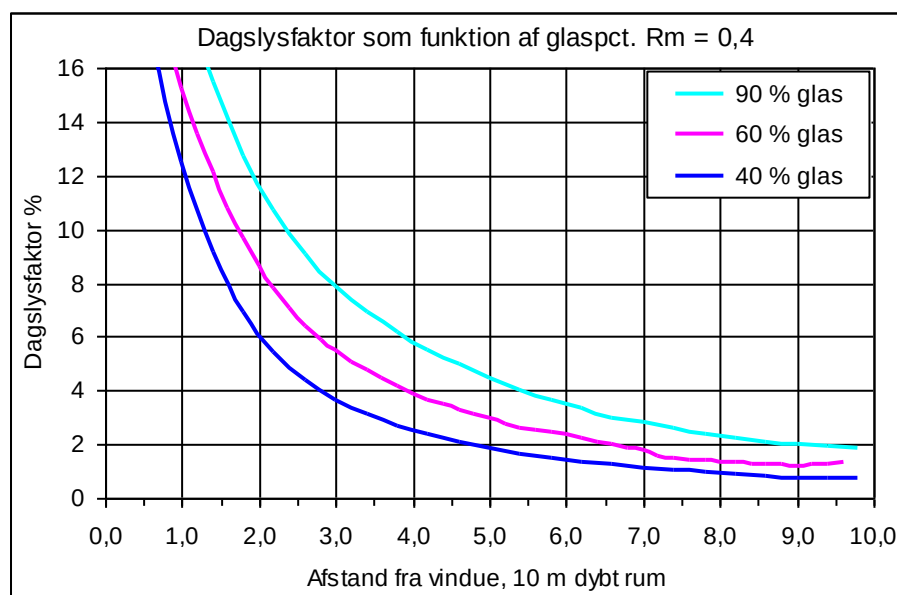
De senere års fremherskende tendens til anvendelse af store glasarealer i bygningsfacaden har medført, at valget af rudetype og solafskærmning er blevet meget afgørende for både indeklimate og energiforbrug. Store rudearealer rummer en potentiel risiko for en stor solvarmebelastning af rummene bag facaden, og i praksis har det også vist sig, at mange af 'glasbygningerne' har haft et højt energiforbrug og alligevel et dårligt indeklimate. Der er to nærliggende muligheder for at løse problemet med solbelastningen: At reducere vinduesarealet eller at anvende en mere effektiv solafskærmning. Da bygningerne imidlertid ofte indrettes med forholdsvis dybe rum, er der også et behov for at få så meget dagslys ind i bygningerne som muligt samt at få lyset så dybt ind i rummene som muligt. Jo højere vinduerne er placeret, jo dybere trænger dagslyset ind i rummet, og glaspartier under bordhøjde bidrager kun begrænset til dagslyset ved arbejdspladserne. Ud fra indeklimatehensyn kan vinduer under bordhøjde derfor ofte med fordel reduceres.

For både at kunne opfylde indeklimakrav og kravet til energirammen bør glasanvendelsen reduceres samtidig med at der anvendes effektiv solafskærmning. Tabel 4 giver et forslag til klassificering af rudearealet i almindelige arbejdsrum i fx kontorbygninger. Tabellen gælder for rum med en begrænset dybde, hvilket normalt bør tilstræbes for alle arbejdsrum.

Tabel 4. Vejledende klassificering af rudeareal i facader i kontor-, erhvervs- og institutionsbyggeri. Klassificeringen er primært lavet ud fra rudeareal i forhold til gulvareal. Procentandelen i forhold til facadeareal er beregnet ud fra et forhold mellem rumdybde og rumhøjde på 2 (fx 5 m og 2,5 m).

Klassificering af rudeareal	Rudeareal i forhold til gulv, %	Rudeareal i forhold til facade, %
Lille	Mindre end 12	Mindre end ca. 24
Middel	12 – 18	24 – 36
Stort	Mere end 18	Mere end 36

For at få en god udnyttelse af rum med større rumdybde kan det være nødvendigt at anvende et rudeareal i kategorien 'stort', hvor rudearealet udgør mere end 36 % af facaden (målt indvendig). Figur 8 viser, hvorledes dagslysfaktoren falder med stigende afstand fra facaden i et 10 m dybt og helt åbent storrumskontor, med mange vinduesfag. Det fremgår også, hvordan dagslysfaktoren stiger med stigende glasandel af facaden. Beregningerne er udført med SimLight, som er en del af programpakken BSim (Wittchen, K., Johnsen, K., & Grau, K. 2010).



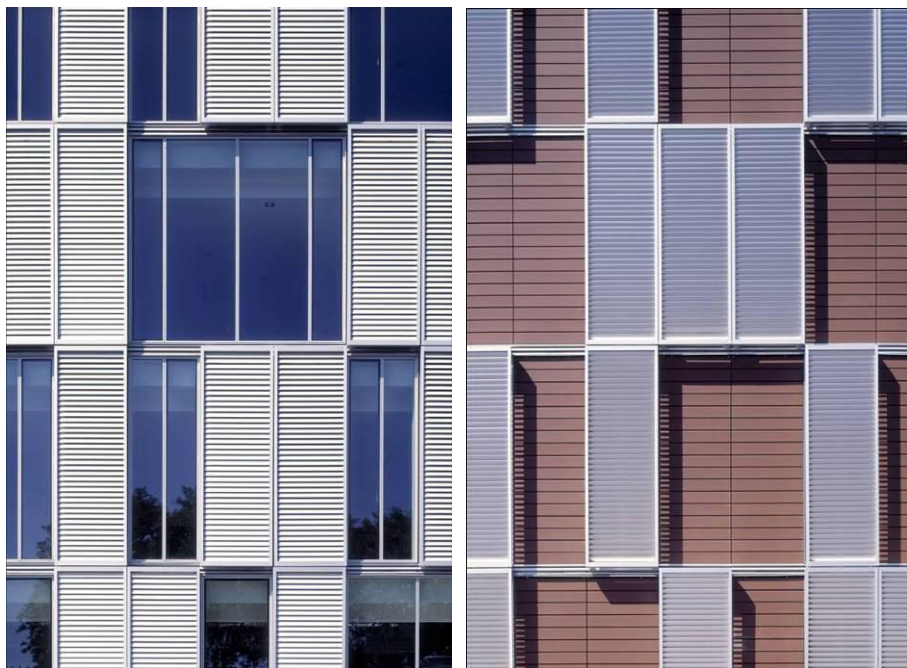
Figur 8. Dagslysfaktoren på arbejdsplan i rummets centerlinje for et helt åbent rum, der er 10 m dybt. Dagslysfaktoren er bestemt som funktion af glasareal/ facadeareal (%). Facaden er 4 m bred og 2,8 m høj. Glasset har en lystransmittans på 0,8. Kurverne forudsætter en middelfleksans af rummets overflader, R_m , på 0,4, hvilket fx svarer til, at reflektansen af loft, væg og gulv er henholdsvis 0,7, 0,4 og 0,1.

Dynamiske facader

I alle tilfælde vil glasdominerede facader have behov for en solafskærmning. Denne bør være regulerbar/bevægelig, således at den kan beskytte effektivt mod generende sollys, samtidig med at den kan tillade mest muligt lys at passere, når himlen er overskyet. Solafskærmningen bør så vidt muligt placeres udvendigt, da en udvendig afskærmning fungerer langt mere effektivt end en indvendig.

Med de stadigt skærpede energikrav bliver der et behov for at tænke solafskærmningen ind i en mere dynamisk facadeløsning, hvor solafskærmningen kan fungere sammen med elementer, der aktivt både kan forbedre udnyttelsen af solvarmen og samtidig kan forbedre facadens isoleringsevne, når der er varmebehov. Figur 9 viser et eksempel på en dynamisk facade, der

kan tilpasse sig skiftende behov over døgnet og over året. I det viste tilfælde er der tale om en solafskærmning indbygget i et skoddesystem. Afskærmningen har drejelige lameller, men kunne også udformes, så skodden isolede vinduerne uden for brugstiden i opvarmningssæsonen.



Figur 9. Eksempel på dynamisk facade, der kan tilpasse sig skiftende indeklima- og energibehov over døgnet og året. En videreudvikling af systemet med flere funktioner for de facadeintegrerede elementer kunne medføre energireduktion til belysning, opvarmning, ventilation og køling.

Termiske analyser

For at analysere konsekvenserne ved valg af forskellige facadeudformninger, installationsløsninger og reguleringssystemer bør der tidligt i projekteringsforløbet gennemføres de første BSim-beregninger og Be10-beregninger (Aggerholm, Sørensen og Wittchen, 2010). BE10-beregningerne skal give de første indikationer af, hvilke tiltag, der er nødvendige for at overholde energirammen, mens formålet med BSim-beregningerne er at sikre, at de opstillede mål for indeklimaet kan overholdes ved de forskellige alternative muligheder for tekniske løsninger.

Ved analyserne bør der lægges stor vægt på afklaring af bygningens og de enkelte rums brugsforhold, i den udstrækning de er kendt på projekteringsstidspunktet. Der bør tages udgangspunkt opfyldelsen af de specificerede indeklimakrav og brugernes behov inden for brugstiden af de enkelte rum, idet der ofte er meget god overensstemmelse mellem brugerbehov og lavt energiforbrug.

BSim-simuleringerne kan også afklare hvor hyppigt solafskærmningen kommer i funktion, og hvor effektiv afskærmningen bør være for at overholde kravene. En afskærmning, som meget ofte er trukket for, bør være af en type, som tillader et vist udsyn af hensyn til dette visuelle behov, jf. side 14. For udvendige afskærmninger bør man desuden være opmærksom, hvilke krav der stilles fra leverandørens side med hensyn til udeklimaet. For de fleste udvendige afskærmninger defineres der en maksimal vindhastighed (fx 12 m/s), hvorover afskærmningen skal trækkes ind af hensyn til risiko for ødelæggelse. Kravet til maksimal vindhastighed kan i praksis have stor betydning for muligheden for at holde indetemperaturkravet.

På den følgende side er opstillet en tjekliste for facadeudformning, herunder analyserne af solafskærmningens funktion.

Tjekliste for facadeudformning

Tabel 5 giver en tjekliste for forhold, som der bør tages hensyn til ved valg af facadeudformning til nyt byggeri eller ved større facaderenoveringer.

Tabel 5. Tjekliste for facadeudformning.

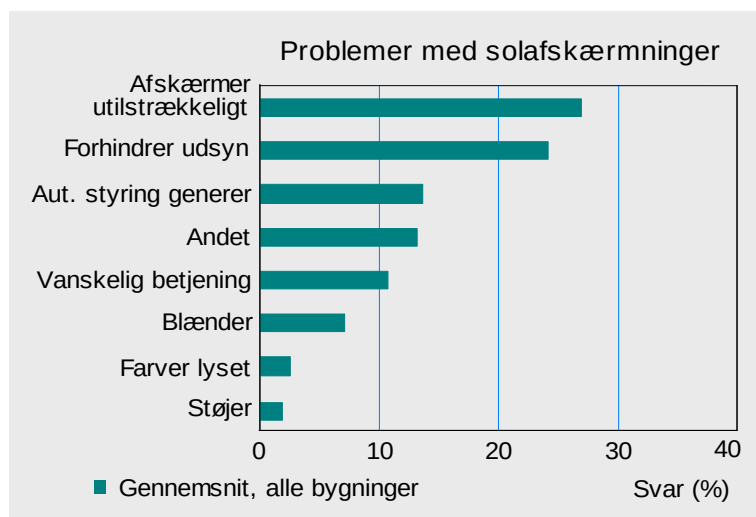
Dagslysaspekt	Forhold, der bør tages hensyn til
Placering, orientering og indretning	Vurder beliggenhed af bygningen, om tilstrækkeligt dagslys når frem til vinduerne i bygningens klimaskærm (facader) uden unødvendige skygger fra bygningsdele eller fra nærliggende bygninger, eller at den påtænkte bygning forringer dagslysadgangen til nabobygninger. Kortlæg hvilke områder, der har behov for meget dagslys, hvilke der har behov for mindre, og hvor der er behov for, at dagslyset varierer (på en kontrolleret måde). Kontroller rumdybde: Er der tilstrækkeligt dagslys ved hver arbejdsplads til de planlagte arbejdsopgaver. Analysér belysnings- og luminansniveauer i forhold til det naturlige rumhierarki. Anvend computersimuleringer eller skalamodeller til at visualisere, hvordan dagslyset og sollyset falder på de enkelte bygningsafsnit og facader, og hvordan sollyset varierer over døgnet og over året.
Valg af lysåbninger og glasareal	Hvilke vinduesstørrelser samt form og placering ønskes: Vurder om dagslyset er tilpas fordelt, således at der ikke er for store forskelle mellem lyse og mørke områder i rummet (især i dybe rum). Glasarealer, der overstiger ca. 35 pct. af facadearealet, medfører en potentiel risiko for overophedning. Undersøg hvilken (synlig) udsigt, der vil være gennem de valgte vinduer. Opdel gerne vinduet i et udsigtsvindue og et højsiddende dagslysvindue. Derved opnår man mulighed for at beskytte mod blænding uden at forringe udsynet. Undgå brede (mørke/uoplyste) felter mellem vinduesåbninger, som kan give kontrastproblemer. Tag stilling til, hvordan dagslyset kan udnyttes, uden at der opstår problemer med blænding og reflekser i overflader og edb-skærme.
Facadeudformning, detaljer omkring vinduerne	Vælg lyse farver indvendigt, bløde overgange og lyse vinduesvægge for at undgå/reducere problemer med store kontraster og blænding. Farver og detaljer i vinduesrammer, karme og karmlysninger har væsentlig betydning for, hvordan man oplever lyset i rummet, og for om der opstår blænding fra vinduet.
Valg af rudetyper	Vær især opmærksom på lystransmittans, varmetransmittans og U-værdi. Normalt bør man vælge energiruder med høj lystransmittans. Ruder, der anvendes i kombination med en effektiv udvendig solafskærmning, bør have en høj varmetransmittans (g-værdi), hvilket betyder, at lavemissionsbelægningen er placeret på det indvendige glas. Hvis der anvendes solafskærmende ruder, bør der vælges en type med lystransmittans på mindst 0,7 og et farvegengivelsesindeks (Ra-værdi) på mindst 0,95. Ved rudetyper med U-værdier under 1,1, bør man kritisk vurdere hyppigheden af udvendig kondens.
Solafskærmningens funktion og regulering	Store vinduer (større end ca. 35 pct. glas i facaden) vil normalt kræve udvendig afskærmning. Vælg regulerbare afskærmninger, gerne opdelt på udsigtsvindue og dagslysvindue. Afskærmningens vigtigste funktion er at beskytte mod blænding, både ved solskin og kraftigt diffust himmellys, uden at blokere for udsynet. Markiser og lameller, fx persienser, kan normalt beskytte tilstrækkeligt mod blænding, mens rullegardiner og solafskærmende ruder må suppleres med en ekstra afskærmning, fx indvendige gardiner. Hvordan skal solafskærmningen fungere i kombination med oplukkelige vinduer? Både udvendige og indvendige afskærmninger kan komme i konflikt med vinduesoplukning, men ofte er der behov for begge dele samtidigt. Er der en maksimal vindhastighed for anvendelsen af de mulige solafskærmninger? Er der risiko for blænding fra omkringliggende bygninger eller fra biler på parkeringspladser? Hvilke lysforhold optræder, når afskærmningen er lukket helt eller delvist, og tilfredsstiller dette rummenes funktioner og aktiviteter? Automatisk regulering af solafskærmninger bør kunne overstyres manuelt af brugerne.
Lysets stemning og karakter	Hvilken oplevelse/stemning tilsigtes i de enkelte områder eller rum? Hvordan fremtræder/opleves rummene i overskyet vejr og ved sollys på forskellige tidspunkter? For de enkelte rum må man søge at finde den rigtige balance mellem diffust og rettet lys. I multifunktionelle rum bør man skabe mulighed for flere lyssætninger, så lyset kan understøtte flere typer af synsopgaver og opfylde de forskellige krav, der stilles til en god formgengivelse af rum, objekter eller detaljer.
Samspil med naturlig ventilation	Der er ofte gode muligheder for samspil mellem høj dagslysudnyttelse og naturlig eller hybrid ventilation. Overvej de potentielle konflikter mellem vinduernes mange funktioner, fx skal vinduerne indgå i et system for naturlig ventilation, og hvordan placeres luftindtag og afkast i forhold til hinanden? Højsiddende vinduer skal kunne afskærmes, uden at dette kommer i konflikt med åbning af vinduer.

Valg af solafskærmning

På baggrund af ovenstående undersøgelser kendes nu kravene til afskærmningstype og reguleringsbehov. Sidst i dette afsnit gives på tabelform en oversigt over typiske egenskaber for forskellige typer af regulerbare solafskærmninger.

Et primært formål med solafskærmningen er at udelukke så meget af solvarmen, at der ikke opstår generende høje temperaturer i lokalet, og at kølebehovet reduceres eller helt elimineres. Afskærmningen skal kunne udelukke direkte sol, som virker generende på grund af strålingspåvirkningen. Endvidere skal afskærmningen kunne regulere de visuelle forhold og reducere blændingen fra vinduerne og udelukke direkte sollys, som giver generende høje luminanser eller nedsætter synligheden af arbejdsopgaverne. På den anden side skal afskærmningen ikke udelukke mere solvarme end nødvendigt, da solvarmen gennem vinduet kan dække mest muligt af varmetabet gennem dette i opvarmningssæsonen. Tilsvarende må afskærmningen ikke udelukke så meget dagslys, at det er nødvendigt at tænde for den kunstige belysning.

Der er således mange faktorer, der indgår i valget af solafskærmning, og mange trækker i hver sin retning. Den endelige løsning bliver et kompromis, hvor behov og ønsker fra brugere, bygherre og arkitekt må tilpasses den enkelte bygning. Det er derfor vigtigt at beslutningen om afskærmning foretages i den tidlige projekteringsfase og ikke ændres senere på grund af udviklingen i byggeriets omkostninger. Solafskærmninger rummer også en del problemer, som ofte overses ved det endelige valg af afskærmningstype. På spørgsmål om, hvad brugerne så som de største problemer i forbindelse med solafskærmningen i den store kontorundersøgelse (Christoffersen et al., 1999), kom fordelingen af svarene til at se ud som vist i figur 10. Tre meget kritiske punkter dominerer disse besvarelser: Utilstrækkelig afskærmning, afskærmningen forhindrer udsyn samt at den automatiske regulering af afskærmningen generer. I undersøgelsen havde kun få af afskærmningerne automatisk regulering, og disse tilfælde blev problemer med støj i forbindelse med reguleringen af mange angivet som et problem.



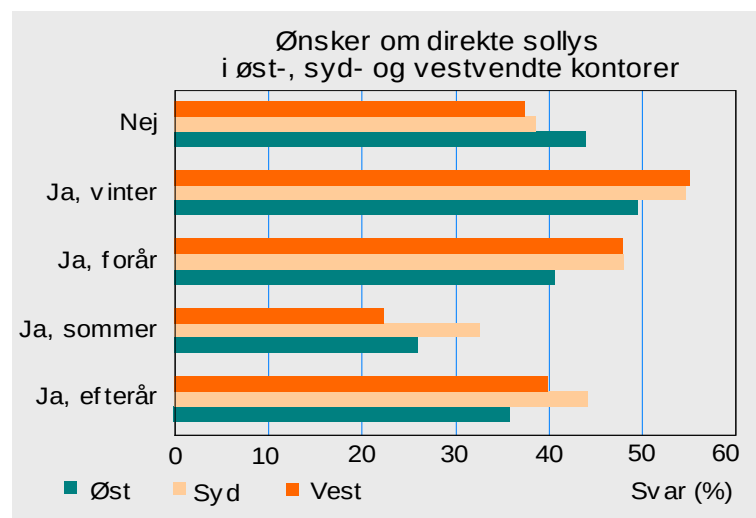
Figur 10. Resultatet af 1800 kontoransattes angivelse af de hyppigste problemer i forbindelse med den aktuelle solafskærmning. Utilstrækkelig afskærmning, forhindret udsyn og automatisk regulering dominerer.

De mest effektive afskærmninger findes blandt de udvendige typer, idet solstrålingen, der absorberes i afskærmningen fortrinsvis afgives til det fri. Anvendes en udvendig afskærmning i forbindelse med en energirude, vil den afskærmende virkning ikke forringes, da ruden vil formindske det sekundære bidrag. Hvis afskærmningen er mørk og absorberer en stor del af solstrålin-

gen øges effektiviteten, mens en helt lys afskærmning har samme virkning, som foran en almindelig termorude. Effektiviteten af en fast, udvendig afskærmning, der skal afskærme den direkte sol, varierer meget afhængigt af orienteringen, over dagen og over året.

Afskærmningens evne til at afskærme lys og varme kan ikke direkte sammenlignes. Afskærmningens evne til at skærme for solen angives, når solvarmebelastningen er stor dvs. med direkte sol, mens afskærmningens indvirkning på dagslysforholdene derimod angives, når belastningen er lille dvs. på overskyede dage. Afskærmningens evne til at udelukke direkte sollys vurderes også, når dette kan give anledning til blænding eller ubehagelige luminansfordelinger.

Dog skal man være opmærksom på at nogle mennesker generes hurtigt af solvarme, mens andre nyder solskinet og synes, at udsigt og dagslys har så stor betydning, at de for disses skyld kan acceptere en højere indendørs-temperatur. Bevægelige afskærmninger giver forskellig grad af individuel valgfrihed til vejrliget. En hyppigt anvendt strategi for automatisk regulering er den såkaldte cut-off strategi, som fungerer på den måde, at solafskærmningen, typisk en persienne, indstiller sig efter tiden på dagen og året, således at direkte sollys ikke får lov at passere ind i rummet. Selv om denne reguleringsstrategi kan forekomme logisk og hensigtsmæssig er den i praksis ikke optimal, hverken ud fra energihensyn eller ud fra indeklimahensyn, i hvert fald ikke, hvis der ikke tillades manuel overstyring. Erfaringen viser nemlig, at mange mennesker (fx kontoransatte) vil foretrække eller ligefrem sætte stor pris på, at direkte sollys får lov at skinne ind i rummet, ikke mindst om vinteren samt forår og efterår. Figur 11 viser hvorledes kontoransatte svarede på spørgsmål om der var tider på året, hvor de ansatte gerne vil have direkte sollys i deres kontor. Det fremgår, at om vinteren vil mere end halvdelen af de ansatte gerne have direkte sol i kontoret.



Figur 11. Resultatet af 1800 kontoransattes svar på spørgsmål, om der er tider på året, hvor de ansatte gerne vil have direkte sollys i deres kontor. Specielt vinter og forår vil ca. halvdelen af de ansatte gerne have direkte sol i kontoret.

Regulering af solafskærmning

Individuelt regulerede afskærmninger har store fordele i rum, hvor blot en eller to personer færdes. I større lokaler kan fælles regulerede solafskærmninger være den bedste løsning. Bevægelige afskærmninger, som bør trækkes for inden arbejdstids begyndelse (fx østvendte rum) eller som kontinuerlig tilpasning, kan reguleres automatisk med en fotocelle. Imidlertid kan automatiske systemer påvirke det værdifulde i at den enkelte selv kan påvirke styringen af afskærmningen, men kommende styrings- og reguleringssystemer prøver i videst mulig omfang at tage højde for de ønsker.

Erfaringer vedrørende praktisk brug af solafskærmninger

Solafskærmninger og deres regulering har afgørende betydning både for indeklima og energiforbrug. Lykkelig vis er der ofte en meget god overensstemmelse mellem reguleringen af hensyn til indeklimaet og reguleringen af hensyn til energiforbruget. De tidspunkter, hvor solindfaldet generer brugerne mest falder godt sammen med tidspunkter, hvor solindfaldet vil skabe overtemperaturer og øge behovet for ventilation og køling. I det følgende gives en oversigt over erfaringer fra praktisk brug af solafskærmninger fra en række internationale undersøgelser. En mere detaljeret gennemgang af litteraturen er givet i Bilag 1. Litteraturstudie vedrørende praktisk brug af solafskærmninger.

- Solafskærmninger benyttes oftere, jo større vinduerne er
- Mere end 60 % ønsker en vis mængde direkte solskin i deres kontor, især i vinterperioden
- Manuelt betjente solafskærmninger reguleres kun få gange i løbet af dagen
- Manuelt betjente solafskærmninger reguleres kun ved radikale ændringer i vejrforholdene eller når der opstår helt uacceptable visuelle forhold
- Blænding fra vindue/afskærmning samt refleksioner i edb-skærme er de hyppigste årsager til regulering af solafskærmninger
- Motoriserede, manuelt fjernbetjente afskærmninger betjenes 3 gange så hyppigt som manuelt betjente
- Mens den enkelte bruger er meget konsekvent i sin brug af solafskærmningen, er der meget store forskelle mellem den måde forskellige brugere anvender den samme solafskærmning på
- En stor del af de automatisk bestemte reguleringsaktioner misbilliges af brugerne
- Specielt i åben-plan kontorer er mange brugere utilfredse med de visuelle forhold (blænding og manglende udsyn) ved automatisk regulering af solafskærmningen
- Facadens orientering har betydning for, hvorledes solafskærmninger betjenes: jo større solindfald på facaden og jo dybere solen trænger ind i rummet, desto mere lukkes afskærmningen
- En automatisk afskærmning, som lige netop udelukker at direkte sol passere afskærmningen, opfattes som uacceptabel/utilstrækkelig af brugerne
- Middel-grænseværdien for, hvornår en solafskærmning lukkes ligger omkring 43.000 lux på facaden (± 6.000 lux)
- Middel-grænseværdien for, hvornår en solafskærmning åbnes ligger omkring 23.000 lux på facaden (± 5.000 lux)
- Når vinduets luminans overstiger ca. 1800 cd/m², vil brugeren regulere (lukke) afskærmningen inden for 30-60 minutter
- Belysningsstyrken målt på et lodret plan ved brugerens øjenposition er et godt mål for oplevelsen af generende blænding eller visuel diskomfort fra vinduer, og indgår i dag i et nyudviklet indeks for visuel diskomfort (Visual Discomfort Probability, VDP)
- Hvis der er mere end én afskærmning i et kontor (eksempelvis to afskærmninger), benyttes de ofte forskelligt: Den ene bruges til at beskytte mod visuelle gener (blænding og reflekser i edb-skærm), mens den anden holdes mere åben for at bevare udsynet

Egenskaber for regulerbare afskærmninger

Tabel 6 giver en sammenfattende oversigt over typiske egenskaber for de almindeligste typer af regulerbare afskærmninger. Tabellen er vejledende og bør blot bruges som indledende parametervalg i forbindelse med gennemførelse af de termiske beregninger for bygningen.

Tabel 6. Egenskaber for de almindeligste regulerbare solafskærmninger

Afskærmningsfaktor interval	Afskærmningstype	Variant	Total g-værdi med energirude ¹⁾ , g _{tot}		Tv _{tot} %	Dagslys	Regulerbarhed	Udsyn	Blænding	Privathed ⁴⁾
			sommer ²⁾	vinter ²⁾						
Udvendige afskærmninger										
0 – 0,1	Persienne, vandrette lameller, grå	lukket	0,02	0,02	≈ 0	☹	😊😊😊	☹	😊😊😊	😊😊😊
		45°	0,15	0,2	≈ 30	😊	😊😊😊	😊😊	😊😊	😊
		0°	0,27	0,5	≈ 45	😊	😊😊😊	😊😊😊	😊😊	😊
0 – 0,1	Lamelskodde, flytbar	drejelige	0,15	0,2	≈ 30	😊	😊😊	😊	😊	😊😊😊
		faste	0,02	0,02	≈ 20	☹	☹	☹	😊	☹
0,1 – 0,2	Screen, hvid (white)	OF = 10 %	0,17	0,17	20	☹	☹	☹	☹	☹
	Screen, lys (snow)	OF = 4 %	0,14	0,14	16	☹	😊	☹	☹	😊
	Screen, mørk (dark blue)	OF = 3 %	0,13	0,14	5	☹	😊	☹	😊	😊
	Screen, grå (poplar)	OF = 10 %	0,17	0,18	17	☹	😊	😊	☹	☹
	Screen, grå-sort	OF = 10 %	0,09	0,10	8	☹	😊	😊	☹	☹
	Screen, grå-sort (grey-black)	OF = 3 %	0,07	0,07	4	☹	😊	☹	😊	😊
	Markise, mørk	OF = 3 %	0,12	0,15	≈ 30	😊	😊😊	😊	😊	😊
	Markise, lys	OF = 3 %	0,26	0,30	≈ 45	😊	😊😊	😊	😊	😊
	Markisotte, mørk	OF = 3 %	0,06	0,07	≈ 10	☹	😊😊	😊	😊	😊
	Markisotte, lys	OF = 3 %	0,15	0,17	≈ 25	😊	😊😊	😊	☹	😊
Integrerede afskærmninger										
0,15	Integreret persienne, hvid	lukket	0,18	0,20	≈ 0	☹	😊😊	☹	😊😊😊	😊😊😊
		45°	0,28	0,30	≈ 35	😊	😊😊	☹	😊😊	😊
		0°	0,55	0,60	≈ 50	😊	😊😊	😊	😊😊	😊
Indvendige afskærmninger										
0,4 – 0,8	Persienne, vandrette lameller, hvid	lukket	0,40	0,40	0	☹	😊😊😊	☹	😊😊😊	😊😊😊
		45°	0,45	0,50	≈ 35	😊	😊😊😊	😊😊	😊	😊
		0°	0,55	0,55	≈ 50	😊	😊😊😊	😊😊😊	😊	😊
0,4 – 0,8	Screen, hvid	OF = 3 %	0,40	0,40	14	☹	😊	☹	☹	😊
	Screen, mørk	OF = 3 %	0,58	0,58	5	☹	😊	😊	😊	☹
0,5 – 0,9	Gardiner, lyse	(OF = 0 %)	0,40	0,5	0,5	😊	😊	😊	😊	😊
	Gardiner, mellem	(OF = 0 %)	0,45	0,45	0,3	☹	😊	😊	😊	😊
	Gardiner, mørke	(OF = 0 %)	0,57	0,57	0,1	☹	😊	☹	😊	😊

²⁾ Sommer og vinter skal forstås som typiske værdier for et vindue mod syd, her er de beregnede for henholdsvis den 15. juli kl. 10 og den 15. jan. kl. 10.



Glimrende



Rigtig god



God



Hjælper kun i nogle tilfælde, ⁴⁾ giver fx ikke privathed, når det er mørkt udenfor



Hjælper ikke

4. Strategier for regulering og styring

Der stilles stadigt stigende krav til effektivitet, fleksibilitet, energibesparelser, driftssikkerhed og brugerkomfort i forbindelse med bygningsautomation. Ved opstilling af krav til en integreret regulering er det nødvendigt at finde metoder til vægtning af de forskellige forhold i en bygning der skal være gældende, idet flere af kravene kan være modsat rettede. For eksempel kan der være en konflikt mellem ønsket om at kunne have et uhindret udsyn til omgivelserne, undgå blænding fra sollys gennem vinduet og minimering af energiforbruget til opvarmning og til ventilation. I tillæg vil der ofte være praktiske designsituationer, hvor der skal tages stilling til komfortbetingede krav (termisk og visuelt) i forhold til de energibesparende tiltag. Vægtes de energibesparende tiltag u hensigtsmæssigt, kan det medføre at brugerne af bygningen griber ind og overstyrer den automatiske regulering for at skabe den nødvendige komfort og derved forøge bygningens energiforbrug. En solafskærmning påvirker energiforbruget til belysning, opvarmning, ventilation og køling, samtidig med at den betjenes for at forbedre visuel og termisk komfort. Opgaven går altså ud på, at beskrive, hvordan alle disse forhold kan vægtes imod hinanden, således at der opnås højest mulig komfort, samtidig med at energiforbruget holdes så lavt som muligt.

Regulering og styring – terminologi

Det automatiske udstyr

En føler (på engelsk *sensor*) måler den regulerede størrelse – for eksempel lysniveauet på en bordflade eller solindfald på facade – og sender værdien til "måleudstyret". Måleudstyret sammenligner den målte værdi med den indstillede værdi og genererer et signal, som aktiverer en ændring. Den indstillede værdi (på engelsk *setpoint*) er værdien for det niveau, som man ønsker at opnå, for eksempel et lysniveau.

Regulering

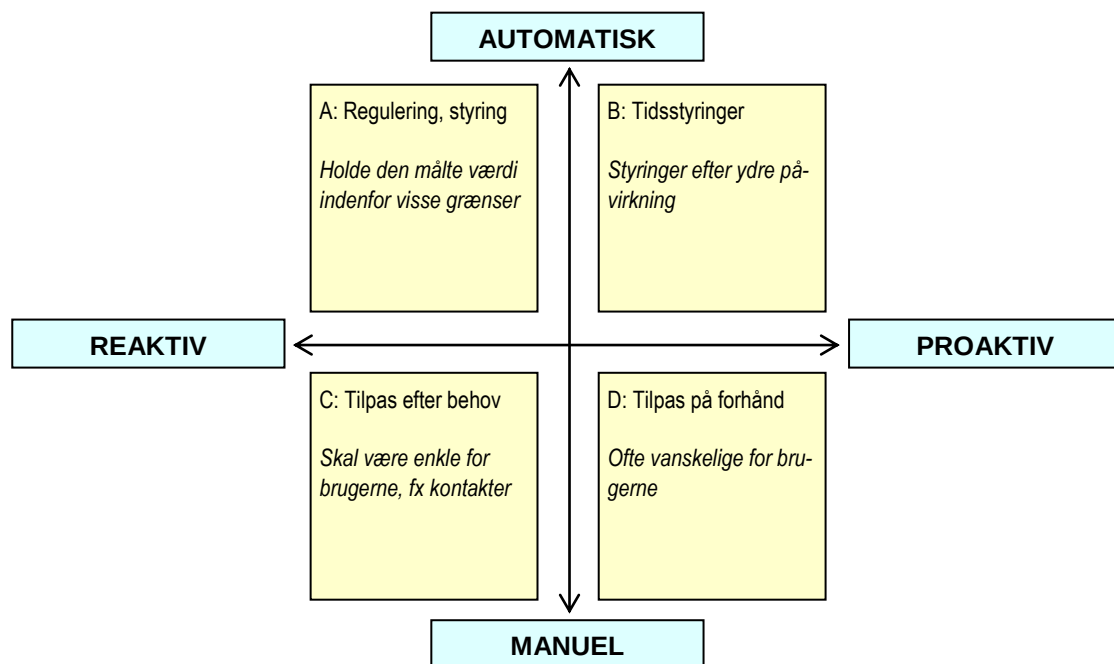
En regulering (også kaldet en lukket sløjfe) måler aktuelle ændringer i en reguleret størrelse og aktiverer reguleringssystemet ved at foretage en ændring for at opfylde ønsket til den regulerede størrelse. Denne korrigerende aktivitet fortsætter indtil den regulerede størrelse har opnået sin ønskede værdi indenfor reguleringssystemets begrænsninger.

Styring

En styring (også kaldet en åben sløjfe) har ikke nogen direkte forbindelse fra den regulerede størrelse til automatikken. En styring – en åben sløjfe – bygger på en antagelse om, hvordan en ydre påvirkning vil påvirke systemet og justerer systemet for at undgå uacceptable udsving. Et eksempel kunne være, at en lysføler konstaterer, at solen skinner, og at "nu bliver det nok snart for varmt" – hvorefter solafskærmningen aktiveres. Der sker ingen måling af temperaturen, og derfor ingen kontrol af, om handlingen havde effekt. Den projekterende antager altså en fast sammenhæng mellem en ydre påvirkning og behovet for solafskærmning, hvorimod den aktuelle situation og behovet i et rum ikke påvirker systemet.

Et strategisk diagram

For en given bygning, et givet område eller rum i bygningen må man gøre sig klart, hvilke systemer og hvilke reguleringsstrategier, der vil være nødvendige for at opretholde det ønskede indeklima. Figur 12 nedenfor viser fire principielt forskellige strategiområder, som kan benyttes, når man vælger strategi for styring eller regulering af en solafskærmning. Funktionen kan være *manuel* eller *automatisk* (den lodrette akse) og *reaktiv* (dvs. reagere på forandringer) henholdsvis *proaktiv* (dvs. forsøge at tilpasse systemet til fremtidige ændringer/forventninger). En god strategi vil normalt inkludere hensyn til mulighederne i alle fire områder samt funktioner, der går på tværs. For eksempel vil en regulering af lysniveauet (område A) ofte være kombineret med en urstyring eller en bevægelsesmelder (område B). Valg af strategier vil ofte være et kompromis, hvor fordele skal afvejes med ulemper.



Figur 12. Et strategisk diagram for styring og reguleringssystemer, hvis formål er at levere god lyskvalitet med lavt energiforbrug.¹

Tabel 7.

Strategi	Eksempel	Kombinationer, undtagelser
A. Automatisk styring	Afskærmningen trækkes automatisk for, når lysindfaldet på den aktuelle facade overstiger en grænseværdi	Gælder dog ikke uden for brugstiden (B) Gælder kun, når der er personer til stede (A) Gælder ikke, når vindhastigheden er højere end 12 m/s (C)
B. Tidsstyring	Om sommeren trækkes afskærmningen automatisk for i weekends. Trækkes desuden for på hverdage ved solopgang samt ved slutning af brugstiden	Gælder dog ikke, hvis solindfaldet er under en grænseværdi, og der samtidig er personer til stede (A)
C. Tilpas efter behov	Manuel regulering eller overstyring (overregulering) af automatik for at tilpasse til individuelle behov	- manuel regulering sætter automatik ud af funktion i en forudbestemt tid -
D. Tilpas på forhånd	I overgangsperioder trækkes afskærmningen for ved slutning af brugstiden, når vejrpogno sen for næste dag siger "sol" og døgnmiddeltemperatur er højere end 10 °C	

¹ Tilpasset efter "Control Strategies for Building Services: the role of the user", Bill Bordass, Adrian Leaman and Steve Willis. BRE conference, May, 1994.

Systemer til automatisk regulering

Reguleringssystemer, der som beskrevet tidligere reagerer på de aktuelle ændringer (område A), bliver ofte opfattet som "den avancerede lysstyring" – hvilket ikke nødvendigvis er sandt. Regulering af lysniveauet kan være ustabil, både under normal drift, når der indtræder pludselige ændringer eller når solafskærmningen aktiveres efter en periode, hvor solafskærmningen ikke har været i brug. Reguleringssystemer er derfor meget afhængige af korrekt følerplacering og korrekt indstilling af reguleringsparametre. I bygninger er stabilitet i reguleringen sjældent kritisk for sikkerhed, men den kan være generende, give unødigt forbrug af energi og i sidste ende føre til at systemet sættes ud af drift.

Simple tidsstyringer og styring efter ydre påvirkninger

Funktionerne i område B bliver ofte underkendt i litteraturen, men mange automatikfunktioner, der er hensigtsmæssige til at spare energi, findes i dette område. Eksempler er urstyringer, for eksempel programmeret til at køre solafskærmningen op uden for kontortiden, eller styringer som indstiller solafskærmningen i afhængighed af lysniveauet udenfor. Systemer, som på denne måde er uafhængige af tilfældige hændelser, indretning og brugeradfærd, har den fordel at de er stabile i driften og enklere at sætte i drift, så de virker efter hensigten. Men når systemer, der kun styrer efter ydre påvirkninger bruges til at styre elektrisk belysning eller solafskærmning, kan det medføre "uhensigtsmæssige" resultater. Dette kan skyldes, at systemerne forudsætter "at en løsning passer til alle", eller at brugerne ikke forstår hvorfor, lyset eller solafskærmningen ændres lige nu. En anden årsag kan være, at elektrisk belysning og solafskærmning ikke er fuldt integreret. Nogen projekterende anser sommervarmen for en uønsket varmekilde, mens andre ønsker fornemmelsen af "sommer og sol", i det mindste i et tidsrum. Omvendt om vinteren, hvor et energihensyn vil anse solen for "gratisvarme" mens nogen brugere vil generes af blænding fra lavtstående sol.

Tilpasning efter behov

I systemer, hvor solafskærmningen og/eller belysningen tilpasses efter behovet (område C), automatisk eller manuelt, er brugerne ofte involveret. Fx hvis der er for mørkt, så køres solafskærmningen op eller lyset tændes. Simple løsninger har ofte den fordel, at brugerne umiddelbart forstår systemet og sammenhængen mellem handling og ændring. Dernæst vil ofte brugertilfredsheden stige, hvis brugerne selv har indflydelse på deres egen lokale situation. Men det er også ulemper, idet brugerens reaktion på diskomfort, kan være at vælge en nem løsning, men at denne løsning ikke nødvendigvis er den tekniske eller energiøkonomiske mest ønskelige. Desuden handler brugerne ofte først når situationen er ganske ukomfortabel, hvilket kan resultere i længerevarende utilfredsstillende situation. I lokaler med mange brugere, for eksempel åbne kontormiljøer eller undervisningslokaler, vil handlinger omkring solafskærmning og belysning ofte påvirke mange mennesker samtidig og ikke altid i overensstemmelse med alles behov. Der bør tages højde for mange af de deraf følgende diskussioner allerede ved planlægning af belysningen og ved valg af styringsprincipper.

Tilpasning på forhånd

Systemer, hvor brugerne manuelt skal tilpasse belysningen på forhånd (område D), altså før behovet melder sig, er måske de mest vanskelige. I teorien skulle det være let nok – men i praksis er det meget vanskeligt, fordi det er vanskeligt at lægge et præcist ansvar for noget, som er usikkert.

Generelle reguleringsløsninger

Manuel regulering

Rummets bruger (-e) styrer selv solafskærmningerne og den elektriske belysning efter behov. Løsningen giver brugerne en klar fornemmelse af at have personlig indflydelse på systemerne, og giver derfor ofte en god brugertilfredshed, under forudsætning af, at de valgte komponenter er lette at forstå og betjene. Manuel betjening kan være "helt manuel" (dreje på et håndtag) eller manuelt styret, sådan at man "trykker på" en elektrisk kontakt. Den helt manuelle løsning kan bruges til overskuelige enheder, hvor brugeren er motiveret til selv at betjene solafskærmningen. Elektrisk betjening anvendes til store eller utilgængelige anlæg, hvor manuel betjening ikke er tilstrækkelig eller tager for lang tid.



Figur 13.

Manuel regulering med PIR-føler og/eller ur

Når rummet er i brug, styrer brugerne selv solafskærmningerne og den elektriske belysning efter behov. Uden for normal brugstid, bestemt ved urets indstillinger, køres solafskærmningen automatisk op (evt. ned, hvis formålet er at spare køleenergi). Hvis PIR-føleren konstaterer, at rummet ikke har været i brug et vist tidsrum, køres solafskærmningen automatisk op (evt. ned, hvis formålet er at spare køleenergi). Løsningen giver brugerne en klar fornemmelse af at have personlig indflydelse på systemerne, og giver derfor ofte en god brugertilfredshed, under forudsætning af, at de valgte komponenter er lette at forstå og betjene. Kombinationen med ur og/eller PIR-føler sikrer mod, at systemet forbliver fast indstillet efter brugerens ønsker, også når brugeren ikke er i rummet. Urstyringer er enkle og nemme at forstå. Til gengæld kan der opstå situationer, hvor solafskærmningen bevæges, selv om brugerne ikke venter eller ønsker det. For at gøre urstyringerne brugervenlige bør man, specielt ved systemer med central betjening, give mulighed for automatisk omstilling mellem sommer- og vintertid – og evt. et radiostyret ur, sådan at uret altid går rigtigt.



Figur 14. Trådløst ugeur til radiostyrede anlæg med fjernbetjening.

Automatisk styring efter udefølere (sol, lys og vind)

- uden/med manuel overstyring

Lysniveauet uden for bygningen måles med en lysføler, der er placeret på frit sted, dvs. uden skygge i dagens løb. Føleren kan typisk være monteret på taget. Solafskærmningen aktiveres efter indstålingen eller lysniveauet udenfor, afhængigt af følertypen. For en udvendig persienne med bevægelige lameller kan denne funktion evt. kombineres med at lamellerne indstilles i afhængighed af solens stilling, hvis der bruges en føler, som kan registrere denne. Normalt vil solafskærmningen blive aktiveret ensartet for en større del af bygningen, for eksempel for en hel facade. Vindhastigheden måles, og ved overskridelse af en grænseværdi køres solafskærmningen op, for at beskytte denne mod skader. Alle solafskærmninger, der kan betjenes eller styres med elektrisk kraft indefra, skal forsynes med en udvendig overstyring af hensyn til sikkerheden for vinduespuksere, servicepersonale m.fl.



Figur 15. Ud over de viste sol- og vindfølere kan der også monteres regn- og temperaturlølere. Sol og vindvagt til radiostyrede anlæg.

Automatisk styring anvendes, hvor man vil sikre afskærmning i et lokale, uanset om der er mennesker i lokalet eller ej, samt hvor man vil sikre afskærmningen mod vejrforholdene. Denne løsning er uafhængig af tilfældige hændelser, indretning og brugeradfærd, og har den fordel at den er stabil i driften og enklere at sætte i drift, så den virker efter hensigten. Men når systemer, der kun styrer efter ydre påvirkninger bruges til at styre elektrisk belysning eller solafskærmning, bliver resultatet somme tider uhensigtsmæssigt. Dette kan modvirkes ved at give mulighed for individuel tilpasning ved brug af arbejdslamper og lignende, samt ved at give brugerne god information om virkemåde og hensigt.

Sikkerhed

Alle solafskærmninger, der kan betjenes eller styres med elektrisk kraft indefra, skal forsynes med en udvendig overstyring af hensyn til sikkerheden for vinduespuksere, servicepersonale m.fl.



Figur 16. Lovpligtig sikkerhedsafbryder

5. Optimal, integreret regulering

Der er to store udfordringer ved at opstille en funktion for 'optimal', integreret regulering. Den ene er, at man skal veje energiomkostninger mod komfort, den anden - og ofte endnu større udfordring - er, at man skal veje en form for komfort mod en anden form for komfort. En solafskærmning påvirker energiforbruget til belysning, opvarmning, ventilation og køling, samtidig med at den betjenes for at forbedre visuel og termisk komfort. For at tage hensyn til alle disse forhold i en matematisk formel, som udtrykker en reguleringsstrategi, er det hensigtsmæssigt i stedet for komfort at regne med diskomfort eller sandsynligheden for diskomfort. Herved får alle bidrag til formelen samme 'fortegn' eller sagt med andre ord: Alle bidrag bliver en 'omkostning'.

Omkostningsfunktion eller optimeringsfunktion

Fordi alle bidrag til funktionen indgår som en 'omkostning' kaldes funktionen ofte en *cost function* (litt.), men et måske lidt bedre beskrivende udtryk vil være en *optimeringsfunktion*, som benyttes i det følgende. En simpel formel for en optimeringsfunktion for reguleringen af en solafskærmning kan beskrives ved et sum-udtryk, som vist i formelen nedenfor.

$$U = W_1 \cdot Q_{heat,cool}(Q_{gn}) + W_2 \cdot Q_{light} + W_3 \cdot f_{th} \cdot Occ + W_4 \cdot f_{vis} \cdot Occ + W_5 \cdot f_{view} \cdot Occ \quad (1)$$

U	er den samlede 'omkostning' eller det samlede ubehag
$W_1 \dots W_5$	er vægtningskonstanter
$Q_{heat,cool}$	er den elektriske energi til opvarmning, ventilation og køling, idet parentesen angiver, at størrelsen især afhænger af varmetilskuddet Q_{gain}
Q_{light}	er den elektriske energi til belysning
g_{gn}	er 'gratis' varmetilskud fra solindfald og belysning, som jo er påvirket af solafskærmningens indstilling
f_{th}	er en funktion, der beskriver sandsynlighed for termisk diskomfort
f_{vis}	er en funktion der beskriver sandsynligheden for visuel diskomfort
f_{view}	er en funktion der tager hensyn til sandsynligheden for ubehag ved (begrænsninger i) udsynet gennem vinduet
Occ	er en binær funktion, der tager højde for at brugernes komfortkrav, når de er tilstede i rummet.

Funktionen Occ er sin simpleste form blot en tilstedeværelsesparameter, (occupancy) som har værdien 1,0, når der er personer i det aktuelle rum og værdien 0, når der ikke er. Herved opnås det, at når der ikke er personer til stede, reguleres solafskærmningen kun for at minimere energiforbruget. Optimeringen sker ved at minimere størrelsen af U . Det bemærkes, at de enkelte led i optimeringsfunktionen kun skal tage hensyn til ændringer i de variable, som skyldes ændringer i solafskærmningens indstilling.

I sin simpleste form skal reguleringsenheden programmeres således, at den til ethvert øjeblik (tidsstep) kan minimere værdien af U , og i denne form indregnes Q -værdierne som effekter (kW), eller som energi (kWh), hvis den korte periode der betragtes, er en time. Vægtningstaktorerne bør fastlægges

omhyggeligt af bygherre og brugere i forhold til, hvad det må koste af afvige fra maksimal komfort. I en mere avanceret optimeringsfunktion må værdien af U integreres over tiden, og da skal der også tages hensyn til akkumulerede virkninger af de gratis varmetilskud og bygningens termiske masse. I denne variant af optimeringsfunktionen indregnes Q -værdierne altid som energi.

Bidrag til optimeringsfunktionen

I det følgende beskrives, hvordan hvert led indgår i optimeringsfunktionen. Det er vigtigt at bemærke, at komfortparametrene skal vægtes meget højt, til tidsperioder, hvor der er personer til stede i det aktuelle rum.

Energiforbrug til opvarmning

Solafskærmningens indflydelse på varme- og kølebehov hænger sammen med ændringen i solvarmetilførsel samt evt. ændring i belysningen. I opvarmningssæsonen bidrager solindfaldet til at minimere værdien af U (negativt bidrag til summen), mens det er omvendt i sommerperioden, hvor solindfaldet bidrager til at øge ventilations- og kølebehovet og derfor øger værdien af U . Energiforbruget til opvarmning kan for en given periode beskrives ved formlen:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (2)$$

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (3)$$

$Q_{H,nd}$	er varmebehovet (nd for need), kWh
$Q_{H,ht}$	er det totale varmetab i opvarmningstilfældet (<u>h</u> eat <u>t</u> ransfer), kWh
$\eta_{H,gn}$	er udnyttelsesfaktoren for varmetilskud (gn for gain)
$Q_{H,gn}$	er summen af varmetilskud, kWh
Q_{tr}	er det totale varmetab ved transmission, kWh
Q_{ve}	er det totale varmetab ved ventilation, kWh
H	er et indeks som angiver, at der er tale om opvarmningstilfælde.

I praksis kan reguleringen i øjeblikssituationen kun være optimal, hvis systemet 'ved', om det aktuelle øjeblik ligger inden for opvarmningsperioden. En pragmatisk måde at fastslå, om et givent øjeblik falder inden for opvarmningsperioden vil være at betragte varmebalancen for et helt døgn, for at afgøre, om der totalt vil være et varmebehov inden for de 24 timer. Opvarmningssæsonens periode fra første til sidste dag i kan principielt beskrives ved udtrykket angivet i formel (4), jf. Dansk Standard, 2008:

$$\theta_e \leq \theta_{i,set} - \frac{\eta_{H,gn,1} \cdot Q_{gn,day}}{(H_{tr} + H_{ve}) \cdot 24} \quad (4)$$

θ_e	er døgnmiddelværdi af udetemperaturen (°C)
$\theta_{i,set}$	er vinter-setpunktstemperaturen for det aktuelle rum (°C)
$\eta_{H,gn,1}$	er udnyttelsesfaktoren for varmetilskud, når $g_H = 1,0$
$Q_{gn,day}$	er middelværdi af varmetilskud over døgnet (kWh)
H_{tr}	er specifikt varmetab ved transmission (kW/K)
H_{ve}	er specifikt varmetab ved ventilation (kW/K)

Udnyttelsesgraden for varmetilskuddet afhænger af bygningens tidskonstant og af forholdet mellem varmetab og varmetilskud:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_C^{(a_H+1)}} \quad (5)$$

γ_H er forholdet mellem varmetilskud og varmetab, som afhænger af tidskonstanten τ_C

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (6)$$

τ er tidskonstanten, der afhænger af bygningens termiske masse og det specifikke varmetab

$\tau_{H,0}$ og $a_{H,0}$ er størrelser, som bl.a. afhænger af bygningstypen og den tidsperiode, som anvendes i metoden

Typiske værdier for $\tau_{H,0}$ og a_H er angivet i tabel 8, jf. Dansk Standard, 2008.

Tabel 8.

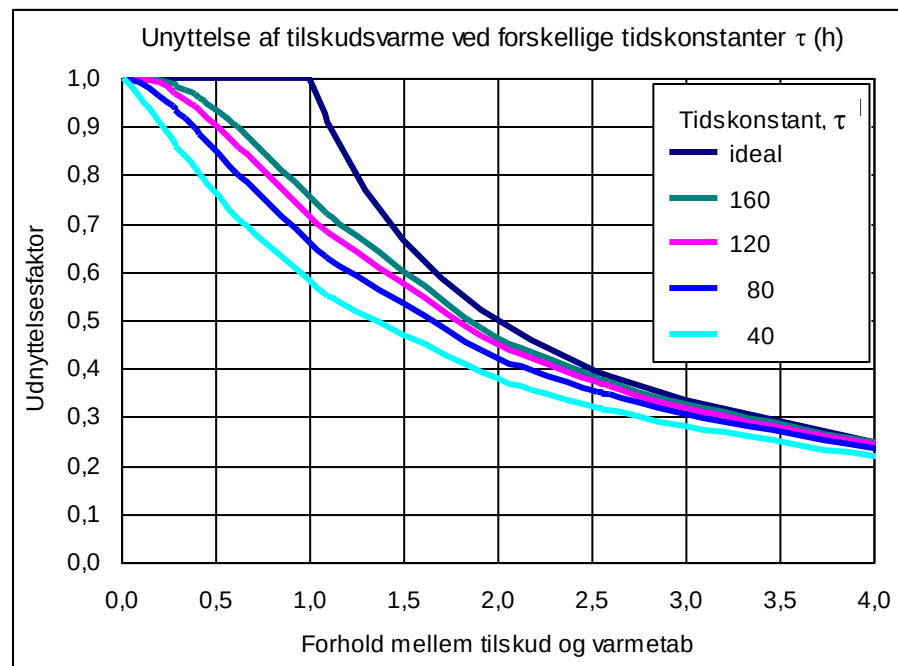
Metodetype	$a_{H,0}$	$\tau_{H,0}$ (h)
Månedsbaseret	1,0	15
Periodebaseret (døgn)	0,8	30

Værdierne kan også fastsættes nationalt, og andre værdier benyttes i BE10

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr} + H_{ve}} \quad (7)$$

C_m er rummets eller bygningens varmekapacitet, kWh/K

Figur 17 viser kurverne for udnyttelsesfaktoren, som den beregnes i Be06-programmet. Når varmetilskud er lig med varmetab (1,0 på x-aksen) varierer udnyttelsesgraden mellem 0,57 i den ekstremt lette bygning til 0,76 i den meget tunge bygning.



Figur 17. Kurver for udnyttelse af varmetilskud (interne varmebelastninger plus sol) som funktion af forholdet mellem varmetilskud og varmetab.

Energiforbrug til køling

Ligesom varmebehovet kan udtrykkes ved varmetab minus udnyttet varmetilskud, kan kølebehovet beskrives som varmetilskud minus 'udnyttet' varmetab:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ht} \cdot Q_{C,ht} \quad (8)$$

$Q_{C,nd}$ er nødvendigt energiforbrug til køling, kWh

$Q_{C,gn}$ er døgnmiddelværdi af varmetilskud (interne og sol) i køleperioden (C for cooling og gn for gain)

$\eta_{C,ht}$ er 'udnyttelsesfaktoren' for varmetabet

$Q_{C,ht}$ er middelværdi af varmetab (heat transfer) over døgnet (kWh)

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (9)$$

Q_{int} er summen af interne varmetilskud over en given periode

Q_{sol} er summen af soltilskud over en given periode

Formel (5) kan omskrives, så den udtrykker udetemperatur i forhold til kølestartpunkt, eller med andre ord beskriver køleperiodens længde:

$$\theta_e \geq \theta_{i,set,C} - \frac{Q_{gn,day}}{\eta_{C,ht,1} \cdot (H_{tr} + H_{ve}) \cdot 24} \quad (10)$$

θ_e er døgnmiddelværdi af udetemperaturen (°C)

$\theta_{i,set,C}$ er sommer-setpunktstemperaturen for det aktuelle rum (°C)

$Q_{gn,day}$ er middelværdi af varmetilskud over døgnet (kWh)

$\eta_{C,ht,1}$ er udnyttelsesfaktoren for varmetab, når $g_C = 1,0$

H_{tr} er specifikt varmetab ved transmission (kW/°C)

H_{ve} er specifikt varmetab ved ventilation (kW/°C)

g_C er forholdet mellem varmetilskud og varmetab

$$\eta_{C,ht} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (11)$$

g_C er forholdet mellem varmetilskud og varmetab, $Q_{C,gn} / Q_{C,ht}$

a_C er en dimensionsløs størrelse, som afhænger af tidskonstanten τ_C

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} \quad (12)$$

Værdierne af $\tau_{C,0}$ og $a_{C,0}$ er størrelser, som bl.a. afhænger af bygningstypen og den tidsperiode, som anvendes i metoden. Værdierne kan antages at have samme størrelse som angivet for varmetilfældet i tabel 8 (hvor de angives med indeks H for heating).

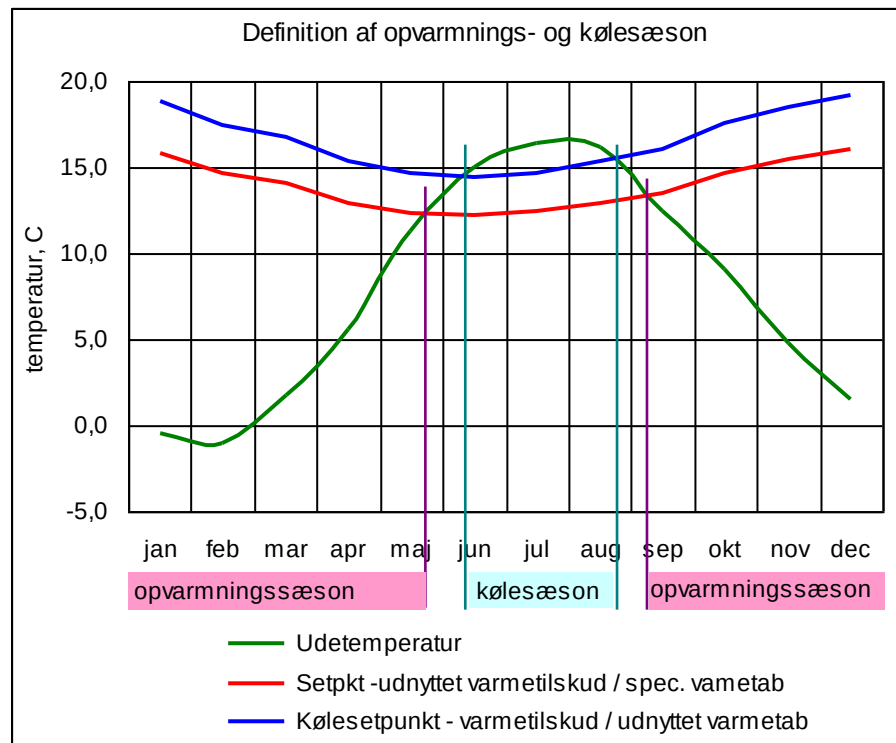
Længden af opvarmningssæson og kølesæson

Figur 18 viser kurver for venstre og højresiderne i ligningerne (4) og (10).

Skæringspunkterne mellem udetemperaturen (grøn kurve) og den røde og den blå kurve angiver henholdsvis opvarmningsperioden og køleperioden, altså de perioder, hvor varmetilskuddet bidrager til at reducere optimeringsfunktionen (ønsket virkning), henholdsvis øge optimeringsfunktionen (uønsket virkning).

I praksis er det overgangsperioderne mellem opvarmnings- og kølesæsonerne, der giver de største udfordringer i optimering af reguleringen, fordi der inden for samme dag kan optræde både et opvarmningsbehov og et kølebehov. Et pragmatisk valg af reguleringen i overgangsperioderne kunne være, at reguleringen accepterer varmetilskud i morgentimerne (fx indtil kl.

9:00) og afviser/reducerer varmetilskud resten af dagen. Energimæssigt vil en lille afvigelse i reguleringen fra det helt optimale ikke have væsentlig betydning, mens det indeklimateæssigt kan medføre lidt større sandsynlighed for diskomfort.



Figur 18. Opvarmnings- og kølesæson defineret ud fra temperatursetpunkter og varmetilskud/varmebelastning.

Vægtning af termisk komfort mod energibesparelse

Temperaturstigningen som skyldes at varmetilskuddet er større end det, som kan udnyttes i opvarmningstilfældet eller som kan fjernes ved varmetab i køletilfældet kan udtrykkes ved ligningerne:

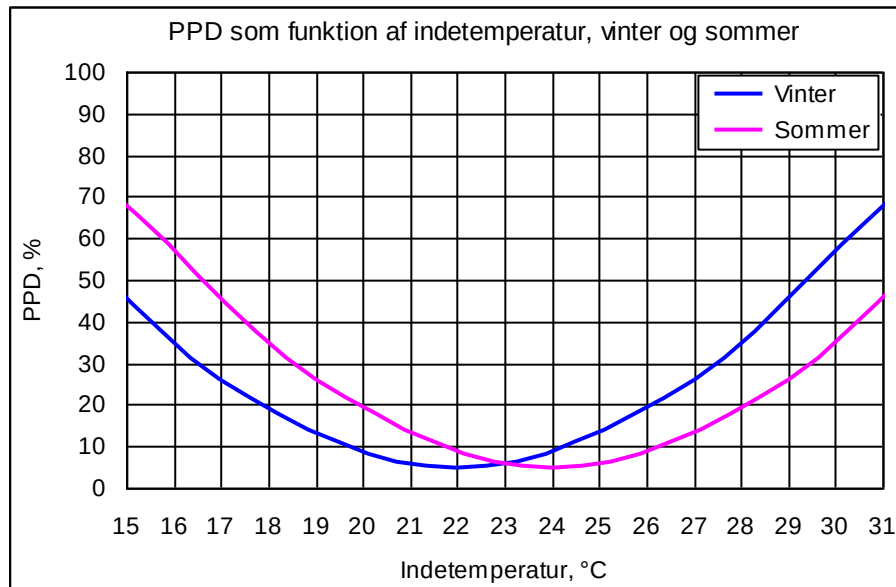
$$\Delta\theta_H = \frac{(1 - \eta_{H,gn}) \cdot Q_{H,gn}}{(H_{tr} + H_{ve}) \cdot t} \quad (13)$$

og

$$\Delta\theta_C = \frac{Q_{C,gn}}{(1 - \eta_{C,gn}) \cdot (H_{tr} + H_{ve}) \cdot t} \quad (14)$$

Formel (13) udtrykker, at den del af varmetilskuddet, som ikke udnyttes i opvarmningen, vil medføre at temperaturen stiger over setpunktet for opvarmning. Tilsvarende udtrykker formel (14), at den del af varmetabet, som ikke kan 'udnyttes' til at udligne varmetilskuddene vil medføre en temperaturstigning over setpunktet for køling.

Figur 19 viser kurver for Fangers komfortligning, her udtrykt ved det forventelige procentdel af en persongruppe, som vil opleve termisk diskomfort, Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD), under givne forudsætninger mht. påklædning, aktivitetsniveau samt lufthastighed og luftfugtighed. Det bemærkes, at kurverne gælder for den operative temperatur, altså den oplevede vægtning af lufttemperatur og strålingstemperatur. Figuren viser, at mindre afvigelser fra temperatur-setpunkterne sommer og vinter kun øger sandsynligheden for diskomfort ubetydeligt.



Figur 19. Typiske kurver for 'predicted percentage of dissatisfied' mht. termisk komfort, henholdsvis vinter (blå kurve) og sommer. Kurverne er baseret på typiske værdier af påklædning, aktivitetsniveau og lufthastigheder, som i dette tilfælde giver laveste PPD-værdier ved 22 °C, henholdsvis 24 °C.

I et rum med mange personer kan der i praksis ikke opnås en *PPD*-værdi på 5 %, dels pga. forskelle i påklædning og aktivitetsniveau, og dels pga. lokale variationer i de termiske parametre. Det betyder, at bundniveauet typisk sættes til 10 %, hvilket udtrykkes ved at der anvendes en tolerance på temperaturen på 2 - 2,5 °C. Inden for disse grænser viser kurverne, at der kan antages en stigning i *PPD* på ca. 2 % ved en afvigelse på 1 °C fra den optimale. Med betegnelsen *TDP* (thermal discomfort probability) i stedet for *PPD* fås:

$$\frac{\Delta TDP}{\Delta \theta_i} = 0,02 \quad [2 \% \text{ pr. } ^\circ\text{C}], \text{ inden for toleranceområdet} \quad (15)$$

Uden for toleranceområdet er temperaturafvigelsen mere kritisk, eller i nogle tilfælde måske helt uacceptabel. Som regel tillades et vist antal timer af brugstiden uden for tolerancegrænserne, og derfor må man også se på ændringen i *PPD* i et vist interval uden for toleranceområdet, fx 2 grader uden for dette område. I disse områder vil *PPD*- eller *TDP*-værdien typisk stige 4 - 5 % ved en stigning i temperaturafvigelsen på 1 °C. For at prioritere indeklimaet højest kan værdien sættes til 5 %, som angivet i formel (16):

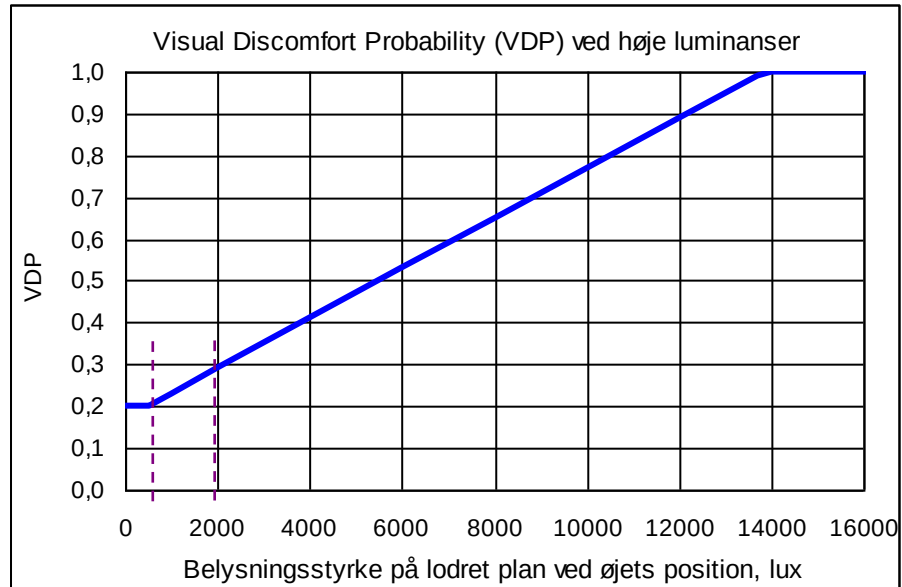
$$\frac{\Delta TDP}{\Delta \theta_i} = 0,05 \quad [5 \% \text{ pr. } ^\circ\text{C}], \text{ uden for tolerancer, kritisk område} \quad (16)$$

Det kritiske område kan defineres som det område, indetemperaturen i alle tilfælde skal være indenfor. Det betyder, at vægtningsfaktoren på termisk komfort skal være meget (uendelig) stor uden for dette område.

Visuel diskomfort på grund af blænding

Erfaringer viser, at en solafskærmning i kontor- og erhvervsbyggeri primært benyttes, når brugerne føler sig generet af lyset, og altså ikke – som det ofte antages – for at reducere varmelastningen i rummet. Men lyset kan virke generende på flere måder, fx ved direkte blænding, ved at lyset på arbejdsbordet eller en pc-skærm bliver for kraftigt eller ved at lyset giver for høje luminanser i synsfeltet i forhold til den aktuelle arbejdsopgave.

Et enkelt mål for, hvornår en person føler sig blændet af lyset fra et vindue, kan angives ved belysningsstyrken på (et lodret plan ved) personens øje.



Figur 20. Diskomfort pga. blænding (Visual discomfort probability due to glare, VDPG), normalt defineret ved belysningsstyrken på lodret plan ved brugerens øjenposition.

Figur 20 viser denne sammenhæng, som er beskrevet i (Wienold og Christoffersen, 2008). Kurven udtrykker sandsynligheden for at en person vil føle sig generet af blænding som funktion af belysningsstyrken på øjet. Der er tale om en forenkling af sammenhængen, men som reguleringsfunktion af solafskærmningen i typiske rum er det fordelagtigt at forenkle udtrykket. Formlen for kurven er:

$$f_{vis}(B_{pos}) = VDPG = 6,0 \cdot 10^{-5} \cdot E_{v,eye} + 0,2 \quad (17)$$

Kurven gælder ved belysningsstyrker over 500 lux, og det fremgår, at der altid må regnes med at mindst 20 % giver udtryk for diskomfort. Det bemærkes, at den meget høje procentdel, som altid vil udtrykke diskomfort er udtryk for, at præferencer og tolerancer med hensyn til visuel komfort er langt mere forskellige end med hensyn til termisk komfort. Hældningen på kurven giver følgende sammenhæng:

$$\frac{\Delta VDPG}{\Delta E_v} = 0,00006 \quad [0,006 \% \text{ pr lux eller } 0,6 \% \text{ pr. } 100 \text{ lux}] \quad (18)$$

Dette svarer til, at sandsynligheden for visuel diskomfort pga. høj luminans stiger med 3 % når den vertikale belysningsstyrke på øjet stiger med 500 lux, eller 5 % når belysningsstyrken stiger med 830 lux.

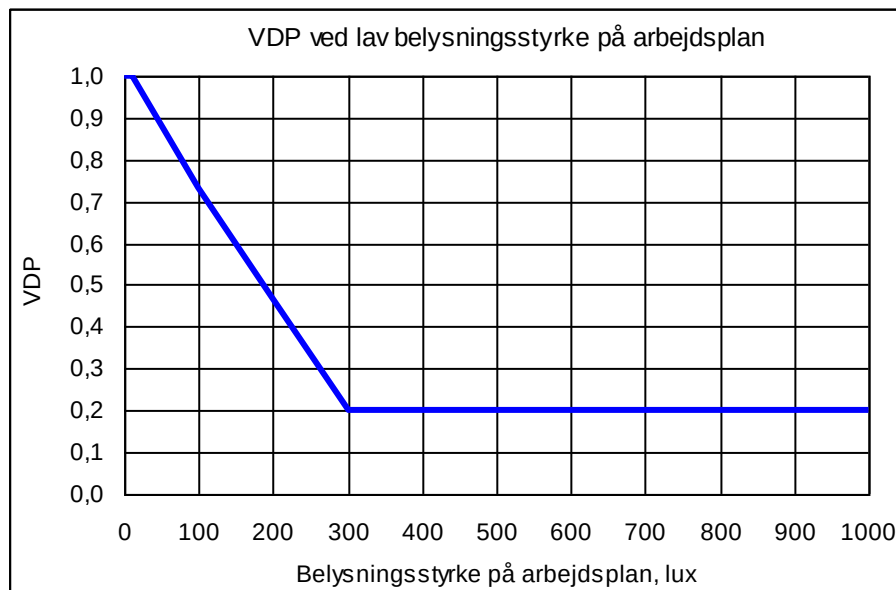
Visuel diskomfort på grund af for lidt lys til arbejdsopgaven

For at kunne optimere reguleringen af solafskærmningen må sandsynligheden for oplevelse af visuel diskomfort på grund af blænding vurderes i sammenhæng med sandsynligheden for diskomfort pga. for lav belysningsstyrke. Et udtryk for sandsynligheden for oplevelse af diskomfort på grund af for lav belysningsstyrke på arbejdsplanet er udviklet af Lindelöf (2005):

$$\begin{aligned} \text{hvis } E_h < 10 \quad f_{vis}(B_{pos}) &= VDPL = 1,0 \\ \text{hvis } E_h > E_{opt} \quad f_{vis}(B_{pos}) &= VDPL = (1 - VDPL_{min}) \cdot (E_{opt} - E_h) / E_{opt} \\ &\quad + VDPL_{min} \\ \text{ellers} \quad f_{vis}(B_{pos}) &= VDPL = VDPL_{min} \end{aligned}$$

E_h er belysningsstyrken på horisontalplan (arbejdsplan)

- E_{opt} er den ønskede (optimale) belysningsstyrke på arbejdsplanet (eller arbejdsobjektet), som afhænger af arbejdsopgaven
- $VDPL$ er sandsynligheden for visuel diskomfort pga. for lidt lys (L for lav, altså for lav belysningsstyrken på arbejdsbordet)
- $VDPL_{min}$ er den laveste værdi som indekset kan antage (typisk 0,2)



Figur 21. Diskomfort pga. for lav belysningsstyrke på arbejdsbordet (Visual discomfort probability due to low illuminance, $VDPL$).

Værdierne af den optimale belysningsstyrke E_{opt} og (mindste-)værdien for $VDPL_{min}$ afhænger af den konkrete arbejdsopgave, og kurven i figur 21 bør derfor betragtes som vejledende. Det bør endvidere bemærkes, at de to funktioner for visuel komfort, for henholdsvis for høj belysningsstyrke og for lav belysningsstyrke, bør betragtes under ét, og i praksis næsten aldrig vil være i konflikt med hinanden.

Hældningen på den skrå linje i funktionen udtrykker, at sandsynligheden for diskomfort stiger med ca. 0,25 %, når belysningsstyrken på arbejdsbordet falder med 1 lux, eller med ca. 5 %, når belysningsstyrken på arbejdsbordet falder med 20 lux

$$\frac{\Delta VDPL}{\Delta E_h} = -0,0025 \quad [-0,25 \% \text{ pr. lux eller } -25 \% \text{ pr. 100 lux}] \quad (19)$$

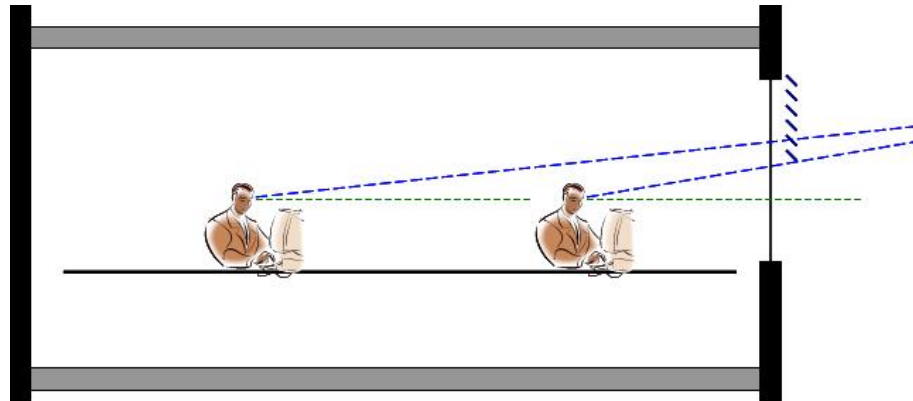
Selv om konstanterne i funktionen afhænger af den aktuelle situation, kan denne sammenhæng mellem diskomfort og lav belysningsstyrke med tilnærmelse benyttes generelt. I praksis har denne funktion begrænset interesse i situationer, hvor brugerne har individuelle (energieffektive) arbejds-lamper, da energiomkostningen ved at hæve komforten for den enkelte er meget beskeden. I dybe lokaler, hvor belysningen udelukkende er baseret på almen loftsbelysning, kan situationen derimod være mere kompleks, idet der kan være en konflikt imellem behovet for at afskærme for kraftigt dagslys og behovet for at have tilstrækkeligt lys på arbejdsbordet (arbejdsbordene).

Udsyn

Den vigtigste egenskab ved et vindue er, at man kan se ud og følge med i hvad der sker udenfor bygningen, herunder det skiftende vejrlig (SBI-rapport 318.). Derfor betragtes udsynet også som en væsentlig komfortparameter i forbindelse med egenskaberne for facaden, herunder den aktuelle afskærmning. Muligheden for at have et godt udsyn til omgivelserne vil i nogle tilfælde være i konflikt med behovet for at afskærme mod generende blænding fra sollyset. Men da synsnedsettende blænding kan medføre, at en given

arbejdsfunktion ikke kan udføres, vil man normalt prioritere det *at undgå blænding* højere end det *at bevare udsynet*.

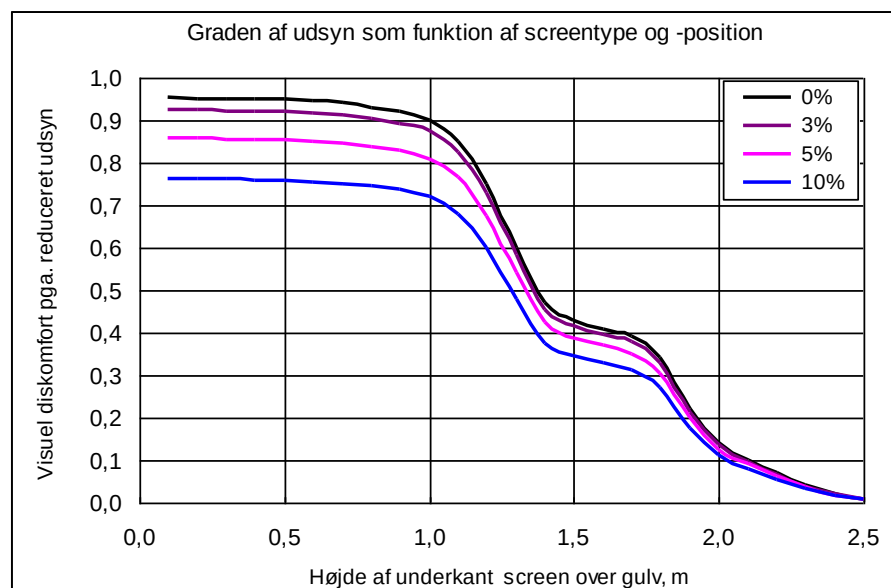
Diskomforten pga. af forringet udsyn kan beskrives i forhold til, hvor meget det frie udsyn reduceres eller forvanskes (fx misfarves eller forringes i skarphed). For et rullegardin (eller en screen) eller en persienne, som sænkes ned oppefra, vil reduktionen af udsynet afhænge af vinduesgeometrien (størrelse, form og placering), af omgivelserne samt af øjenhøjden for brugerne af rummet og brugernes placering i rummet. Typisk vil der for siddende personer placeret tæt ved vinduet (mindre end 2 m fra vinduet) ske en forringelse af udsynet, når afskærmningen kommer lavere end 1,5 m over gulvet, men personer som sidder længere fra vinduet vil opleve en forringelse allerede når afskærmningen kommer lavere end 2,0 m over gulvet. Denne forringelse sker fordi man mister en del af (eller hele) udsynet til himlen.



Figur 22. Illustration af reduktion i udsynet til omgivelserne. For de fleste bygninger vil der være en afskærmning af horisonten på grund af andre bygninger eller beplantninger, og derfor vil afskærmninger, der blokerer for udsynet gennem den øverste del af vinduet virke generende, fordi udsynet til himlen reduceres eller hindres helt.

Når afskærmninger kommer under ca. 1,2 m over gulv (øjnehøjde for siddende personer) begynder der at ske en reduktion af udsynet til bygningens omgivelser, og graden af gene vil afhænge stærkt af typen af solafskærmning, idet udsigten betragtes gennem afskærmningen.

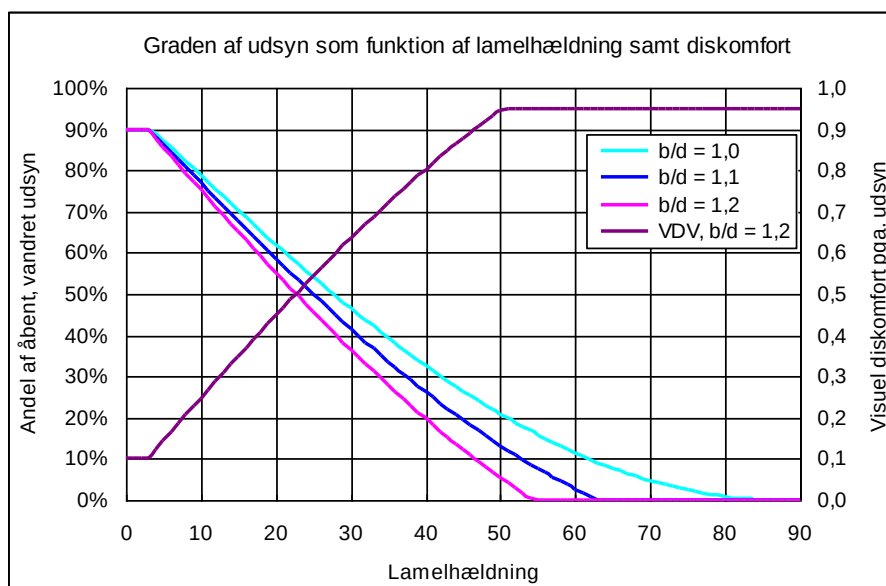
Der findes ingen dokumenteret model for diskomfort pga. reduceret udsyn til det fri, men flere undersøgelser har påvist, at udsynet betragtes som den vigtigste egenskab ved vinduet. Derfor kan det antages, at når udsynet blokeres helt, vil alle opleve 'diskomfort'.



Figur 23. Illustration af principielt forløb af kurver for sandsynlighed for visuel diskomfort pga. reduceret udsyn ved anvendelse af et rullegardin eller en screen. Kurverne antyder en sammenhæng mellem diskomfort og screenposition for screens med 4 forskellige åbningsgrader.

Ligeledes kan det antages, at ingen vil opleve diskomfort (på grund af reduceret udsyn), når afskærmningen er trukket helt fra. Graden af diskomfort eller sandsynligheden for, at en person oplever diskomfort kan næppe beskrives ved en ret linje mellem 'fuldt udsyn' og 'ingen udsyn', og kurvens form vil sandsynligvis afhænge af typen af afskærmning. Figur 23 viser en mulig sammenhæng mellem sandsynligheden for oplevet diskomfort pga. reduceret udsyn og positionen af et rullegardin eller en screen. Kurverne viser diskomforten for personer med siddende arbejde, som fx i kontorer. Positionen er angivet ved højden over gulvet af underkanten af screen. Formen på kurverne vil bl.a. afhænge af vinduets geometri, specielt højden af vinduet. Kurverne antyder, at personer vil udtrykke stigende diskomfort, når afskærmningen begynder af reducere udsynet til himlen (fra 2,5 til 2,0 m over gulv, og at sandsynligheden for diskomfort stiger kraftigt, når afskærmningen kommer under øjenhøjde for stående personer (1,9 til 1,6 m over gulv). Diskomforten stiger igen kraftigt, når udsynet fra siddende personer reduceres (1,4 til 1,1 m over gulv). Figuren viser kurver for screen med 4 forskellige åbningsgrader (procentvis åbent areal), fra 0 % til 10 %. Mens man kan få et rimeligt tydeligt billede af udsigten gennem en screen med 10 % åbningsgrad, er det stort set umuligt at se ud gennem en screen med 3 % åbningsgrad, noget afhængigt af lysforholdene ude og inde.

Figur 24 viser sammenhængen mellem lamelhældningen og det frie udsyn for persienser med forskelligt overlap af lamellerne (forhold mellem lamelbredde og lamelafstand på henholdsvis 1,0, 1,1 og 1,2).



Figur 24. Graden af vandret frit udsyn gennem persienser som funktion af lamelhældning. Figuren viser kurver for persienser, hvor forholdet mellem lamelbredde (b) og lamelafstand (d) er henholdsvis 1,0, 1,1 og 1,2. Mange simple persienser har i lukket tilstand et overlap på 20 % (svarende til den cyanfarvede kurve), og blokerer helt for udsynet, når lamellerne er drejet til ca. 55°, målt fra vandret. Den lilla kurve, der aflæses på højre skala, antyder en mulig kurve for sandsynligheden for visuel diskomfort (VDV) pga. reduceret udsyn (V for view out).

Figuren viser, at for en typisk persienne, hvor lamelbredden er ca. 20 % større end lamelafstanden, blokerer persienne for 50 % af det frie, vandrette udsyn ved en lamelhældning på ca. 23°, mens den lukker helt for udsynet ved en vinkel på ca. 56°. Figur 24 antyder - som et simpelt udtryk for sandsynligheden for diskomfort - solafskærmningens blokering af udsynet, dvs. 1-(andelen af udsyn).

Vægtning af faktorer i optimeringsfunktionen

For at kunne vægte energibidrag og komfortbidrag i optimeringsfunktionen må alle led i formlen bringes på samme enhed (fx kr. eller kr./år) eller gøres dimensionsløse. Da komfortbidragene (eller diskomfortbidragene) i forvejen er dimensionsløse og ligger mellem 0 og 1,0, vil det være passende at gøre energibidragene dimensionsløse inden for samme interval. Da vægtningsfaktorerne i alle tilfælde fastlægges ud fra subjektive vurderinger af vigtigheden af de enkelte led i optimeringsfunktionen, er det i realiteten underordnet, hvordan energibidragene gøres dimensionsløse. Da bygningsreglementets energiramme vægter varme og el i forholdet 1:2,5, vil det dog være rimeligt også at vægte på denne måde i optimeringsfunktionen. Ved at betragte de aktuelle energiforbrug som en andel af det maksimalt tilladelige energiforbrug, fx udtrykt ved energirammen i BR 2008, kan energileddene i optimeringsfunktionen gøres dimensionsløse.

Energirammen for større bygninger i BR 2008 udtrykkes som:

$$95 + 2200/A \quad [\text{kWh/m}^2 \text{ pr. år}] \quad (20)$$

A er det opvarmede etageareal, m^2 .

I praksis betyder det at en større BR 2008 bygning har et energiforbrug på tæt ved $100 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$, og derfor vil en division af de aktuelle årlige energiforbrug med 100 give en passende størrelse på de dimensionsløse energiforbrug.

Ved optimering af reguleringen for en solafskærmning i et givet øjeblik (i det følgende tidsstep) vil det enkleste være at tage udgangspunkt i den aktuelle position af afskærmningen. Hvis tidssteppet har en længde på 1 time, vil afskærmningens position ved udgangen af et tidsstep være baseret på, hvordan forholdene var 60 minutter tidligere. For at optimere reguleringen af solafskærmningen i det følgende tidsstep må man derfor se på, hvilke ændringer, der er sket siden sidste valg af afskærmningsposition. Til disse ændringer hører bl.a. ændringer i solindstråling, solens position, inde- og ude-temperatur samt evt. persontilstedeværelse i det aktuelle rum. Det er altså *ændringerne* af de enkelte led i optimeringsfunktionen, der har interesse, og derfor vil en minimering af funktionen være det samme som en minimering af ændringer fra det ene tidsstep til det næste, hvilket kan udtrykkes ved:

$$\begin{aligned} \Delta U = & W_1 \cdot \Delta Q_{\text{heat, cool}}(Q_{\text{gn}}) + W_2 \cdot \Delta Q_{\text{light}} \\ & + W_3 \cdot \Delta f_{\text{th}} \cdot \text{Occ} + W_4 \cdot \Delta f_{\text{vis}} \cdot \text{Occ} + W_5 \cdot \Delta f_{\text{view}} \cdot \text{Occ} \end{aligned} \quad (21)$$

Hvor alle variabel-leddene i formlen, angivet med et Δ foran, er den beregnede eller forventede ændring i den variable ved en ændring af solafskærmningens position.

Vægtning af termisk komfort mod en reduktion i energiforbrug

For at kunne vægte den termiske komfort mod en reduktion i energiforbruget må man have et vist kendskab til sammenhængen mellem energiforbruget og de valgte temperatursetpunkter for opvarmning og køling. For større bygninger, som opfylder energirammen i BR 2008 vil energiforbruget til opvarmning typisk ligge omkring $60 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$, og en reduktion af ønsket inde-temperatur med $1,0 \text{ °C}$ vil typisk medføre en reduktion på ca. 12 % af varmemeforbruget, eller ca. 7 kWh/m^2 . Så længe indetemperaturen ligger inden for det kritiske område kan det antages, at den relative energiændring (i % pr. °C) er konstant. Det dimensionsløse energiforbrug har vi valgt at definere som energiforbruget divideret med $100 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$, svarende til et typisk

maksimalforbrug for en BR 2008 bygning. I dette tilfælde bliver den dimensionsløse energiændring derfor:

$$\frac{\Delta Q_{\text{heat, cool}}(Q_{\text{gn}})}{100} \frac{\text{kWh/m}^2 \text{ pr. år}}{\text{kWh/m}^2 \text{ pr. år}} = \frac{7}{100} = 0,07$$

Vægtningen mellem termisk komfort og energiforbrug vil inden for toleranceområdet altså være en sammenligning mellem 2 % flere der oplever diskomfort i forhold til en besparelse på 7 kWh/m² pr. år, mens det inden for det kritiske område vil være en sammenligning mellem 5 % flere der oplever diskomfort i forhold til en besparelse på 7 kWh/m² pr. år, jf. formlerne (15) og (16) side 35. For at vægte disse værdier mod hinanden må man benytte de dimensionsløse størrelser, som vist i tabel 9 (der skal opfattes som taleksempel for en konkret (BR2008-bygning). En ligelig vægtning af komfort og energi til opvarmning/køling fås ved at benytte en vægtningsfaktor på 3,5 inden for toleranceområdet, og på 1,4 inden for det kritiske område. Da vi imidlertid også ønsker at vægte komforten højere end en elbesparelse, skal disse vægtningsfaktorer øges yderligere med en faktor 2,5, hvorved de bliver henholdsvis 8,75 og 3,5. Da man altid vil vægte komforten højere, foreslås her, at der benyttes en faktor 10 inden for toleranceområdet, svarende til at komforten vægtes lidt højere (ca. 15 % højere) end energien. Inden for det kritiske område er der foreslået en vægtningsfaktor på 20, svarende til at komforten vægtes ca. 6 gange højere end energien.

Tabel 9. Taleksempel med sammenlignelige ændringer i termisk komfort og energiforbrug ud fra en ændring af indetemperaturen på 1,0 °C. Vægtningsfaktorerne vælges således, at komfortforbedringer altid vægtes højere end energibesparelser.

Vægtning komfort/energi		Toleranceområde	Kritisk område	Uden for kritisk område
		22 ± 2 °C 24 ± 2 °C	18 – 20 °C 26 – 28 °C	< 18 °C > 28 °C
$\Delta DTP / \Delta \theta_i$	vinter sommer	0,02 / °C	0,05 / °C	> 0,05 / °C
Dimensionsløs komfortændring		0,02	0,05	> 0,05
Energiændring		7 kWh/m ² pr. år / °C	7 kWh/m ² pr. år / °C	7 kWh/m ² pr. år / °C
Dimensionsløs energiændring		0,07	0,07	0,07
Forhold varme- og køle- energi / komfort		3,5	1,4	-
Vægtningsfaktor varme / el / komfort: W1 / W2 / W3		1 / 2,5 / 10	1 / 2,5 / 20	1 / 2,5 / 100

Værdierne i tabel 9 betyder, at hvis vægtningsfaktoren for varme- og køleenergi, W1 er 1,0, skal vægtningsfaktoren for el-energi W2 sættes til 2,5 og den for termisk diskomfort W3 bør sættes til 10 i toleranceområdet og 20 uden for toleranceområdet, men inden for det kritiske område.

Vægtning af blænding

Den primære funktion af en solafskærmning er at beskytte bygningens eller rummets brugere mod blænding. Men når afskærmningen lykkes mere i for at beskytte mod blænding, kan det både medføre en stigning i elforbruget til belysning og en *ændring* (positiv eller negativ) i varme- eller kølebehovet. Hvis reguleringen sker i opvarmningssæsonen vil lukningen udelukke en større del af et ønsket solvarmetilskud, og altså medføre et større varmeeforbrug til ugunst for optimeringen. Hvis reguleringen sker i kølesæsonen, reduceres energiforbruget til (ventilation og) køling til gunst for optimeringen.

Samtidig sker der en reduktion af udsynet, hvilket vil øge sandsynligheden for diskomfort pga. reduceret udsyn.

For at vægte disse komfort- og energiændringer mod hinanden, må man have et mål for hvor meget hvert led i optimeringsfunktionen vil eller kan ændre sig ved en given justering af solafskærmningen.

Tabel 10 viser, hvorledes en ændring i solafskærmningen fra et tidsstep til det næste kan tænkes at ændre på de visuelle komfortparametre, på solindfald og på energiforbrug. Afskærmningen er her tænkt at være en persienne med lamellerne i vandret stilling (Blindposition B_{pos} 0° i tidsstep 1).

Tabel 10. Taleksempel for, hvordan en ændring i solafskærmningens indstilling fra ét tidsstep til det næste (drejning af persienne lameller fra 0 til 60°) kan ændre komfortparametre, udnyttet solvarmetilskud og energiforbrug. Talværdierne for energi svarer til typiske værdier for en BR 2008 bygning.

	B_{pos}	$E_{v,eye}$	$VDPG$	g	$Q_{sol,udnyttet}$	Q_H	$VDPV$	Q_{light}
	°	lux	-	-	kWh/m ² pr. år	kWh/m ² pr. år	-	kWh
Tidsstep 1	0	2200	0,30	0,56 ¹⁾	10 ²⁾	(60) ²⁾	0,1	
Tidsstep 2	60	500	0,20	0,12 ¹⁾	2,1	(67,9)	0,95	+
Ændring			-0,10		(-7,9)	+7,9	+0,85	ΔQ_{light}
Dimensionsløs ændring			-0,10	-	-	+0,079	+0,85	$\frac{2,5 \cdot \Delta Q_{light}}{100}$

¹⁾ Talværdier fra. ²⁾ angiver typiske talværdier for en BR 2008 bygning.

Uden ændring vil belysningsstyrken på øjeplan være 2200 lux svarende til at sandsynligheden for visuel diskomfort på grund af blænding vil være 0,3. For at reducere blændingen lukkes persiennen til 60°, hvorved VDPG falder til minimal-værdien 0,2, jf. figur 20. Når persiennen lukkes mere i, reduceres dens solvarmetransmittans (g-værdi), i dette tilfælde fra 0,56 til 0,12. Det betyder, at solvarmetilskuddet reduceres, hvilket øger optimeringsfunktionen i opvarmningssæsonen (øget varmekonsum, hvilket er uønsket), mens det reducerer den i kølesæsonen (reduceret køleforbrug, hvilket er ønsket). I praksis er det derfor kun i opvarmningssæsonen, at vægtningen har interesse, da det er her at komfortforbedringen udmønter sig i et større energiforbrug. For at gøre stigningen i energiforbrug til opvarmning dimensionsløs, kan man se på, hvor meget soltilskuddet typisk betyder i opvarmningssæsonen. Typisk udnyttes soltilskuddet med ca. 10 kWh/m² (etageareal) pr. år, og størrelsen er tæt på at være proportional med g-værdien for rude + afskærmning. En ændring af g-værdien vil medføre et reduceret solvarmetilskud, der tilnærmet kan beregnes som tilskuddet før ændringen multipliceret med forholdet mellem g-værdierne (tilnærmet fordi udnyttelsesfaktoren ændrer sig):

$$Q_{sol,2} \approx \frac{g_2}{g_1} \cdot Q_{sol,udnyttet} \quad (22)$$

I eksemplet betyder det, at opvarmningsbehovet (for det tænkte tilfælde, at g-værdien reduceredes i hele opvarmningssæsonen) vil stige med omtrent lige så meget som det udnyttede solvarmetilskud reduceres:

$$\Delta Q_{sol} = Q_{sol,1} - Q_{sol,2} \approx (1 - \frac{0,12}{0,56}) \cdot 10 = 7,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ pr. år}$$

Lige som ved vægtningen af energiforbrug mod termisk komfort, kan denne energiændring gøres dimensionsløs ved at dividere med det typiske (vægtede) energiforbrug i et BR 2008-hus, nemlig 100 kWh/m². Den dimensionsløse

se størrelse fås altså ved at dividere differencen mellem de udnyttede soltilskud (forholdet mellem g-værdierne) med 10.

Vægtning af udsyn

Næstsidste kolonne i Tabel 10 viser, at diskomforten stiger kraftigt på grund af reduceret udsyn (VDPV).

Når solafskærmningen lukkes i for at beskytte mod blænding, reduceres udsynet samtidig, hvilket betyder at to komfortkriterier virker imod hinanden. Undersøgelser har vist (ECCO, 2002-2005), at de fleste brugere har en større tolerance over for blænding, når det skyldes dagslys eller sol, samt at en del personer prioriterer udsynet så højt, at de accepterer en vis grad af blænding. På den anden side kan blænding medfører, at en given arbejdsopgave ikke kan udføres, hvilket kan antages at være uacceptabelt for alle. Endelig har det vist sig at enkelte personer prioriterer udsynet ganske lavt. Derfor er den største værdi af visuel diskomfort pga. udsyn sat til 0,95, jf. figur 23 og figur 24.

Generelt bør ønsket om at undgå blænding prioriteres højere end hensynet til at bevare udsynet. Men for at tilgodese at ønsket om at et vist udsyn kan bevares, selv om der kan optræde en lille grad af blænding, bør der opereres med et toleranceområde for blænding. Ud fra den foreliggende viden (ECCO-Build, 2006) kan tolerancegrænsen for blænding sættes ved ca. 2.000 lux på øjets plan, svarende til at VDPV på 0,28.

El til belysning

Sidste kolonne i tabel 10 indikerer, at elforbrug til belysning kan stige, når afskærmningen lukkes mere i. Der er ikke angivet talværdier for dette, idet det kan antages, at denne situation sjældent indtræffer. Når situationen optræder, skal (stigningen i) elforbruget indregnes i optimeringsfunktionen med en vægtningsfaktor på 2,5.

Den dimensionsløse størrelse for elforbruget til belysning i optimeringsfunktionen er det øjeblikkelige vægtede (med faktor 2,5) 'energiforbrug' til almenbelysningen i rummet divideret med 100. Forbruget afhænger til en vis grad af solafskærmningens indstilling, især hvis der ikke anvendes arbejds-lamper i rummet. Reguleringen bør så vidt muligt fungere sådan, at afskærmningen ikke lukkes så meget, at det medfører et øget behov for kunstlys (almenbelysning). I praksis vil dette sjældent være et problem, da afskærmningen normalt kun benyttes når der er direkte solindfald på facaden, hvilket som regel vil give tilstrækkeligt dagslys, selv om afskærmningen er trukket for. I den bagerste del af meget dybe rum (dybere end 6 - 7 m) kan det være nødvendigt at øge kunstlyset, når solafskærmningen trækkes for.

Vægningsfaktorer

Eksemplet i tabel 10 viser, hvordan VDPV stiger ved lukning af persiennens lameller til 60°. Da VDPV ændrer sig markant selv ved en mindre ændring i solafskærmningen, og da vi normalt ønsker at prioritere blænding højere end udsyn, skal vægtningsfaktoren for udsyn sættes noget lavere end for blænding. I toleranceområdet for blænding kan forholdet mellem vægtningsfaktoren for visuel diskomfort (blænding) W4 være og vægtningsfaktoren for reduceret udsyn W5 være 10:1, mens forholdet i det kritiske område kan være 20:1.

Eksemplet i tabel 10 viser også, at for at optimere reguleringen i et givet øjeblik kan det være en fordel at betragte ændringerne af alle leddene i optimeringsfunktionen ved en given ændring af solafskærmningens indstilling: Hvis indstillingen er optimal i tidsstep 1, og forudsætningerne (solindstråling, udetemperatur etc.) har ændret sig ved starten af tidsstep 2, hvilken ændring er så nødvendig for også at optimere i tidsstep 2? Optimeringsfunktionen kan da skrives.

$$\Delta U = W_1 \cdot \Delta Q_{heat, cool} (Q_{gn}) + W_2 \cdot \Delta Q_{light} + W_3 \cdot \Delta TDP \cdot Occ + W_4 \cdot \Delta VDPG \cdot Occ + W_5 \cdot \Delta VDPV \cdot Occ \quad (23)$$

Tabel 11 giver en oversigt over vægtningskonstanterne, som typisk vil være passende for en BR 2008 bygning. For andre bygninger kan det være nødvendigt at vælge andre faktorer.

Tabel 11. Typiske vægtningsfaktorer, som kan benyttes for en BR 2008 bygning.

	W1	W2	W3	W4	W5
	Varme- køle-energi / el	el	Termisk diskomfort	Visuel diskomfort	Begrænset udsyn
Toleranceområde	1 / 2,5	2,5	22 ± 2 °C 24 ± 2 °C 10	< 2000 lux 10	1
Kritisk område	1 / 2,5	2,5	18 – 20 °C 26 – 28 °C 20	> 2000 lux 20	1
Uacceptabelt	1 / 2,5	2,5	< 18 °C > 28 °C 100	> 4000 lux 100	10

Reguleringssystemets opbygning

For at reguleringssystemet kan udføre den optimale regulering, som beskrevet i det foregående, skal systemet dels løbende registrere en række parametre og dels have informationer om, hvordan nogle af disse parametre vil ændre sig, når afskærmningen ændres. Alle de variable er beskrevet i nedenstående tabel.

Tabel 12. Oversigt over nødvendige parametre/variabler, som skal måles for at den optimale regulering kan fungere. Flere af de variable beregnes eller bestemmes indirekte ud fra andre målinger.

Status variabel	Forklaring	Benyttes til	Enhed
Occ	Occupancy. Tilstedeværelsesparameter, der har værdien 1, når der er personer i det aktuelle rum, og 0 når der ikke er.	Bestemmelse af om der skal reguleres efter komfort eller kun efter energi	-
B _{pos}	Blind position. Afskærmningens aktuelle indstilling. det kan være nødvendigt at definere flere parametre til at beskrive indstillingen, for en persienne fx de to nedenstående.	Indgår i reguleringssenhedens 'opslagstabel' for sammenhæng mellem position og g-værdi samt LT-værdi/lysreduktion	-
a	Åbningsgrad, 0 = lukket; 1 = åben	Parametre til beskrivelse af afskærmnings position afhænger af typen. Benyttes som beskrevet ovenfor	-
b	Lamelhældning, 0 = vandret, åben; 90 = lodret, lukket		°
θ _i	Aktuel indetemperatur, om muligt være operativ temperatur ved arbejdsplads	Som ovenfor samt til at bestemme, om temperaturen er inden for toleranceområdet	°C
E _{v,eye}	Belysningsstyrke på lodret plan ved brugerens øje. Kan omregnes fra belysningsstyrken målt på vertikalt plan foran brugeren, fx sidevæg i et kontor	Bestemmelse af sandsynlighed for visuel diskomfort på grund af blænding, VDPG	-
E _{h,i}	Belysningsstyrke på arbejdsplan	Bestemmelse af sandsynlighed for visuel diskomfort på grund af for lav belysningsstyrke på arbejdsbord, VDPL	-
Q _{el}	Aktuelt elforbrug til belysning. Den aktuelle effekt omregnes til et årsenergiforbrug pr. m². Gøres dimensionsløst ved at dividere med 100 kWh/m²	Indgår direkte i optimeringsfunktionen	-
Klima-variabel	Forklaring	Benyttes til	Enhed

<i>time</i>	Aktuelt klokkeslæt og dato	Beregning af solens azimut, højdevinkel og profilvinkel samt bestemmelse af opvarmnings- eller køletilfælde	-
$I_{v,e}$	Udvendig solindstråling på lodret (på facaden)	Kun to solparametre er nødvendige, så direkte og diffus stråling kan adskilles. Bruges til beregning af forventet transmission af solvarme og lys ved en aktuel position af afskærmningen	W/m ²
$I_{h,e}$	Udvendig globalstråling på vandret		W/m ²
$I_{h,e}$	Udvendig diffus stråling på vandret		W/m ²
θ_e	Aktuel udetemperatur	Sammen med <i>time</i> og indetemperatur til at bestemme opvarmnings- eller køletilfælde	°C

6. Demonstrationsprojekter

Tidligt i projektet var der truffet aftale med Syd Energi (SE) om at dette selskab ville stille sin relativt nye administrationsbygning i Sønderborg til rådighed for gennemførelse af demonstrationsforsøg. SE ønskede at undersøge to forskellige typer udvendig solafskærmning, idet der de eksisterende afskærmninger var utilstrækkelige eller fungerede utilfredsstillende.

Udarbejdelsen af den eksperimentelle metode i demonstrationsprojektet blev udarbejdet inden det blev klart, at det udviklede prototypesystem ikke var stabilt, samt indeholdt uidentificerede fejlkilder, der ikke var til at spore. De to afskærmningssystemer blev monteret som planlagt, i første omgang med et selvstændigt reguleringssystem. Måleprogrammet blev iværksat, idet første fase i programmet var planlagt således, at brugerne kunne vurdere de to systemer, så der kunne træffes beslutning om det endelige valg.

Parallelt med at det planlagte demonstrationsprojekt blev sat i gang, blev den endelig udformning af systemets komponenter og deres funktionalitet udviklet og afprøvet under laboratorieforhold. Dette foregik ved, at systemet først blev installeret og afprøvet hos EPFL i Lausanne, Schweiz, dernæst ved Fraunhofer Institut, ISE, i Freiburg, Tyskland, og til sidst hos SBI i Hørsholm, Danmark. Installationen hos SBI er beskrevet i det følgende afsnit.

Udvikling og afprøvning i SBI's Dagslyslaboratorium

Væsentligt for at afprøvningen i laboratorierne kunne gennemføres var, at alle komponenter, både software og hardware, var ens ved alle tre steder. I december 2005 installerede Servodan et switch-board til prototypesystemet med kabel til interne og eksterne måleinstrumenter. Følgende sensorer blev installeret i henhold til tabel 14:

- Indendørs temperatursensor
- PIR sensor (tilstedeværelsessensor)
- Prototypesensoren (se figur 26)
- Vindhastighedsmåler
- Udendørs temperatursensor
- Indium sensor til måling af global og direkte horisontal stråling, jf. side 85.
- On/off afbryder til loftsbelysning
- ECCO-Controller
- Manuel styring af persienne (op/ned samt drejning af lamel)

Kommunikationen mellem reguleringssystemet, kaldet ECCO-controlleren og switch-board dirigeres som "telegrammer" på en EIB-Bus (European Installation Bus). I selve ECCO-controlleren er der flere software programmer, der i prototypen kører på en bærbar computer. Hovedtanken bag ECCO-controlleren er, at den er med tiden vil lære de "vaner/handlinger" som en bruger af kontoret normalt udfører. Det kan fx være, hvornår man kommer på kontoret om morgenen og forlader det om eftermiddagen, hvornår man går til frokost, hvilken indendørstemperatur der foretrækkes, hvilken position persiennen har, når det er direkte solskin, tærskel for hvornår brugeren tænder og slukker for loftsbelysningen osv.

Software blev installeret i slutningen af december 2005. Efterfølgende gennemførtes en række test-kørsler, software-opdateringer og hardware-

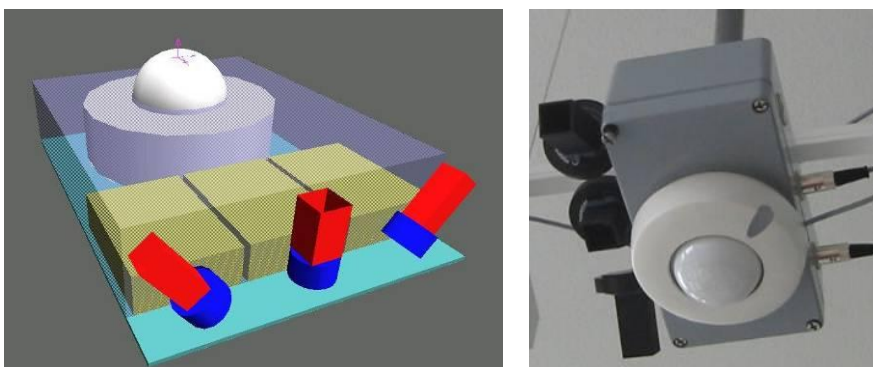


Figur 25. Ny EIB-Bus (til venstre) baseret på et switch-board viser moduler, strømforsyning og to kommunikationsinterfaces. Til højre er laptop med ECCO-Controller software og stationær PC for opsætning af actuators, dataopsamling osv. Under hele forløbet var der fuld adgang, via internettet, fra deltagerne i EU-projektet.

justeringer i laboratorier i Europa (EPFL, ISE og SBI). Selve kommunikationen på EIB-Bus fungerede fint, men desværre fungerede softwaren ikke tilfredsstillende, især ikke den implementerede dagslysmode, som er en væsentlig del af softwarepakken.

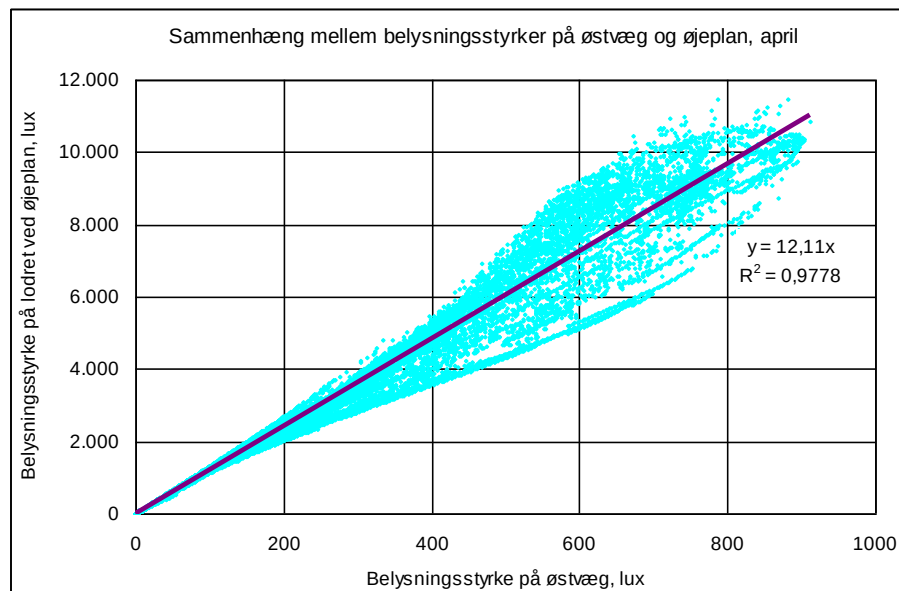
Sensordesign

Som beskrevet i afsnittet *Fuldskalaforsøg til kortlægning af visuelle parametre og brugernes grænseværdier for disse*, side 77, viser resultaterne, at den vertikale belysningsstyrke på øjet er en god indikator for hvordan man oplever blænding fra vinduet. Men hvordan måles den vertikale belysningsstyrke? Hvis der er en væg bagved en bruger, kan det give en god indikator på den vertikale belysningsstyrke, men en sådan placering er uhensigtsmæssig, da væggen ofte benyttes af andre ting. I EU-projektet udvikledes derfor en sensor bestående af 3 Hagner SD2 belysningsensorer, se figur 26. Hver sensor er afskærmet med et kvadratisk rør, således at de måler henholdsvis 1 m^2 på væg og 2 m^2 på bord. I midten er en bevægelsessensor.



Figur 26. Til venstre er vist et grafisk design af sensor, og til højre er prototypen.

For at se sammenhængen mellem en loftssensor og en sensor placeret på væggen, gennemførtes en årlig dagslyssimulering med programmet *Radiance*. Figur 27 viser denne sammenhæng for april måned, og det fremgår, at der kan antages at være en lineær sammenhæng mellem signalerne fra de to sensorer. Beregningerne viser endvidere, at der med god tilnærmelse kan regnes mellem en lineær sammenhæng, men at sammenhængen kan variere lidt med årstiden, det vil primært sige med middelsolhøjden for en given periode. Den viste sammenhæng er vigtig for at kunne omsætte en simpel måling til en værdi af VDPG, visual discomfort probability due to glare, jf. side 35.



Figur 27. Beregninger for et sydvendt kontor i april (med Radiance) af sammenhæng mellem belysningsstyrke på sidevæg mod øst og belysningsstyrken på øjeplan af en person som ser imod øst. Resultaterne viser at belysningsstyrken på øjet kan bestemmes som 12,1 gange belysningsstyrken på væggen.



Figur 28. Prototype af sensor bestående af 3 Hagner SD2 belysningsensorer (se også figur 58). Hver sensor er afskærmet med et kvadratisk rør, således at de måler henholdsvis 1 m² på væg og 2 m² på bord. Den hvide sensor er en tilstedeværelsessensor.

Eksperimentel metode

Det var planlagt, at prototypesystemet skulle installeres både i kontrollerede rum, dvs. dagslyslaboratorier i Schweiz, Tyskland og Danmark (forkortet LAB) samt i demonstrations- eller forsøgsbygninger i Schweiz, Frankrig og Danmark (forkortet FB). Formålet med laboratorieinstallationerne var, at

- afprøve om prototypen fungerede korrekt (detaljeret overvågning og kontrol tilgængelig)
- eventuelt justere reguleringsprincipperne, samt
- afprøve et udviklet spørgeskema inden forsøgene gik i gang i forsøgsbyggerierne

Som grundlag for at vurdere, om prototypesystemet medfører forbedringer, blev der planlagt at sammenligne systemet med et mere traditionelt system, baseret på manuel styring af en persienne. Sammenligningen tog udgangspunkt i optimeringsfunktionen ved at bestemme de enkelte led i formelen, jf. side 30. Parametrene, som skulle indgå i vurderingen fremgår af tabel 13.

Tabel 13. Oversigt over parametre, der registreres i laboratorieforsøg og i forsøgsbygninger.

Kvalitetsparametre i optimeringsfunktionen	LAB / FB	Benyttes til
Termisk komfort beregnet ved hjælp af indendørstemperatur og/eller sensor til måling af operativ temperatur	LAB, FB	Bestemmelse af funktionen f_{th} (værdien af TDP)
Termisk komfort ved brug af spørgeskema	LAB, FB	Kvalitativ vurdering af optimeringsfunktionens egnethed
'Visuel' komfort bestemt ved belysningsstyrke og 'luminans-sensorer' og vurdering af antal timer hvor komfort var bedre end setpunkt niveau	FB	Objektive målinger af de visuelle forhold
'Visuel' komfort vurderet ved prototypesensoren udviklet i EU-projektet	LAB	Kvalitativ vurdering af sensorens egnethed til beregning af VDPG og VDPV
Visuel komfort brug af spørgeskema	LAB, FB	Brugernes subjektive vurdering af de visuelle forhold
Bruger tilfredshed med prototypesystemet (støj, forsinkelser, forstyrrelser osv.)	LAB, FB	Generel erfaringsindsamling vedr. reguleringssystemets funktioner
Energiforbrug, adskilt for HVAC, elektrisk belysning og apparater	LAB, FB	Bestemmelse af $Q_{heat,cool}$ og Q_{light} i optimeringsfunktionen samt til beregning af udnyttelsen af Q_{gn} (se side 30)
Antal timer, hvor det ikke var behov for elektrisk belysning	LAB, FB	Som simpelt mål for systemets funktion i forhold til referencen
Samspillet mellem indendørs temperatur og brugerregulering af solafskærmning	LAB, FB	Til analyse af, om brugerne overstyrer den automatiske regulering pga. for høj inde-temperatur

Resultater fra dagslyslaboratorierne

Prototypen på reguleringssystemet blev opbygget i SBI's Dagslyslaboratorium, og reguleringen af belysningsanlægget blev bygget helt om for at lyset kunne reguleres i det nye system.



Figur 29. Afprøvning i SBI's Dagslyslaboratorium. Systemet var planlagt afprøvet for almindelige udvendige persienner og for drejelige lameller med integrerede solceller. På taget af laboratoriet ses instrumenter til registrering af indstråling.

Paralleltest hos Fraunhofer ISE, Tyskland

Prototypesystemet baseres på en videreudvikling af funktionsmodellen. Formålet var at registrere brugernes reaktion med hensyn til komfortforhold og betjeningsvenlighed, og der var planlagt at montere en række sensorer til registrering af energiforbrug, elforbruget før og efter, måling af lysniveau m.m. Udgangspunktet var at afprøve forskellige set-punkter og strategier og således vurdere den komfort- og energimæssige effekt.

Systemet fungerede rimeligt hos EPFL, Schweiz, og derefter blev den installeret (version 0.2) i august 2005 hos Fraunhofer ISE i Tyskland. Selvom systemet fungerede rimeligt i Schweiz på deres EIB-Server, var der desværre en del fejl i den version der blev installeret i Tyskland. Nogle af proble-

merne viste sig fx ved, at persiennen gik ned når det var lidt dagslys udenfor, eller den gik op når solen skinnet. Den væsentligste årsag til dette var den dagslysmodel der var implementeret i softwaren, idet systemet overestimerede dagslysbidraget i rummet, og dette var mest udtalt når vejret udenfor var overskyet. En ny (version 0.3) blev installeret, men denne version kom aldrig til at fungere pga. af driver problemer. Vi var ikke i stand til at finde fejlen, og derfor kom systemet aldrig op og køre på SBI.

Implementering, afprøvning i demonstrationsbygninger

Parallelt med afprøvningen af prototypesystemet i SBI's dagslyslaboratorium blev demonstrationsprojektet påbegyndt. Som demonstrationsbygning valgte man i første omgang SE-bygningen i Sønderborg (tidligere ESS, se nedenfor). Da der viste sig at være problemer med at få prototypesystemet til at fungere generelt og da systemet ikke kunne bringes til at kommunikere med det valgte fabrikat af solafskærmning (inkl. regulering), blev det senere besluttet at installere prototypesystemet på Alsion, Syddansk Universitet. Installationen på Alsion beskrives sidst i dette afsnit.

SE-bygningen (Sønderborg)

Demonstrationsbygningen var et relativt nyt hovedsæde til el-selskabet ESS i Sønderborg. ESS er nu en del af Syd Energi, og bygningen kaldes i det følgende SE-bygningen. Bygningen blev valgt som meget velegnet ud fra følgende kriterier:

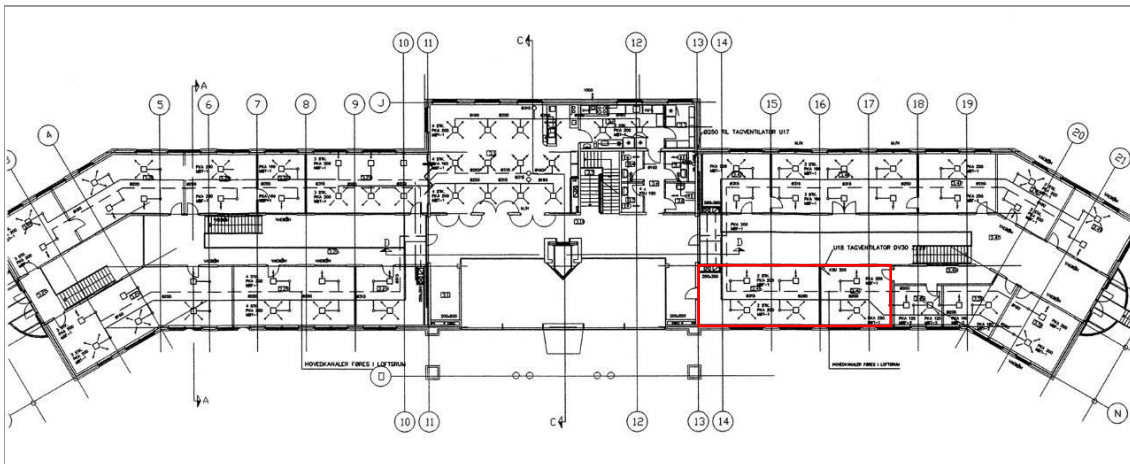
- Ny kontorbygning
- Kontorområdet var velegnet til evaluering af controller til persienne
- Muligt at have to testområder og to reference områder i bygningen
- Planlagt at installere ny solafskærmning
- Automatisk lysstyring (PIR-og dagslysstyring)
- Bygning var allerede styret via EIB-bus systemet



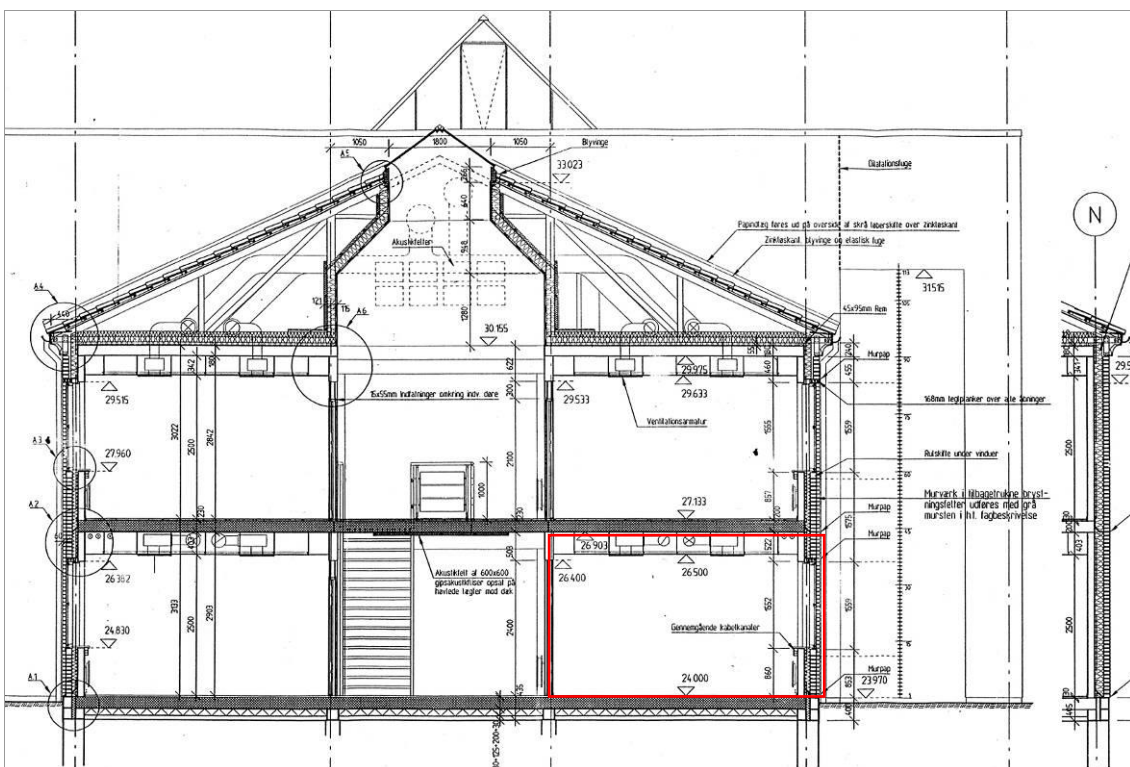
Figur 30. SE-bygningen, den tidligere ESS, Syd Energi, Sønderborg.

Udvælgelse af egnede lokaler

Gennem flere møde med SE blev der udvalgt lokaler og truffet beslutninger om, hvilke typer af afskærmninger, man ønskede at afprøve. Lokalerne valgtes ud fra at de to afskærmninger kunne afprøves samtidig, så brugerne direkte kunne sammenligne funktionen. Desuden var det vigtigt, at brugerne af de pågældende lokaler var til stede hele dagen, og normalt sad hele arbejdsdagen på deres faste plads. De valgte lokaler var to 2-fags kontorområder mod syd i stueetagen af den østlige ende af bygningen, se figur 31 og figur 32. For at kunne sammenligne de to områder var det besluttet, at der skulle opsættes en interimistisk skærmvæg mellem de to områder med forskellige afskærmningstyper, samt at brugerne halvvejs i forsøget skulle bytte plads, således at alle brugere fik mulighed for at vurdere og besvare spørgeskema vedrørende begge systemer.



Figur 31. Plan af SE-bygningen. Et sydendt kontormiljø i stueetagen (den østlige fløj) blev valgt som det mest hensigtsmæssige område til afprøvning.



Figur 32. Snit i SE-bygningen, med markering af forsøgsområdet mod syd i østfløjen af bygningen.



Figur 33. Indvendigt foto af kontormiljø, hvor afskærmningssystemerne blev afprøvet.

Eksisterende solafskærmninger

Bygningen havde i forvejen 3 typer af solafskærmninger, som havde vist sig at fungere temmelig utilfredsstillende. Fra starten havde man fået ruder med integrerede persiener, og siden var der suppleret dels med indvendige gardiner, og dels med et rullegardin med solfilm, se figur 34 og figur 35. På trods af de tre afskærmninger blev kontorerne meget varme i sommermåneder, samtidig med at udsynet blev meget forringet af alle tre typer af afskærmninger.



Figur 34. Fotos af de eksisterende afskærmninger i de udvalgte kontorer.



Figur 35. Indvendig og udvendig foto af eksisterende solafskærmning. Afskærmningen består af en indvendig persienne, en indvendig film (blå) og et almindeligt gardin. Persiennen kunne styres individuelt i det øvre og nedre vindue, men de nuværende brugere var utilfredse med denne løsning, hvilket ofte medførte overtemperaturer om sommeren.

Installering af to afskærmningssystemer og måleprogram

Der blev afholdt flere møder med bygherre og SE om kontorer til afprøvning, valg af afskærmning, plan for installation og information af medarbejdere. Hele syd-facaden skulle have nye udvendige afskærmninger i stedet for de eksisterende gardiner, som medarbejderne ikke synes fungerede tilfredsstillende. SE ønskede at afprøve to forskellige afskærmningstyper: et udvendigt gardin og en udvendig persienne. Det blev aftalt, at den nye styring til de to solafskærmningstyper skulle monteres i et åbent kontormiljø. Dermed var det muligt at sammenligne de to afskærmningssystemer i løbet af en testfase, hvor brugernes evaluering af de to systemer ville blive afgørende for det endelige valg. Et af de planlagte afskærmningssystemer ville samtidig blive afprøvet i dagslyslaboratoriet, for at have mulighed for at afprøve og justere kontrolsystemet, før det blev monteret på hele facaden på SE kontor.

En afdeling i SE-bygningen blev udvalgt til afprøvning af det nye kontrolsystem og til brugerundersøgelse. Det var et åbent kontormiljø i den østlige

fløj af bygningen, se figur 31. De ansatte havde accepteret at deltage i afprøvningen, og de ville evaluere begge afskærmningsløsninger.

Det nye afskærmningssystem, en udvendig persienne, blev installeret i foråret 2004 (se figur 36 og figur 37). Det blev besluttet at ikke tilslutte selve styringen til det eksisterende EIB-bus system, men at lade det fungere som en stand-alone system i den indledende testfase.



Figur 36. Udvendigt foto af det udvendige gardin (til højre i billede) og den nye persienne (til venstre i billede). De to solafskærmningssystemer blev monteret på to vinduesfag.



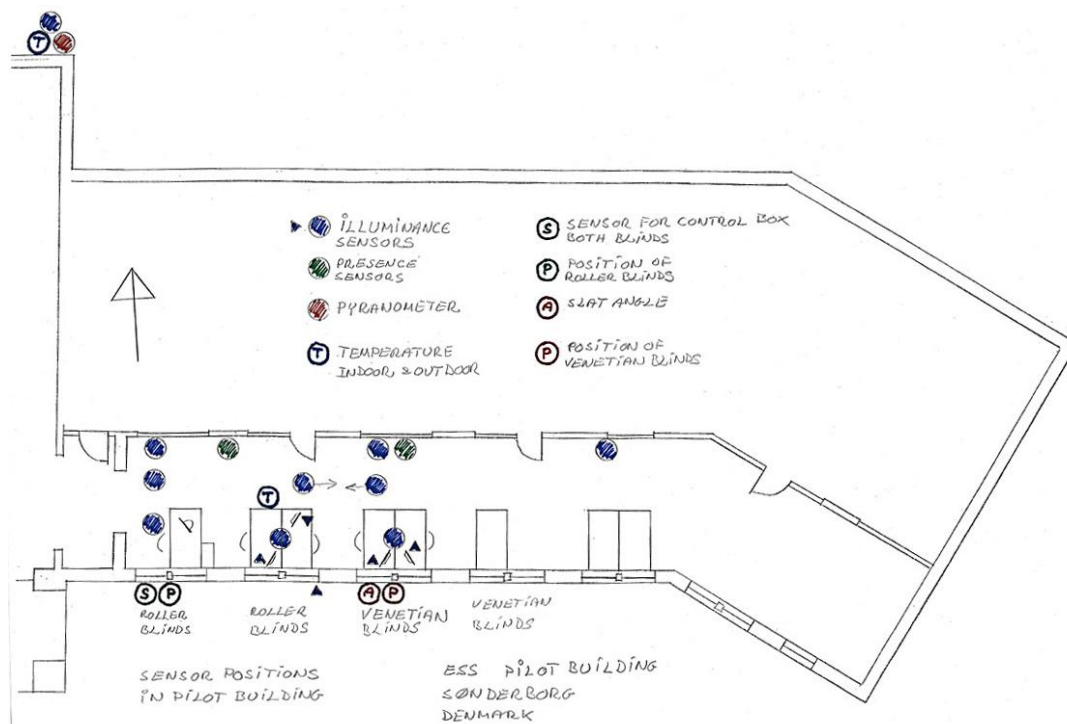
Figur 37. Indvendigt foto af gardin (venstre) og persienne (højre).

Måledata

For at kunne vurdere potentialet med den nye prototype angiver Tabel 14 det planlagte måleprogram, som desværre ikke blev gennemført over en tilstrækkelig periode, til at det foreligger anvendelige resultater. Belysningsmåling bør blive registreret indenfor et kort tidsinterval (for eksempel 1 eller 2 min.). De andre måledata kan anvende større tidsinterval (fx 10 min.). Energiforbruget til varme og køling kan bestemmes på døgnbasis, mens energiforbruget til belysning skal registreres ved samme tidsinterval som belysningsmålingerne. De indendørs forhold og energiforbrug skal registreres individuelt for hvert rum.

Tabel 14. Oversigt over planlagt måleprogram for det fælles EU-projekt ECCO-Build. Alle parametre, på nær CO₂-koncentration blev målt vha. SBI's måleudstyr eller via ES-bygningens CTS-anlæg.

Kategori	Variable	Obligatorisk (o) eller valgfri (v)
Udendørsforhold	Temperatur, °C	o
	Global horisontal solstråling, W/m ²	o
	Diffus eller direkte horisontal solstråling, W/m ²	o
	Global horisontal belysningsstyrke, lux	o
	Vertikal belysningsstyrke på façade, lux	v
	Vindhastighed [m/s] og retning, °	v
Indendørsforhold (termisk)	Temperatur, °C	o
	Operativ temperatur, °C	o
Indendørsforhold (belysning)	Horisontal belysningsstyrke på arbejdsbord (minimum 1 eller flere hvis fler-personers kontor), lux	o
	Vertikal belysningsstyrke på vægge, lux	o
	Middel-luminans af vindue (lyssensor med rør), cd/m ²	o
	Afskærmningens position, 1-100	o
	Afskærmningens lamel-position, °	o
	Visual komfort målt med Ecco-Build specialsensor, lux	o
Indendørsforhold (luftkvalitet)	CO ₂ , ppm	v
	Ventilation, m ³ /h	v
Indendørsforhold (andet)	Tilstedeværelsesføler, 0 / 1	o
Energiforbrug	Opvarmningsforbrug, W	o/v
	Køleforbrug, W	o/v
	Belysningsforbrug, W	m/o
	Andet elektrisk udstyr, W	m/o



Figur 38. Skitse af dataopsamlingspunkter i SE bygningen.

Måleudstyr og dataopsamling (se figur 39) blev installeret i foråret 2004, og der blev logget data i næsten 1 år. Desværre kunne vi ikke gennemføre et fuldstændigt måleprogram af forskellige årsager, som bliver beskrevet senere.

Tabel 15. Tidsplan for måleprogram i SBI's Dagslyslaboratorium og i ES-bygningen.

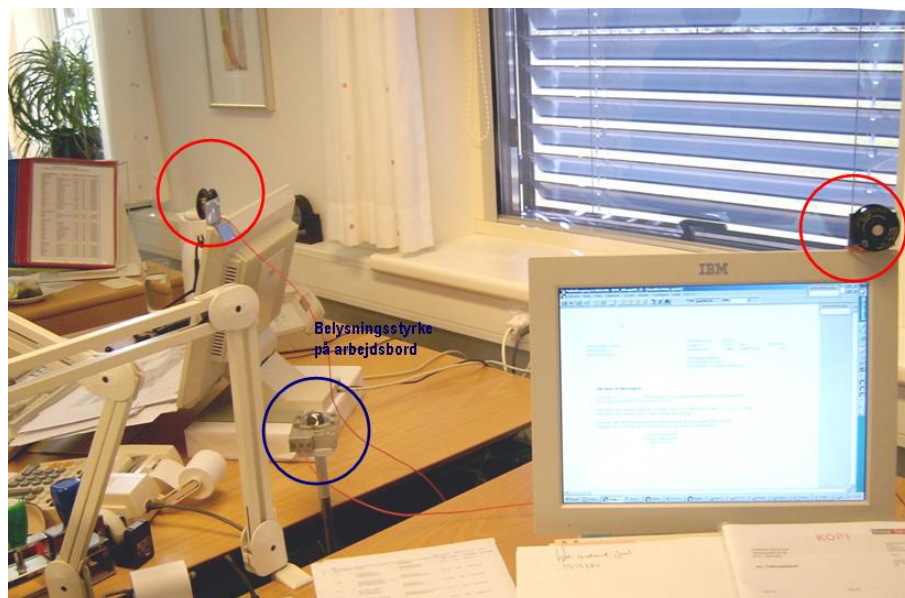
Tidsplan	År 1												År 2											
Startdato: 01.01.04	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Slutdato: 31.07.05																								
1. Test i SBI's dagslyslaboratorium		★ ¹	★ ²																					
2. Montering af solafskærmning																								
3. Installering af måleudstyr																								
4. Pilotforsøg og brugerevaluering									★ ³															
5. Installering af endelig afskærmning																								
6. Installering af komplet måleudstyr																								
8. Måleperiode og brugerevaluering																								
9. Afrapportering																								
10. Formidling																								

Milestones (★):

1. Forhandlingerne om økonomi og beslutning om SE som pilotbygning
2. Præcisering af kontrolsystemet spørgsmål (EIB BUS, ABB versus Faber kontrol osv.)
3. Valg af afskæmningsløsning (persienne eller gardin)

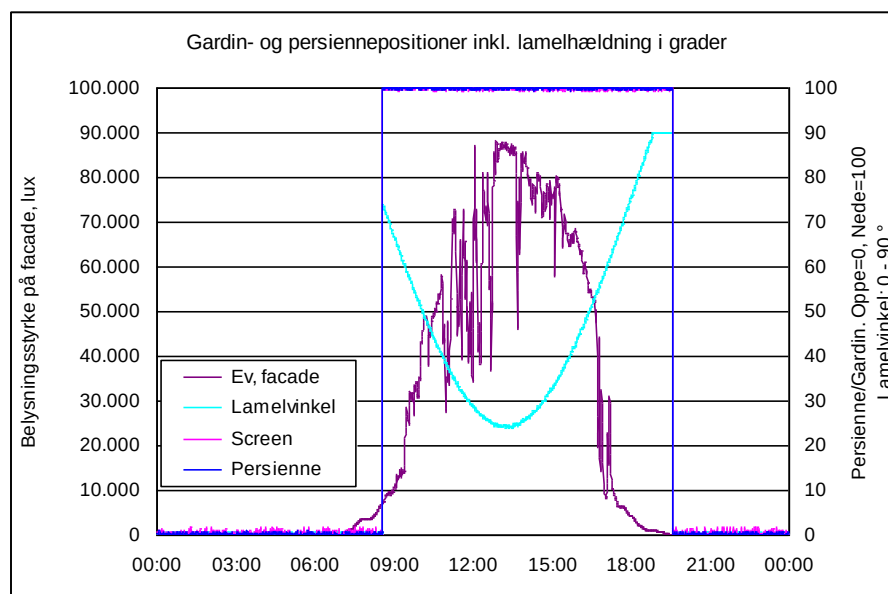


Figur 39. Foto af hoveddelene i måleudstyret. 1) Campbell Scientific data logger model CR10X udstyret med en model AM416 multiplexer for 32 analoge kanaler, 2) Måling af belysningsstyrke (15 Hagner sensorer, model SD2 via Hagner MCA1600 amplifier; 3) Indendørs/udendørs temperaturmåling ved to Campbell Scientific BetaTherm 100K6A1 Thermistor sensorer; 4) To PIR-sensorer; 5) Pyranometer, model Kipp&Zonen CM5.

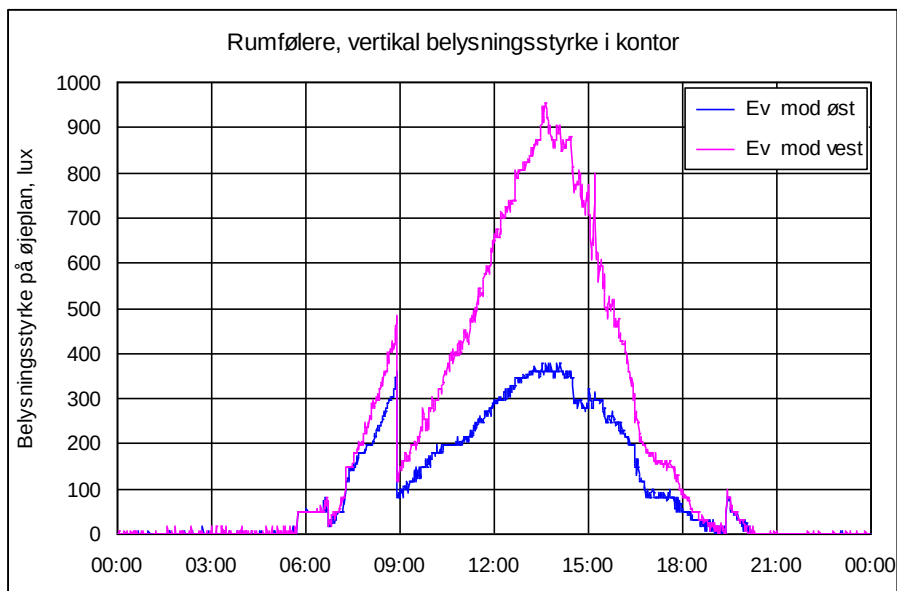


Figur 40. Eksempel på placering af sensor til måling af belysningsstyrke på bord og edb-skærm. Efterfølgende blev sensor på skærm vendt 180° for at måle en vertikal belysningsstyrke på øjet.

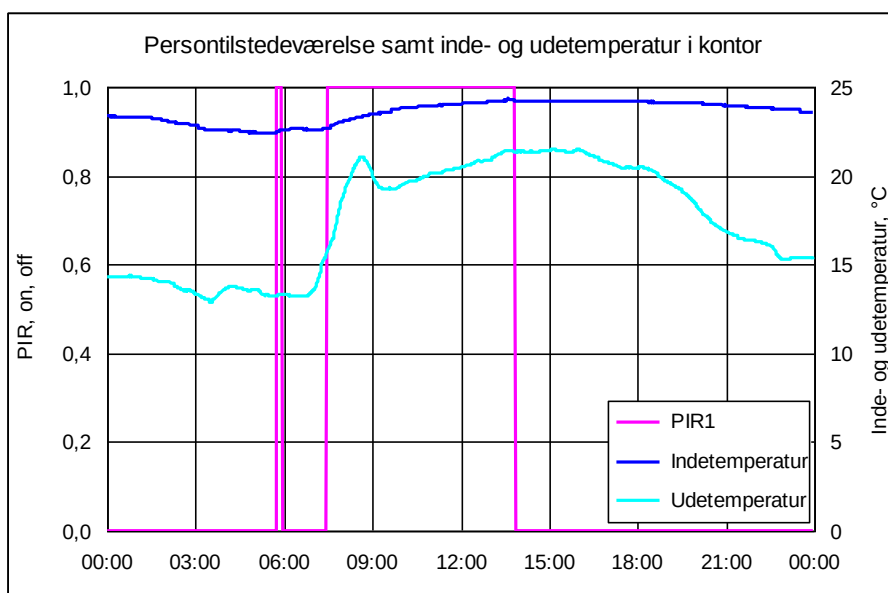
De følgende grafer (figur 41 og figur 44) illustrerer nogle af de data, der blev analyseret. Solafskærmningen blev styret af en udvendig føler og indstilling af lamelhældning var forprogrammeret efter tid på dagen og året.



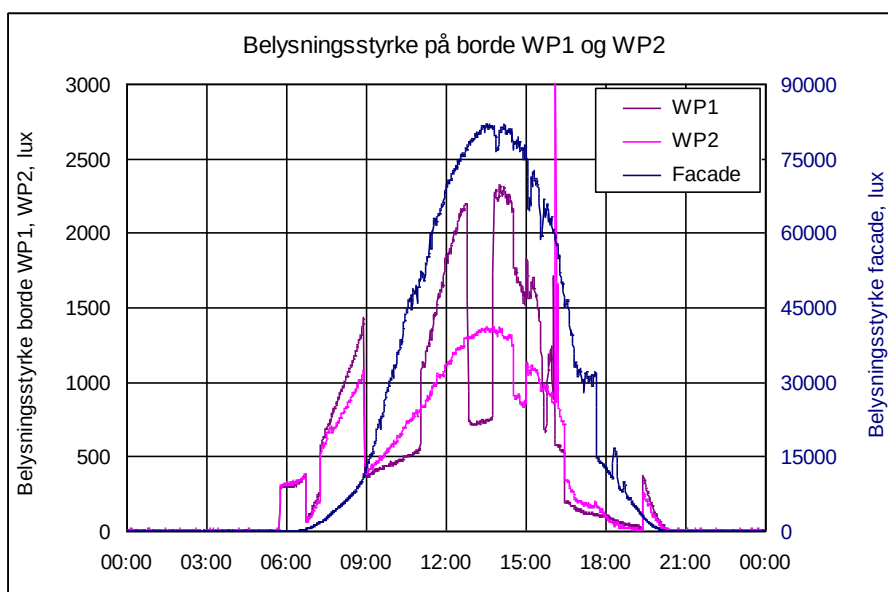
Figur 41 Grafen viser position af gardin og persienne på en solrig dag i september. Gardinet er lukket hele dagen, mens persiennens lamelhældning skifter løbende henover dagen. I september vil cut-off vinklen være ca. 5° i forhold til vandret og figuren viser at persiennen lukker for meget i, idet den er lukket fra 25 - 90°.



Figur 42.



Figur 43.

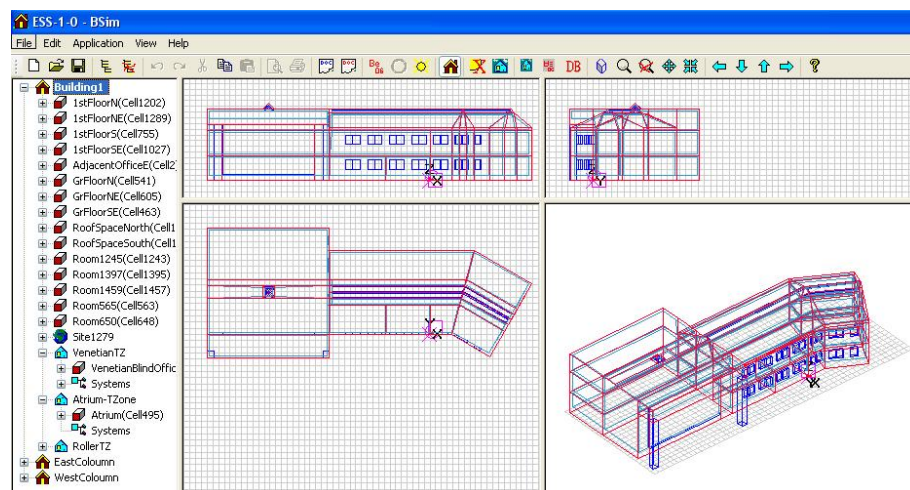


Figur 44 Grafen viser belysningsstyrke på facaden og på arbejdsplanet for de to afskærmningssystemer. Som det ses falder belysningsstyrken væsentlig når afskærmningen lukker om morgenen 9:00 og den reduceres mest i det område hvor der er et gardin.

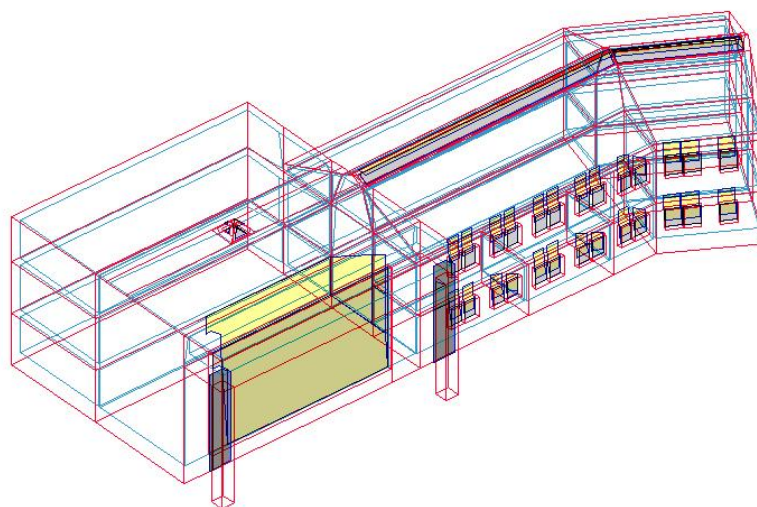
På grund af forskellige omstændigheder var vi nødsaget til at opgive SE bygningen som pilotbygning. Den væsentligste årsag var at selve ECCO-controlleren ikke var klar. Dernæst var det nuværende system i SE-bygningen faktisk meget avanceret og det første system der var installeret i Danmark. Dog kunne den danske repræsentant ikke få systemet til at fungere efter hensigten, og SE bygningen valgte et system fra en anden fabrikant i stedet for. Dette system er et lukket system, og vi havde derfor ikke mulighed for at anvende ECCO-controlleren i denne bygning.

BSim beregninger på SE-bygningen

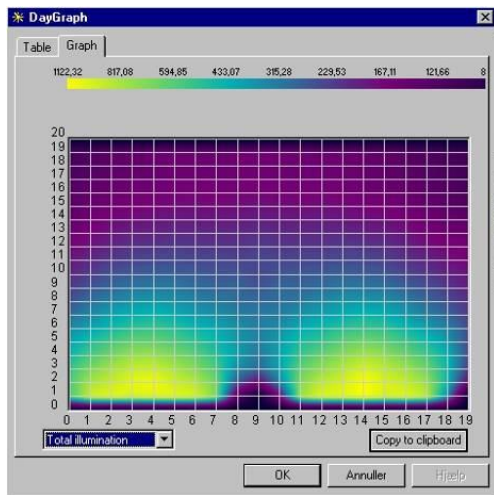
Som grundlag for vurderingen af de to solafskærmninger indbyrdes og i forhold til en neutral reference samt de eksisterende systemer, blev der opbygget en beregningsmodel i BSim, se figur 45..



Figur 45. BSim model af bygningens østfløj med de to sydvendte kontorområder, der fik ny afskærmning til demonstrationsforsøget.



Figur 46. Simulering af direkte solindstråling på beregningsmodellen, her vist for den 15. marts kl. 15. Det bemærkes, at det høje indgangsparti kaster delvis skygge på det nærmeste kontorområde, der var forsynet med screens.

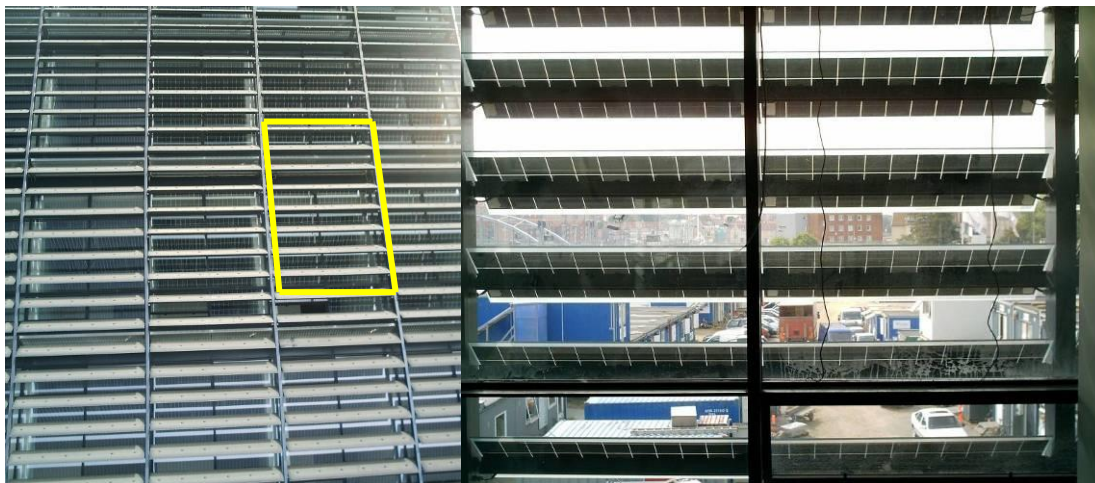


Figur 47.

Måleudstyr og dataopsamling blev installeret tidligt om sommeren i 2004. Måleprogram og tidsplan for måleperioden er vist i tabel 14 og tabel 15.

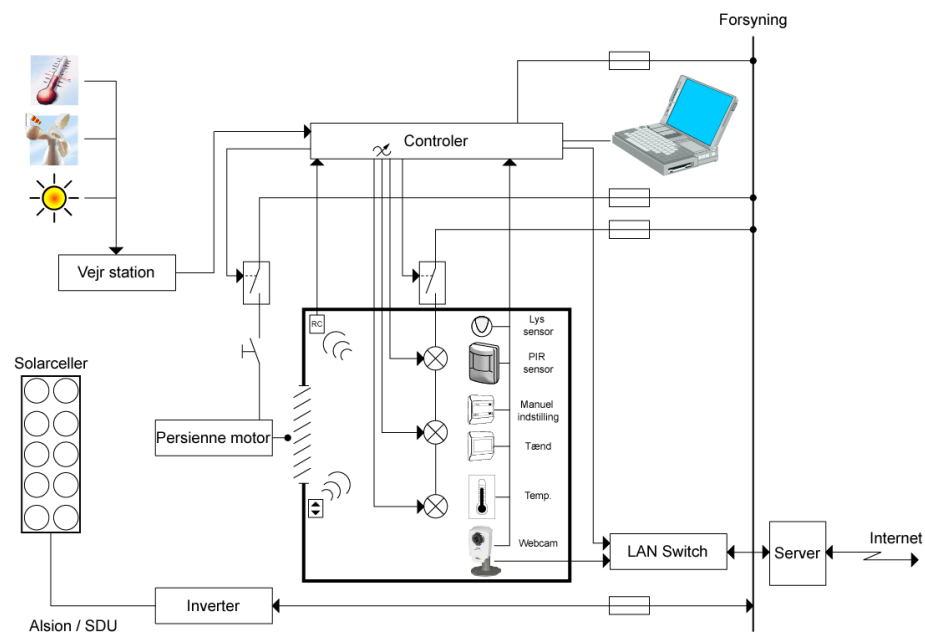
Alsion (Syddansk Universitet)

Efter beslutningen, at droppe SE-bygning blev foretaget, fandt vi en ny bygning. Valget faldt på Alsion, Syddansk Universitet. Den sydlige facade af det nye universitet er udstyret med glas lameller og med medfinansiering fra et national forskningsprojekt blev en forenklet udgave af ECCO-controlleren installeret på et udvalgt kontor. Kontoret, hvor den er placeret, er specielt designet til at være et "plus-energi"-koncept. Lamellerne er større end normale persienner og i det valgte kontor er det integrerede solceller i lameller. Lamellerne kan kun vippe.



Figur 48 Foto til venstre viser det nye Syddansk Universitet med glas lameller på syd facade og til højre viser lamellerne set indefra "plus-energi" kontor.

Prototypeinstallation styres af en controller i "plus-energi" kontoret, lokale 408 (1.sal). Almenbelysningen består af 4 stk. lysstofrørsarmaturer på loft, og de er opdelt i 2 zoner. Armaturerne er forsynet med HF ballaster 1-10 V. Manuelle betjeningstryk er placeret ved indgangsdøren til lokalet. Bevægelsessensor (PIR) og lyssensor er placeret på loft. Betjeningstryk til manuel indstilling af solafskærmning er placeret på eller ved arbejdspladsen, systemet er trådløs og batteriløs. På bygningens tag er der monteret en vejrstation til måling af sol og vindforhold.

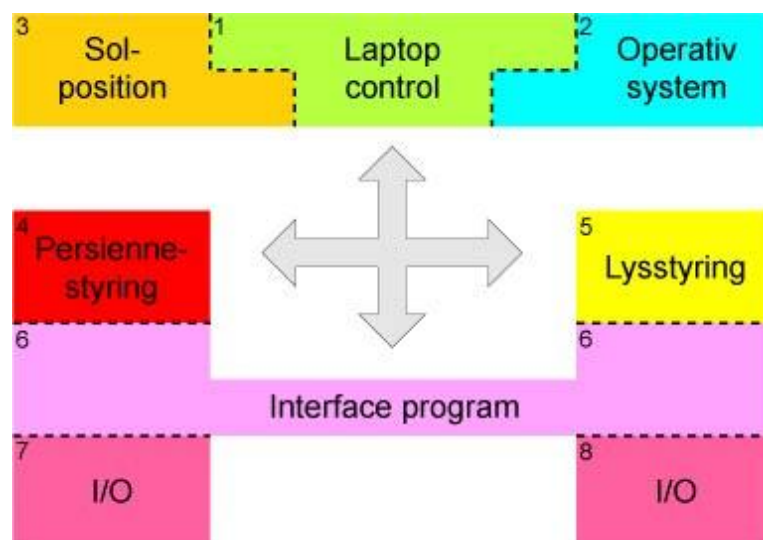


Figur 49. Diagrammet viser installationsoversigt.

Funktionsmodel, programmering og afprøvning af reguleringssystem

Reguleringsenhedens struktur

Softwaren til reguleringsenheden (controlleren) er opbygget af to hovedrutiner, som interaktivt og sammen med støtterutiner varetager den samlede systemregulering. Den ene rutine varetager styring af solafskærmningen (persienne) og den anden, styring af lokalets almenbelysning (kunstlys) i relation til bedst mulig udnyttelse af dagslysindfald, jf. figur 50 illustrerer softwaresammenhængen i form af modulblokke, som er nærmere beskrevet i det følgende.



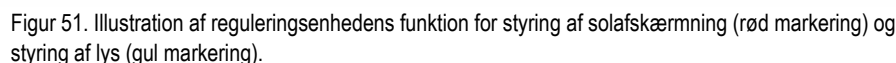
Figur 50. Princip for opbygning af controlleren. I prototypen styres hele reguleringsfunktionen fra en pc, der holder kontrol med alle aktuelle parameterverdier og regulerer optimalt efter de givne omstændigheder i rummet.

Modulbeskrivelse

1. Laptop control
Denne blok betragtes som den overordnede del af controlleren, og indeholder de kode- og beregningstunge støtterutiner. Afviklingen sker i et Linux miljø.
2. Operativsystem
Systemets operativsystem er baseret på Mandrake Linux ver. 10.1.
3. Solposition
En støtterutine som sørger for at udregne solens nøjagtige position, på himlen, minut for minut, dag for dag, året rundt. Beregningen foretages på basis af indtastede nøgledata over installationsstedets aktuelle geografiske placering. Det vil med andre ord sige længde- og breddegrad, vinduets geografiske orientering samt aktuel urtid.
4. Persiennestyring
Denne rutine beregner indstillingsvinklen af lamellerne for således at disse justeres til cutoff når solen skinner og i relation til solens aktuelle position på himlen. Justeringsberegningen foretages på basis af indtastet model af den aktuelle persienne som beskriver lamelstørrelse og -afstand samt yderpositioner som komplet åben og lukket. Persiennen justeres kun når der er personer til stede. Forlades lokalet returneres til udgangspositionen. Det er muligt at forøge eller mindske cutoff-vinklen (offset) manuelt, hvilket systemet adaptivt indbygger i rutinen således at dette respekteres fremover.
5. Lysstyring
Lysstyringsdelen sikrer at det på arbejdsplanet er den nødvendige belysningsstyrke [E₀] i relation til det aktuelle dagslysindfald i lokalet. Dette sker i samklang med persienne styringen, således at der ikke opstår situationer hvor der er for meget eller for lidt lys i forhold til det valgte minimumsniveau. I manuel mode kan belysningen tændes, slukkes eller dæmpes til et vilkårligt valgt niveau.
6. Interface program
Dette program kan betragtes som gateway for signaler/værdier mellem beregnings- /styringsalgoritmer, sensorer og betjeningsenheder.
7. I/O
En samling device drivere, som er hardware tilpassede, og som styrer Input/Output for persiennedelen.
8. I/O
En device driver der styrer Input/Output for Lysstyringsdelen.

Controller funktion

Controllerens funktion er illustreret på diagrammet i figur 51, hvor de gule felter viser lysstyringsparametre og -funktioner, mens de røde viser af-skærmningsparametre og funktioner. Funktionerne er nærmere beskrevet på side 62, mens de aktuelle værdier og variationsområder for parametrene er givet i afsnittet Styringsparametre, værdier og variationsområder.



Generelt

Lysstyring

Lyssensor, der styrer begge zoner

Belysningen tændes altid via tryk, og slukkes den ikke hvis lokalet forlades, slukkes belysningen automatisk efter en forudbestemt periode, når lokalet er tomt.

Ønsker man selv at styre almenbelysningen, uanset lysforhold, er der mulighed for manuel tænd/sluk og dæmp via betjeningspanel (4-tryk). Dette panel er placeret ca. 1,70 m over gulv, således at man ikke uforvarende kommer til at tænde lyset i manuel funktion, og dermed sætter dagslysstyringen ud af funktion. Uanset valgt funktion på betjeningspanel, slukkes belysningen automatisk og returnerer til Auto-mode, når lokalet er tomt og tiden er udløbet.

Persiennestyring

Solafskærmningen justerer altid lamellerne til aktuel cutoff vinkel, således at der ikke forekommer direkte solindstråling, i lokalet. Dette sikres af control-leralgoritmen som beregningsmæssigt holder styr på solens aktuelle position sammenholdt med input fra den udvendige solsensor.

Persiennen vil altid stå i en fast udgangsposition, fx 30 grader. Persiennen justeres automatisk, når solen skinner og bevægelsessensor registrerer personer i lokalet. Ønskes der mere eller mindre sol- eller dagslys kan det ske via manuelt tryk for vip af lameller. Korte tryk indstilling i step, langt tryk vil henholdsvis åbne eller lukke persiennen. Systemet vil fremover huske denne manuelle indstilling og indbygge dette som en fast offset i den automatiske styringsalgoritme. Et indbygget cutoff delay sikrer uhensigtsmæssig og generende efterjustering af lameller.

Hvis der bliver overskyet vil persiennen åbne lamellerne for at tillade fri dagslysindfald i lokalet. Tilsvarende vil solafskærmningen automatisk, efter en forudbestemt periode, returnere til udgangsposition, hvis lokalet forlades.

Variabler

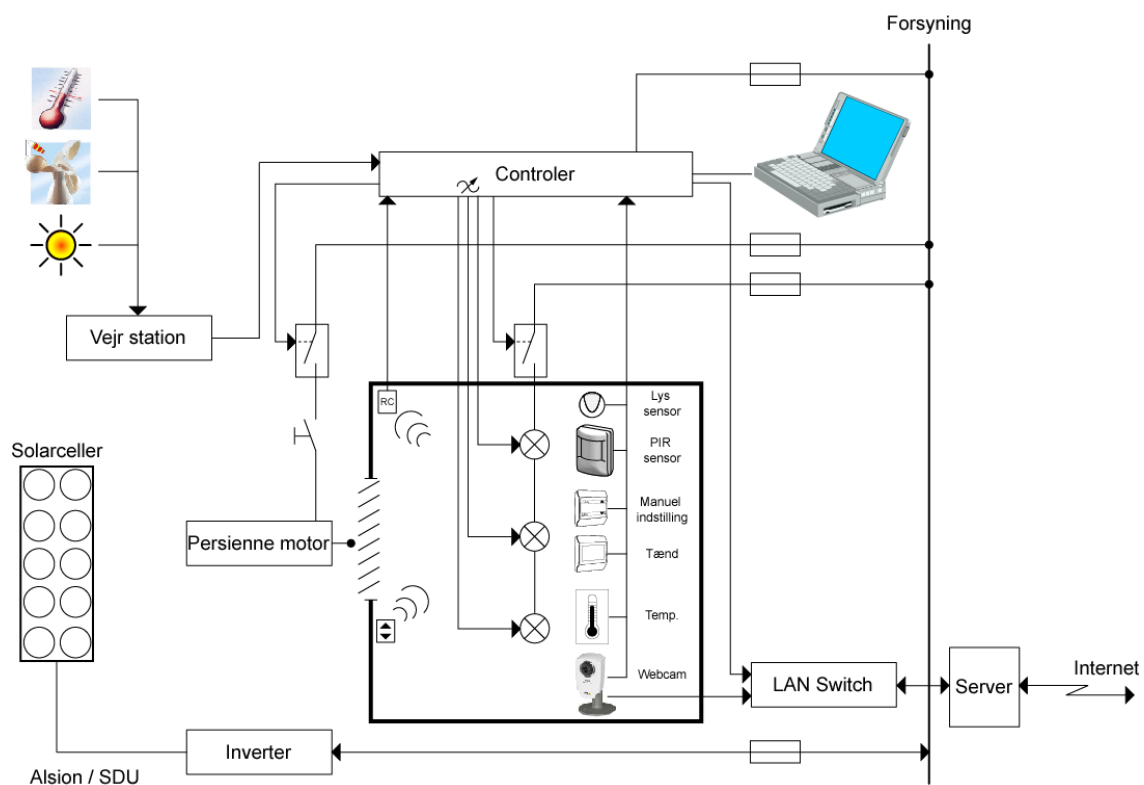
Lyssstyring:

Lyssensor område	30 - 3000lx
Lx ind 1, 2	200 lx, 160 lx
Setpoint zone 1, 2 [EØ]	500 lx
Vout minimum 1, 2	0,0 V
Vout maximum 1, 2	10,0 V
Fade up 1, 2	10 sec.
Fade down 1, 2	10 sec.
Off delay	30 min.
Cutoff delay	8 min.

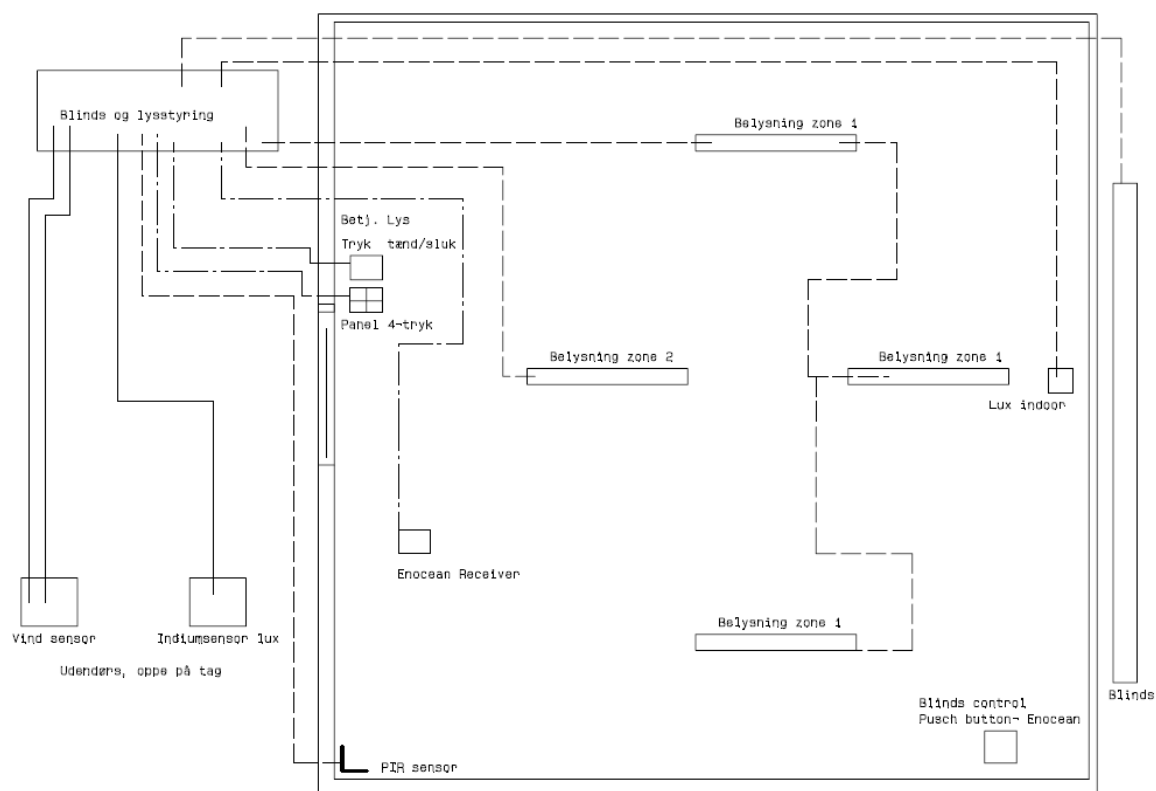
Persiennestyring:

Tidszone	CET + 1
Længdegrad	9.77915
Breddegrad	54.91287
Orientering af bygning	- 48
Cutoff delay	1800 sec.
Lamel vinkelområde	(40, 90)
Åben lamel	40
Lukket lamel	40
Vinkel - aktor coefficienter til 3.gr polyn.	(0.0,0.0,1.4883,-59.533)
Aktor - vinkel coefficienter til 3.gr polyn.	(0.0,0.0,0.6719,40.0)
Off delay	300 sec.
Delay til reset af bruger offset	3600 sec.

Test installation



Installationsoversigt



Figur 52.

Tavle komponenter

Id	Fabrikat	Type	
1.1	Servodan	Luxstat Control	78-050
1.2	Servodan	Luxstat Power Pack	78-983
1.3	Omron	Relæ 24 V DC	G2R-1S
1.4	Servodan	Relæ 24 V DC	
1.5	Servodan	Tytan I Gruppeafb.	61-012
2.1	Jung	6 channel Binary input	2126 REG
2.2	Jung	4 channel Analog	2214 REG
2.4	Jung	Heat Traffo	WSSV 10
2.6	Servodan	Power Supply	78-980
2.7	Servodan	Stikdåse	PC 16/2
3.1	Jung	Power Supply	2002 REG
3.2	Jung	RS 232	2130 REG
3.3	Elka	RS 232	827 568 14
3.4	Servodan	Laptop - Controller	Compaq EVO N800c
4.1	Hüppelux	Sunny EIB-J-4AC-M	3620 970 300

Eksternt udstyr

Id	Fabrikat	Type	
1.10	Servodan	4-tryk	74-592
1.11	Servodan	tryk	74-593
1.12	Servodan	PIR 24V DC 90 gr	41-272
1.13	Servodan	Lyssensor	43-197
2.10	Jung	Vindsensor	WS 10W
2.11	Indium	Solsensor	3291/05
4.10		Blinds	
5.10	Servodan	Receiver EnOcean	OMNIO UPJ 230/01
5.11	Servodan	Tryk EnOcean	76-922

Testbygning Alsion / SDU

Prototypeinstallation af controller i lokale 408, etage 2, 1.sal.

Lokalet har et vinduesareal der er forsynet med solafskærmning (blinds) med indbyggede solarceller. Almenbelysningen består af 4 stk. lysstofrør-armaturer på loft, og opdelt i 2 zoner. Armaturerne er forsynet med HF ballaster 1-10 V, dæmpbare.

Manuelle betjeningstryk er placeret ved indgangsdøren til lokalet. Bevægelsessensor (PIR) og lyssensor er placeret på loft.

Betjeningstryk til manuel indstilling af solafskærmning kan placeres på eller ved arbejdspladsen, da der er installeret tråd- og batteriløs EnOcean teknik til dette.

På bygningens tag er der monteret en vejrstation til måling af sol og vindforhold.

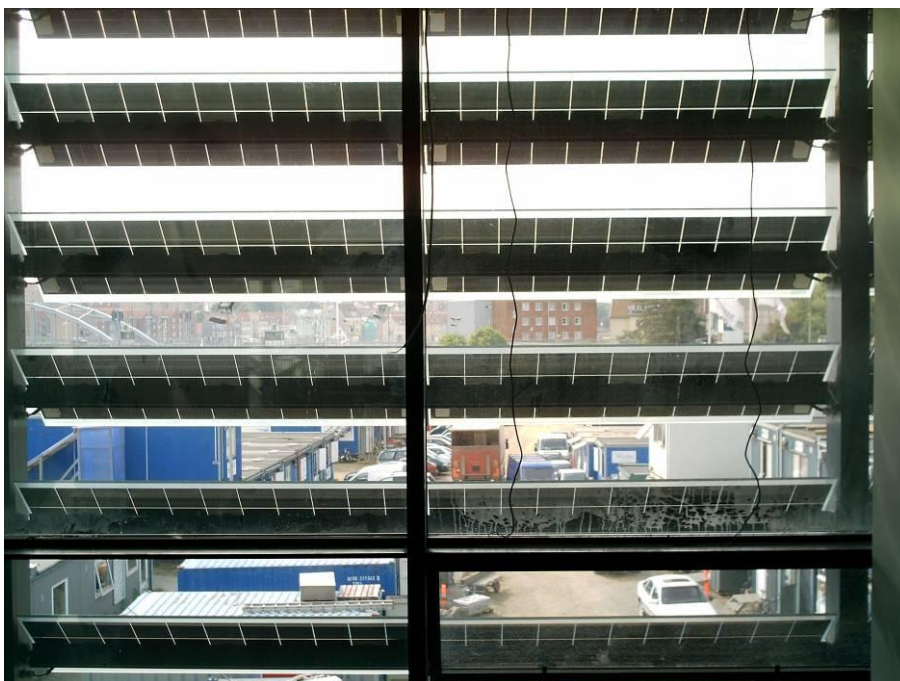
Den færdige installation



Figur 53. Billedet viser den færdige installation, der er styret af en laptop.



Figur 54. Sydfacade på testbygningen.



Figur 55. Persienne med solarceller.

7. Litteratur

Aggerholm, S., Sørensen, K. G. & Wittchen, K. B. (2010). Be10 - Beregningsvejledning. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Arbejdstilsynet. (2007). *Arbejdsrum på faste arbejdssteder* (At-vejledning A.1.11). København. Lokaliseret 20070803 på:
http://www.at.dk/Vejledninger/A-1-11?sc_lang=da

Bülow-Hübe, H. (2000). *Office worker preferences of exterior shading devices*. Proceedings of the EUROSUN in Copenhagen, Denmark.

Christoffersen, J., Petersen, E., Johnsen, K., Valbjørn, O., and Hygge, S. (1999). *Vinduer og dagslys - en feltundersøgelse i kontorbygninger*. SBI-rapport 318. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm (Danmark).

Christoffersen, J. & Wienold, J. (2004). *Monitoring Procedure for assessment of user reaction to glare (Report ECCO-DBUR-0303-01)*, European Community, Energy, Environment and Sustainable Development' Programme (1998-2002).

Christoffersen, J & Wienold, J. (2006). *Assessment of user reaction to glare (Report ECCO-SBI-0406-01): All systems*, European Community, Energy, Environment and Sustainable Development' Programme (1998-2002).

Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). (1995). *Discomfort Glare in Interior Lighting*, CIE Publication 117. CIE, Vienna, Austria.

Dansk Standard. (2008). DS/EN ISO 13790. Bygningers energieffektivitet - Beregning af energiforbrug til rumopvarmning og -køling. 2. udgave

Dansk Standard (1993). DS 474. Norm for specifikation af termisk indeklima. 1. udgave december 1993 (inkl. rettelsesblad 1:1995). Lokaliseret 20100414 på: <http://webshop.ds.dk/product/16922/ds-4741993.aspx>

Dansk Standard. (2001). DS CR 1752 Ventilation i bygninger - Projekteringskriterier for indeklimaet. 1. udgave, 2001-08-22. Lokaliseret 20100414 på: <http://webshop.ds.dk/product/23965/dscencr-17522001.aspx>

Dansk Standard. (2011). DSF 3033 Frivillig klassifikation af indeklimaets kvalitet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer.

ECCO-BUILD (Energy and Comfort Control for Building management systems). (2002-2006). Project funded under the 5th Framework Programme of the EC. Contract N°: ENK6-CT-2002-00656. Lokaliseret 20100414 på: http://www.ingelux.com/ecco_build/mainhome.htm

Erhvervs- og Byggestyrelsen (2010). Bygningsreglement 2010. København. Lokaliseret 20100414 på: <http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk>.

Foster, M., Oreszczyn, T. (1999). *Occupant control of passive systems: the use of venetian blinds*. The Barlett School of Architecture, University college London.

Inoue, T., Kawase, T., Ibamoto, T., Takakusa, S. and Matsuo Y. (1988) *The development of an optimal control system for window shading devices based on investigations in office buildings*. ASHRAE Transactions, 104.

Iwata, T., Tokura, M. (2002) *Survey on workers' response to automated blind and lighting control systems in an office*. Dept of environmental Engineering building Research Institute, Japan. IEA Task 31 and CIE division 3 mini-conference, Ottawa, Canada, October 2nd 2002.

Lindsay, CRT., Littfair, PJ. (1993). *Occupant use of venetian blinds in offices*. Watford Building Research Establishment.

- Osterhaus, WKE. (2001). Discomfort Glare from Daylight in Computer Offices: How Much Do We Really Know? *Proceedings of LUX Europa 2001, 9th European Lighting Conference, 18-20 June 2001, Reykjavík, Iceland*, pp. 448-456.
- KE. (2002). *A review of recommended luminance ratios and their application in the design of daylighting systems for offices*. IEA Report.
- Pigg, S. Eilers, M., Reed, J. (1996). *Behavioural aspects of lighting and occupancy sensors in private offices: a case study of a university office building*. Proceedings of the 1996 ACEEE summer study on energy efficiency in buildings 8.
- Rea, MS. (1984). *Window blind occlusion: a pilot study*. Building and environment 1984, Nr. 19
- Reinhart, CF., Voss, K. (2002). *Monitoring manual control of electric lighting and blinds*, Light research and Technology 34,4
- Rubin, Al., Collins, BL., Tibott, RL. (1978). *Window blinds as a potential energy saver - a case study*. NSB Building Sciences series 112, National Bureau of Standards, Washington
- Sutter. (2003). *Analytic and experimental study of venetian blinds control, aiming at optimal visual comfort conditions in the case of work on visual display terminal*, PHD Thesis, INSA / MEGA doctoral school / Laboratory for Building Sciences, ENTPE-CNRS, France
- Velds, M. (2000). *Assessment of Lighting Quality in Office Rooms with Daylighting Systems*. PhD thesis. Technical University of Delft. Delft (The Netherlands).
- Vine, E., Lee, E., Clear, R., DiBartolomeo, D. and Selkowitz, S. (1998). *Office worker response to a automated venetian blind and electric lighting system : a pilot study*. Energy and Buildings 1998; 28.
- Wienold, J. & Christoffersen, J. (2006), *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*, Energy and Buildings, vol. 38, nr. 7, s. 743-757.
- Wittchen, K., Johnsen, K., & Grau, K. (2010). *BSim: Et integreret edb-værktøj til analyse af indeklima og energiforbrug + vejledning*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. Lokaliseret 20100414 på: <http://www.sbi.dk/indeklima/simulering/bsim-building-simulation>
- WMO (2005) *Instrument Test Report 700, Investigation of the accuracy of the Delta-T Devices BF3 Sunshine Sensor*. Lokaliseret 20100402 på <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/WebPortal-AWS/Tests/ITR700.pdf>
- Wood, J., Muneer, T. and Kubie J. (2003). *Evaluation of a novel sensor for measuring global and diffuse irradiance, and sunshine duration*, Journal of Solar Energy Engineering in February 2003, Volume 125, Issue 1, pp. 43-48

Bilag 1. Litteraturstudie vedrørende praktisk brug af solafskærmninger

Dette kapitel er gengivet i originalform på engelsk.

Christoffersen et al (1999) showed that at some times during the year, the occupants of Danish offices exhibited a higher desire for sunlight when entering their offices. More than 60% said they wanted sunlight sometimes during the year and sunlight was accepted more often during the winter than summer. Interestingly, more than 70% said they were never or only sometimes bothered by sunlight in their offices, but 70% said they also used their solar shading device (typically curtains or Venetian blinds) often or always when the sky was clear. However, almost 30% were dissatisfied with their solar shading device and the most frequently reported reasons for dissatisfaction were insufficient shading and restrictions of the view to the outside.

Use of the shading device was higher if the glazing area was larger than 35% of the facade or the offices were orientated towards South. Even though the subjects used their shading device to reduce problems with sunlight, especially when the VDT was positioned near the window, more than 20% reported that they cope with the problems of insufficient shading and screen reflections by turning their VDT. Moving the VDT further away from the window caused significantly fewer problems. Large windows (glazing area above 35%) and especially if the work place (desk and VDT) were near the window caused significantly more heat and indoor temperature problems, or problems with sunlight at the work place and reflections in the screen.

Other studies show that users tend to use their manual blinds in an inefficient way. Rubin (1978) reported that blinds could stay in the same position for weeks, even if this position was initially decided by the experimenter to be fully down. Rea (1984), who considered that this phenomenon was related to a long-term way of managing the solar radiation (by considering that soon or later the sun would penetrate in the room if the blinds were not fully closed), confirmed these results. He compared this inertia with the one observed in rooms equipped with artificial lighting devices where users changed the artificial lighting settings only once or twice. Foster (1999) observed that there had to be a radical change in the weather conditions to provoke the movement of the solar shade by the user, and Inoue (1988) reported that people activated the blinds only when situations became intolerable. Blinds can also be an answer to uncomfortable reflections or glare on the VDT screens, and the shading use can in some cases be related to this only reason. Pigg (1996) observed that 87% of the occupants used their blinds to reduce glare on the computer screen.

Most research projects show that a great majority of users of a manual blind do not manage to prevent uncomfortable situations, as they move the blinds with a low frequency. This low frequency of use leads to situations of sun penetration, but also to situations where the blinds are closed while no sun penetration is to be feared. Sutter (2003) linked this purpose to the manual characteristic of the blind system: he recorded that blinds were moved three times more often when they were equipped with motorisation than with manual systems, for the same offices. The average number of moves recorded was 2,1 times per day with the motorised shading system than with manual one.

The general idea raised by Reinhart (2002) is that people tend to use their blinds mainly to block direct sunlight. This idea was first highlighted by Rubin (1978). Rea (1984) emitted a doubt, wondering whether solar heat or daylight reduction was the motor of user reaction. Lindsay et al (1993) answered this issue, observing that blinds were used for solar radiation under 50W/m^2 , which is not very high as far as heat gain is concerned. As Pigg (1996), he considered that blinds were activated to reduce glare. Bülow-Hübe (2000) found the same answers through questionnaires.

Most researchers reported huge differences of use between offices occupants. Rea (1984) observed that each user clearly has a preferred use of blinds, but that it is very difficult to generalize and find a characteristic pattern for the “average user”. Sutter (2003) reports wide differences of use between “photophobic” and “photophil” users: each one has a coherent way of using the shading system, with a tendency of photophobic persons to close more often the blinds, but the gap with photophil users is too important to allow an average description of utilisation. Lindsay et al. (1993) described that on the same façade, each day’s blind manipulation could vary from 0% (never) to 100% (daily), with an average of 40%, showing wide differences between users preferences.

It is important to notice that automatic control of blinds has to face this issue : Reinhart (2002) reported that 45% of the actions decided by the controllers of blinds were rejected by the users. Iwata and Tokura (2002) also observed that in open-spaced offices where blinds were controlled automatically, people were dissatisfied with their visual situation and disconnected the controller. Blinds were thus manually moved, and the artificial light dimming system that was linked to the controller was also disconnected. No energy savings could be achieved with this controller. Obviously, the control system of blinds has to answer user’s wishes before answering energy saving issues.

Finally, some accordances appeared on the fact that globally user prefer having their blinds opened than closed (Rubin, 1978), and that individual control is preferred to automatic systems (Inoue, 1988 / Bülow – Hübe, 2000). In offices, the avoidance of reflection on the VDT seems to play a major role in the use of blinds : (Sutter, 2003), and Osterhaus (2001) reported that the level of glare perceived by the user was higher if there were reflections on the VDT. Bülow-Hübe (2000) also reported that sunlight patches tended to trigger the use of blinds.

Another accordance seems to indicate that considering shading systems assessment, a large number of individuals is necessary to be able to observe real trends, due to the important gap between user behaviours towards shading systems. Vine (1998) and Bülow–Hübe (2000) related that they needed more subjects because of the large individual spread, more numerous measurement points, and longer measurement periods.

Building configuration

Some issues are directly related to the building itself and have important consequences on the use of solar shading devices. The way of using the blinds depends for example of the orientation of the façade leads for example to a difference of use: Rubin (1978) showed that occlusion was higher on southern than on northern offices, which was confirmed by Reinhart (2002). Rea (1984) also reported good correlations between occlusion and window orientation. Adjustments of blinds are thus different from an orientation of the facade to another orientation.

Generally, experiments on shading devices have been carried out in buildings benefiting from a homogeneous access to daylight:, and the influence of close or distant obstructions such as high trees or other building close to the experimented one for instance was not included in the study. Sutter (2003) reported that such obstructions had an important influence on

the blind occlusion, and on the frequency of blind movements. Reflection on bright buildings can even provoke the use of shading devices in north oriented offices. When the obstruction is provoked by a close building, the importance of the obstruction depends on the height of the experimented floor: in a same building, and on the same façade, the shading will depend on the height of the office.

Another parameter of the building can influence the use of shading devices: overheating in offices (due to high surfaces of glazing for instance) was proved to provoke a more important use of blinds. Inoue (1988) pointed the relation between overheating and blind use, and Reinhart (2002) also concluded that the use of blinds was more important in buildings presenting general overheating problems.

Relation between irradiance , sun position, and user behaviour

The relation between the use of blinds and the sky conditions is still an issue to be resolved by research. Rea (1984) found a good correlation between occlusion and sky condition, while Bülow-Hübe (2000) could not show this correlation, and Rubin (1978) was not able to establish this link, due to the restricted number of situations he could observe with his protocol (cf. Chapter 2.2.2). Reinhart (2002) established that the manipulation rate was lower on western facades than on southern ones. The sun position and the sky condition could be an explanation for this, but there is a lack of information about the influence of the sun position (angle to zenith, azimuth) on the user behaviour. All observations regarding this issue report the influence of sun patches, or are related to irradiance or illuminance rates, without establishing direct relations between the sun position and the blinds move. The reported studies from now to paragraph 2.7 will show relations between the use of shading systems and the outside or inside conditions, without taking into account the sky conditions.

Rea (1984) was the first to record the influence of incident irradiance and blinds adjustments, even though he could not show this relation throughout the day, but with a larger scale. Inoue (1988) shown that the rate of closed blinds had a good correlation with the amount of solar radiation, and that beyond 50W/m^2 , the blind occlusion was proportional to the depth of sunlight penetration in the room.

Outside illuminance thresholds; hysteresis

Closing the blinds:

After those first evaluations, Reinhart (2002) intended to find a relation between the use of blinds and illuminances on the facades, and found that people tended to close their blinds when vertical illumination on the façade was over 49 000 lux. Sutter established this threshold at 37 000 lux, by taking into account the occlusion due to the angle of the slats.

Opening the blinds:

Reinhart (2002) found that people opened their blinds when vertical illumination on the façade was under 28 000 lux. Sutter (2003) recorded this threshold at 18 000 lux.

Hysteresis:

Reinhart observed a difference of threshold between closing and opening the blinds. Inoue (1988) already established this phenomenon of hysteresis, reporting that the correlation between the rate of blinds closed and the solar radiation followed an arc: even if the radiation was decreasing, the number of blinds closed could still grow. Reinhart (2002) reported a difference of 24 000 lux between the two thresholds, and Sutter (2003) found a difference of 28 000 lux.

Inside luminance thresholds and ratios

The studies previously reported in this chapter dealt with external measurements (façade illumination, sky conditions etc.). User assessments gave information on the behaviour of users by recording the inside preferred conditions. Velds (1999) shown that if the window produced more than 1800cd/m^2 , the user would react within 30 to 60 minutes. Sutter (2003) also reported that 75% of the users maintained the luminance of their window under 1800cd/m^2 , validating this inside threshold.

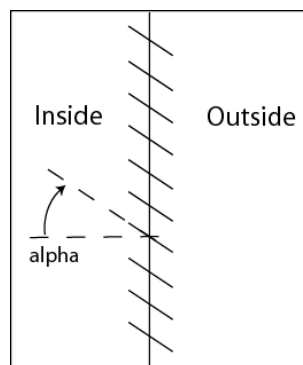
Inside of the offices, the luminance ratios reported by Osterhaus (2002) of 1:3:10 (luminance of the task : luminance of the immediate surround : luminance of the general surroundings) has also been studied as a function of window presence and blind use. Sutter (2003) agreed with this repartition in the case of absence of a window in the field of view. If the user can see a window, the rates become 1:6:20, traducing a higher tolerance for natural light coming from a window. The surface of this window was always under 5% of the view field. Sutter (2003) also reported that the Glare Index (GI) did not reflect exact visual comfort conditions when natural light was coming from a window. The glare was then over-estimated, and the index was quite difficult to calculate.

Vine (1998) observed that even with non-retractable blinds (slat angle being the only possible adjustment), people preferred illuminance over 500lux, but couldn't identify if this was an answer to a visual or a biological need. He also reported that people had a higher acceptance for blinds when their operating system was grouped with the artificial lighting system.

Users preferred positions for Venetian blinds; colours of the slats

In his work, Sutter (2003) studied the preferred positions of the blinds, by monitoring the frequency of position of the motorized blinds when the offices were occupied. He reported that 3 main positions were monitored (see figur 56)

- Totally up : 18%
- Totally down, $\alpha = 0^\circ$ -horizontal slats, saving the view to the outside- : 20%
- Totally down, $\alpha > 0^\circ$ -protecting from direct sun illumination- : 51%



Figur 56. Definition of slats angle.

The other positions monitored were: all intermediate heights of the blinds representing 6,5% of the uses; all positions with $\alpha < 0^\circ$ representing 4,8%. When the blinds are totally down, the horizontal position of the slats ($\alpha = 0^\circ$) represents 20% of the uses. This position allows a view to the outside : the minimum view to the outside should thus be integrated to the future controller.

Sutter also reported that if more than one blind is available for an office, one is generally used to protect from the sun (the one closer to the user),

and the other is generally kept more opened to maintain view to the outside and to have natural light in the office. This issue presents a new user preferred situation comparing with the previous studies that only assessed the user behaviour with one blind. A smart controller should also take this preference into account, which should be assessed as a particular issue.

The slats colour modifies the diffuse daylight emitted in the room by the shadings. Sutter (2003) reported that black slats immediately led to an impression of sadness in the rooms. Dark slats also avoid the diffusion of natural light in the office, leading to an over-utilization of the artificial light. For him, the main goals of the blinds should then be to protect from the direct sun and reflections and to diffuse the light in the office. Iwata-Tokura (2002) also observed that users were unsatisfied by the position of blinds that were programmed to avoid direct sunlight penetration. They still asked for an adjustment, which confirms that stopping direct sun penetration is not sufficient for user comfort.

Christoffersen and Wienold (2006) investigate the user perception of solar shading systems regarding glare by using laboratory tests with subjects. A total of 104 subjects were exposed to three different window arrangements (small 25%, medium 50%, and large 90% window area) typical for today's design of windows in office buildings. For a Venetian blind system, the initial setting was the cut-off angle (see page 100) with an approximate 5-10° offset (closing). The blinds selected in the study were a matte, white and a specular blind system. After the subject completed the rating of the lighting conditions, they could adjust the system to their preferred position for each combination of window sizes and viewing direction. For the Venetian blind system the subjects were allowed to change slat angle position to their preferred position, but not raise the blinds. More than 70% of the subjects stated they were either very uncomfortable or slightly uncomfortable with the initial settings and wanted to change the settings of the blinds to maintain a comfortable work place. Especially specular blinds and clear sky conditions affect statements of needs to change the initial setting, and it is apparent that large windows, and especially specular blinds, can cause very uncomfortable conditions. This is further emphasized that specular blinds with large windows cause more than 80% of the subjects to wish to change the initial slat angle. Comparisons between the two different blind systems, white and specular, show that subjects with a white Venetian blind 'preferred' view to the outside and 'accepted' penetration of direct sunlight, while specular blinds caused too much glare and restricted view to the outside. But there is a wide spread of preference and increasing window size tends to cause the subjects to close the blinds more than the initial setting. Although linear regression analysis showed no linear relationship for the white Venetian blind, it still seems fair to separate the two blind systems. For white Venetian blinds, the linear model will underestimate the tilt angle for a small window. The linear regression model for the specular Venetian blind fits better. If no separations of the blinds systems are made in an automatic controller, the linear relationship will underestimate the needed tilt angle for the specular blinds and overestimate the tilt angle for the white blinds. Keeping in mind, those subjects who tended to open the white blinds more than the critical slat angle, will change the slat angle if the system is automatically controlled. When asked about control, subjects can accept the blind systems to be automatically controlled, as long as there is an option to override the system, when needed.

Office position towards window, seasonal influence

Sutter (2003), confirmed that the best position of work when working on a screen in an office with a window is being parallel with the window. He recorded that when the VDT was in front of the window (the user had the

window behind his VDT), blinds were used even for an illumination under 20klux, and the slats were oriented 40° at the minimum.

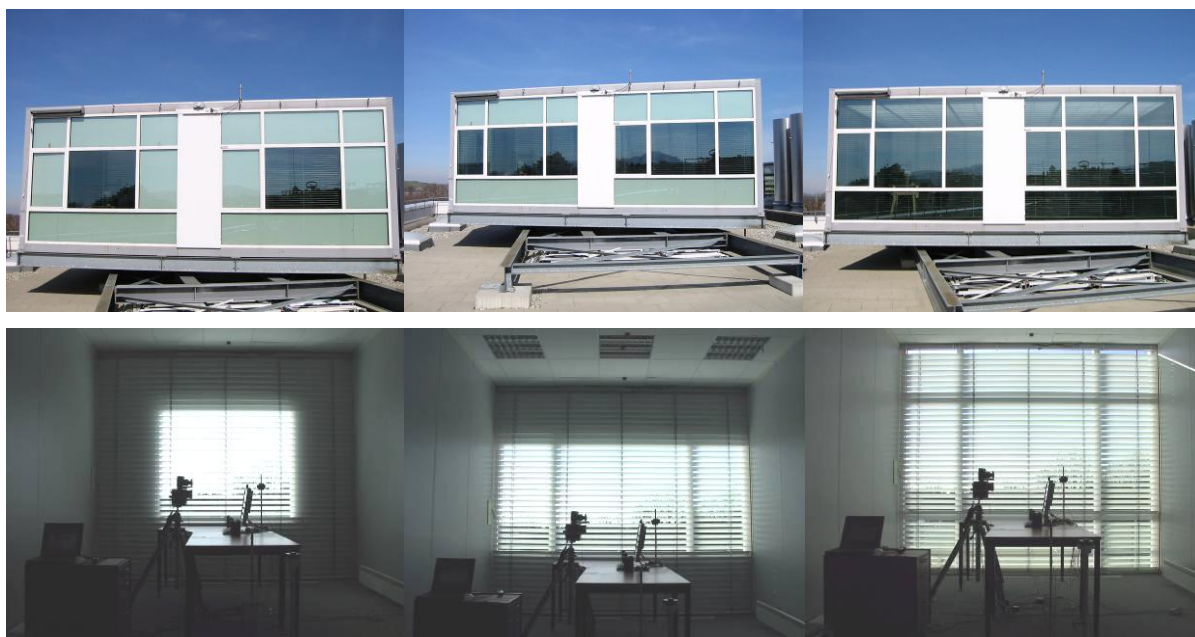
The seasonal effect could not be identified precisely : Rubin (1978) could not establish inter-seasonal changes in the way of using the blinds. However, Sutter (2003) established that when temperature was high ($T > 26^{\circ}$) in summer, the average blind's angle was accentuated by 10°, and threshold slipped by a 15%. But this temperature happened only in summer, and temperature and seasonal influence could not be separated.

Bilag 2. Fuldskalaforsøg til kortlægning af visuelle parametre og brugernes grænseværdier for disse

For at kortlægge hvorledes de visuelle parametre influerer på en persons opfattelse af gener fra dagslyset og behovet for at regulere på afskærmningen, blev der gennemført en serie forsøg i SBI's Dagslyslaboratorium.

Metode

Forsøgene blev gennemført med 3 forskellige vinduesstørrelser, 3 forskellige typer afskærmninger (2 persienner og en film), 105 forsøgspersoner og 1 synsretning diagonalt mod vindue (dog 2 synsretninger for hvid persienne; diagonalt og parallelt). De visuelle parametre som indgik i forsøgspersonernes opfattelse af dagslysforholdene var: blændingsforhold, luminansværdier, kontraster, belysningsstyrker og -variationer, reflekser i afskærmninger og i pc-skærm m. fl. Forsøgene blev gennemført som led i EU projektet ECCO-Build (Christoffersen & Wienold, 2004 / 06), og Fraunhofer Institutet i Freiburg gennemførte tilsvarende forsøg i deres eget dagslyslaboratorium, der er næsten identisk med SBI's, se figur 57.



Figur 57. Fotos af dagslyslaboratorierne ved Fraunhofer, Freiburg (øverst) og ved SBI, Hørsholm (nederst), henholdsvis udefra og indefra ved 3 forskellige vinduesstørrelser.

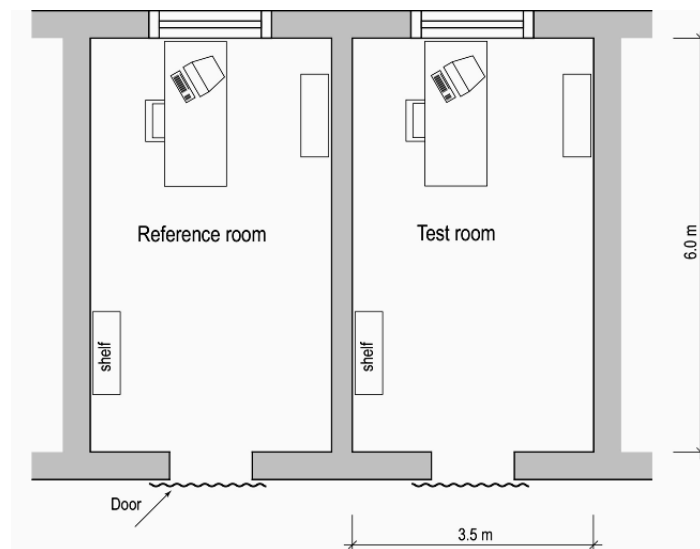
Tabel 16. Glasareal (A_{glas}) i forhold til facadeareal (A_{facade}) af de vinduer, der anvendes i forsøget på SBI og ISE. ω_s er den rumvinkel af vinduet set fra betragtningspunktet 1,5 m fra vinduet.

Vinduesareal	Lille		Middel		Stort	
	$A_{\text{glas}}/A_{\text{facade}}$	ω_s	$A_{\text{glas}}/A_{\text{facade}}$	ω_s	$A_{\text{glas}}/A_{\text{facade}}$	ω_s
SBI	$\approx 25 \%$	1.12	$\approx 44 \%$	2.00	$\approx 85 \%$	3.89
ISE	$\approx 21 \%$	0.96	$\approx 45 \%$	2.06	$\approx 89 \%$	4.21

Måleprogram

For at kunne sammenholde forsøgspersonernes vurderinger med de faktiske fysiske forhold, blev der foretaget en nøje registrering af de visuelle parametre gennem hele forsøgsperioden. Dagslyslaboratorierne rummer to identiske forsøgsrum, hvor forsøgspersonen opholder sig i det ene (test room), mens alle målinger finder sted i det andet rum (Reference room). Alle variationer i de to rum sker således synkront, styret fra rummet med forsøgspersonen, se figur 58. De persienner der blev anvendt i forsøget var tilsluttet en LON bus for at sikre den samme hældningsvinkel af lamellerne i begge rum.

Forsøgspersonen sad 1,5 meter væk fra vinduet. Kun fladskærme (VDT) blev anvendt. Sbi's dagslyslaboratorium (breddegrad 55,86 ° N, længdegrad 12,49 ° Ø) er orienteret 7 ° øst for stik syd. Forsøgsrummene har følgende fotometriske ($\rho_{\text{væg}} = 0,62$, $\rho_{\text{loft}} = 0,88$, $\rho_{\text{gulv}} = 0,11$) og geometriske karakteristika (3,5 m bred og 6,0 m dyb, 3,0 m høj). Glasset var lav-E dobbelt-glas, der dækker hele facaden med en lystransmittans på $\tau_{\perp} = 0,72$, U-værdi på 1,1 W/m² ° C og en G-værdi på 0,59. ISE's dagslyslaboratorium (breddegrad 48,01 ° N, længdegrad 7,84 ° E) kan frit roteres uden begrænsninger (se figur 57) og rummene har følgende fotometriske ($\rho_{\text{væg}} = 0,56$, $\rho_{\text{loft}} = 0,80$, $\rho_{\text{gulv}} = 0,34$) og geometriske karakteristika (3,65 m bred og 4,6 m dyb, 3,0 m høj). Glasset er farve-neutrale sol lav-E dobbelt-glas, der dækker hele facaden med en lystransmission på $\tau_{\perp} = 0,54$, U-værdi på 1,1 W/m² ° C, og en G-værdi på 0,29.



Figur 58. Plan af SBI's Dagslyslaboratorium, der rummer to identiske forsøgsrum. Forsøgspersonen opholder sig i det ene rum (til højre), mens hele måleopstillingen er placeret i det andet rum.

Observationerne i laboratoriet varede ca. en time og 45 minutter (kort-tids studie) og vejr-forholdene (overskyet, klar blå himmel med direkte sol) var derfor rimelig ens under forsøget. For at skabe realistiske kontorforhold, blev forsøgspersonerne bedt om at gennemføre tre forskellige typer af arbejde i hver forsøgsserie: læsning af tekst på et stykke papir, læsning på pc-skærm, afskrift af tekst på pc, se figur 59. Mens vinduesstørrelsen blev forandret, var forsøgspersonerne udenfor testrummet.

In recent years, many European countries have adopted energy efficiency measures into their building codes with the goal of reducing both energy consumption and electrical demand in buildings. Utilities, facing rapidly rising costs for additional generating capacity to meet future demand growth, have encouraged this process. Lighting has been a favorite target for these codes since it is a significant end-user of energy in many sectors, and because retrofit with energy efficient technologies is relatively straightforward. Energy codes typically set limits on allowed lighting power densities, which are often significantly lower than the practice prevailing before code adoption. In addition, codes often promote automatic lighting controls by offering

In recent years, amny European

WhwNdzo zltPvY 1CCAe kDw he t3
 TkW3rm8U ya BpE 02B L8Y A5 She
 PQtb 90DViRCDG 1H pSM yEqZz 6F
 jyA3 sATQesa ANUU VLH Oulp2JBE
 vbR 1lY5rVr SA9mr DmPETLV 2uO2
 7phnFd2oyT 83ee zKo8h KyiTJgAL
 vXMu 6Kugm 3ElkxsOWhCK1FTMA T6
 LuGF5 ad HsicT H0jkHv ssAq U8Q
 8dW rmrtfGqh HCsnGdYIMQEITS fo
 o1 XVw6 2VogMfo6 PH uJD3c DXj8
 yW 5LN 6Bv0 fGPhdZ Cn x9gUiaH3
 fySFoauaxj UeK bKQz 2uZa MmnCN
 4t HT3OFuMUSo piqluUh8tdRbK1Tn
 Ez 33Q 6w fvVR 7B gyz Ns5 5Ami
 7T5k 6bc2 ZH1 fJmDO GwJ9 ECKYm
 Xob3m t9 SU ZR e1 3lFg lwc j4w
 nToPDF RCUB nyMHs rMI0oizFL8dx
 a2Z sD AK5R1 Q8jiI wBeeA L2Rz0

Figur 59. Øverst vises afskrift af tekst på pc (Typing Task, NRC), der måler hastighed og nøjagtighed, hvormed forsøgspersonen er i stand til at indtaste en given tekst. Nederst vises test til læsning på skærm, pseudo-tekst, hvor forsøgspersonen skal identificere hyppigheden af bogstaven A. Yderligere beskrivelse af disse test kan findes i Christoffersen & Wienold (2004).

Forsøgspersonerne blev spurgt om deres indtryk og opfattelse af rum, vinduer og graden af blænding. Spørgeskemaet om lysforholdene var opdelt i 4 hoveddele. De demografiske spørgsmål (del 1) omhandlede køn, alder, venstre eller højre hændet, brug af briller eller kontaktlinser, og følsomhed over for stærkt lys. Spørgsmålene i del 2 var relateret til bedømmelse lysforholdene efter læsning af tekst på et stykke papir, læsning på pc-skærm, afskrift af tekst på pc. De spørgsmål der blev anvendt til at beskrive opfattelsen af det visuelle lysforhold (VAS linje skala, 4-punkts blændingsskala med foruddefinerede blændingskriterier: Ikke mærkbar, Mærkbar, Forstyrrende, Utålelig) var vurdering af belysningsniveau, tilfredshed med belysningsniveau, graden af blænding, samt om lysforhold er behagelig eller ubehagelig, hvis de skal udføre deres daglige arbejde på arbejdspladsen. Del 3 var opdelt i to dele, første del er koncentreret om de generelle lysforhold i lokalet, før de forsøgspersonerne kunne ændre indstilling af afskærmning i henhold til deres ønsker, mens anden del er koncentreret om, hvorfor de havde skiftet den oprindelige indstilling. Del 4 fokuserede på indeklimaforhold i rummet.

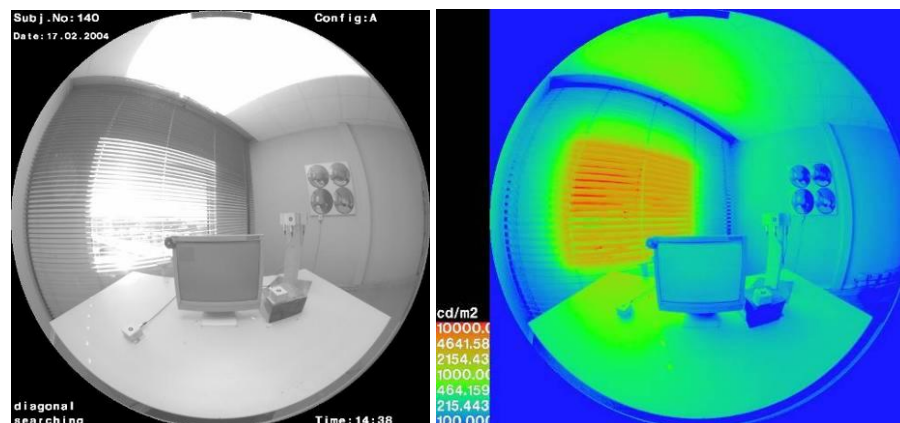


Figur 60. Eksempel på forsøgsopstilling ved middelstort vindue i SBI's Dagslyslaboratorium. Her er forsøgspersonens placeret således at synsretningen er skråt mod vinduet i en vinkel på ca. 45 grader. Forsøg med en placering, hvor forsøgspersonen synsretning var parallel med vinduet blev også undersøgt.



Figur 61. Måleopstilling i målerum med CCD kamera placeret svarende til forsøgspersonens øjenplacering i forsøgsrummet. Persiennejusteringer og ændringer på pc-skærmen følger slavisk ændringer i rummet, hvor forsøgspersonen er placeret.

Under hele forsøgsgangen blev *belysningsstyrken* registreret (hvert ½ minut) i udvalgte punkter på vandret arbejdsplan samt på lodret plan i en position svarende til forsøgspersonens øjne. *Luminansfordelingen* i hele synsfeltet blev målt ved hjælp af et CCD kamera placeret i målerummet i en position svarende til forsøgspersonens øjne. Kameraet var forsynet med et fiskeøjeblik (synsvinkel 183°) med et måleområde fra 3 til 200.000 cd/m². Når man har luminansfordelingen i hele synsfeltet, kan man, ved hjælp af programmet *Radiance* beregne den belysningsstyrken på øje-planet og det var meget god korrelation mellem målte og beregnede belysningsstyrker.



Figur 62. Eksempel på luminansbillede, der viser målerummet med middelstort vindue samt skråsynsretning (ca. 45 ° i forhold til vindue).

I det følgende afsnit er der kun gengivet en sammenfatning. Den samlede analyse kan findes i (Christoffersen & Wienold, 2004 / 06).

Forsøgspersonerne blev rekrutteret på SBI og Fraunhofer ISE. I alt 105 forsøgspersoner, hvoraf 62 var mænd og 43 var kvinder (SBI 27 mænd og 19 kvinder; ISE 35 mænd og 24 kvinder), i alderen 20 til 63 (SBI: $M = 46,50$, $SD = 9,79$, $n = 46$; ISE: $M = 25,85$, $SD = 3,48$, $n = 59$). Ca. halvdelen af forsøgspersonerne anvendte enten briller ($n = 49$) eller kontaktlinser ($n = 8$). Næsten alle var højrehåndet ($n = 100$). Ud fra en arbejdsfunktion var ca. 50% studerende, mere end 30% akademisk og de resterende 20% havde en ledende, administrativ eller sekretær funktion

Indvendig belysning

Middelbelysningsstyrken på skrivebordet med den hvide og spejlende persienne var omkring 2000 lux for det lille vindue og næsten 8000 lux for det store vindue. Vertikal belysningsstyrke på øjet var mellem 1500 lux og 8500 lux for persiennene, afhængigt af vinduets størrelse, og forholdet mellem belysningsstyrke på skærm og bord var mellem 1:2 og 1:4 (bør være lavere end 1:10). Langt de fleste af forsøgspersonerne ($> 80\%$) ønskede ikke at supplere med elektrisk belysning (arbejdslampe eller loftsbelysning). For foliesystemet var ønsket væsentlig større idet belysningsstyrken på bordet var mindre end 500 lux, selv ved klar himmel og direkte sol. For de to persienesystemer vurderede forsøgspersonerne belysningsstyrken på skrivebord hverken for lav eller for høj, men det høje niveau medførte en større grad af utilfredshed og den var størst ved læsning af tekst på skærm.

Blænding

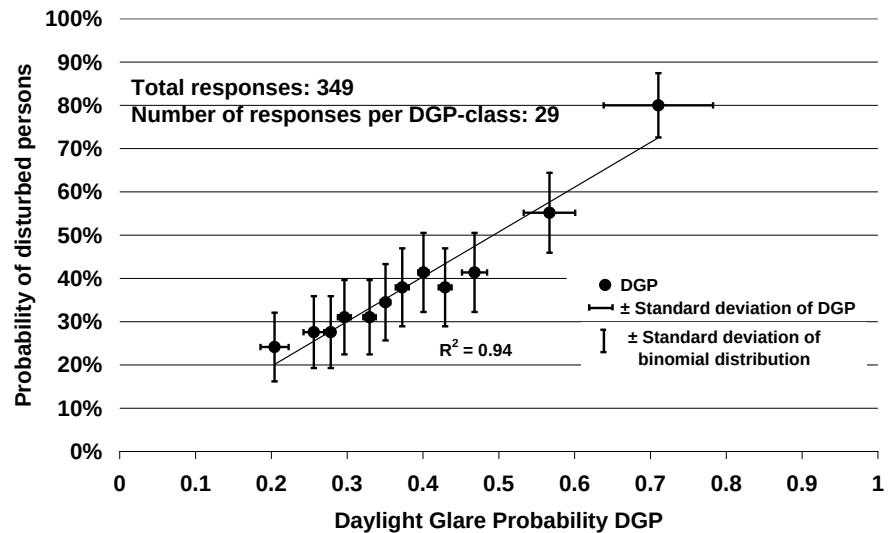
Den spejlende persienne medfører væsentlig højere grad af generende blænding end de to andre systemer. Graden af blændingsproblemer stiger med vinduesstørrelsen og ved skrive / læse opgave på skærm. Ved store vinduer, vil et system der reflekterer lys medføre blændingsproblem idet systemet vil være synligt fra en arbejdsplads inde i rummet. Sidder man diagonalt mod et vindue er problemerne større end hvis man sidder parallelt.

I den internationale litteratur er der udviklet en række blændingsformler gennem årene, men omtrent alle er bestemt ved anvendelse af elektriske lyskilder som blændingskilde. Derfor blev et af målene at udvikle et nyt indeks, idet vi anvendte CCD-kameraets dynamisk billedkortlægning til en langt mere detaljeret vurdering af det visuelle synsmiljø end i de tidligere blændingsforsøg. Selve metoden er beskrevet i detalje i Wienold & Christoffersen (2006). Metoden detekterer alle blændingskilder ud fra forholdet mellem luminansen i arbejdsfeltet i forhold til hele halvkuglefeltet omkring. Den bedste sammenhæng mellem hvad forsøgspersonerne vurderer og hvad vi kan beregne er en kombination af belysningsstyrken på øjet og luminansen af blændingskilden, dens størrelse (rumvinklen ω_s) og blændingskildens placering i synsfeltet (positionsindeks). Indekset er kaldet DGP, Daylight Glare Probability, og vist i formen og figur 63:

$$DGP = 5.87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 9.18 \cdot 10^{-2} \cdot \log\left(1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \cdot \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} \cdot P_i^2}\right) + 0.16$$

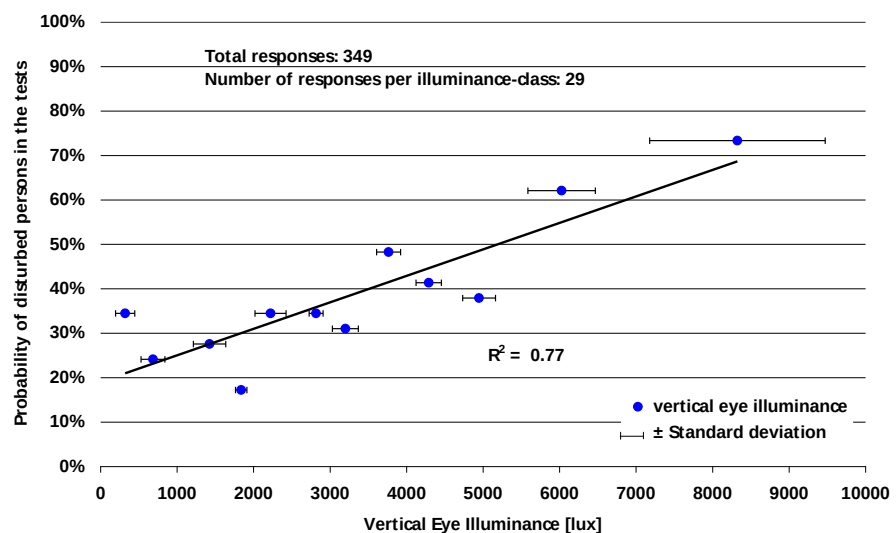
hvor

- E_v : vertikal belysningsstyrke på øje, lux
- L_s : blændingskildens luminans, cd/m^2
- ω_s : rumvinkel
- P : positionsindeks,



Figur 63. Sammenhæng mellem DGP og sandsynligheden for generende blænding viser en høj korrelation ($R^2 = 0,94$). DGP omkring 0,2 vil svare til ca. 1000 lux vertikalt på øjet.

Selvom det er en meget god korrelation mellem beregnet DGP og forsøgspersonernes vurdering af blænding, er der en rimelig sammenhæng mellem den vertikale belysningsstyrke på øjet og graden af blænding. Sammenhængen er vist i figur 64



Figur 64. Sammenhæng mellem belysningsstyrke på øjet og sandsynligheden for generende blænding viser en rimelig korrelation ($R^2 = 0,77$). Den vertikale belysningsstyrke på øjet tager ikke hensyn til individuelle blændingskilder men midler over hele halvkuglefeltet.

Ændring af persienne

Den hvide persienne indstilles hyppigere i en position der mere eller mindre blokerer for direkte sol, mens den spejlende indstilles mere efter at lameloverfladen ikke ses fra arbejdspladsen for at minimere blænding. For begge afskærmninger vil indstilling af lamelvinkel være forskellig afhængig af vinduesstørrelse, idet lamellerne lukkes mere når vinduesstørrelsen stiger.

Styringsparametre, værdier og variationsområder

Lyssstyring

Lyssensor område	30 - 3000lx
Lx ind 1, 2.....	200 lx, 160 lx
Setpoint zone 1, 2 [Eø].....	500 lx
Vout minimum 1, 2	0,0 V
Vout maximum 1, 2	10,0 V
Fade up 1, 2	10 sec
Fade down 1, 2	10 sec
Off delay	30 min
Cutoff delay	8 min

Persiennestyring

Tidszone.....	CET + 1
Længdegrad	9.77915
Breddegrad	54.91287
Orientering af bygning	- 48
Cutoff delay	1800 sec.
Lamel vinkelområde	(40, 90)
Åben lamel	40
Lukket lamel	40
Vinkel - aktor coefficienter til 3.gr polyn.	(0.0,0.0,1.4883,-59.533)
Aktor - vinkel coefficienter til 3.gr polyn.	(0.0,0.0,0.6719,40.0)
Off delay	300 sec
Delay til reset af bruger offset	3600 sec

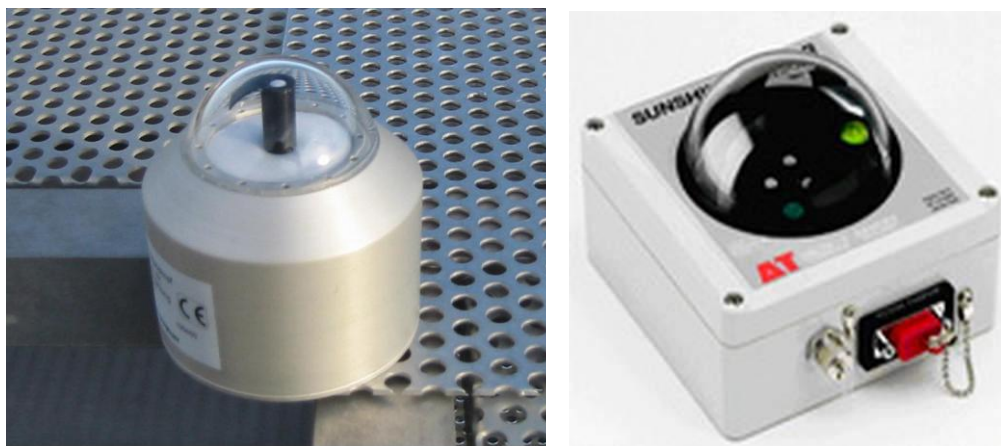
Technical data of the luminance measuring camera type LMK mobile.

Sensor	
CCD	Sony ICX 085 AK
Resolution (effective pixels)	1280 (H) * 1024 (V)
Pixel ratio	6.7 μm * 6.7 μm
Sensor area	8.71 (H) * 6.90 (V) mm^2 (2/3")
Scanning regime	Progressive Scan
Luminance resolution	640 (H) * 512 (V)
Video signal	10 bit digital
Resolution at single point	Single measurement: 1:500
(dynamics range)	HighDyn-measurement: 1:50 000
Måleparametre	
Measuring range (full-scale Point)	3 ... 200.000 cd/m^2
Selection of measuring Range	via setting of integration time and aperture
V (λ)-visual correction	Numerical linear transformation from R,G,B-sensor data
Measuring variations ²	halogen, D65,...<5%; fluorescent lamp, MHN-T,...<10%
Influence of surrounding Luminance	(DIN 5032) $f_{2,u} < 1.5 \%$
Calibration uncertainty	< 3 %
Fields of application	preferably for field measurements
Driftsdata	
Storage media	Different Flash-cards
Storage space per image	1.8 MByte (single image)/ 9 MByte (HighDyn image)
Operating system	WINDOWS

² Due to spectral distributions deviating from CIE standard illuminant A within the scene.

Udendørsmålinger

I EU-projekt ECCO Build (*Energy and Comfort Control for Building Management Systems*), hvor Sbi deltog, blev følgende to udendørssensorer afprøvet; Indium sensor (type SDE 9.1) og Delta-T BF3 sensor (se figur 65). Disse udendørssensorer måler både den horisontale globale stråling og direkte eller diffuse stråling med en enkel sensor, hvilket gør de rimelige i indkøb. De udvalgte sensorer blev afprøvet i forhold til en udendørs vejrstation i Edinburgh, Scotland (Delta-T BF3, se Wood et al., 2003) og Fraunhofer ISE, Tyskland (Indium). I tabel 17 og tabel 18 vises output fra henholdsvis Indium og Delta-T BF3 sensor.



Figur 65. Indium sensor til venstre og Delta-T BF3 til højre.

Tabel 17 Indium sensor output (<http://www.indiumsensor.de/index.html>)

Information fra Indium sensor:	information	Enheder	Område
	global horisontal stråling	W/m ²	0 -ca. 1300 W/m ²
	direkte horisontal stråling	W/m ²	
	Sol No/Yes	V	No - 0-0,6 V; Yes - 4,5 - 5,0 V

Tabel 18 Delta-T BF3 sensor output (<http://www.delta-t.co.uk/products.html?product2005092016583>)

Information fra Delta-T BF3 sensor:	information	enheder	Område
	global horisontal stråling	W/m ² eller klux	0-1250 W/m ² , 0-200 klux
	diffus horisontal stråling	W/m ² eller klux	
	Sun No/Yes	V	No - 0-3 V; Yes - 3V

Resultater

Begge sensorer måler den globale horisontale stråling og ved at kombinere måling af global stråling og/eller direkte eller diffus stråling, fås også et mål for om det er direkte sol eller ej. World Meteorological Organisation (WMO) definerer soltimer når den direkte solstråling er større end 120 W/m². Indium sensoren måler soltimer (i sekunder) i henhold til WMO, mens Delta-T BF3 anvender en algoritme baseret på forholdet mellem global og diffus stråling. Er forholdet global og diffus stråling større end 1,25 og den globale stråling samtidig er større end 24 W/m², vil Delta-T BF3 angive at der er direkte sol tilstede. WMO har i 2005 gennemført en afprøvning af Delta-T BF3 sensor's og i sammenfatningen konkluderes at Delta-T BF3 sensor ikke er tilstrækkelig nøjagtig til at måle antal soltimer i henhold til WMO's definition. Om det er

nødvendig med en så præcis sensor til en integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys er derimod ikke sikkert.

Generelt for de to sensorer er at de måler med rimelig nøjagtighed om det er direkte sol eller ej, hvis man anvender algoritmen fra Delta-T BF3 sensoren. Dog er begge sensorer lidt unøjagtige når solen står lavt på himlen, men hvis solen står højt er de derimod meget præcise.

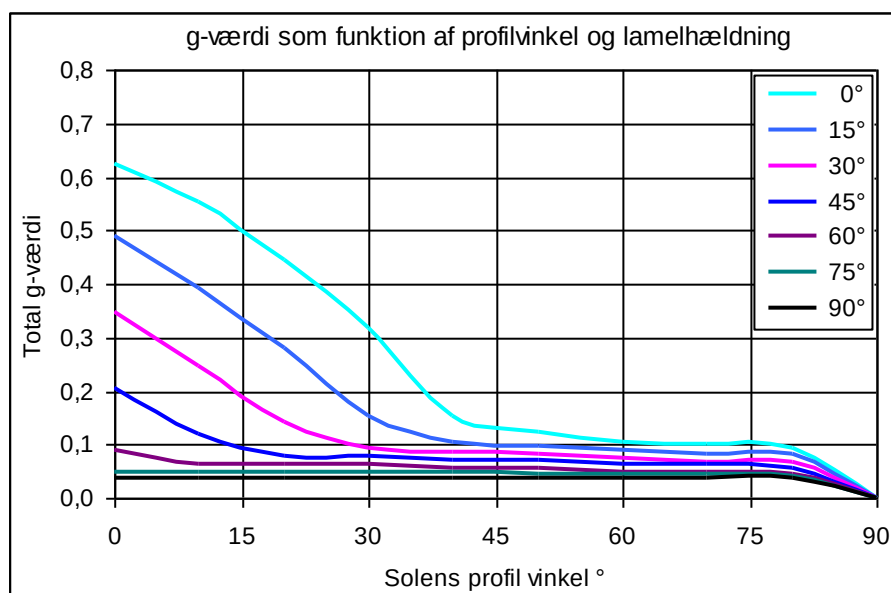
Bilag 3. Udvikling og validering af modeller for solafskærmningers reguleringsfunktion

Udvikling af modeller for styring og regulering af solafskærmninger

På baggrund af litteraturstudiet og forsøgene i SBI's Dagslyslaboratorium kan der identificeres behov for udvikling og implementering af flere forskellige styrings- og reguleringsstrategier i bygningssimuleringspakken (Wittchen, Grau og Johnsen, 2010). BSim er et integreret edb-værktøj til analyse af bygninger og installationer. BSim rummer en samling avancerede værktøjer til simulering og beregning af bl.a. termisk indeklima, energiforbrug, dagslysforhold, fugtsimulering, naturlig ventilation og elektrisk ydelse fra bygningsintegrerede solceller.

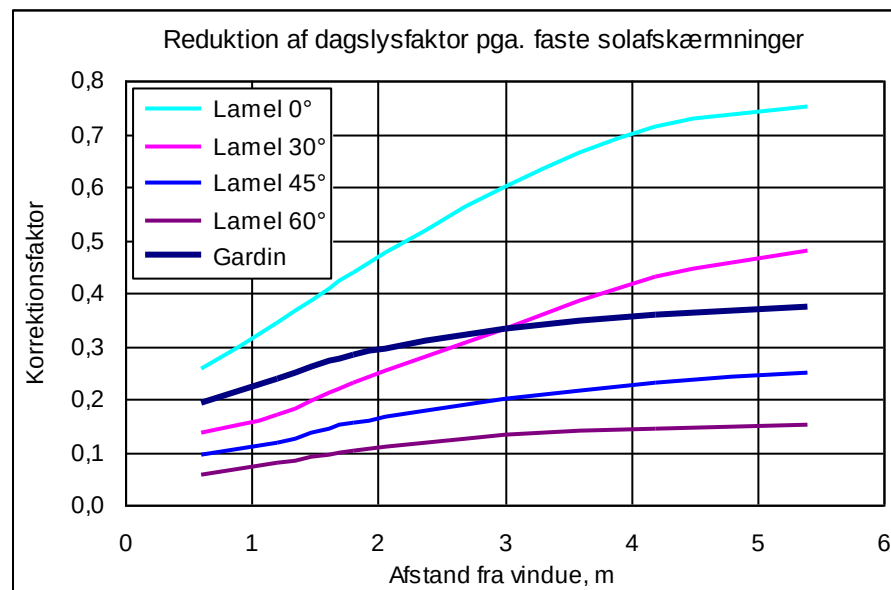
I tidligere versioner af BSim programpakken var beskrivelsen af en solafskærmning begrænset til angivelse af en fast afskærmningsfaktor. I den nye version vil afskærmningsfaktoren kunne variere, både efter afskærmningens indstilling (fx lamelhældning på en persienne) og efter tiden på dagen og året. Solens position på himlen i forhold til en given facadeorientering kan beskrives ved profilvinklen, som er solhøjdens projektion på et lodret plan vinkelret på facaden, jf. side xx. For hver time i året, som simuleres med BSim, beregnes profilvinklen og herudfra kan man beregne hvordan afskærmningsfaktoren eller g-værdien (den totale solvarmetransmittans) for det samlede system varierer henover dagen og året. Det bemærkes, at mens g-værdien i datablade for ruder og afskærmninger normalt kun angives for stråling vinkelret på ruden, så er den her angivet for enhver indfaldsvinkel af den direkte stråling, ligesom den også angives for diffus stråling.

Figur 66 viser et eksempel på, hvordan den totale solvarmetransmittans (g-værdi) afhænger af solens profilvinkel og lamelhældningen for en udvendig persienne. Vinduessystemet består af en energirude plus en udvendig grå persienne.



Figur 66. Sammenhæng mellem den totale solvarmetransmittans (g-værdi) og solens profilvinkel samt lamelhældningen for en udvendig grå persienne i kombination med en energirude.

Selv en åben afskærmning med lameller (fx en persienne med vandrette lameller) reducerer dagslyset i rummet bagved meget betydeligt. Derfor er det vigtigt at afskærmningen kan trækkes bort fra vinduet, når himlen er skyet eller overskyet, hvilket den er i ca. 2/3 af dagtimerne. Figur 67 viser hvor meget dagslyset reduceres ved forskellige lamelhældninger som funktion af afstanden fra vinduet.



Figur 67. Reduktion af dagslyset, udtrykt ved en reduktion i beregnet dagslysfaktor, ved forskellige lamelhældninger for en persienne samt for et typisk gardin.

Med den nye version af BSim er det muligt at tage hensyn til variationerne i dagslyset i et rum som funktion af en lamelbaseret afskærmning (fx en persienne). Det vil også være muligt at simulere mere realistiske reguleringsstrategier, for eksempel en strategi, der indstiller lamellerne således at direkte sollys netop holdes ude (såkaldt cut-off regulering).

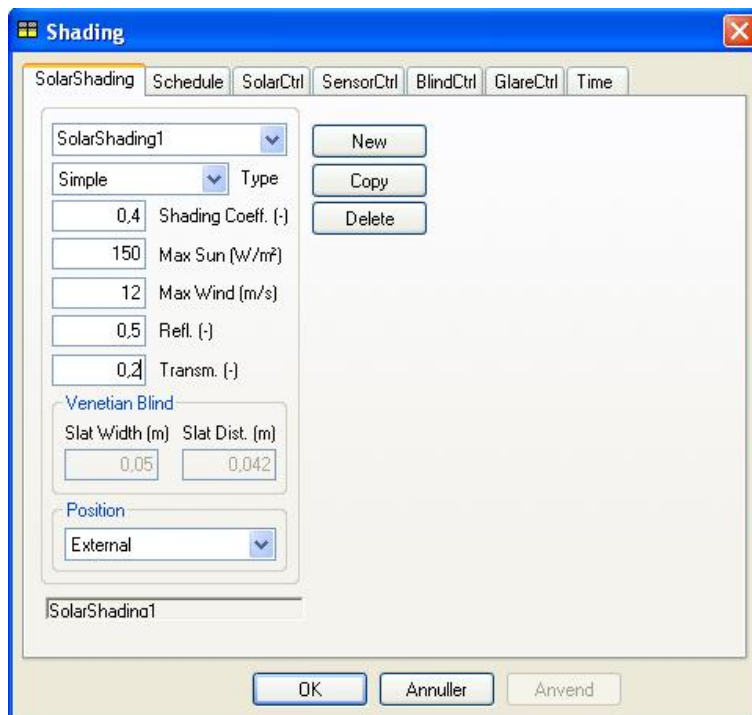
Beskrivelse af solafskærmning og nye reguleringsformer i BSim

Til hvert vindue i en BSim-model kan der tilknyttes en solafskærmning, som beskrives gennem data i dialogen vist i figur 68. Afskærmningen beskrives ved nogle ganske få parametre, der beskriver de fysiske egenskaber, som vist i tabel 19.

Tabel 19. Data i BSim for dialogen SolarShading. Parametre i grå felter anvendes kun i specialtilfælde.

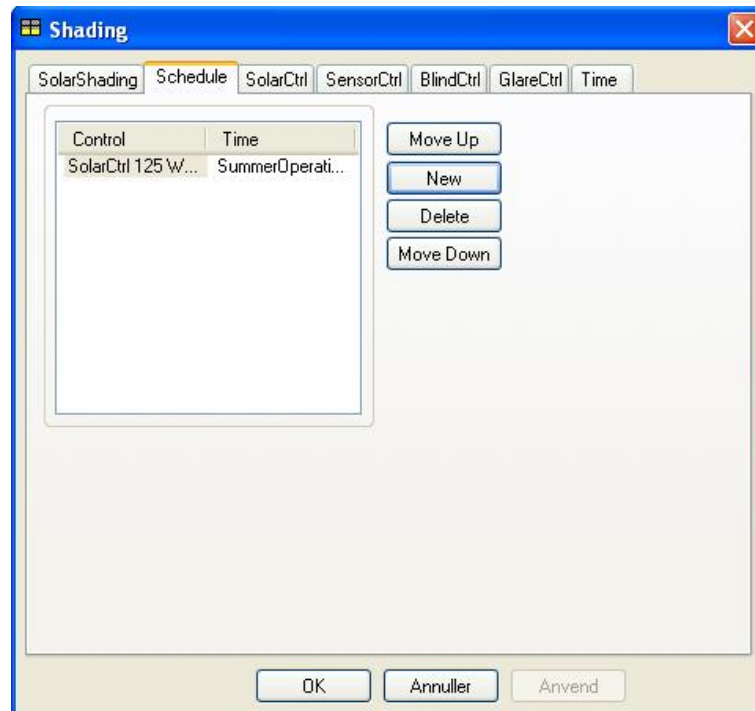
Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standardværdi
Type	Afskærmningstype, hvor Simple er udefineret	Simple, Venetian, Screen, Curtain	Simple
Max Wind	Vindhastighed, hvorover afskærmningen sættes ud af funktion. Kun aktiv, når Position er external	0 – 30 m/s	0
Refl.	Reflektans af afskærmning, fx lamelreflektans	0 – 1,0	0,5
Transm.	Transmittans af afskærmning, fx lameltransmittans	0 – 1,0	0,1
Position	Placering af afskærmning i forhold til vindue	External, internal, integrated	Internal
Shading Coeff.	Solafskærmningsfaktor, benyttes kun i forbindelse med GlareCtrl for afskærmninger af typen Screen eller curtain samt for modeller fra tidligere BSim-	0 – 1,0	0,5

versioner			
Max Sun	Grænse for solindfald, hvorover afskærmningen aktiveres for at holde denne værdi. Benyttes kun i forbindelse med modeller fra tidligere BSim-versioner	0 – 800 W/m ²	150 W/m ²
Slat Width	Lamelbredde, kun aktiv når Type er Venetian	0 – 0,5 m	0,05 m
Slat Dist.	Lamelafstand, kun aktiv når Type er Venetian	0 – 0,5 m	0,042 m



Figur 68. BSim dialog for definition af data for solafskærmningen. Værdier for Shading Coeff. og Max Sun anvendes kun, såfremt der ikke er angivet værdier i de tilhørende reguleringer. Data for Slat Width og Slat Dist. er kun aktuelle for afskærmning af typen Venetian.

Solafskærmningens funktion beskrives, som for alle andre systemer i BSim, gennem en tidsplan (Schedule), hvori der for en eller flere tidsangivelser (Time) angives, hvilken regulering (Control), der er aktuel, se figur 69. Der kan angives et ubegrænset antal tidsangivelser og tilhørende reguleringer for solafskærmningen.



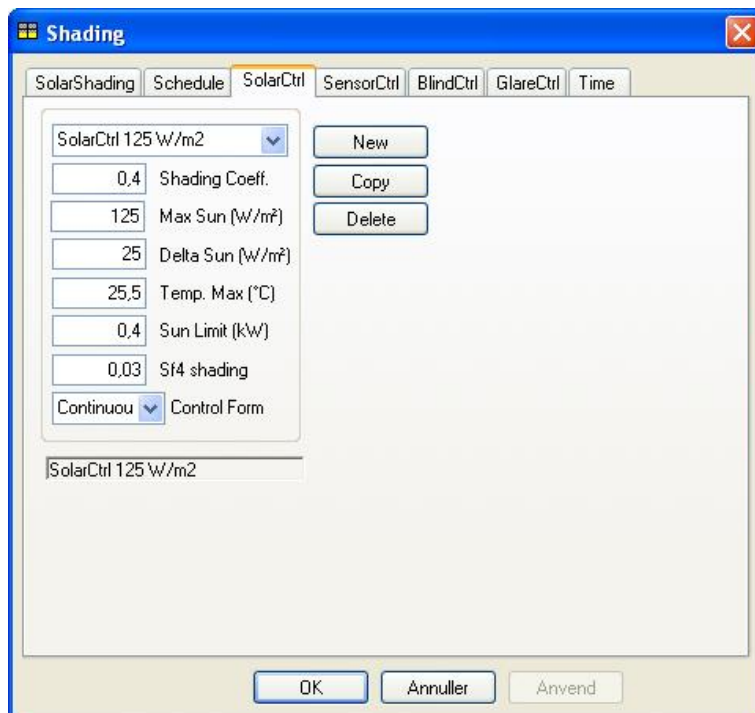
Figur 69. BSim dialog for angivelse af regulering reguleringsform(er) indenfor tilhørende tidsangivelse(r). Der kan principielt angives et ubegrænset antal tidsangivelser og tilhørende reguleringer.

Der kan vælges følgende fire forskellige afskærmningsformer:

- SolarCtrl, der regulerer efter solindfald og operativ temperatur
- SensorCtrl, der styrer efter lysindfald på facaden
- BlindCtrl, der for en afskærmning af lametype regulerer efter solindfald og direkte sol
- GlareCtrl, der regulerer afskærmningen for at minimere visual discomfort (primært blænding)

Regulering efter solindfald og temperatur, SolarCtrl

Ved denne afskærmningsform reguleres afskærmningen efter solindfaldet gennem det aktuelle vindue, se figur 70. Der angives en grænse for, hvor stort solindfaldet må være (Max Sun, W/m²), før afskærmningen aktiveres. Når denne grænse i en given halvtime overskrides trækkes afskærmningen så meget for, at grænseværdien (så vidt muligt) overholdes. Hvis solindfaldet i den efterfølgende halvtime stiger, undersøges det, om afskærmningen igen skal reguleres. Hvis solindfaldet ved den aktuelle indstilling af afskærmningen overskrider værdien af (Max Sun + Delta Sun, W/m²), reguleres afskærmningen så denne nye grænseværdi (summen) (så vidt muligt) overholdes. Ved at angive en høj værdi af Delta Sun vil der være relativt færre reguleringer af afskærmningen i løbet af dagen. Samtidig med regulering af afskærmningen efter solindfaldet kan solafskærmningen også reguleres efter den aktuelle operative temperatur i den aktuelle termiske zone. Kriteriet for at afskærmningen aktiveres er, at temperaturgrænsen (Temp. Max, °C) overskrides. Er dette tilfældet, reguleres afskærmningen så meget, at temperaturgrænsen (så vidt muligt) overholdes. Regulering efter temperaturen vil dog kun ske, hvis det samlede solindfald gennem alle vinduer i den termiske zone overstiger grænseværdien Sun Limit (i kW). Regulering af afskærmningen, både ud fra solindfaldskriteriet og temperaturkriteriet, kan ske ved tre forskellige reguleringsformer: on/off, 0 - ½ - 1 samt kontinuerlig. Tabel 20 giver en oversigt over data i dialogen for SolarCtrl.



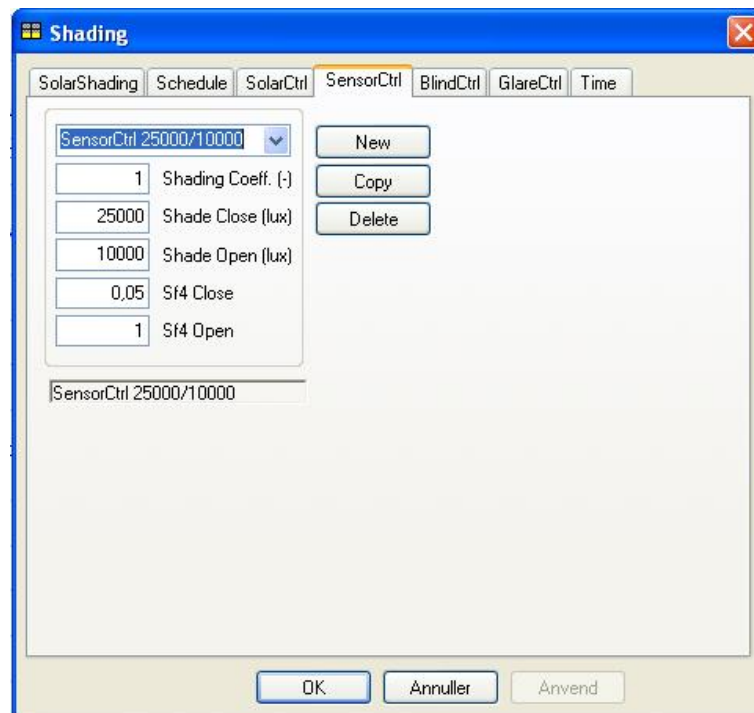
Figur 70. BSim dialog for definition af reguleringstypen SolarCtrl.

Tabel 20. Data i BSim-dialogen for reguleringstypen SolarCtrl.

Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standardværdi
Shading Coeff.	Solafskærmningsfaktor for afskærmningen, når den er trukket helt for. Denne værdi overskriver evt. værdi angivet for systemet SolarShading	0 – 1,0	0,5
Max Sun	Grænse for solindfaldet gennem det aktuelle vindue, hvorover afskærmningen aktiveres	0 – 800 W/m²	150 W/m²
Delta Sun	Benyttes til at bestemme ny grænse for afskærmningen, når den i forvejen er aktiveret. Når solindfaldet ved den aktuelle indstilling ændrer sig med en værdi (+/-) på mindst Delta Sun, justeres afskærmningen igen.	0 – 500 W/m²	75 W/m²
Temp Max	Grænse for den operative temperatur, hvorover afskærmningen aktiveres (så vidt muligt, og hvis det samlede solindfald samtidig overstiger SunLimit.	10 – 40 °C	26 °C
Sun Limit	Nedre grænse for det samlede solindfald gennem alle vinduer i den aktuelle termiske zone, hvorunder regulering efter temperaturkriteriet <i>ikke</i> kommer i funktion	0 – 20 kW	0,3 kW
Sf4 shading	Sollysfaktor for vinduet med afskærmningen trukket helt for	0 – 0,5	0,05
Control Form	Reguleringsprincip for afskærmningen	on/off - 0-½-1 - Continuous	Continuous

Regulering efter lysføler på facaden, SensorCtrl

Ved denne afskærmningsform styres afskærmningen efter lysindfaldet på facaden, se figur 71. Når belysningsstyrken målt udvendigt på fladen, hvori det aktuelle vindue er placeret, overstiger værdien af Shade Close (lux), trækkes afskærmningen for. Afskærmningen forbliver trukket for, indtil belysningsstyrken på facaden falder under værdien Shade Open (lux). Figur 71 viser dialogen for definition af reguleringstypen SensorCtrl.



Figur 71. BSim dialog for definition af SensorCtrl.

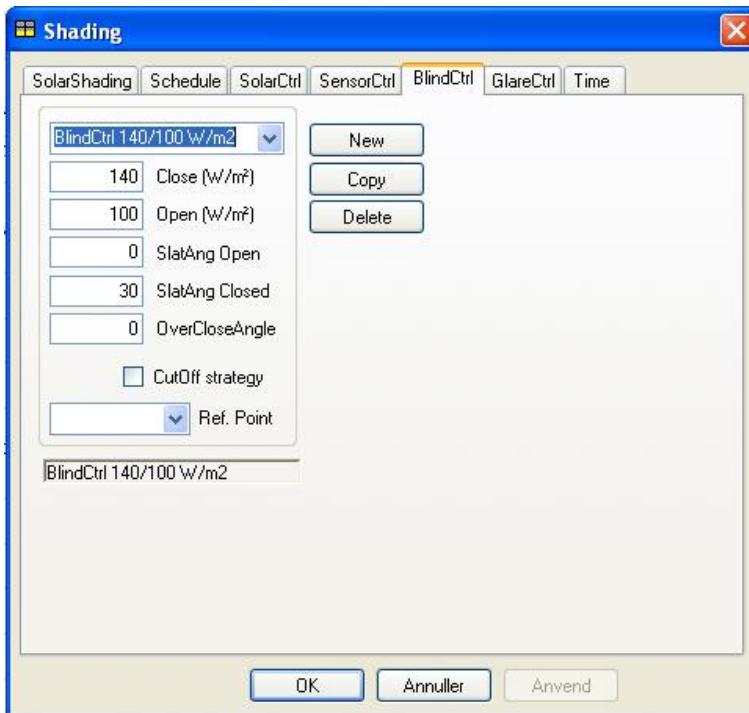
Tabel 21. Data i BSim-dialogen for reguleringstypen SensorCtrl.

Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standard-værdi
Shading Coeff.	Solafskærmningsfaktor for afskærmningen, når den er trukket helt for. Denne værdi overskriver evt. værdi angivet for systemet SolarShading	0 – 1,0	0,5
Shade Close	Grænse for lysindfaldet (belysningsstyrken) på facaden, hvorover afskærmningen trækkes for	3.000 – 80.000 lux	20.000 lux
Shade Open	Grænse for lysindfaldet (belysningsstyrken) på facaden, hvorunder afskærmningen trækkes fra	2.000 – 20.000 lux	10.000 lux
Sf4 shading	Sollysfaktor for vinduet med afskærmningen trukket for	0 – 0,5	0,05

Regulering med lameller efter solindfald og direkte solstråling, BlindCtrl

Denne afskærmningsform kan benyttes ved regulering af persienner eller andre typer afskærmninger med drejelige lameller. Afskærmningen reguleres efter størrelsen af solindfaldet gennem systemet rude + afskærmning. Reguleringen er bestemt af grænseværdier af solindfaldet for, hvornår afskærmningen aktiveres (lukkes mere i) og for, hvornår den deaktiveres (åbnes mere), se figur 72. Ved starten af den aktuelle tidsangivelse antages solafskærmningen at være i indstilling "Open". Hvis solindfaldet i denne indstilling overstiger værdien af Close (W/m^2), lukker lamellerne mere i, indtil værdien af solstrålingen gennem systemet kommer ned på værdien af Close. Solstrålingen beregnes ved tabelopslag af g-værdi for den aktuelle profilvinkel. Da der er forskellige g-værdier for direkte og diffus stråling (sidstnævnte er uafhængig af profilvinkel), må den optimale drejning findes ved iteration. g-værdier for direkte og for diffus stråling er vist i - tabel 26.

Det er vigtigt at bemærke, at afskærmningsfaktoren for afskærmningen er den "aktuelle" faktor, som gælder for afskærmningen 'alene', men i kombination med den aktuelle rudetype. Det betyder, at den resulterende g-værdi for rude + afskærmning bestemmes som aktuel solvarmetransmittans (eller 'g-værdi') for afskærmningen ganget med g-værdi for ruden. Typiske g-værdier for forskellige rudetyper er vist i figur 73.



Figur 72. BSim dialog for definition af reguleringen BlindCtrl for afskærmninger med drejelige lameller.

Tabel 22. Data i BSim-dialogen for reguleringstypen BlindCtrl.

Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standard-værdi
Close	Grænse for solindfaldet gennem afskærmningen, hvorover afskærmningen aktiveres (lukkes mere i)	50 – 800 W/m²	150
Open	Grænse for solindfaldet gennem afskærmningen, hvorunder afskærmningen aktiveres (lukkes mere op)	20 – 500 W/m²	80
SlatAngle Open	Hældningen på afskærmningens lameller i åben position	0-45	0
SlatAngle Closed	Hældningen på afskærmningens lameller i lukket position	30-90	90
OverClose Angle	Tillæg til cut-off vinkel, som kun benyttes ved Cut-off strategi (se side 100)	0-5	0
CutOff Strategy	Reguleringsstrategi, hvor afskærmningens lameller lukkes så meget i, at direkte sol netop udelukkes	til / fra	fra

Den totale soltransmittans ved en given vinkel (β) på afskærmningens lameller bestemmes af:

$$E_{total} = E_{dif} \cdot g_{s,dif}(\beta) \cdot g_{g,dif} + E_{dir} \cdot g_{s,dir}(\beta, \theta_p) \cdot g_{g,dir}(\theta_i)$$

E_{total} er den totale transmitterede solstråling, W/m²

E_{dif} er udvendig diffus strålingsintensitet, W/m²

E_{dir} er udvendig direkte strålingsintensitet, W/m²

$g_{s,dif}$ er total solstrålingstransmittans for afskærmningen for diffus stråling ved den givne hældning (β) af lamellerne

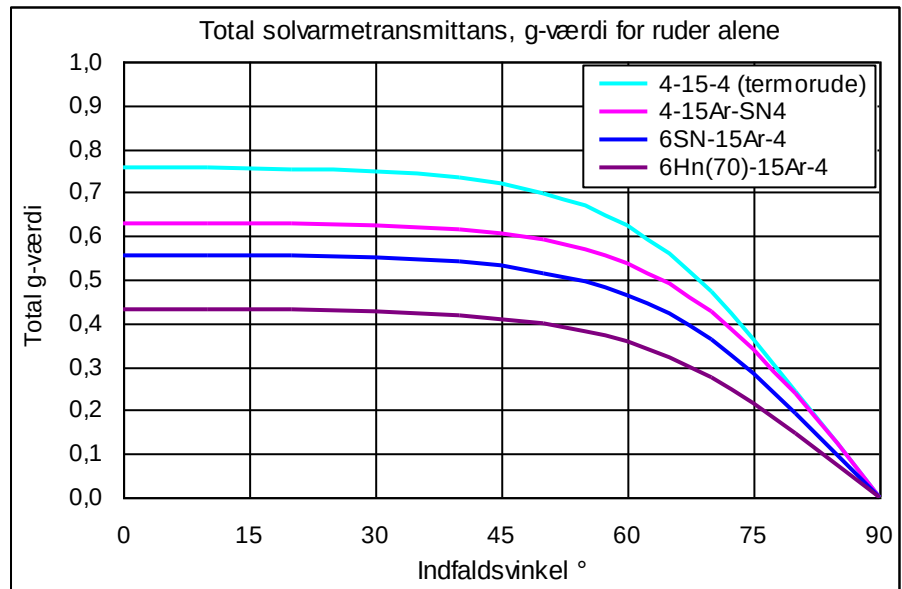
$g_{s,dir}$ er total solstrålingstransmittans for afskærmningen for direkte stråling ved den aktuelle hældning (β) af lamellerne og den aktuelle profilvinkel θ_p

$g_{g,dif}$ er rudens solstrålingstransmittans for direkte stråling ved den aktuelle indfaldsvinkel (θ_i)

β er hældningen af afskærmningens lameller, målt fra vandret

θ_p er profilvinklen

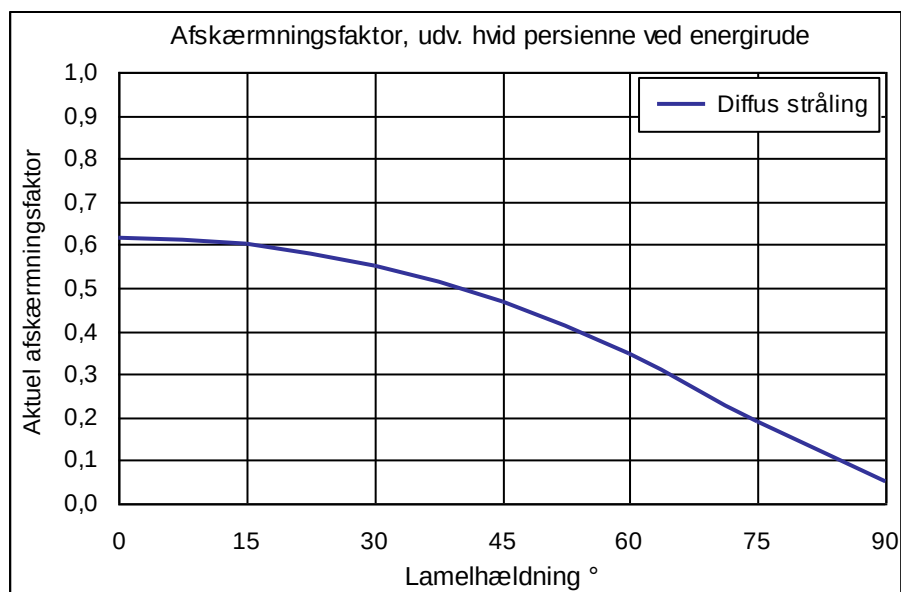
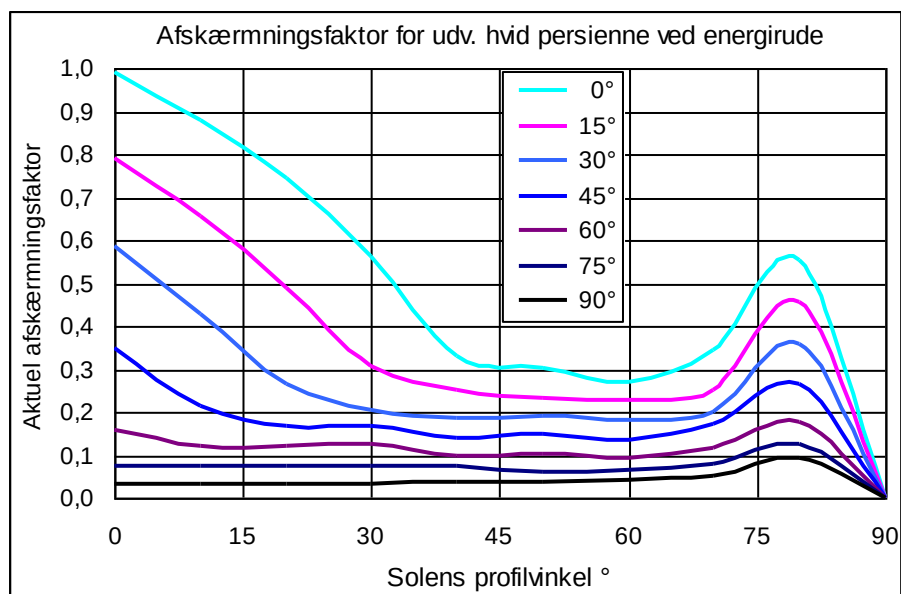
θ_i er indfaldsvinklen for den direkte solstråling



Figur 73. g-værdier for ruder som funktion af indfaldsvinklen. De fire rudetyper er (fra oven): En traditionel termorude (U-værdi ca. 2,6 W/m²K), 2 energiruder med energibelægningen på henholdsvis det yderste og det inderste glas samt en solafskærmende rude. U-værdi for de sidste 3 ruder er ca. 1,2 W/m²K.

Tabel 23. Soltransmittans for udvendig, hvid afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

Aktuel soltransmittans for udv. hvid (RS = 0,70) persienne foran energirude 4-15Ar-SN4								
	Profilvinkel	Lamelhældning						
		0	15	30	45	60	75	90
$q_{s,dir}$	0	0,99	0,79	0,59	0,35	0,16	0,07	0,03
	10	0,88	0,66	0,43	0,22	0,12	0,07	0,03
	20	0,74	0,49	0,27	0,17	0,12	0,07	0,03
	30	0,56	0,31	0,21	0,17	0,12	0,08	0,03
	40	0,33	0,25	0,18	0,14	0,10	0,08	0,03
	50	0,30	0,23	0,19	0,15	0,10	0,06	0,04
	60	0,27	0,23	0,18	0,14	0,09	0,06	0,04
	70	0,34	0,25	0,20	0,17	0,11	0,08	0,05
	80	0,55	0,46	0,36	0,26	0,18	0,12	0,09
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$q_{s,dif}$	diff	0,62	0,60	0,55	0,47	0,35	0,19	0,05

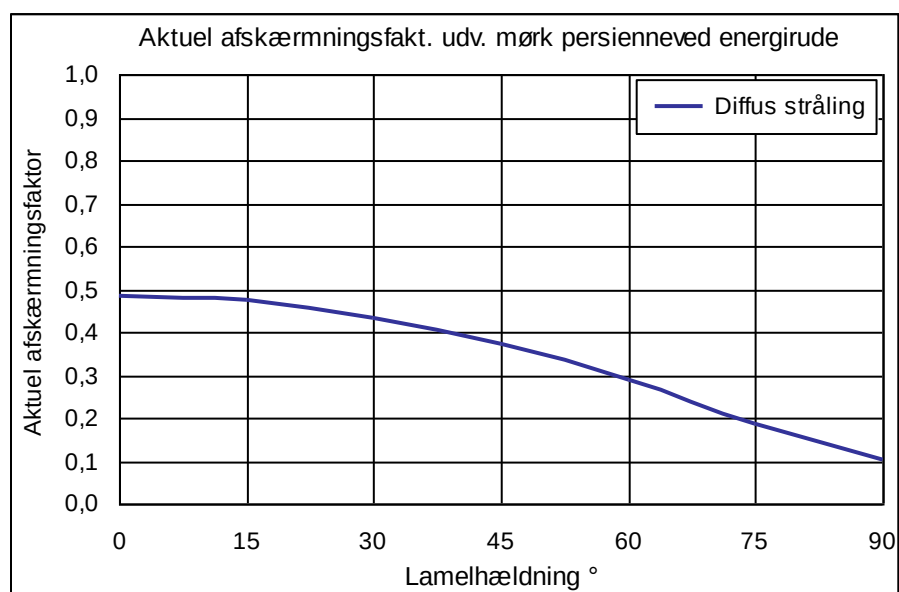
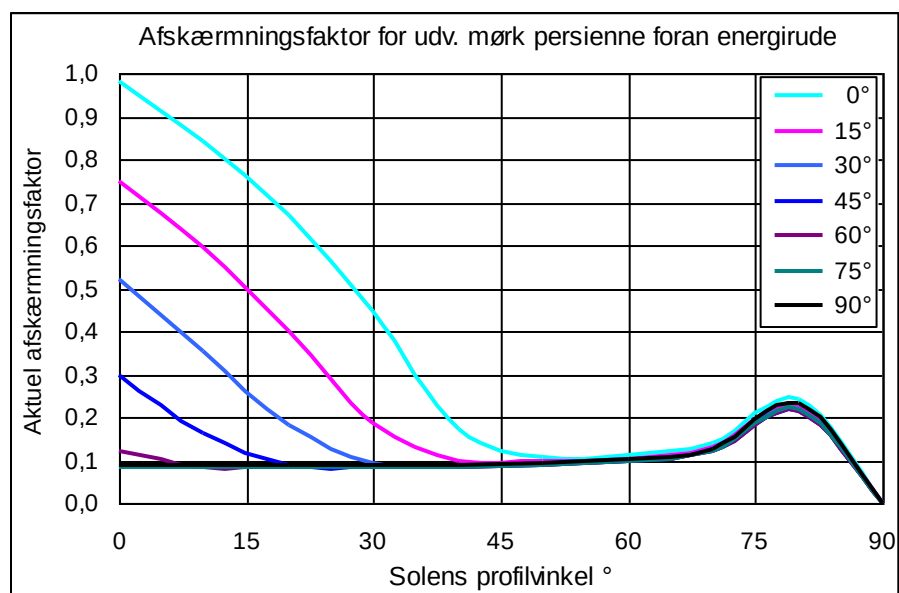


Figur 74. Aktuel afskærmningsfaktor for en udvendig hvid lamelafskærmning alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Tabel 24. Soltransmittans for udvendig, mørk afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

Aktuel soltransmittans for udv. mørk (RS = 0,10) persienne foran energirude 4-15Ar-SN4

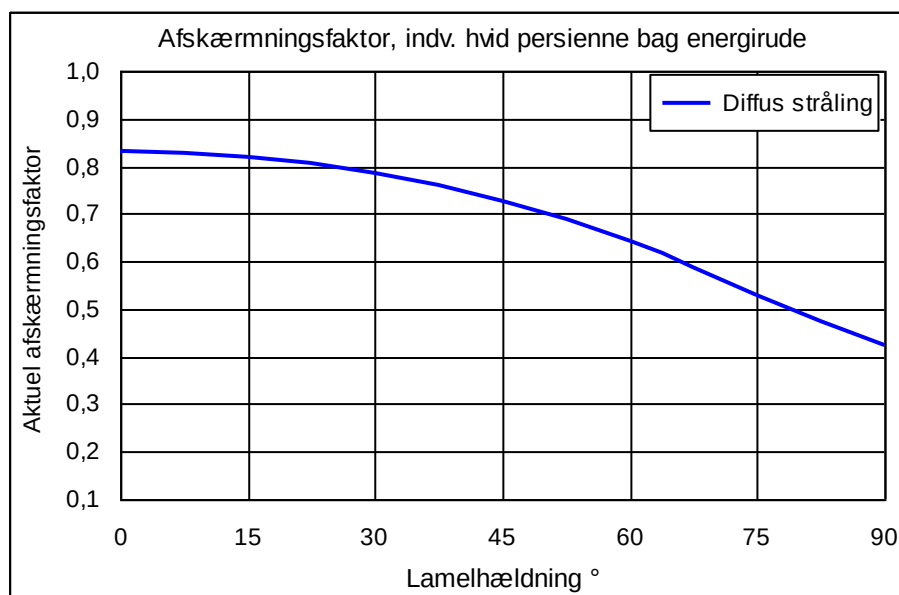
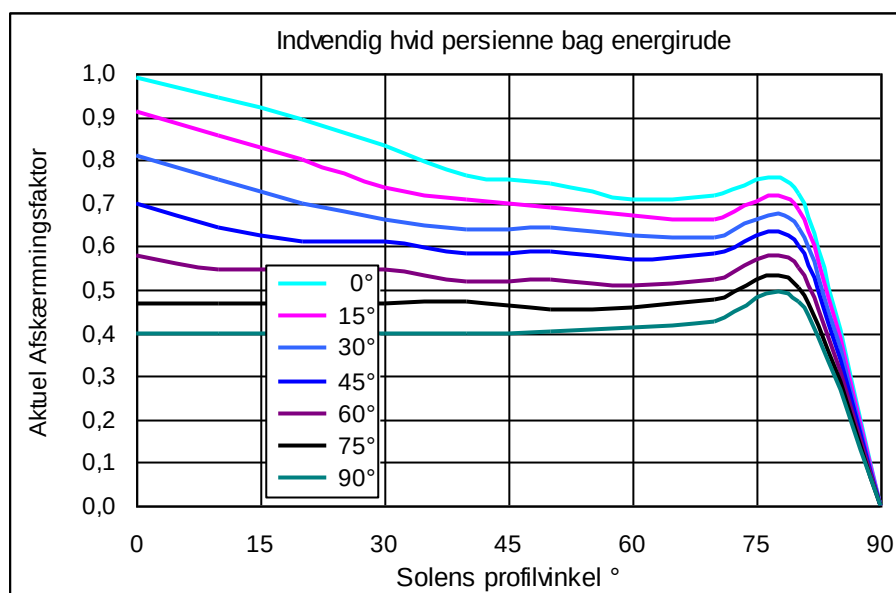
	Profilvinkel	Lamelhældning						
		0	15	30	45	60	75	90
$g_{s,dir}$	0	0,98	0,75	0,52	0,31	0,12	0,09	0,09
	10	0,84	0,59	0,36	0,16	0,09	0,08	0,09
	20	0,67	0,40	0,18	0,09	0,08	0,08	0,09
	30	0,45	0,19	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09
	40	0,17	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	50	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	60	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	70	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
	80	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22	0,23
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$g_{s,dif}$	diff	0,48	0,47	0,43	0,37	0,29	0,19	0,10



Figur 75. Aktuel afskærmningsfaktor for en udvendig mørk persienne alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Tabel 25. Soltransmittans for indvendig, hvid afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

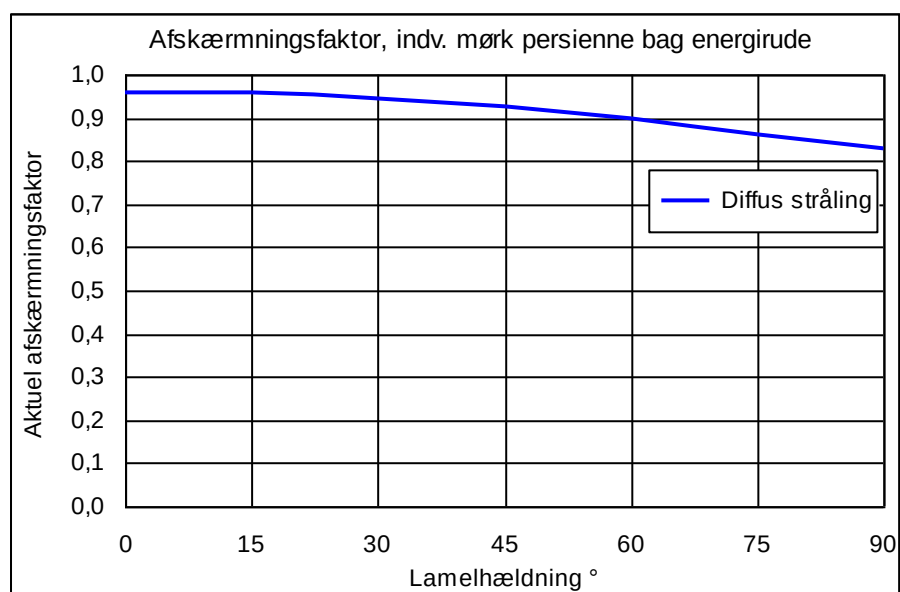
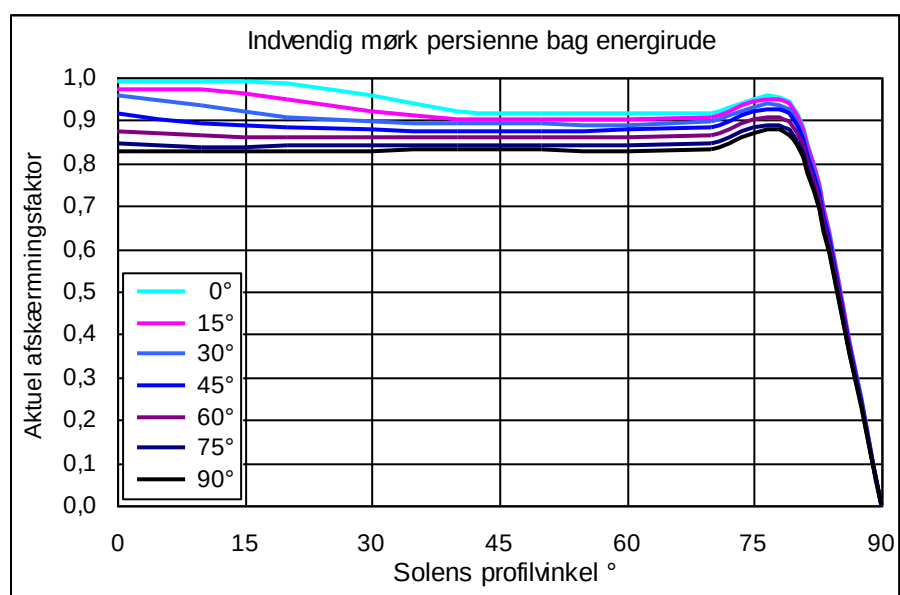
Aktuel soltransmittans for indv. hvid (RS = 0,70) persienne foran energirude 6SN-15Ar-4								
	Profilvinkel	Lamelhældning						
		0	15	30	45	60	75	90
$g_{s,dir}$	0	0,99	0,91	0,81	0,70	0,58	0,47	0,40
	10	0,94	0,86	0,76	0,64	0,55	0,47	0,40
	20	0,89	0,80	0,70	0,61	0,55	0,47	0,40
	30	0,83	0,74	0,66	0,61	0,55	0,47	0,40
	40	0,76	0,71	0,64	0,59	0,52	0,47	0,40
	50	0,74	0,69	0,64	0,59	0,52	0,45	0,40
	60	0,71	0,67	0,63	0,57	0,51	0,46	0,41
	70	0,72	0,66	0,62	0,59	0,52	0,48	0,43
	80	0,72	0,69	0,64	0,60	0,55	0,51	0,47
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$g_{s,dif}$	diff	0,83	0,82	0,79	0,73	0,64	0,53	0,43



Figur 76. Aktuel afskærmningsfaktor for en indvendig hvid lamelafskærmning alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Tabel 26. Soltransmittans for indvendig, mørk afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

Aktuel soltransmittans for indv. mørk (RS = 0,10) persienne bag energirude								
	Profilvinkel	Lamelhældning						
		0	15	30	45	60	75	90
$q_{s,dir}$	0	0,99	0,98	0,96	0,92	0,87	0,85	0,83
	10	0,99	0,97	0,93	0,89	0,87	0,84	0,83
	20	0,99	0,95	0,91	0,88	0,86	0,84	0,83
	30	0,96	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83
	40	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83
	50	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83
	60	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83
	70	0,91	0,91	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83
	80	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,84
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$q_{s,dif}$	diff	0,96	0,96	0,95	0,93	0,90	0,86	0,83



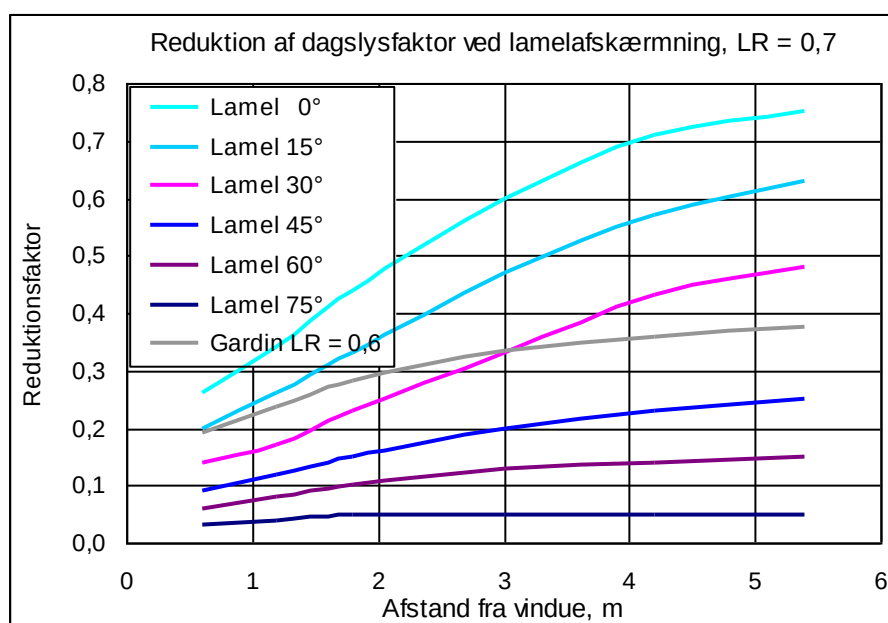
Figur 77. Aktuel afskærmningsfaktor for en indvendig mørk lamelafskærmning alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Reduktion af dagslyset ved brug af lamelafskærmning

Når den aktuelle vinkel på afskærmningens lameller er beregnet ud fra ovenstående tabeller, kan lysreduktionen i et valgt referencepunkt beregnes ud fra nedenstående tabel 27. Ved lysberegningen skelnes der ikke mellem, om afskærmningen er placeret indvendigt eller udvendigt. Forløbet af reduktionsfaktoren for en hvid afskærmning er vist i figur 78, hvoraf det fremgår at lysreduktionen er væsentligt større tæt ved vinduet end længere inde i rummet. Reduktionsfaktoren kan benyttes ved simulering af dagslysstyring i BSim, idet den også benyttes som en tilnærmelse ved beregnede sollysfaktorer.

Tabel 27. Lamelafskærmningers reduktion af dagslyset i afhængighed af afstanden fra vinduet.

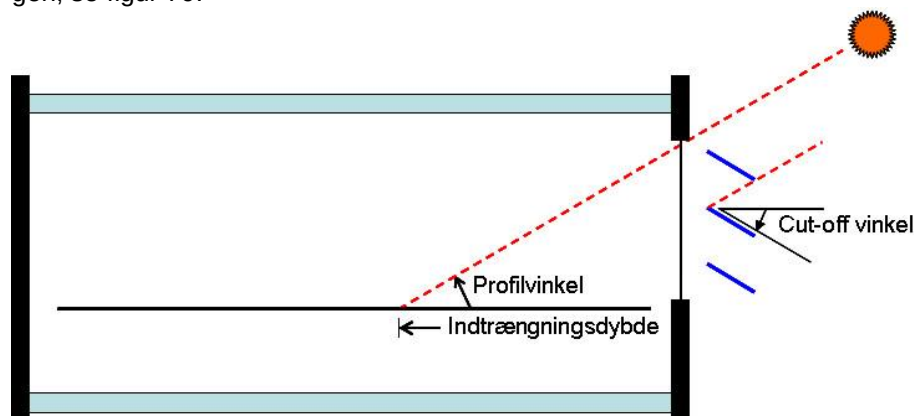
Lamelafskærmningens reduktion af dagslysfaktoren som funktion af afstand fra vinduet									
	Afstand	Lamelhældning							
		0	15	30	45	60	75	90	Gardin
hvid R = 0,7	0,60	0,26	0,20	0,14	0,09	0,06	0,03	0,00	0,19
	1,20	0,34	0,26	0,17	0,12	0,08	0,04	0,00	0,24
	1,80	0,44	0,33	0,23	0,15	0,10	0,05	0,00	0,28
	3,00	0,60	0,47	0,33	0,20	0,13	0,05	0,00	0,33
	4,20	0,71	0,57	0,43	0,23	0,14	0,05	0,00	0,36
	5,40	0,75	0,63	0,48	0,25	0,15	0,05	0,00	0,38
grå R = 0,4	0,60	0,19	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02	0,00	0,15
	1,20	0,30	0,19	0,11	0,07	0,04	0,03	0,00	0,20
	1,80	0,40	0,26	0,15	0,09	0,06	0,04	0,00	0,23
	3,00	0,57	0,38	0,23	0,13	0,08	0,04	0,00	0,27
	4,20	0,64	0,44	0,29	0,15	0,09	0,04	0,00	0,30
	5,40	0,75	0,54	0,37	0,19	0,10	0,04	0,00	0,31
sort R = 0,1	0,60	0,12	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10
	1,20	0,25	0,12	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10
	1,80	0,37	0,19	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,10
	3,00	0,53	0,29	0,13	0,07	0,02	0,01	0,00	0,10
	4,20	0,57	0,31	0,14	0,07	0,03	0,02	0,00	0,10
	5,40	0,75	0,45	0,25	0,13	0,05	0,02	0,00	0,10



Figur 78. Typisk reduktion af dagslyset ved en solafskærmning med hvide lameller. Reduktionsfaktoren kan benyttes ved simulering af dagslysstyring i BSim, idet den også benyttes som en tilnærmelse ved beregnede sollysfaktorer.

Cut-off styring

Cut-off styring er en særlig reguleringsvariant for afskærmningstyper med lameller. Ved denne reguleringsform indstilles afskærmningens lameller i en sådan vinkel at direkte solstråling lige præcis ikke kan passere afskærmningen, se figur 79.



Figur 79.

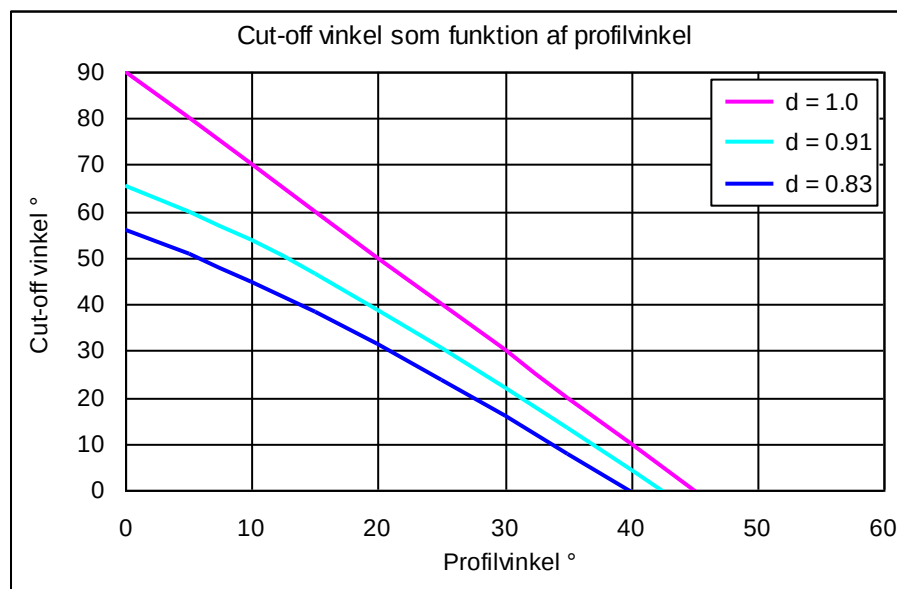
Den kritiske åbningsvinkel (cut-off) afhænger af solens profilvinkel samt forholdet mellem afstand og bredde af afskærmningslameller. Cut-off vinklen kan bestemmes af:

$$\beta_c = \arctan \left\{ \frac{\tan \theta \pm d \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \theta - d^2}}{d^2 - 1} \right\} \quad (\text{hvor minus skal benyttes})$$

θ er profilvinklen beregnet ud fra solens-vinduets azimut samt solhøjden

d er forholdet mellem lamellernes afstand og deres bredde

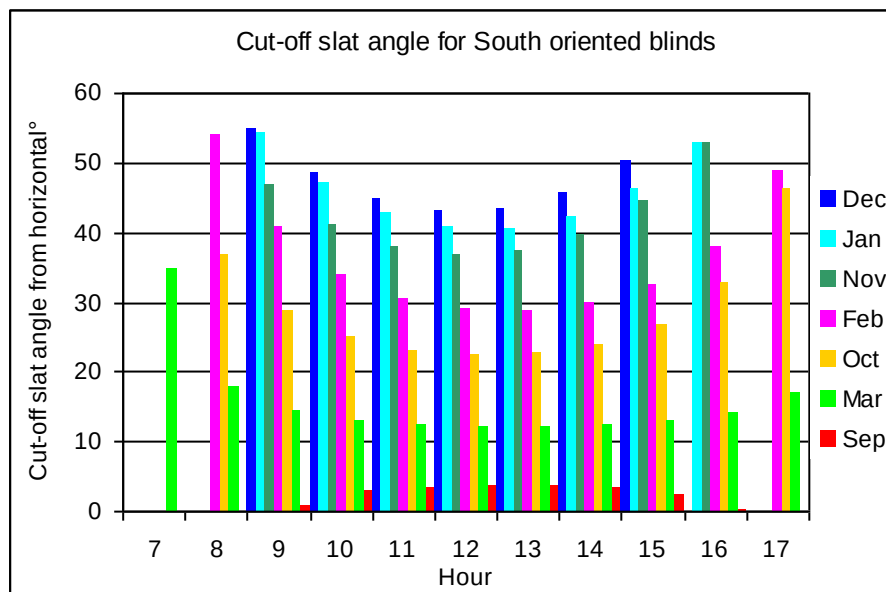
For en traditionel (indvendig) persienne er der typisk et overlap af lamellerne på ca. 20 % i lukket tilstand, hvilket giver en værdi af $d = 1 / 1,2 = 0,83$. Figur 80 viser kurver for cut-off vinklen som funktion af profilvinklen ved forskellige forhold mellem bredde og afstand af lamellerne.



Figur 80. Variationen i CutOff vinkel for en lamelbaseret solafskærmning som funktion af solens profilvinkel og for forskellige forhold (d) mellem lamelafstand og lamelbredde.

Når feltet for CutOff Strategy er hakket af i BlindCtrl dialogen (figur 72), undersøges det, om der vil være direkte solindfald ved den aktuelle indstilling af afskærmningen. Hvis der er direkte sol på facaden, defineret ved at vær-

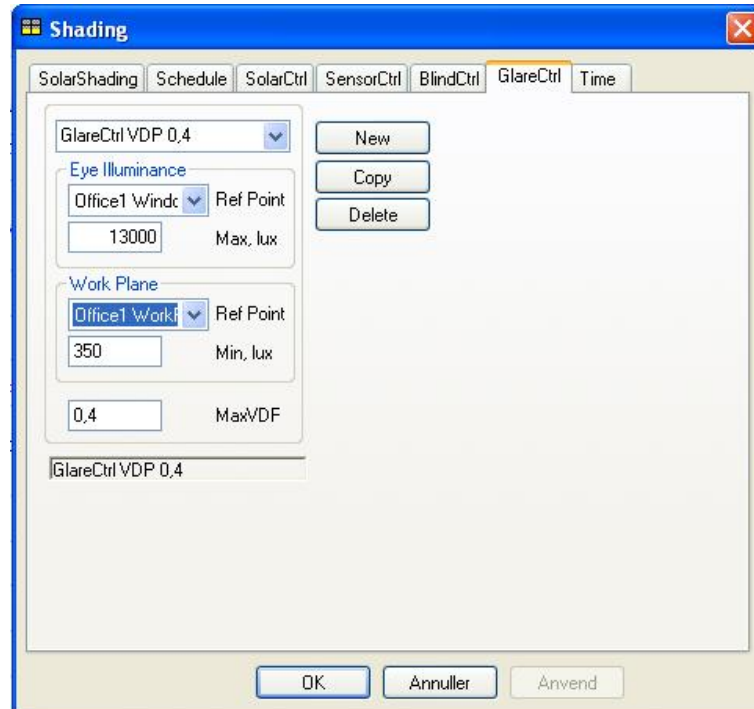
dien af Close er overskredet, drejes afskærmningens lameller til den kritiske vinkel β_c plus eventuel værdi af OverCloseAngle. Hvis OverCloseAngle sættes til en værdi større end 0, bliver antallet af reguleringer i løbet af dagen reduceret. Figur 81 viser hvordan CutOff vinklen varierer for en lamelbaseret solafskærmning på en sydvendt facade hen over dagen i de måneder, hvor vinklen er større end 0.



Figur 81. Variation af CutOff vinklen for en sydvendt facade i løbet af dagen og for forskellige måneder (den 15. i måneden). Diagrammet gælder for Danmarks breddegrad og for en værdi af lamelbredde og lamelafstand på 0,83. For alle tidspunkter, som ikke er vist på grafen er CuttOff vinklen 0 eller mindre.

Regulering efter blændingsforhold og belysningsstyrke, GlareCtrl

Ofte antages det, at solafskærmninger reguleres efter solindfaldet, eller efter temperaturen i lokalet. Flere forskningsundersøgelser viser imidlertid, at brugeren i højere grad regulerer efter gener fra dagslyset, dvs. fra direkte solindfald eller høj himmelluminans. Forskningen viser også, at brugerne ofte lader solafskærmningen forblive lukket, indtil dagslyset i rummet bliver utilstrækkeligt til de aktuelle arbejdsopgaver. Ved reguleringstypen GlareCtrl søger man at minimere visuel diskomfort, dels på grund af gener fra blænding og dels på grund af for lidt lys. De to kriterier for diskomfort er udtrykt ved et indeks, der angiver sandsynligheden for at en bruger oplever visuel diskomfort, VDP (Visual Discomfort Probability). BSim dialogen for GlareCtrl er vist i figur 82.



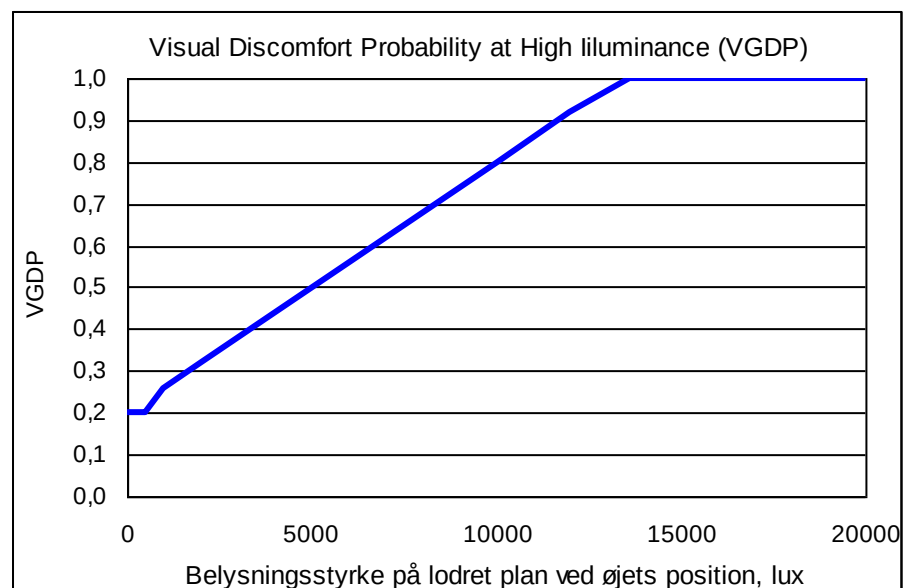
Figur 82. BSim dialog for definition af GlareCtrl. Ud fra den ønskede maksimale værdi af VDP beregnes grænseværdier belysningsstyrken i de to valgte referencepunkter (normalt på lodret plan ved øje-position samt på arbejdsplan).

Visual discomfort probability på grund af høj belysningsstyrke

Som grundlag for beregning af visuel diskomfort på grund af blænding benyttes et forenklet udtryk for en formel udviklet i EU-projektet ECCO-Build (2002). Den forenkledte formel, der udtrykker sandsynligheden for at en person vil opleve diskomfort ud fra belysningsstyrken på øjet, har udtrykket:

$$\begin{aligned} \text{hvis } E_v < 500 \quad & VDP = VLDP_{\min} \\ \text{hvis } E_v > 13700 \quad & VDP = 1.0 \\ \text{ellers} \quad & VDP = 6 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 0.17 \end{aligned}$$

E_v er belysningsstyrken på et lodret plan ved øjet
VGDP er sandsynligheden for oplevelse af blænding



Figur 83. Diskomfort pga. blænding (Visual discomfort probability due to glare, VGDP), normalt defineret ved belysningsstyrken på lodret plan ved brugerens øjenposition.

Udtrykket, vist grafisk i figur 83, illustrerer at der er store variationer i personers oplevelse af blænding. Mens nogle vil opleve ubehagsblænding allerede ved en belysningsstyrke på øjet på 1.000 lux, kan andre tolerere belysningsstyrker på helt op til 13.000 lux.

Visual discomfort probability på grund af lav belysningsstyrke på arbejdsplan

Sandsynligheden for oplevelse af visuel diskomfort på grund af blænding skal vurderes i sammenhæng med sandsynligheden for diskomfort pga. for lav belysningsstyrke. Et udtryk for sandsynligheden for oplevelse af diskomfort på grund af for lav belysningsstyrke på arbejdsplanet er udviklet af Lindelöf (2005):

$$\begin{aligned} \text{hvis } E_h < 10 \quad & VDP = 1.0 \\ \text{hvis } E_h > E_{opt} \quad & VDP = (1 - VLDP_{\min}) \cdot (E_{opt} - E_h) / E_{opt} + VLDP_{\min} \\ \text{ellers} \quad & VDP = VLDP_{\min} \end{aligned}$$

E_h	er belysningsstyrken på horisontalplan (arbejdsplan)
E_{opt}	er den ønskede (optimale) belysningsstyrke på arbejdsplanet (eller arbejdsobjektet), som afhænger af den aktuelle arbejdsopgave
VLDP	er sandsynligheden for oplevelse af visuel diskomfort pga. for lidt lys
$VLDP_{\min}$	er den laveste værdi som diskomfortindekset kan antage (typisk 0,2)

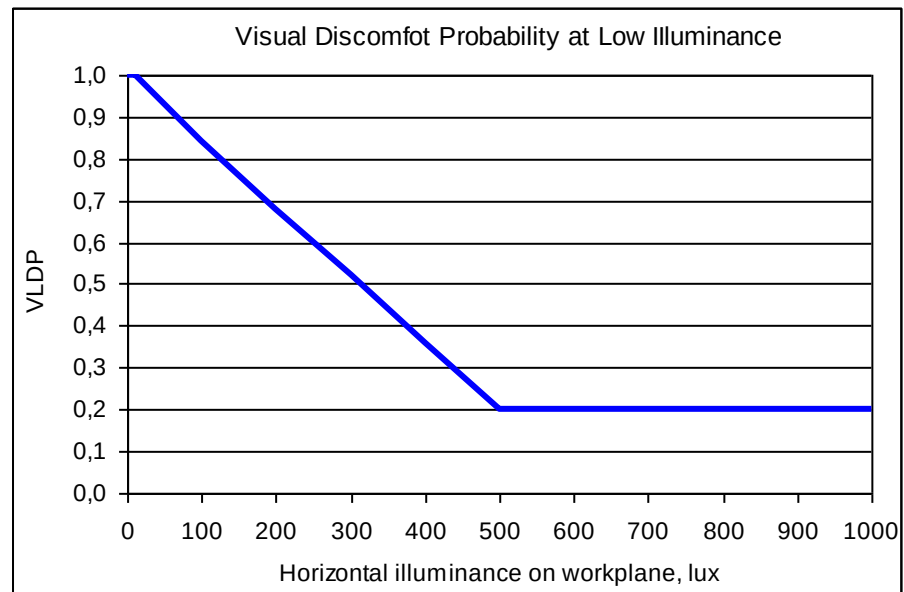
Reguleringsfunktion

I den nuværende version er denne reguleringsstrategi primært tænkt anvendt for afskærmninger med lameller, fx persienner, og afskærmningen kan enten være trukket helt op (ingen afskærmning) eller være trukket helt ned med lamellerne i en hældning bestemt af behovet. Ud fra den valgte værdi af MaxVDP beregner BSim den tilhørende grænse for blænding VGDP i det valgte referencepunkt (normalt lodret plan ved øjets position, med en orientering mod vinduet eller evt. drejet 45 grader i forhold til vinduet) samt den tilhørende grænse for for lidt lys VLDP (fx på arbejdsbordet).

Ved starten af en tidsangivelse beregnes belysningsstyrken i referencepunkterne uden afskærmning. Ved behov for regulering pga. blænding afhænger reguleringsformen af afskærmningstypen. For typen Venetian (blind)søges belysningsstyrken i det valgte referencepunkt reduceret netop så meget, at blændingsgrænsen overholdes. Regulering sker ud fra opslag i tabel 27, og ud fra den valgte indstilling af lamellerne kan den aktuelle solafskærningsfaktor og dermed solindfaldet beregnes ud fra

tabel 23 og tabel 24 (udvendig afskærmning) eller tabel 25 og tabel 26 (indvendig afskærmning). Afskærmningens indstilling er ved starten af hvert tidsstep (halvtime) ligesom i forrige tidsstep. Hvis blændingskriteriet er overholdt, undersøges det, om afskærmningen kan åbnes mere for at opnå en højere belysningsstyrke i det andet referencepunkt (normalt på vandret arbejdsplan) samt for at opnå størst muligt udsyn.

For typerne Curtain eller Screen trækkes afskærmningen helt for, og den nye belysningsstyrke beregnes ud fra reduktionsfaktorerne angivet for gardin i tabel 27. Når afskærmningen er trukket for, anvendes afskærmningsfaktoren valgt i systemdialogen for Shading.



Figur 84. Visuel discomfort pga. for lidt lys (visual discomfort probability, VLDP), normalt defineret ved belysningsstyrken på arbejdsplanet (eller arbejdsobjektet). Den ønskede værdi af belysningsstyrken (Min. Lux) vælges af brugeren ud fra den aktuelle arbejdsopgave. I figuren er værdien 500 lux.

Sammenligning af reguleringsstrategier

Med henblik på at analysere energi- og indeklimamæssige konsekvenser ved de forskellige strategier er der gennemført beregninger for en kontorbygning, med følgende forskellige reguleringsmuligheder for en afskærmning med vandrette lameller, fx en persienne:

1. Ingen afskærmning
2. Persiener eller lameller trukket ned og drejet i en fast vinkel ved direkte sol
3. Cut-off styring med en persienne, som kører ned når der er direkte sol samt drejer lamellerne, således at direkte sol holdes ude
4. Regulering efter blændingsforhold ud fra en på forhånd valgt værdi af sandsynligheden for visuel diskomfort (Visual Discomfort Probability index)
5. Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys.

1. Ingen afskærmning

Dette tilfælde defineres blot som en kontorbygning, hvor der ikke er afskærmning for vinduerne.

2. Fast lamelhældning

Ved denne strategi bestemmer brugeren grænseværdier for, hvornår afskærmningen skal lukkes i, og hvornår den skal åbnes ved værdier for solindstråling på facaden (W/m^2). Der defineres en vinkel for åben position og en vinkel for lukket position, og afskærmningens lameller kan kun være i én af disse positioner. Der kan dog defineres et ubegrænset antal strategier med forskellige vinkler på forskellige tider af dagen eller året. I disse beregninger er grænseværdierne for lukning og åbning sat til 150, henholdsvis 100 W/m^2 , og den lukkevinkel på lamellerne sættes til 30° , mens åbningsvinklen sættes til 0° .

3. Cut-off styring

Her beregnes solens position for hver time for at bestemme den vinkel, som lamellerne skal lukkes til for lige akkurat at holde direkte solstråling ude, jf. side 100.

4. Regulering efter blænding (glare control)

Denne strategi er defineret sådan, at lamellerne indstilles i en position, så et givet krav vedrørende sandsynligheden for visuel diskomfort søges opnået, jf. side 101. Der er gennemført beregninger for to forskellige niveauer af (sandsynligheden for) visuel diskomfort:

$\text{VDP} < 0.3$, svarende til en belysningsstyrke ved øjenposition $< 1667 \text{ lux}$

$\text{VDP} < 0.7$, svarende til en belysningsstyrke ved øjenposition $< 8333 \text{ lux}$

5. Integreret regulering

En fuldt integreret regulering er ikke implementeret i BSim. Såfremt der defineres én strategi i form af blændingsregulering inden for bygningens brugstid og en anden uden for brugstiden, vil reguleringen (og dermed det resulterende indeklima og energiforbrug) ligge tæt på 'ideal'-reguleringen.

Resultater

For hvert reguleringstilfælde beregnes gennem BSim-simuleringer den totale energibalance for kontoret for et helt år, som vist i eksemplet i tabel 28. De første 10 linjer viser energibalancen for året og de enkelte måneder, dvs. 'bidraget' fra hvert system til den samlede energibalance. Eksemplet (fra tilfældet uden solafskærmning) viser fx, at bidraget fra solindstrålingen (SunRad) giver et meget markant bidrag, væsentligt større end bidrag fra personer, udstyr og belysning. Bidraget fra mekanisk ventilation (Ventilation) er yderligere specificeret i de nederste 5 linjer af tabellen.

Den midterste del af tabellen giver middelværdier for udetemperaturen samt middelværdier for udvalgte indeklimaparametre: Den operative temperatur, luftskiftet, den relative fugtighed, CO_2 -niveau samt det oplevede indeklima (Perceived air quality, PAQ). Endelig giver tabellen oversigt over, hvor hyppigt brugervalgte temperaturværdier overskrides for året og de enkelte måneder.

Tabel 28. Eksempel på energibalance fra beregning med BSim. Eksemplet er fra tilfældet uden solafskærmning

No Blinds, Brussels	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Heating	481	109,6	72,4	59,3	22,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	32,2	71,9	106,7
Infiltration	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Venting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SunRad	3021	150,5	211,0	260,3	299,6	311,4	276,9	297,4	312,2	310,7	285,8	177,5	127,9
People	166	14,1	12,8	14,7	12,8	14,7	14,1	13,4	14,7	13,4	14,1	14,1	13,4
Equipment	190	16,1	14,6	16,8	14,6	16,8	16,1	15,4	16,8	15,4	16,1	16,1	15,4
Lighting	111	27,5	13,2	3,7	2,5	0,5	0,0	0,0	0,7	2,2	10,4	21,8	28,3
Transmission	-1702	-182,9	-173,7	-170,8	-158,0	-129,2	-99,2	-97,8	-101,1	-118,3	-153,3	-152,2	-166,0
Mixing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilation	-2267	-134,9	-150,2	-184,1	-193,4	-221,4	-207,9	-228,4	-243,3	-223,4	-205,3	-149,2	-125,7
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tOutdoor mean	9,7	2,5	3,2	5,7	8,7	12,7	15,5	17,2	17	14,4	10,4	6	3,4
tOp mean	23,8	22	22,9	23,1	24,3	24,5	24,5	25,1	25,1	25,3	24,4	22,5	21,6
AirChange/h	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,7	1,6
Rel.Humidity(%)	35	25,5	24,6	27,9	29,6	37,4	44	45,1	42,9	43	37,9	31,7	27,8
Co2(ppm)	396	395,7	396,5	398	394,3	397,4	397,4	393,9	397,8	396,1	395,1	397,6	395,1
PAQ	0	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6
Hours > 21	5464	213	300	400	458	597	595	686	674	561	481	297	202
Hours > 26	2087	76	117	140	214	211	203	237	257	242	227	109	54
Hours > 27	1650	65	93	111	180	156	156	170	193	201	197	88	40
Hours < 20	115	0	0	0	0	6	28	17	11	53	0	0	0
FanPow	428	36,3	32,9	37,3	33,9	37,3	35,8	35,3	37,3	34,8	36,3	35,8	35,3
HtRec	1176	223,6	186,5	165,0	75,9	32,6	12,4	3,0	7,5	12,8	80,1	172,8	204,1
ClRec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HtCoil	173	37,5	23,0	11,0	22,2	11,4	5,5	0,9	2,6	6,0	1,4	17,2	34,1
ClCoil	-634	0,0	0,0	-0,8	-14,6	-66,5	-106,4	-173,4	-183,9	-82,9	-5,5	-0,5	0,0

Energi og indeklima

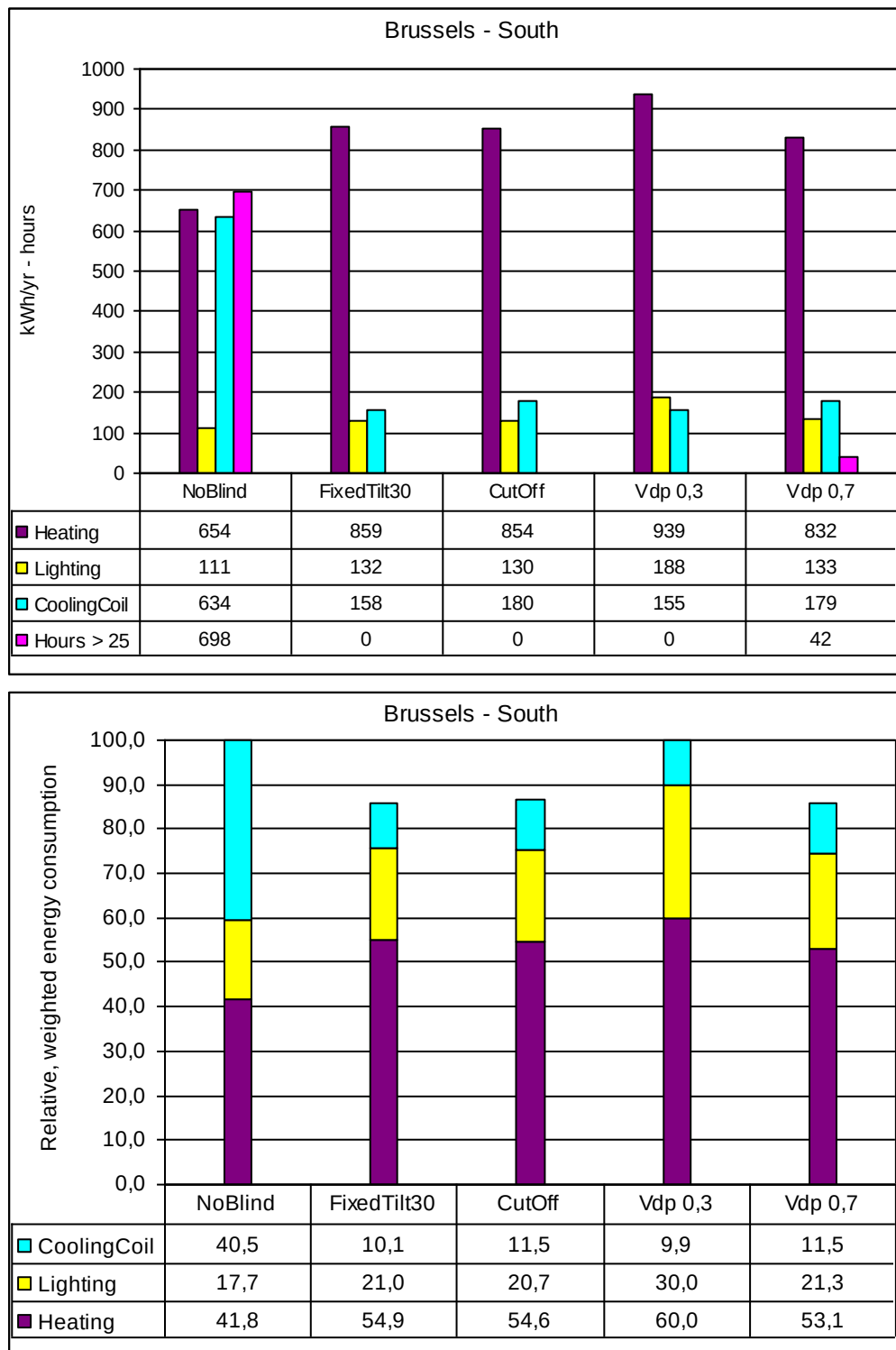
For at vurdere energi- og indeklimamæssige forskellige ved de 5 forskellige reguleringsstrategier, er energibalancerne sammenlignet i det følgende.

Varmebehovet er summen af varmeafgivelse fra radiatoren og varmeafgivelsen fra varmekilden i ventilationsanlægget. Der er i alle tilfælde regnet med samme luftmængde i ventilationsanlægget, og det er tilstræbt, at den operative temperatur ikke overskrider 25 °C inden for bygningens brugstid. Der er derfor ikke forskel på energiforbruget til ventilation, mens størrelsen af kølebehovet afspejler solafskærmningens effektivitet. Som det fremgår af figur 85 kan den operative temperatur ikke holdes under 25 °C i tilfældet uden solafskærmning, ud fra realistiske antagelser om køleydelse og indblæsningsstemperatur.

Det bemærkes, at beregningerne, som er gennemført i EU-projektet EC-CO-Build (ECCO-Build, 2006), er gennemført for Brussel, som har et lidt varmere klima end Danmark. De følgende resultater skønnes imidlertid at kunne benyttes relativt også for Danmark.

Energiforbrug

Energiforbrugene ved de 5 reguleringsstrategier må vurderes i forhold til det termiske og det visuelle indeklima, som afskærmningen og de øvrige installationer resulterer i. BSim simuleringerne er gennemført ud fra en række forudsætninger, for eksempel kølekapaciteten i forhold til de termiske belastninger, som bygningen påvirkes af. Resultaterne er vist i figur 85.



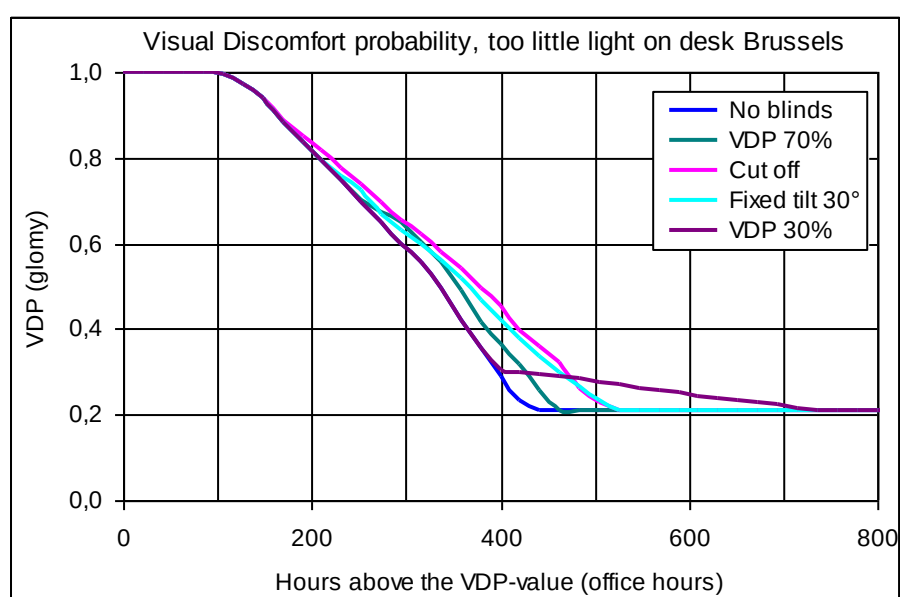
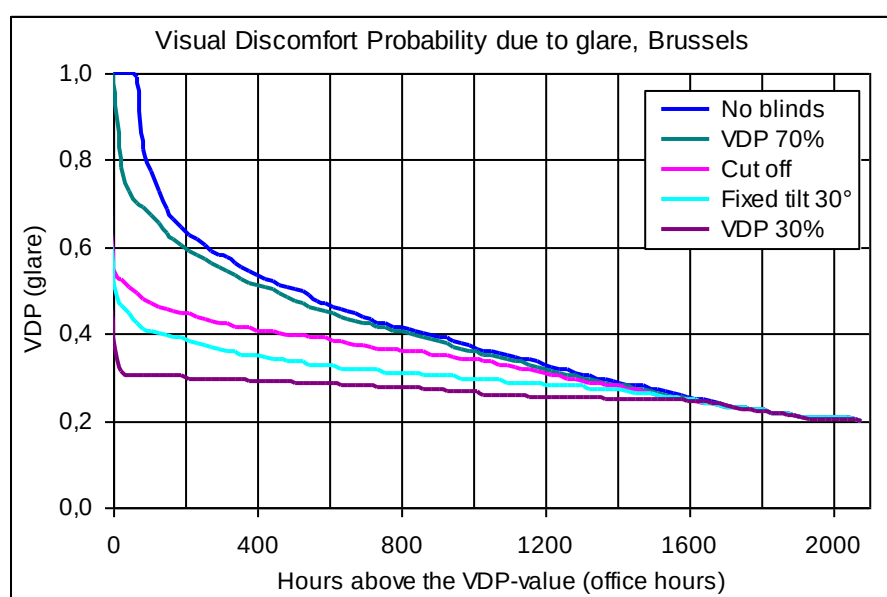
Figur 85. Energibehov til opvarmning, køling, og belysning ved de 5 reguleringsstrategier. Desuden vises antallet af timer inden for kontortiden, hvor den operative temperatur overskrider 25 °C. Øverst vises de faktiske energibehov ved de 5 reguleringsstrategier, nederst vises de vægtede energibehov, hvor el-forbrug er vægtet med faktoren 2,5 i forhold til varme.

Resultaterne viser, at det koster ca. 15 % ekstra energi, at regulere ud fra et krav om at reducere blændingen (VDP 0,3). Da brugerne erfaringsmæssigt netop betjener solafskærmningen for at forhindre blænding, er det derfor særlig vigtigt, at der findes en automatisk styring, som kan tage over, når brugerne ikke er til stede. Merforbruget fordeler sig med ca. 10 % ekstra til opvarmning, og ca. 40 % ekstra til belysning. Kølebehovet falder derimod med godt 10 %, jf. figur 85.

Visuel diskomfort

Simuleringsresultaterne viser væsentlige forskelligheder i VDP-indekset (Visual Discomfort Probability). Figur 86 viser øverst (sandsynligheden for) visuel diskomfort på grund af blænding ved de 5 reguleringsstrategier. Det ses at i tilfældet VDP 30 % lykkes det næsten at holde VDP under 0,3 i hele brugstiden. Det er derimod vigtigt at bemærke, at VDP ligger væsentligt højere ved cut-off strategien, som ellers sikrer, at direkte solstråling ikke får lov at passere afskærmningen. Bemærkelsesværdigt er det også, at en strategi med fast lamelhældning på både giver et lavere energiforbrug (figur 85) og en bedre visuel komfort. Der skal nok ikke lægges for stor vægt på dette resultat, men det kan dog konstateres, at cut-off strategi ikke er ideel.

Nederste del af figuren viser sandsynligheden for diskomfort på grund af for lidt lys. Figuren viser, at tilfældet VDP 30 % koster noget dagslys, således at der er en del timer, hvor VDP ligger mellem 0,2 og 0,3. I praksis resulterer dette i et større forbrug til belysning, som det også fremgår af figur 85. Figuren viser også, at strategien med fast lamelhældning (30 ° i lukket tilstand) giver en mindre reduktion i dagslyset end cut-off strategien.



Figur 86. Sandsynligheden for visuel diskomfort. Øverst diskomfort på grund af blænding og nederst diskomfort på grund af for lidt lys. Det bemærkes, at beregningerne er gennemført for Brussel, men resultaterne skønnes at kunne overføres til danske forhold.

Bilag 4. Spørgeskema vedr. solafskærmning

Spørgeskemaet gengivet i dette bilag er udviklet til brug ved fuldskalaundersøgelserne i SE-bygningen (Syddansk Energi i Sønderborg), og i Syddansk Universitet i Sønderborg. Desværre blev forsøget i SE-bygningen gennemført med et selvstændigt reguleringssystem, og derfor var brugerundersøgelsen mindre relevant. I Syddansk Universitet blev indflytningen i bygningen udskudt så meget at forsøget måtte standses før indflytning. Derfor blev spørgeskemaet heller ikke afprøvet her.

A. Part 1 of Questionnaire: Personal information

		sub	range					
	Name and room number:							
	Gender: F: Female / M: Male		F, M					
	Age		18-80					
1	How many persons use your office room or working space, including yourself?		1 - x					
	(number)	1						
2	How long time have you used this room?		1 - 2					
	less than 6 months	1						
	more than 6 months	2						
3	Who usually chooses the inside conditions (blinds, electric lighting, temperature)?		1 - 3					
	I do myself	1						
	the other persons	2						
	compromise between all the occupants	3						
4	How important do you find the following physical characteristics of an office room to make a pleasant/comfortable working environment:		0 - 4	I do not know / no opinion	Not at all important	Not so important	Important	Very important
	temperature	1						
	lighting system	2						
	daylight	3						
	view out	4						
	air quality / ventilation	5						
	acoustic and (no) noise	6						
	colours of the room (walls, floor, ceiling)	7						
	furnitures (chair, desk etc.)	8						
	privacy	9						
	size of room (space around the workplace)	10						
	other 1 (please specify):	11						
	other 2 (please specify):	12						
5	If you have a desk lamp, do you use it?		0 - 4	I do not have one	never	only occasionally	Sometimes	Often

6	Do you prefer to work with daylighting, with electric lighting, or with a combination of both?		1 - 4	
	daylighting	1		
	electric lighting	2		
	combination of daylighting and electric lighting	3		
	I do not mind the type of lighting	4		
	I do not know	5		

7	Do you consider yourself as being sensitive to bright light?		1 - 3	
	yes	1		
	no	2		
	I do not know / have no opinion	3		

8	Do you consider yourself as being very sensitive to low (cold) temperatures?		1 - 3	
	yes	1		
	no	2		
	I do not know / have no opinion	3		

9	Do you consider yourself as being very sensitive to high temperatures?		1 - 3	
	yes	1		
	no	2		
	I do not know / have no opinion	3		

10	Do you wear glasses or contact lenses during your work?		1 - 2	
	yes	1		
	no	2		

11	How would you consider the importance of the following characteristics of an automatic control system for blinds and electric lighting:		0 - 4					
				I do not know / no opinion	Not at all important	Not so important	Important	Very important
	gives energy savings	1						
	makes the number of needed manual interactions with blinds and electric lighting smaller	2						
	improves the thermal comfort	3						
	improves the visual comfort	4						
	makes the room conditions less dull	5						
	is funny/pleasant	6						
	other 1 (please specify)	7						
	other 2 (please specify)	8						

12	How would you consider the importance of the following potential drawbacks of an automatic control system for blinds and electric lighting:		0 - 4					
				I do not know / no opinion	Not at all important	Not so important	Important	Very important
	disturbs the concentration	1						
	gives the feeling of being watched	2						
	is noisy	3						
	is against your freedom	4						
	makes you lazy	5						
	goes against your wishes	6						
	other (please specify):	7						

B. Part 2 of Questionnaire: User Satisfaction

Name or room number:

Date

1	In general, how do you evaluate the lighting level (combined daylighting and electric lighting) at your workplace ?		1 - 5	too bright	bright	just right	dark	too dark
2	Does the electric lighting in your room cause visual discomfort ?		1 - 4	never	only occasionally	sometimes	often	
3	Does the daylight in your room cause visual discomfort ?		1 - 4	never	only occasionally	Sometimes	often	
4	If visual discomfort occurs, how does it happen?		1 - 4	never	only occasionally	Sometimes	often	
	direct glare from the window							
	direct glare from the luminaires							
	reflections on the computer screen							
	reflections on glossy paper							
	reflections from exterior surroundings							
	other (please specify):							
5	In the summertime, how do you generally evaluate the temperature in the room ?		1 - 5	much too cold	too cold	neutral	too hot	much too hot
6	How much do you agree to the following characteristics of the automatic blind control system (as compared to manual control)		1 - 5	strongly disagree	disagree	do not know / neither agree, nor disagree	agree	strongly agree
	the control system improves the thermal comfort							
	it improves the visual comfort							
	it seems to be quite intelligent							
	it seems to save energy							
	it operates very well							
	the control have adapted to my wishes							
	I need to adjust/correct the blind setting very often							
	the control system changes the blinds too often							
	it is disturbing for my work							
	the blind control makes too much noise							
	it seems to be quite stupid or useless							
	other 1, please specify:							
	other 2, please specify:							

7	How much do you agree to the following characteristics of the automatic lighting control system (as compared to manual control)	1 - 5	strongly disagree	disagree	do not know / neither agree, nor disagree	agree	strongly agree
	the lighting control improves the visual comfort						
	it helps to achieve the best lighting level for my work						
	it seems to be quite intelligent						
	it seems to save energy						
	it operates very well						
	the control have adapted to my wishes						
	I need to adjust/correct the lighting level very often						
	the control changes the lighting too often						
	it does not give me sufficient light						
	it is disturbing for my work						
	it seems to be quite stupid or useless						
	other 1, please specify:						
	other 2, please specify:						

8	For each of the following aspects, please evaluate the control system installed in your room:	1 - 5	Strongly agree	Agree	Neither agree nor disagree	Disagree	Strongly disagree
	allows energy saving						
	makes the number of needed manual interactions with blinds and electric lighting smaller						
	increases the comfort						
	allows to adapt yourself to the computer age						
	makes the room conditions less dull						
	is funny/pleasant						
	disturbs the concentration						
	gives the feeling of being watched						
	is noisy						
	is against your freedom						
	makes you lazy						
	goes against your wishes						
	other (please specify): ...						

9	In general, did the control system adapt itself correctly to your preferences?	1 - 5	completely	rather well	average	not so well	not at all
	for the daylighting (blinds)						
	for the electric lighting						
	for the room temperature						

10	Based on the experience you have at this time with the new control system for blinds and lighting, would you prefer to go back to a manual system, or keep the automatic control system ?	0-2					
	I would prefer manual control						
	I would prefer the new automatic control system						
	I do not know						
	I would prefer manual control						

Facadens udformning, og specielt anvendelse af en effektiv solafskærmning, er afgørende for det resulterende indeklima og energiforbrug i dagens glasdominerede byggeri. Bedre facader og ikke mindst bedre samspil i reguleringen af solafskærmningen og bygningens installationer (lys, opvarmning, ventilation og køling) er vigtige elementer i bestræbelser på at reducere energiforbruget med bevarelse af et godt termisk og visuelt indeklima. Denne rapport giver et praktisk grundlag for valg af solafskærmninger og integrerede reguleringsstrategier til både nybyggeri og renoveringer inden for kontor-, erhvervs- og institutionsbyggeri.

1. udgave, 2011
978-87-563-1522-7