Solavskärmning och dagsljuslänkning

Demonstrationsprojekt för ett system med motoriserad dagsljuslänkande persienn och ljusreglerad armatur

Helena Bülow-Hübe

Energi och ByggnadsDesign
Institutionen för Arkitektur och Byggd Miljö
Lunds Universitet
Lunds Tekniska Högskola, 2007
Rapport EBD-R--07/15

Lunds universitet

Lunds universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 103 700 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö. Lunds universitet grundades 1666 och har idag totalt 5 500 anställda och omkring 40 000 studerande som deltar i ca 140 utbildningsprogram och ca 1 600 kurser samt 19 internationella magisterprogram erbjudna av 66 institutioner.

Energi och ByggnadsDesign

Energi och ByggnadsDesign arbetar med byggnaden som ett system. Med utgångspunkt från helheten är syftet att utforma energieffektiva och ekologiska byggnader med hög termisk och visuell komfort i samverkan med installationssystem.

Forskningen behandlar i huvudsak energianvändning, passivt och aktivt solutnyttjande, dagsljus och solskydd i byggnader samt byggnadsintegrering av solvärme- och solelsystem. Brukarnas inverkan och krav på bl a termisk och visuell komfort ingår som en viktig del.

Verksamheten omfattar utveckling av beräkningsmetoder, simuleringar och analyser samt mätningar av prestanda avseende komponenter, rum och hela byggnader vilket medger validering av teoretiska modeller. Avdelningen medverkar även i utveckling av demonstrationsbyggnader samt utformar informationsskrifter och riktlinjer.

BELOK

Solavskärmning och dagsljus-länkning

Demonstrationsprojekt för ett system med motoriserad dagsljuslänkande persienn och ljusreglerad armatur

Utarbetad av
Helena Bülow-Hübe
Lunds Tekniska Högskola, Energi och ByggnadsDesign

Lund, oktober, 2007

Nyckelord

Belysning, bländning, bländskydd, dagsljus, dagsljusfaktor, dagsljuslänkning, elanvändning, fönster, ljusinlänkning, ljusreglering, luminans, persienn, solavskärmning, solskydd.

© copyright Institutionen för Byggande och Arkitektur, Energi och ByggnadsDesign, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2007.
Layout: Helena Bülow-Hübe

Tryckt av KFS AB, Lund 2007.

Rapport nr EBD-R-07/15

Institutionen för Byggande och Arkitektur, Lunds Tekniska Högskola, Lund

ISSN 1651-8128
ISBN 978-91-85147-20-5

Lunds Universitet, Lunds Tekniska Högskola
Institutionen för Byggande och Arkitektur
Box 118
221 00 LUND

Telefon: 046 – 222 73 52
Telefax: 046 – 222 47 19
E-post: ebd@ebd.lth.se
Hemsida: www.ebd.lth.se

Beställargruppen lokaler, BELOK, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på kommersiella lokaler. BELOK initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning på energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

Gruppens medlemsföretag är:
- Akademiska Hus
- AP Fastigheter
- Castellum/Brostaden
- Diligentia
- Fabege
- Fortifikationsverket
- Locum
- Luftfartsverket
- Midroc
- Specialfastigheter
- Statens Fastighetsverk
- Vasakronan
- Västfastigheter

Till gruppen är knutna även:
- Statens Energimyndighet
- Boverket
- ByggherreForum
- CIT Energy Management

Sammanfattning

Denna rapport är en utvärdering av ett demonstrationsförsök för en innovativ persienn med nyutvecklad styrning tillsammans med en dagsljusreglerad kontorsarmatur. Demonstrationsförsöket kom till som uppföljning av den tekniktävling om ”Dagsljus och solavskärmning” som genomfördes under 2004 och som finansierats av Beställargruppen för lokaler (Belok) och Energimyndigheten (STEM).

Den allmänna bakgrunden för tekniktävlingen var att Belok önskade att finna lösningar som kan förbättra inneklimatet och minska energianvändningen i kontorsbyggnader. Ett särskilt mål för tävlingen var att få fram nya produkter som kan användas för att effektivisera befintliga kontor. Dagsljus har möjlighet att särskilt sommartid ge mycket höga belysningsstyrkor inomhus, och kan därmed utnyttjas för att ersätta elbelysning. Alla tekniker som kan klara den svåra kompromissen mellan dagsljusinsläpp och utblick samt bländskydd och solavskärmning är särskilt intressanta.

Rent tekniskt har det utvärderade systemet med en motoriserad persienn och en ljusreglerande armatur fungerat mycket väl. Den typ av motor som valts för persiennen ger en mycket exakt styrning och persiennen hamnar även efter många reglersekvenser alltid i ”rätt” läge, dvs i den vinkel som styrsystemet önskar.

För att undvika bländningsproblem är en grundförutsättning att direkt solinstrålning undviks. Detta är huvudkonceptet för den utvärderade styrningen av solskyddet: styrning med hänsyn till solhöjd och s k ”cut-off” vinklar. Eftersom solhöjden om sommaren är hög ställs persiennen i ganska öppna lamellvinklar som medger utsikt till omgivningen. Vår slutsats är dock att vinklarna under sommaren inte är tillräckligt stora, dvs persiennen är alltför öppen, för att också undvika bländning från himmel eller persiennen själv. Detta gäller främst då solintensiteten är hög, vilket är den situation som normalt också ger de högsta belysningsstyrkorna. Om styrningen ändrades för att prioritera större lamellvinklar (mer stängd persienn) skulle detta samtidigt ge effektivare solavskärmning eftersom g-värdet (den totala solenergitransmittansen) då också minskar. Tyvärr begränsas då möjligheterna till utsikt.

En alternativ styrning skulle kunna baseras på luminansen på insidan av fönstret, men här kommer både möblering (var i synfältet) och indi-

viduella preferenser in. Fortsatta studier med försökspersoner skulle därför vara värdefullt för att finna algoritmer som är lämpliga att styra på. Sensorplaceringen är också mycket kritisk, här måste man främst tänka på de luminanser som uppträder i brukarens synfält.

El-besparingen för det utvärderade systemet var avsevärt större under mätperioden i maj än under mätperioden i november, vilket naturligtvis beror på att maj är avsevärt ljusare och har betydligt högre solhöjder än november. Besparingen av elanvändning till belysning var 77 % i maj och 5 % i november. Detta är beräknat på en brinntid mellan kl 8-17. På årsbasis har besparingen bedömts till ca 50 %. På årsbasis för ett helt kontor där kanske hälften av arbetsplatserna ligger långt ifrån fönster, kan man anta att besparingen skulle kunna bli hälften så stor, dvs 25 %, gentemot detta kontor där arbetsplatsen dessutom var placerad mycket nära fönstret.

Att skapa en ljuslänkande del hos en persienn, dvs en öppnare del än resten av persiennen, är mycket enkelt att göra. Det räcker att korta in stegbanden på persiennens rumssida. I det utvärderade systemet gjordes detta genom av vira stegbandet ett varv kring ett enkelt clips i plast. Detta skapar en möjlighet att släppa in mer dagsljus i rummet, vanligtvis genom toppen på persiennen som normalt ligger ovanför det centrala synfältet. Samtidigt skapar det svårigheter att arbeta med två lamellvinklar, om man vill kunna undvika direkt solinstrålning under hela året. Våra studier pekar mot att skillnaden i vinkel mellan persiennen övre och nedre del måste begränsas till omkring 20 grader för att undvika problem med direkt solinstrålning om vintern. Detta är en mycket mindre vinkelskillnad än den som ofta erbjuds med dessa system. Det utvärderade systemet kom t ex med ett clips som skapade en vinkelskillnad på 45 grader, vilket fick modifieras under mätningarna.

För att undvika bländning måste även brytpunkten mellan övre och undre del hållas en bra bit ovanför ögonhöjd och det centrala synfältet, eftersom en öppnare persienn medger mer utsikt mot den ljusa himlen, och persiennen är i sig även ljusare då den är mer öppen. Detta gör att möjligheterna till dagsljusinlänkning är små för ”vanligt” sittande fönster, dvs med en överkant på ca 2,1 m över golvet. I vårt experimentrum bedömdes belysningsstyrkan inomhus öka med ca 10 % med den ljuslänkande delen i toppen av persiennen. Simulering i Radiance av liknande rum gav liknande resultat. Vår slutsats är att för kontor där fasadväggen har en måttlig fönsterandel och då fönstren dessutom sitt ”normalt” placerade (överkant ca 2,1 m över golv) ger ljusinlänkning bara en försumbar ökning av belysningsstyrkan, medan risken för bländning sannolikt ökar. Ljusinlänkning är därför tveksam i dessa situationer. Dock kan hela persiennen betraktas som en ljuslänkare, då den styr upp ljuset mot taket.

Jämförelser mellan uppmätt och beräknat inneklimat i ParaSol gav mycket god överensstämmelse, och ParaSol verkar vara ett tillförlitligt

program för att bedöma innetemperaturer och energianvändning för rumsmoduler med persienner.

Om den föreslagna styrningen av solskyddet appliceras på en utvändig fasadpersienn har man mycket goda möjligheter att begränsa övertemperaturerna i lokaler och att hålla kylbehoven små. En mellanglaspersienn är något sämre, men avsevärt bättre än en invändigt placerad persienn. Om persiennstyrningen förändras något så att den stänger lite mer vid starkt solsken om sommaren har den föreslagna 25 mm styrda persiennen mycket goda möjligheter att fungera väl både som solavskärmning och bländskydd. Den ljuslänkande toppen kan sannolikt uteslutas för normalt sittande fönster, då den ger mycket liten ökning av ljusmängden. Persiennen blir därmed ännu enklare att både hantera och styra.

Innehåll

Sammanfattning 5
Innehåll 9
Förord 11
1 Bakgrund 13
1.1 Tidigare forskning inom området solavskärmning och dagsljus 14
2 Målsättning och syfte 17
3 Metod 19
3.1 Beskrivning av uppmätt system 20
3.2 Mätning av ljus och uteklimat 25
3.3 Mätning av elanvändning till belysning 27
3.4 Mätning och simulering av inneklimat 27
3.5 Test av ljuslänkande del av persienn 29
3.6 Test av sensorplacering 30
4 Resultat 31
4.1 Persiennens generella funktion 31
4.1.1 Intrimmning och styrning 31
4.1.2 Fönstervägens luminans 32
4.2 Uppmätt elanvändning, belysningsstyrka och inneklimat 36
4.2.1 Elanvändning och belysning i maj/juni 36
4.2.2 Resulterande inneklimat en solig dag i juni 42
4.2.3 Effekt av sensorplacering 44
4.2.4 Elanvändning och belysning i november 46
4.2.5 Uppskattning av årlig el-besparing 49
4.3 Effekt av ljuslänkande del hos persiennen 50
4.3.1 Mätningar utan elbelysning 50
4.3.2 Simulering i typkontor utan elbelysning 54
4.4 Jämförelse av temperaturer mellan mätning och ParaSol-simulering 57
4.4.1 Period i maj med värmebehov 57
4.4.2 Solig period i juni 62
4.4.3 Parameterstudie av persiennplacering 65
5 Diskussion 67
6 Slutsatser 71
6.1 Generell funktion hos persiennen 71
6.2 Resulterande ljusmiljö 71

6.3 Besparing av elanvändning till belysning 72
6.4 Effekt av sensorplacering 72
6.5 Effekt av ljuslänkande del hos persienn 72
6.6 Inneklimat och kylbehov 73
Referenser 75
English summary 77
Appendix 1 – Belysningsstyrkor i maj 81
Appendix 2 – Belysningsstyrkor i november 87

Förord

Projektet har finansierats genom ett bidrag från Statens Energimyndighet, genom handläggaren Tomas Berggren. Stort tack! Författaren vill även tacka följande personer som på olika sätt deltagit i projektet: Projektledare Sten-Ivan Bylund på WSP, Peter Pertola från WSP Ljusdesign som kom med viktiga synpunkter på systemets utformning med hänsyn till belysning och bländning, Mattias Klasson och Anders Hall från SOMFY som tillhandahöll persiennmotorer och deras styrsystem, Tomas Bäckman och Karl-Gustaf Friis från NIMEX som levererade persiennerna, Johan Modig från Wennerström Ljuskontroll som levererade armaturer och styrning av dessa samt Rickard Sjöqvist från Midroc som bidrog med diverse byggnadsarbeten vid iordningställandet av försöksrummen. Bengt Hellström, Energi och ByggnadsDesign på LTH utförde värdefulla analyser och beräkningar av solvinklar och cut-off vinklar för persiennen, tog fram klimatfiler till Derob med mera. Jag vill också rikta ett varmt tack till Cecilia Thapper som övervakade sommarmätningarna och som gjorde många värdefulla inledande analyser och datasammanställningar.

Rapporten har en traditionell uppdelning med separata kapitel för bakgrund, metod, resultat och diskussion. Men då rapporten redovisar flera olika delstudier har vissa metodbitar och även diskussionspunkter skrivits tillsammans med resultaten för att underlätta läsbarheten och förståelsen av resultaten.

1 Bakgrund

Denna studie är en utvärdering av ett demonstrationsförsök för en innovativ persienn med avancerad styrning tillsammans med en dagsljusreglerad kontorsarmatur. Demonstrationsförsöket kom till som uppföljning av den tekniktävling om ”Dagsljus och solavskärmning” som genomfördes under 2004 och som finansierats av Beställargruppen för lokaler (Belok) och Energimyndigheten (STEM).

Den allmänna bakgrunden för tekniktävlingen var att Belok önskade att finna lösningar som kan förbättra inneklimatet och minska energianvändningen i kontorsbyggnader. Ett särskilt mål för tävlingen var att få fram nya produkter som kan användas för att effektivisera befintliga kontor. Eftersom byggbranschen är splittrad i små många separata grenar var ett syfte att få fram ett samarbete mellan företag som representerar olika nischer och som därför inte brukar samarbeta. Det handlar i detta fall om solskyddsbranschen, belysningsbranschen och i viss mån även om VVS-branschen.

Problem med övertemperaturer och dålig komfort tillsammans med ökande krav på inneklimatet har lett till en omfattande användning av komfortkyla i svenska kontorslokaler. Enligt ett inslag på Sveriges Radio den 17 juli 2006 är det i Europa bara Spanien, Grekland och Italien som har fler kylda kvadratmeter per invånare! Detta är skrämmande med tanke på hur pass olika klimat vi har. Användningen av komfortkyla borde dock inte vara den första lösning man tar till om det blir för varmt inomhus. Hela husets energibalans måste studeras, eftersom husets utformning och dess verksamhet kraftigt samspelar. Det som bör ses över är solavskärmningen, ventilationsanläggningen och dess driftsstrategier (t ex inblåsningstemperaturer, luftflöden, drifttider) samt den värmebelastning som verksamheten själv bidrar med. Därefter kan de mest energi- och kostnadseffektiva lösningarna identifieras.

En orsak som dock bidrar till höga innetemperaturer är den kraftiga förändring av hur kontorsarbete bedrivs idag. Det gäller de senaste decenniernas kraftigt ökande användning av datorer och andra kontorsmaskiner och vilket lett till en kraftigt ökande värmebelastning i lokalerna. De senaste årens övergång till platta bildskärmar visar dock på att utvecklingen kan vridas tillbaka en hel del, eftersom dessa bara använder en bråkdel av energin jämfört med gamla bildrörsmonitorer. Även moderna bärbara datorer är betydligt energieffektivare än stationära. En

äldre dator med skärm kunde avge allt mellan 150-300 W medan en modern bärbar dator med dockningsstation och separat platt bildskärm bara avger i storleksordningen 50-80 W. Samtidigt har belysningen under de senaste 10-15 åren blivit avsevärt effektivare med kanske hälften eller en tredjedel så låg installerad effekt än som var brukligt på 70-talet. Detta bekräftas även i den inventering av några få kontorslokaler som gjordes i samband med tekniktävlingen. En trend att placera fler och fler personer på samma yta ger dock åter högre värmebelastning i lokalerna. Många förvaltare nämner idag att en generell trend är att cellkontor förvandlas till öppna landskap, vilket naturligtvis också kan påverka hur tätt man kan placera personalen.

Under de senaste 10 åren har det också varit på modet med stora glasytor i arkitekturen, något som kanske främst synts i prestigefulla kontorsbyggnadsprojekt, men även i bostäder. Då glasandelen i fasad ökar blir solvärmebelastningen hög och avgörande för dimensionering av kylanläggningar och ventilation. För att begränsa användningen av komfortkyla i kontor och ändå tillåta ett högt utnyttjande av glasytor, måste solinstrålningen begränsas. Detta kan ske genom användning av solskyddsglas och/eller olika former av fasta och rörliga solskydd.

1.1 Tidigare forskning inom området solavskärmning och dagsljus

Dagens arkitekturtrend med mycket glas föranledde omfattande studier av prestanda för olika solskydd i det sk solskyddsprojektet vid LTH, Energi och ByggnadsDesign. Projektet har främst finansierats av Formas och STEM samt i viss mån även av Svenska Solskyddsförbundet (Wall & Bülow-Hübe, 2001 & 2003). Programmet ParaSol togs fram inom ramen för Solskyddsprojektet. ParaSol är numera fritt tillgängligt via internet (www.parasol.se) och är avsett som ett verktyg för konsultbranschen för att jämföra olika solskydd och glassystem och deras inverkan på energibehov, effektbehov samt innetemperaturer.

I projektets andra etapp tillkom ytterligare ett fokus, vilket var påverkan på dagsljuset i bakomliggande rum. Under år 2001 genomfördes studier av luminansfördelningen, kontraster och belysningsstyrkor i rum försedda med olika solskydd, dels genom avancerade ljussimuleringar med programmet Radiance (Dubois, 2001a) dels genom fullskalemätningar på Byg og Byg i Hørsholm, Danmark (Dubois, 2001b). Dessa studier involverade dock inte bedömningar från försökspersoner.

Då glasandelen i fasaden är hög ökar även risken för dålig termisk och visuell komfort. Eftersom kontorsarbete idag till största delen bedrivs framför en bildskärm innebär detta att blickriktningen har höjts från arbetsbordet till av vara nära nog horisontell. Fönstret hamnar då ofta inom det centrala synfältet vilket skapar höga omfältsluminanser

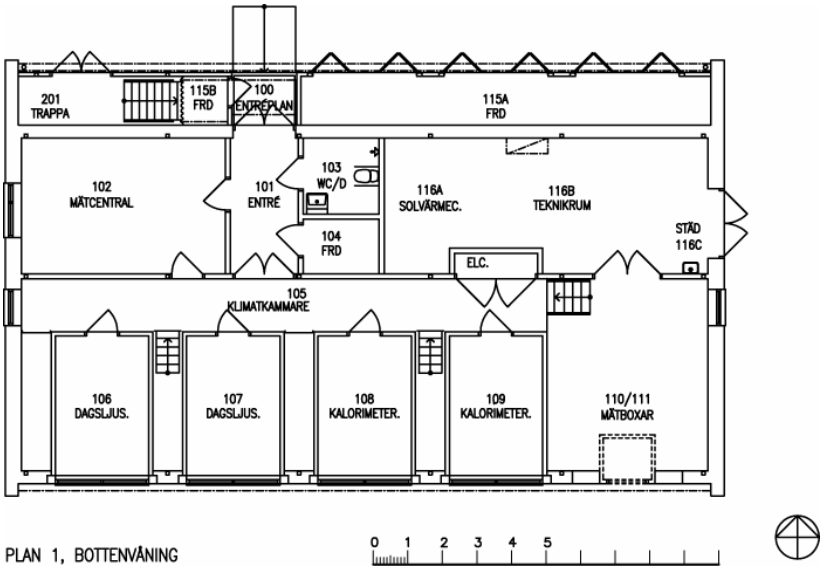
och därmed associerad bländningsproblematik om fönstret inte har adekvata solskydd. Även kontrasten i skärmen försämras, och solinstrålningen leder ofta till synförsvårande reflexer i bildskärmen. Samtidigt vill 70 % av kontorspersonalen sitta nära fönstret. (Christoffersen m fl, 1999, Dubois, 2001a).

Belysningsstyrkan och särskilt luminansfördelningen i rummet är troligtvis avgörande för den visuella komforten. En närmare granskning av tidigare forskning kring ljuskvalitet och visuell komfort, t ex bländning i dagsljusmiljöer, visar att vi fortfarande ganska dåligt känner till vilka parametrar eller deras nivåer, som genererar visuell komfort (Veitch & Newsham, 1996; Osterhaus, 2001). Dubois (2001a) utvärdering av ljusmätningar i fullskalerum (t ex om önskvärd luminansfördelning) fick därför baseras på belysningsrekommendationer och tumregler som är framtagna för artificiellt belysta miljöer. En pilotstudie genomförd inom etapp 2 antyder också att det är svårt att relatera upplevd dagsljuskomfort till både belysningsstyrka vid arbetsplatsen och himmelsluminans (Bülow-Hübe, 2000). Det är dock sannolikt att det är de visuella kraven som först avgör när en brukare bestämmer sig för att fälla ner ett solskydd, inte de termiska kraven. I kontor med stora glasfasader och i synnerhet i kombination med storrumslösningar accentueras problematiken kring bländning och avsaknad av individuella reglermöjligheter. Detta leder absurt nog ofta till nerdragna solskydd och därigenom till väldigt tillstängda fasader, och tillgången till dagsljus kan vara kraftigt begränsad. Detta kan i sin tur öka behovet av el för artificiell belysning.

Det finns även ett intressant forskningsområde som visar på olika samband mellan dagsljus och s k icke-visuella effekter av belysning, bl a inom miljöpsykologin (Küller, 1981). Denna forskning har fått ganska mycket uppmärksamhet under senare år, särskild upptäckten av den s k tredje receptorn i näthinnan som förklarar de mekanismer som ligger bakom de sedan tidigare kända sambanden mellan belysning och produktionen av melatonin som i sin tur styr vår biologiska klocka. Särskilt ljus med våglängder som motsvarar blått ljus upptäcktes vara verksamt då det gällde att hämma produktionen av sömnhormonet melatonin. (Brainard et al., 2001). Eftersom dagsljusets spektrum är kontinuerligt, dvs innehåller alla våglängder, och dessutom är mycket intensivare än konstljus, anses dagsljus vara mycket värdefullt för att styra vår biologiska klocka men även för vår hälsa.

Under början av 2005 färdigställdes ett nytt laboratorium för energi- och komfortmätningar vid Energi och ByggnadsDesign, LTH. Laboratoriet har finansierats av Delegationen för Energiförsörjning i Södra Sverige, DESS. Byggnaden innehåller bl a fyra rum som är identiska parvis. Två rum är avsedda främst för termiska och visuella studier, medan två är avsedda för noggranna mätningar av energitransport genom fasadsystem, se Figur 1.1-2. Alla fyra rummen har utbytbara söderfasa-

der och har samma mått som normalstora kontorsrum (2,7 ggr 4 m med 3 m i takhöjd). De två dagsljusrummen har viss värmetröghet, modern kontorsventilation med flödesreglerade tilluftdon och dagsljusstyrd belysning. Laboratoriet är unikt för Sverige och ger stora förutsättningar att studera olika system för solskydd och dagsljusinlänkning ur både termisk och visuell synvinkel i verkligt klimat (Bülow-Hübe, m fl, 2005).



Figur 1.1 *Plan över EBDs nya energilaboratorium.*

Figur 1.2 *EBDs nya energilaboratorium: exteriör samt interiör från "dagsljusrum" före experimenten.*

2 Målsättning och syfte

Det övergripande syftet med demonstrationsprojektet är att finna optimala lösningar för de två motstridiga kraven på solavskärmning och dagsljusinsläpp. Det projektspecifika syftet är att demonstrera och dokumentera funktionen hos ett nytt dagsljusinlänkningssystem för kontorsbyggnader för integrerad styrning av artificiell belysning, dagsljus och solavskärmning. Projektet är ett demonstrationsprojekt som uppföljning till den relativt nyligen avslutade teknikupphandlingstävlingen för solavskärmning och dagsljuslänkning som finansierats av Beställargruppen för lokaler (Belok) och Statens Energimyndighet (STEM).

Målen för projektet är därvid att:

- utvärdera det föreslagna systemets funktion
- utvärdera det föreslagna systemets potential för besparing av elanvändning till belysning
- studera belysningsstyrka och luminansfördelning med dagsljuslänkning
- bestämma lämpliga luminansgivare och deras placering samt reglerstrategier för att erhålla ett ”gott” dagsljus, dvs rikligt med dagsljus på arbetsplatsen utan bländning
- "verifiera" Parasol och Radiance-simuleringar mot mätningar.

3 Metod

Den solavskärmningslösning som utvärderades var en motoriserad variant av en traditionell persienn med 25 mm breda lameller som är tänkt att kunna användas invändigt eller helst för mellanglasmontage i kopplade fönster. Persiennen var försedd med små cylindriska motorer som doldes i den övre listen av persiennen, och var försedd med nyutvecklad styrning, se vidare i avsnitt 3.1. Persiennens övre del hade dessutom en ljuslänkande funktion med något öppnare lameller, vilket möjliggjordes med hjälp av clips som kortade in stegbanden, se Figur 3.1. Persiennen tillverkades av NIMEX och försågs med motor och styrning utvecklad av SOMFY.

Förutom persiennen användes även en belysningsarmatur som hade inbyggd sensor för kontinuerlig ljusreglering, se Figur 3.2. Armaturen kom från Ateljé Lyktan och ljusregleringen tillhandahölls av Wennerström Ljuskontroll.

Figur 3.1 *Bild av persienn med ljusinlänkning med hjälp av clips. (Foto: Thore Sonesson).*

Studien genomfördes i de två dagsljusrummen i det nya energi- och komfortlaboratoriet vid LTH. Rummens fasad består ursprungligen av ett fönsterparti i aluminium med 6 lufter. Glasningen består av en tvåglas isolerruta med ett klart lågemissionsglas i yttre rutan, vilket ger hög dagsljustransmittans. Glasytorna reducerades till fönsterband genom att

de två nedre resp övre lufterna täcktes för både utvändigt och invändigt och isolerades. På så sätt blev glasandelen ca 33 % av fasadytan inifrån sett. För att efterlikna storleken på äldre kontorsrum försågs rummen med vita undertak ca 2,6 m över golv. Bägge rummen möblerades mycket enkelt med hjälp av två bord placerade i vinkel, se Figur 3.2. Väggarna i rummen var av vitmålad plåt och golvet av obehandlad betong.

Det ena dagsljusrummet utsågs till "mätrum" (rum 107) och utrustades med den nya motoriserade persiennen som reglerades efter ljusintensitet via en ljusgivare placerad utomhus på fasaden intill fönstret. Det andra rummet (rum 106) utgjorde referensrum och det försågs med en persienn av samma kulör, dock utan reglering och inlänkning. En invändig placering valdes av kostnadsskäl istället för ombyggnad av fasaden till glaspartier med kopplade rutor, eftersom den ljuslänkande förmågan inte antogs skilja nämnvärt mellan en mellanglasmonterad eller en invändig persienn.

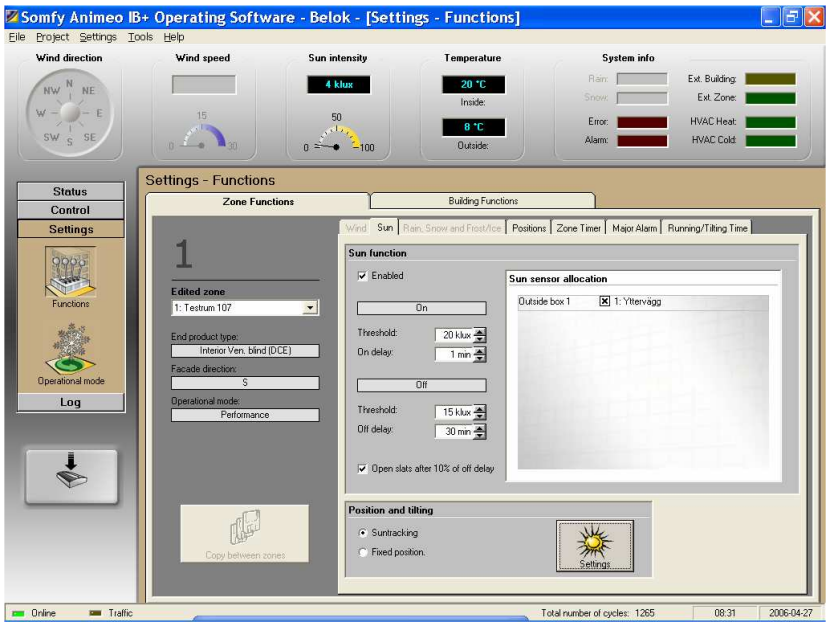
Genom att uteklimatet och solhöjden ständigt växlar koncentrerades mätningarna till en period i maj och en i november. Mellan dessa perioder pågick också mätningar, men då mest som deltester av enskilda parametrar av systemet vilka beskrivs nedan. På detta sätt fångades både klara dagar med olika solhöjder samt mulet väder.

Figur 3.2 *Exteriör och interiör av mätrummen. Ljusgivaren för reglering av persiennen placerades på fasaden mellan rummen. Den öppnare delen av persiennen framträder som ett mörkare band högst upp i högra rummets fönster.*

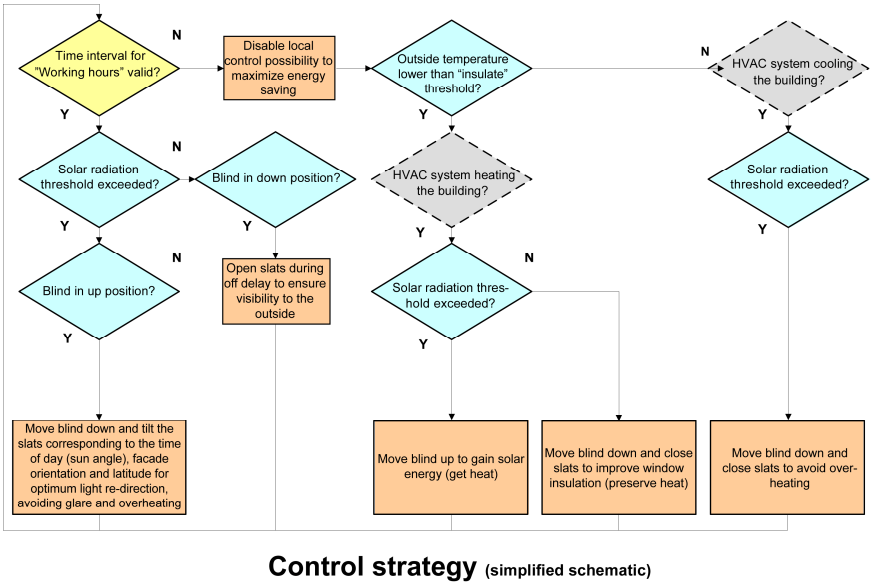
3.1 Beskrivning av uppmätt system

Det system som utvärderades i vårt mätrum var en reglerad invändig persienn med 25 mm breda lameller i vit kulör tillsammans med en dagsljusreglerad armatur. Motorerna till persiennen var av en typ som

kan lägesbestämmas med mycket stor precision, så kallade encodermotorer. Styrningen av persiennen är en produkt utvecklad av SOMFY och de tillhandahöll all styrutrustning samt tillhörande mjukvara (Animeo). Styrningen av persiennen hade flera funktioner: t ex att den vid behov kan gå ner nattetid för att spara energi, men det som utvärderats i denna studie är enbart funktionen dagtid, dvs då ljusregleringsfunktionen varit aktiv. Styrprincipen för denna är att persiennen går ner då belysningsstyrkan vertikalt mot fönstret överstiger 20 kLux under mer än 1 minut. Om belysningsstyrkan varaktigt understiger 15 kLux ges en signal om att persiennen ska dras upp, dock med en fördröjning av 30 minuter. Om belysningsstyrkan ute under denna väntetid är fortsatt låg, kommer persiennen att inta horisontell position efter ca 3 minuter. Om däremot ljusnivån stiger, kommer persiennen åter att inta rätt lamellvinkel. Samtliga tider och bör-värden kan justeras av användaren. En skärmbild från menysystemet som visar dessa inställningar ses i Figur 3.3. Reglerprinciperna för hela styrningen av persiennen framgår av Figur 3.4.

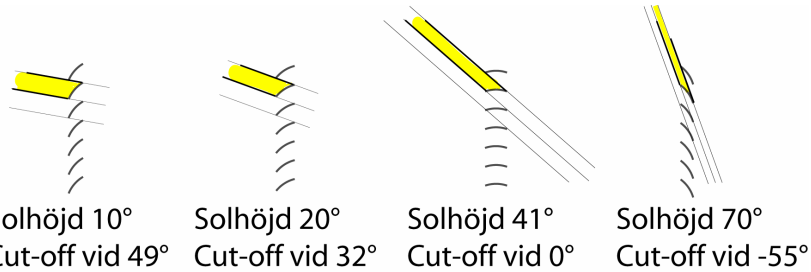


Figur 3.3 *Bild från menyn för styrning av solskyddet.*



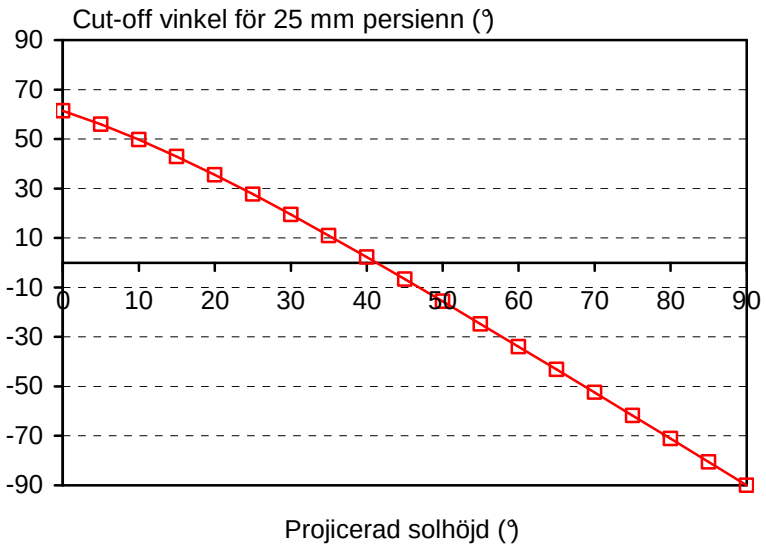
Figur 3.4 *Principskiss för styrning av solskyddet. (Källa: SOMFY)*

För att ta hänsyn till att solhöjden varierar kontinuerligt har man i styrsystemet valt att använda sig att tre olika vinklar under dagen: en som appliceras på morgonen, en annan mitt på förmiddagen fram till eftermiddagen, och sedan återkommer morgonens vinkel under sen eftermiddag/kväll. Under en och samma månad är dock vinklarna lika varje dag. De på så sätt förberäknade vinklarna visas i en tabell och kan vid behov justeras av användaren. Den eftersträvade lamellvinkeln är minst den sk cut-off vinkeln, dvs den vinkel då all direkt solinstrålning precis undviks. Då solhöjden är hög, över 41 grader med den aktuella persiennen, blir faktiskt cut-off vinkeln negativ, se Figur 3.5. Eftersom en negativ vinkel medger utsikt mot himlen och denna ofta är mycket ljus (bländningsrisk) tillåter dock styrsystemet inte negativa vinklar utan persiennen får då en horisontell, eller nära horisontell vinkel.



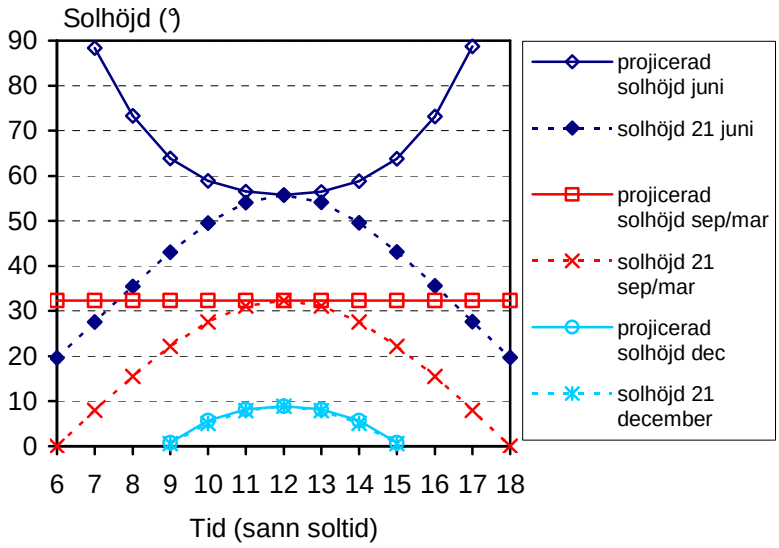
Figur 3.5 *Exempel på cut-off-vinklar för olika projicerade solhöjder.*

Den ovan visade styrprincipen där hänsyn tas till den aktuella solhöjden har SOMFY valt att kalla sun-tracking. En beräkning av cut-off vinkeln som funktion av den mot fasaden projicerade solhöjden för den aktuella persiennen gjordes av Bengt Hellström, och resultaten visas i Figur 3.6. De aktuella lamellvinklarna måste alltså förberäknas av styrsystemet med hänsyn till byggnadens latitud och orientering, dvs den projicerade solhöjden mot fasaden måste beräknas, inte enbart solhöjden. Exempel på solhöjder och projicerade solhöjder för ett södervänt och ett östervänt fönster visas i Figur 3.7 och 3.8.

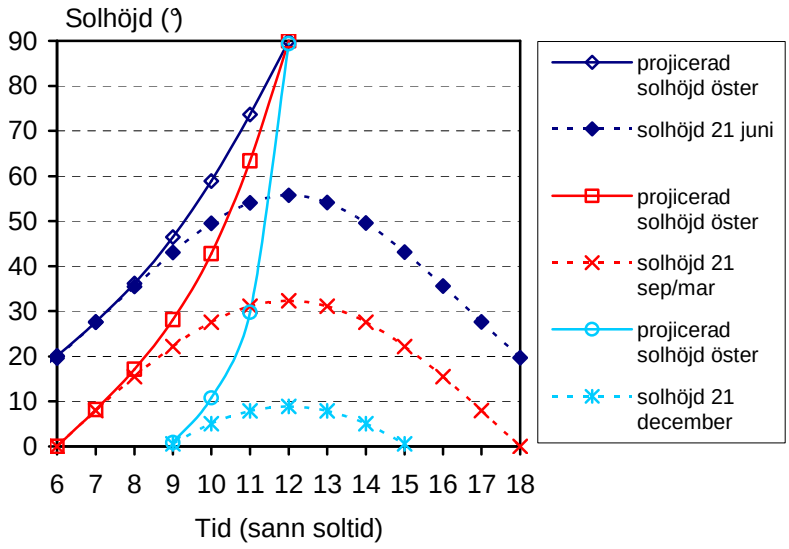


Figur 3.6 *Beräknade cut-off-vinklar för en standard 25 mm persienn med lamellavstånd 21,5 mm.*

Det är mycket viktigt att komma ihåg att beräkna den projicerade solhöjden, och inte enbart solhöjden själv. Annars kan man oväntat få in sol under sommarhalvåret då den projicerade solhöjden faktiskt varierar mellan solhöjden och 90 grader för ett södervänt fönster och mellan 0 och 90 grader för ett fönster mot öster eller väster! Som exempel kan nämnas att för ett södervänt fönster kl 10 i Lund nås den projicerade solhöjden 41 grader redan i början på april, dvs redan då måste man åtminstone ha en horisontellt ställd persienn för att undvika direkt solinstrålning.



Figur 3.7 *Solhöjder samt projicerade solhöjder för ett södervänt fönster beräknade för Lund vid sommar- och vintersolståndet, samt vid höst- och vårdagjämningen.*



Figur 3.8 *Solhöjder samt projicerade solhöjder för ett östervänt fönster beräknade för Lund vid sommar- och vintersolståndet, samt vid höst- och vårdagjämningen.*

Persiennen levererades med egna givare för ljusstyrka utomhus, innetemperatur och utetemperatur. Även vindhastighetsmätare kan kopplas till systemet, men detta var inte aktuellt för den invändiga persiennen. Det var dock svårt att spara och plocka ut dessa värden i efterhand, så utvärderingen är gjord mot mätta värden av solinstrålning eller dagsljus i laboratoriets klimatstation. Själva styrningen av persiennen baseras dock främst på den vertikalt monterade ljusgivaren, se Figur 3.2.

Det var endast persiennen i mätrummet som styrdes på detta sätt. Persiennen i referensrummet var under mätningarna nere och placerad i en fast vinkel, vriden +34 grader från horisontalläget (så att utsikten mot himlen hindras, men inte utsikten mot marken).

I varje rum placerades en armatur från Ateljé Lyktan. Belysningen hölls tänd mellan kl 8-17 med hjälp av enkla tidur. I referensrummet var armaturen fullt tänd hela dagen medan den i mätrummet ljusreglerades med hänsyn till ljusnivån i rummet. Denna styrning var helt autonom och integrerad i armaturen, dvs den styrdes bara efter det ljus som kom in i lokalen, och hade alltså ingen direkt kontakt med styrningen av persiennen. Armaturen hade 2 st 36 W T5 lysrör, dvs den installerade effekten var 80 W eller ungefär 7 W/m² då ballastförlusterna medräknas. Den inbyggda sensorn tittar ner mot arbetsytan och kan trimmas för att leverera önskad belysningsstyrka, dock max ca 500 lux. Armaturen kunde också förses med en externt placerad sensor, t ex en takmonterad givare.

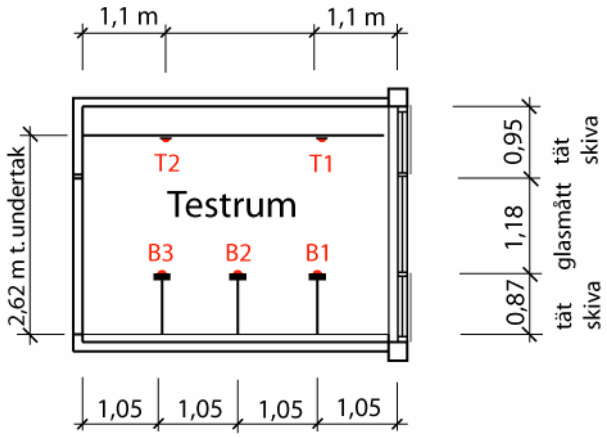
3.2 Mätning av ljus och uteklimat

Belysningsstyrkan ute och inne i båda rummen mättes kontinuerligt. Inomhus placerades tre ljusgivare i varje rum i bordshöjd (B), 80 cm över golv och 2 st placerades i tak (T). Givare B1 placerades ca 1 m från fönstret, B2 mitt i rummet och B3 ca 1 m från bakväggen. Givare T1 placerades närmast fönstret, mitt i första takhalvan och T2 mitt i andra takhalvan. Se Figur 3.9-10. Innegivarna var av märket Hagner, typ ljusdetektor SD2. De anslöts via en Hagner förstärkare MCA-1600 och en logger CR1000 till en mätdator. Alla givare var nykalibrerade då mätningarna startade. Givarna i punkt B1 och T1 var kalibrerade för 0-10.000 lux, medan övriga inomhusgivare var kalibrerade för 0-5.000 lux. Mätfelet (som uppges till bättre än +/- 3%) vid låga ljusnivåer är därför i absoluta tal något större för givarna i punkt B1 och T1.

Samtidigt utfördes via en klimatstation på taket även mätningar av utetemperatur, global belysningsstyrka samt global och diffus solstrålning (samtliga mot horisontalen), Figur 3.11. Ljusgivaren var en Hagner ELV 741 och den globala strålningsmätaren var en 2nd class pyranometer från Hukseflux (LP02). Den diffusa strålningsmätaren var

en CM5 från Kipp and Zonen. Utetemperaturen mättes med en termistor monterad med strålningsskydd och fläkt. Mätvärdesinsamlingen gjordes var 30:e sekund och sparades ner som 6-minuters medelvärden i mätfilen.

Genom att studera skillnaden mellan belysningsstyrkan i de två rummen kan hela systemets effektivitet studeras, dock inkluderas i de flesta mätningar ev ljus från belysningen i mätningarna. I några enskilda mätserier under sommaren hölls dock lamporna släckta för att studera effektiviteten hos persiennen själv.



Figur 3.9 *Sektion genom rum 106 och 107 med givarplaceringar.*

Figur 3.10 *Takmonterad ljusgivare resp givare i bordshöjd (t h).*

Figur 3.11 Utegivare för global belysningsstyrka samt luminanskamera (t h).

Vid några enstaka tillfällen under mätperioden, vid distinkta väderförhållanden (t ex jämnmulna eller soliga dagar) mättes även luminansfördelningen med en kalibrerad CCD-kamera (luminanskamera) av typen IQcam Modell III, Figur 3.11. Den placerades då på ett stativ i rummens bakkant och kunde flyttas relativt snabbt fram och tillbaka mellan rummen Mätkamerans område är begränsat till 3000 cd/m², vilket torde räcka då bländning anses inträffa redan vid ytor med en luminans om ca 1500 cd/m². Med hjälp av ett filter kunde även en uppskattning av högre luminanser göras.

3.3 Mätning av elanvändning till belysning

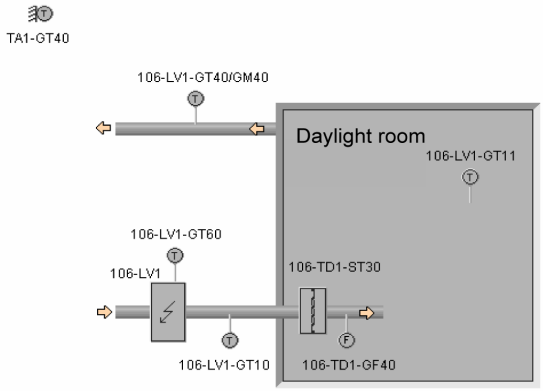
Via byggnadens styr- och övervakningssystem (SÖ-system) mättes och loggades kontinuerligt rummens elanvändning var för sig. Eftersom belysningsarmaturen var den enda apparat som använde el i rummen, kunde således elanvändningen till varje armatur mätas. Elmätarna var enfasmätare, ABB Mini, och var programmerade för en puls per Wh, dvs de har ganska hög upplösning. I resultaten visas dels den ackumulerade elanvändningen för några utvalda dagar med antingen soligt eller mulet väder, dels den dagliga besparingen jämfört med att ha armaturen fullt tänd hela dagen under en längre tidsperiod med växlande väder.

3.4 Mätning och simulering av inneklimat

Via SÖ-systemet mättes och loggades kontinuerligt rummens tilluftsflöde, inblåsningstemperatur, rumstemperatur samt frånlufttemperatur, se Figur 3.12. Tilluftdonen kan styras att blåsa in mellan 5-50 l/s med en temperatur ner till ca 14 grader utan komfortproblem, vilket ger en viss kylkapacitet. Under mätningarna användes ett tilluftflöde om 20 l/s

vilket är mer normalt för äldre kontor. Tillufttemperaturens börvärde ställdes till 17 grader, men då mätpunkten sitter strax efter värmeväxlaren värms luften i kanalen på sin väg mot rummet. Inblåsningstemperaturen var därför ca 18 grader, utom då värmebehov föreligger (rummet värms med ett eftervärmningsbatteri i tilluftdonet). Med detta låga flöde är kapaciteten inte tillräcklig för att helt kunna ta bort den överskottsvärme som kommer in genom den helt uppglasade fasaden (2-glasruta med le-skikt, LT ca 80%, g-värde 0,59). Med den minskade fönsterarea som infördes, blir dock solinstrålningen till rummet avsevärt mindre och kylkapaciteten bedömdes som tillräcklig. Den omslutande klimatkammarens temperatur hölls stabil och loggades. I resultaten visas den uppmätta innetemperaturen i rummen med de två olika invändiga persiennerna, fast persienn (34 grader) och konstant belysning i referensrum 106 resp reglerad persienn och reglerad belysning i testrum 107.

En jämförelse mellan mätningar och simulering i ParaSol ver 3.0 genomfördes för några utvalda perioder. Eftersom persiennerna hade en ofördelaktig placering (invändig) för att begränsa lufttemperaturen, gjordes även beräkningar av inneklimatet om fasaden istället hade haft kopplade fönster (1+2) och persiennerna hade kunnat placeras i den yttre spalten. Vid dessa beräkningar användes en egen klimatfil som skapades utifrån uppmätta klimatdata. Detta innebar att direktstrålningen på horisontell yta fick räknas ut från global- och diffusstrålningen och sedan räknas om till normalriktningen mot solen. Dessutom skapades timmedelvärden ur 6-minutersvärdena i log-filen.

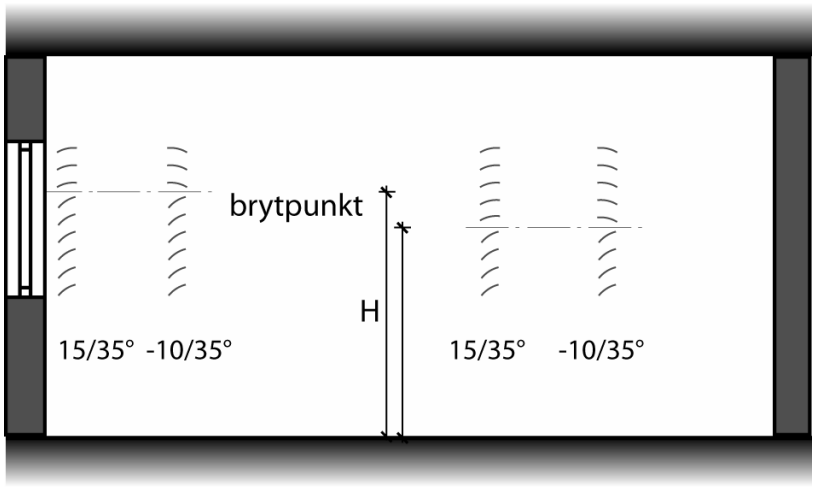


Figur 3.12 *Bild från fastighetsautomationssystemet, med mätpunkter för temperatur, luftflöde och luftfuktighet (det senare endast i frånluften).*

3.5 Test av ljuslänkande del av persienn

För att utvärdera om den ljuslänkande, dvs mer öppna övre delen, hade någon signifikant effekt på ljusmängden i rummet gjordes vissa specialmätningar. Först uppmättes ljusnivån i rummet då bägge rummens persienner ställdes lika (i sin undre del i testrummet), regleringen av dem stängdes av och elbelysningen var släckt.

Utöver mätningarna studerades även ljusfördelningen genom simuleringar i Radiance för typiska kontorsrum med 30 % fönsteryta för en solig timme med hög solhöjd. Genom denna simulering kunde effekten av två olika vinkelskillnader mellan övre och nedre del studeras (20 resp 45 graders skillnad), samt 2 olika placering av brytpunkten i höjdled. För simuleringen valdes en solig dag i juni, dvs samma solhöjd som i mätningen. Persiennvinkeln för undre delen var också ungefär densamma som vid mätningen, 35°. På så sätt kom fyra fall att räknas igenom (15° uppe/35° nere och -10° uppe/35° nere) resp brytpunktens placering i höjdled (1,6 och 1,8 m över golv), se Figur 3.13. Rummet som simulerades här överensstämmer med det referenskontorsrum som studerats i projektet ”Kontorsbyggnader i glas”, se t ex (Poirazis, 2005 och Bülow-Hübe, 2007). Glasandelen var något lägre än i mätningen, men inte större än att jämförelsen kändes relevant.



Figur 3.13 *Principskiss av de ljuslänkande persienner som simulerades: Två olika vinkelskillnader och två olika höjder för brytpunktens placering.*

3.6 Test av sensorplacering

I utvärderingens första skede (maj, juni) användes en takmonterad ljusgivare som var riktad snett ner mot fönstret. I ett skede av mätningarna jämfördes denna givare med en integrerad givare riktad ner mot bordet, se Figur 3.14. Vid dessa jämförelser var persiennerna antingen uppdragna i bägge rum eller så användes fasta persienner med samma lamellvinkel eftersom syftet var att enbart studera effekten av givarplaceringen och inte effekten av den reglerade och ljuslänkande persiennen. I novembermätningarna användes den integrerade givaren.

Figur 3.14 Takmonterad givare (t v) och integrerad givare (t h).

4 Resultat

4.1 Persiennens generella funktion

4.1.1 Intrimmning och styrning

Persiennens styrning fungerade klanderfritt under hela mätperioden. Inställningen av förprogrammerade vinklar visade sig vara väldigt exakt och persiennen återkom hela tiden till rätt läge, även efter många reglersekvenser. Under driftsättningen måste man dock lära persiennen i vilken vinkel den står. Detta gjordes genom att manuellt avläsa aktuell persiennvinkel med hjälp av vinkelmätare (ett slags vattenpass). I detta kan små fel uppkomma, och persiennvinkeln antogs kunna avläsas med ett fel på ca +/- 2-3 grader.

Under intrimmningen upptäcktes dock att styrningen var anpassad till en vanlig persienn utan ljusinlänkning. Problemet var oväntat men helt logiskt: När clipsen för ljuslänkningen sätts på kortas stegbanden på rumssidan. Detta får till följd att persiennen under clipset stängs medan vinkeln ovanför clipset bibehålls. Om man då eftersträvar att styra den undre delen av persiennen med hänsyn till cut-off vinkeln, avviker den programmerade från den verkliga vinkeln med ett relativt konstant värde (varierar något lite med hänsyn till persiennens läge). Under driftsättningen ändrades därför börvinklarna för att kompensera för vinkelfelet.

Att skapa en ljuslänkande persienn genom inkortning av stegbandet med ett clips är en mycket enkel och genialisk lösning. Frågan är dock hur mycket öppnare persienner i toppen man kan tillåta med hänsyn till visuell komfort. För att få in mer ljus är strävan att montera clipset så lågt ner som möjligt och att tillåta en så stor vinkelskillnad som möjligt. Detta kommer dock lätt i konflikt med krav på att förhindra direkt solinstrålning för att undvika bländning. Inkortningen begränsar persiennens rörelsefrihet: Det går inte att stänga persiennen mer än till fullt stängd nertill, varför den övre delen aldrig kan stängas helt. Detta blir ett problem om stora vinkelskillnader mellan övre och nedre del tillåts. I synnerhet på Sveriges mycket nordliga latituder är detta svårt, eftersom vi har så låga solhöjder om vintern. Under projektets inledningsfas

gjordes bedömningar att vinkelskillnader på mer än 20 grader är svåra att klara om direkt solinfall om vintern ska undvikas.

Det clips som levererades med persiennen gav en vinkelskillnad på ca 45 grader. Under mars upptäcktes därför mycket riktigt att denna skillnad var för stor då persiennen släppte in direktljus på arbetsytan genom övre delen, se Figur 4.1. Clipset togs därför bort och stegbanden kortades istället manuellt genom att sys ihop med tråd. Vid projektets slut levererades en prototyp för ett clips som skapade en mindre vinkelskillnad, men det är fortfarande i behov av utveckling.

Den styrning som ställdes in tillsammans med den manuella inkortningen gjorde att under juni var persiennen i sin undre del inställd på omkring 33 grader och i sin övre del 12 grader då den var nerdragen. Soliga dagar gick persiennen ner automatiskt omkring kl 9 på morgonen (sommartid).

Figur 4.1 *Under uppstartsfasen upptäcktes att vinkelskillnaden mellan övre och undre del var för stor, varigenom direkt solinstrålning kom in på arbetsytan. Detta åtgärdades innan mätningarna startade. (Foto: Thore Sonesson).*

4.1.2 Fönsterväggens luminans

Då det vanligen är fönstret som ger upphov till de högsta luminansnivåerna i rummet, och därmed är orsaken till upplevda bländningsproblem, är det därför intressant att studera hur persiennens inställning

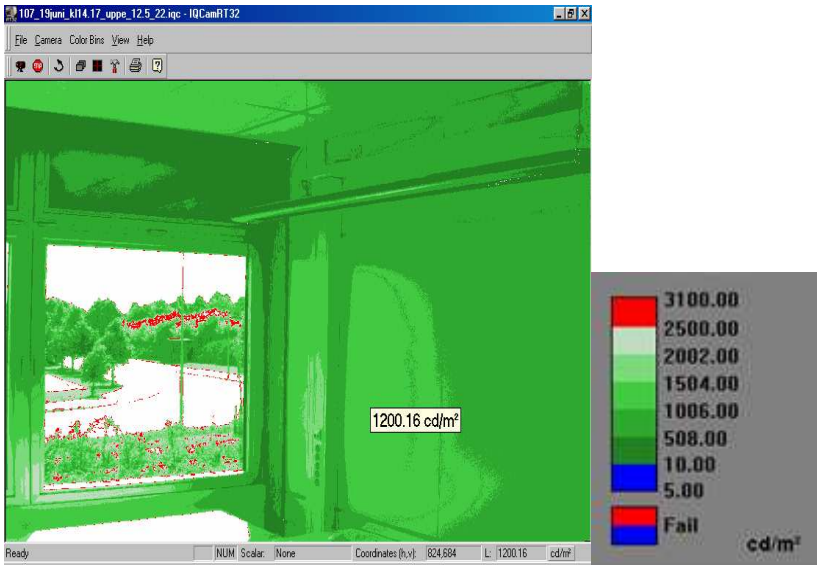
påverkar luminansen mot fönstret. Vid några tillfällen mättes fönsterväggens luminans i testrummet upp med hjälp av en CCD-kamera. Eftersom kameran inte har någon vidvinkellins valdes att ta en bild som visar ena fönstret samt en del av rummet, nämligen det högra fönstret sett inifrån samt främre delen av sidoväggen och taket. Utsikten genom fönstret bestod av buskar, gräs och träd samt en väg som böjer åt vänster. Horisontlinjen som begränsas av grön vegetation syns genom persiennerna i Figur 4.2.

Figur 4.2 Bild av rummet tagen med luminanskameran.

Som experimentledare upplevde jag att det under sommarmätningarna ofta var mycket ljust i testrummet. Detta berodde på att styrningen gjordes med hänsyn till att undvika direkt solinstrålning i rummet. Eftersom solen står högt sommartid, ställs lamellerna då i ganska öppet läge. Detta medger en bra utsikt genom lamellerna, men samtidigt blir fönsterplanet också mycket ljust och upplevdes ofta bländande. Som exempel på detta visas nedan en serie bilder från den 19:e juni tagna mellan kl 14:01 och 14:18 med varierande lamellvinklar. Dagen bjöd på stabilt soligt väder men det var samtidigt ganska disigt. Belysningsstyrkan ute (horisontellt) varierade lite grann, mellan 77 – 81 kLux under tiden dessa bilder togs. Detta är dock så lite att det inte bedöms påverka bedömningen av de enskilda bilderna. Den vertikala belysningsstyrkan på fasaden uppskattas till omkring 53 kLux.

Luminansbilden när persiennen drogs upp visas i Figur 4.3. Kulörerna i bilden varierar mellan grönt, vitt och rött. Rött symboliserar mätområdesgränsen 3100 cd/m², och alla vita områden ligger således

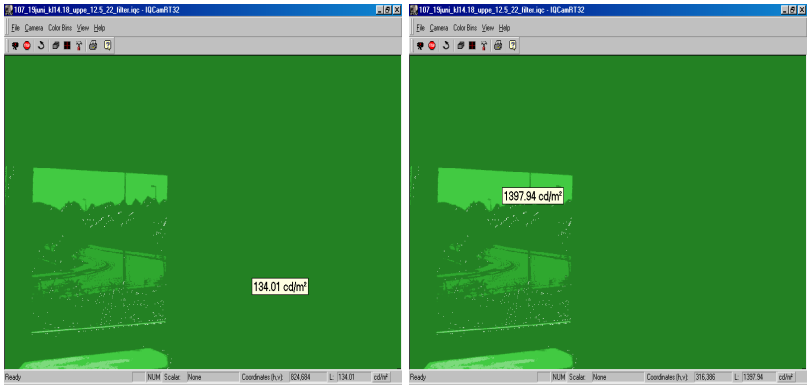
ovanför kamerans mätområde. I en punkt på väggen, ungefär mitt i det ljusgröna området, var luminansen 1200 cd/m². Himlen är dock vit, dvs över 3100 cd/m².



Figur 4.3 *Luminansbild 19 juni med persiennen helt uppdragen. Färgskalan visas till höger.*

Genom att sätta ett filter med ca 12% transmittans på kameran kunde himlens luminans uppskattas till som mest ca 12 000 cd/m², Figur 4.4. Vegetationen går mestadels i toner av grönt, och hade en luminans som varierade mellan ca 500 – 2000 cd/m². Det vita området mitt i fönstret i Figur 4.3 är vägbanan, vars ljusa blekta asfalt reflekterar mer ljus än vegetationen, och dess luminans är ca 5000 cd/m².

I Figur 4.5 visas en serie bilder där persiennen är nere men ställd i olika vinklar. Första bilden (längst upp till vänster) visar när persiennen är ställd ganska öppen (ca 14 graders lutning på lamellerna nertill). Luminansen i den valda punkten på väggen blir då 850 cd/m², vilket motsvarar en ljustransmittans hos persiennsystemet på ca 70 %. Himlens luminans blev som mest ca 10.000 cd/m² (medelvärde med 1 graders synvinkel). I nästa bild (överst t h) stängdes persiennen med 20 grader, dvs till omkring 34 grader på persiennens undre del. Väggluminansen minskar till nu ca 760 cd/m² och himmelsluminansen blir som mest ca 6500 cd/m² för ett mätområde på en graders synvinkel, och upp till ca 8500 cd/m² för en enskild pixel i bilden, mellan två lameller.



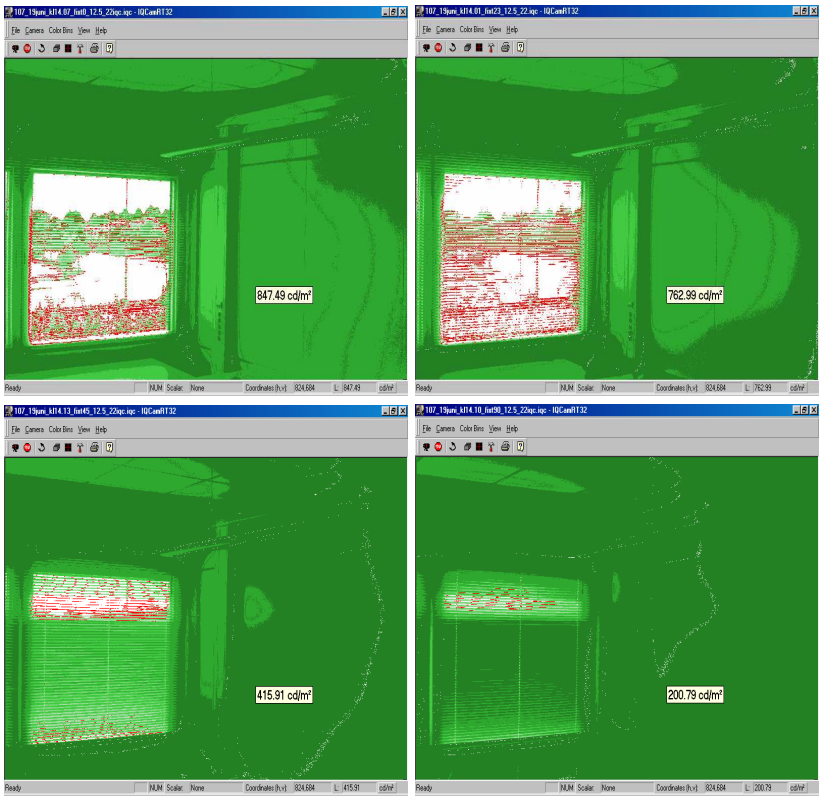
Figur 4.4 *Luminansbild 19 juni tagen med filter T12%, grundinställning av persiennen enligt styrsystemet (33 grader nertill).*

I tredje bilden i Figur 4.5 visas effekten av att stänga persiennerna ännu mer, till ca 65°. Då erhålls 420 cd/m² i den valda väggpunkten och ca 3400 cd/m² på himlen sedd genom fönstret (nederst t v). Genom att stänga persiennerna helt minskar väggpunktens luminans till 200 cd/m², och himlens luminans till ca 900 cd/m² (nederst t h). Den helt stängda ljuslänkande persiennen har således en förmåga att minska luminansen på väggen med en faktor 6 medan himlens luminans minskar drygt 13 gånger från kamerans position sett! Detta motsvarar en ljustransmittans hos hela systemet på maximalt 20 %.

Bildserien visar tydligt att alltför öppna persienner ger tämligen fri sikt mot ute, men att fönsterplanet är mycket ljust och därmed utgör en klar bländningsrisk. Att persiennen har en öppnare ljuslänkande del upptill syns tydligt i de två undre bilderna. I den vänstra av dessa varierar luminansen mot himlen beroende på om man tittar på en lamell eller mellan dem. Trots att persiennen är relativt stängd finns fortfarande områden som har hög luminans, över 3100 cd/m². Risken för bländning är avsevärt mindre än i de första två bilderna men en liten risk kan eventuellt finnas kvar om denna del hamnar inom arbetstagarens omgivande synfält.

Under brytpunkten begränsar den nästan horisontella persiennen bara måttligt luminansen på vägbanan och på vegetationen. Då persiennen ställs i omkring 30° vinkel kan utsikten fortfarande skönjas. Fönsterytan blir något mörkare, men det finns fortfarande mycket röda och vita områden där luminansen alltså är 3100 cd/m² eller högre. För bländningskänsliga personer finns en påtaglig blädningsrisk. Då persiennen stängts till 65° har all möjlighet till utsikt försvunnit. Lamellerna skuggar varandra och persiennen blir avsevärt mörkare, mellan 1200 cd/m² och 1800 cd/m² nertill. Detta bör räcka för av man inte ska bli bländad av den. Den helt stängda persiennen blir mycket mörk, mellan

ca 300 cd/m² upptill och ca 1000 cd/m² nertill, vilket även gör att den släpper in ännu mindre ljus i rummet och gör det onödigt mörkt inne.



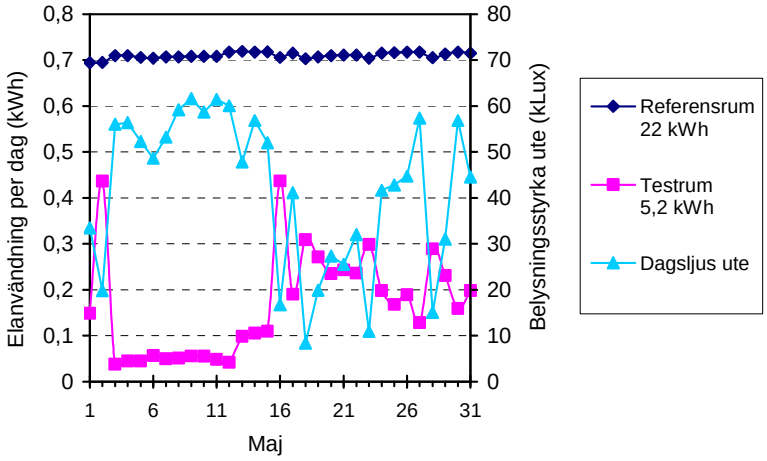
Figur 4.5 *Luminansbilder från 19 juni, överst till vänster med persiennen ungefär horisontellt ställd (ca 14°), överst t h ställd i ca 34° lutning, underst t v relativt stängd (65°) och till höger helt stängd (75-80°).*

4.2 Uppmätt elanvändning, belysningsstyrka och inneklimat

4.2.1 Elanvändning och belysning i maj/juni

Den dagliga ackumulerade elanvändningen för belysningen under sommarperioden maj/juni uppmättes och jämfördes med den genomsnittliga utvändiga globala belysningsstyrkan på taket, se Figur 4.6. I referensrummet var persiennen nere (vinkel 34 grader) och belysningen konstant och tänd hela dagen (kl 8-17), varför elanvändningen är lika

varje dag, ca 0,7 kWh/dag. I testrummet reglerades persiennens läge efter solhöjd och intensitet och armaturen reglerade i sin tur på den resulterande ljusmängden i testrummet. Detta gav tillsammans en betydligt lägre elanvändning samtliga dagar, och under riktigt ljusa dagar reglerade den ner kraftigt och var släckt under en stor del av dagen. Styrningen baserades under denna period på den takmonterade sensorn.



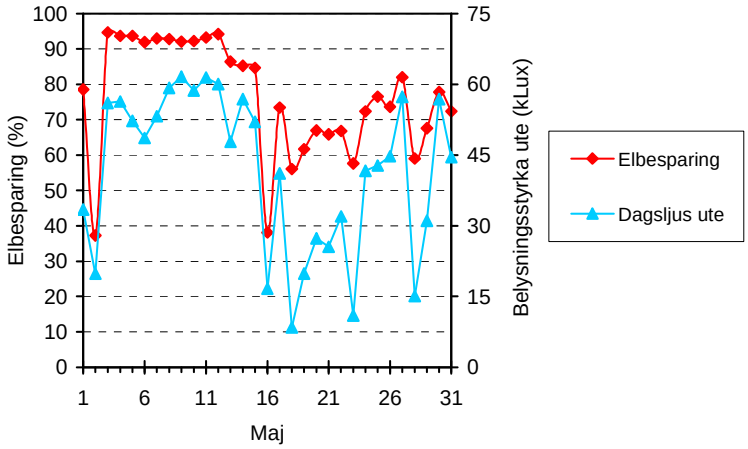
Figur 4.6 *Daglig elanvändning i maj för testrum resp referensrum samt genomsnittlig utvändig belysningsstyrka (globalt på horisontalen).*

I Figur 4.7 visas besparingen jämfört med den oreglerade belysningen och fasta persiennen. Totalt sett var besparingen 77 % under maj månad. Som synes är det ett starkt samband mellan besparingen och belysningsstyrkan ute.

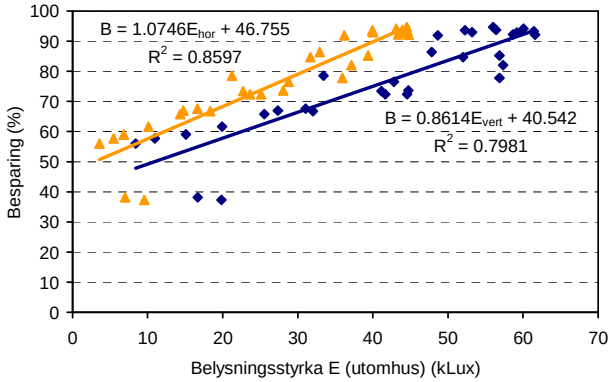
Eftersom belysningsstyrkan mättes globalt på taket, var det dessa värden som först utnyttjades vid utvärderingen. Systemet reagerade dock på en vertikalt monterad ljusgivare som dock inte loggades på ett tillfredsställande sätt. För att uppskatta den vertikala belysningsstyrka utnyttjades istället en till klimatstationen hörande vertikal solarimeter (placerad på söderfasaden över rummen) på följande sätt: Från de horisontella ljus- resp solgivarna på taket räknas ljusutbytet ut (luminous efficacy på engelska). Ljusutbytet är ett mått på hur många lux per Watt som solstrålningen ger och beräknades ur kvoten mellan belysningsstyrkan och globalstrålningen, enheten blir lm/W. Ljusutbytet varierar något med vädertypen och solhöjden, men ligger ändå relativt konstant, mellan 86 och 113 lm/W för de olika dagarna i maj (dagsmedelvärden, kl 8-17), och för alla dagar i maj var medelvärdet 95 lm/W. Den verti-

kala belysningsstyrkan kunde sedan beräknas som produkten mellan ljusutbytet och den vertikalt mätta solstrålningen.

El-besparingen plottad mot den mätta belysningsstyrkan på horisontalen och den enligt ovan uppskattade mot vertikalen visas i Figur 4.8. Bägge ”givarna” ger hyfsat bra passning, men besparingen går inte mot noll då belysningsstyrkan ute går mot noll, vilket den rimligen borde göra. Observera att värdena är medelvärden under dagen (8-17) och de snabba förlopp som dagsljuset har är inte med.

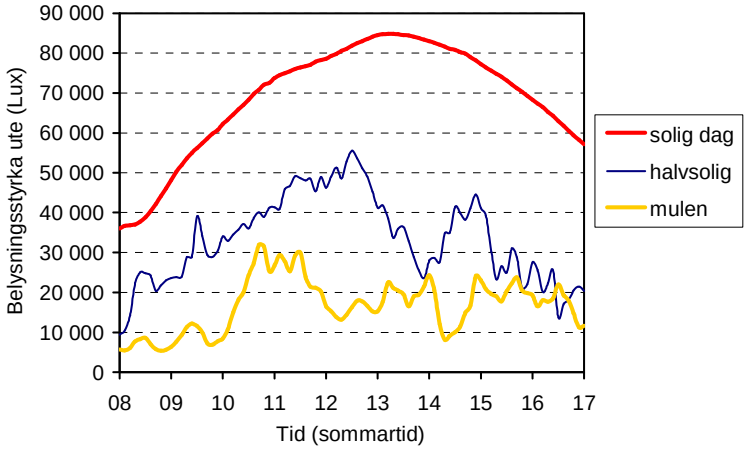


Figur 4.7 *Daglig el-besparing i maj för testrum jämfört med referensrum samt genomsnittlig utvändig belysningsstyrka (globalt).*

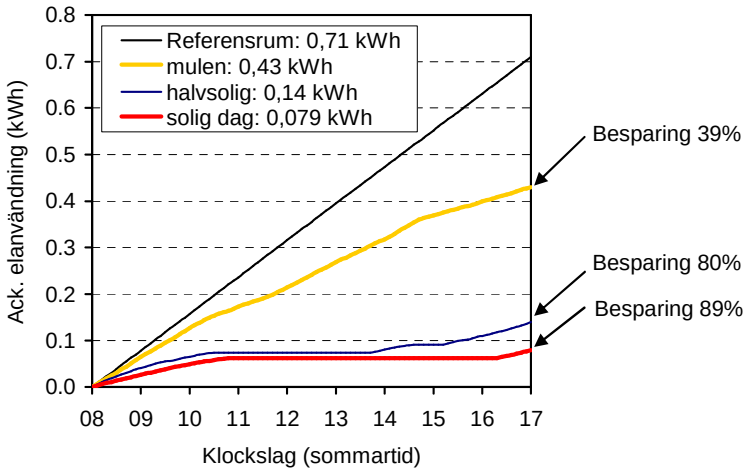


Figur 4.8 *Daglig el-besparing för belysning (procent) i maj för testrum jämfört med referensrum som funktion av utvändig belysningsstyrka (kLux) mätt horisontellt (blå punkter) eller uppskattat vertikalt mot fasad (orange punkter). Regressionslinjer visas också.*

Mätningar av belysningsstyrkan ute och elanvändningen för tre utvalda dagar redovisas i Figur 4.9-10. Här ses en finess hos armaturen: den släcks helt efter en viss tid av full nedreglering. Detta är bra eftersom armaturen fortfarande drar ca 20 W eller 25% av full effekt även då den är fullt nerdimmad (vid ca 10 % ljus) pga ballastförluster och sämre ljusutbyte hos lysrören.



Figur 4.9 *Belysningsstyrka (Lux) utomhus (horisontellt) för tre utvalda dagar. En klar och solig dag (11 juni), en mulen men ljus (halvsolig) dag 1 maj, och en mulen och relativt mörk dag (16 maj).*



Figur 4.10 *Ackumulerad elanvändning samt den totala besparingen under dagen för en solig dag, en halvsolig dag och en mörk mulen dag i maj och juni jämfört med konstant belysning i referensrum.*

En närmare titt på belysningen i två utvalda punkter i rummet för dessa tre dagar visas i Figur 4.11-12. Dels visas belysningsstyrkan i rummets mittpunkt (mätpunkt B2), dels mitt i främre takhalvan (mätpunkt T1). Den enligt ovan uppskattade belysningsstyrkan på fasad redovisas också. För att kunna relatera dessa mätningar av total belysningsstyrka (dagsljus + konstljus) visas som jämförelse belysningsstyrkan från armaturerna själva vid fullt ljusflöde utförda under nattmätningar i april, se Tabell 4.1. Här visas att tillskottet av elljus i punkt B2 är ca 400 lux i referensrummet och ca 470 lux i testrummet. I T1 i taket var belysningsstyrkan ca 180 lux i referensrummet och 220 lux i testrummet. Den skillnad som verkar finnas mellan de två armaturerna kan bero på att justeringen av ljusregleringen inte varit perfekt. Andra felkällor (förutom ev kalibreringsfel av ljusgivarna) är montaget av ljusmätarna (placering i sidled, ev snedställning) samt att armaturerna var dåligt balanserade, vilket var svårt att helt avhjälpa.

Tabell 4.1 *Uppmätt belysningsstyrka från armaturerna vid fullt ljusflöde enligt nattmätningar i april. Mätonoggrannhet ca +15/-5 lux.*

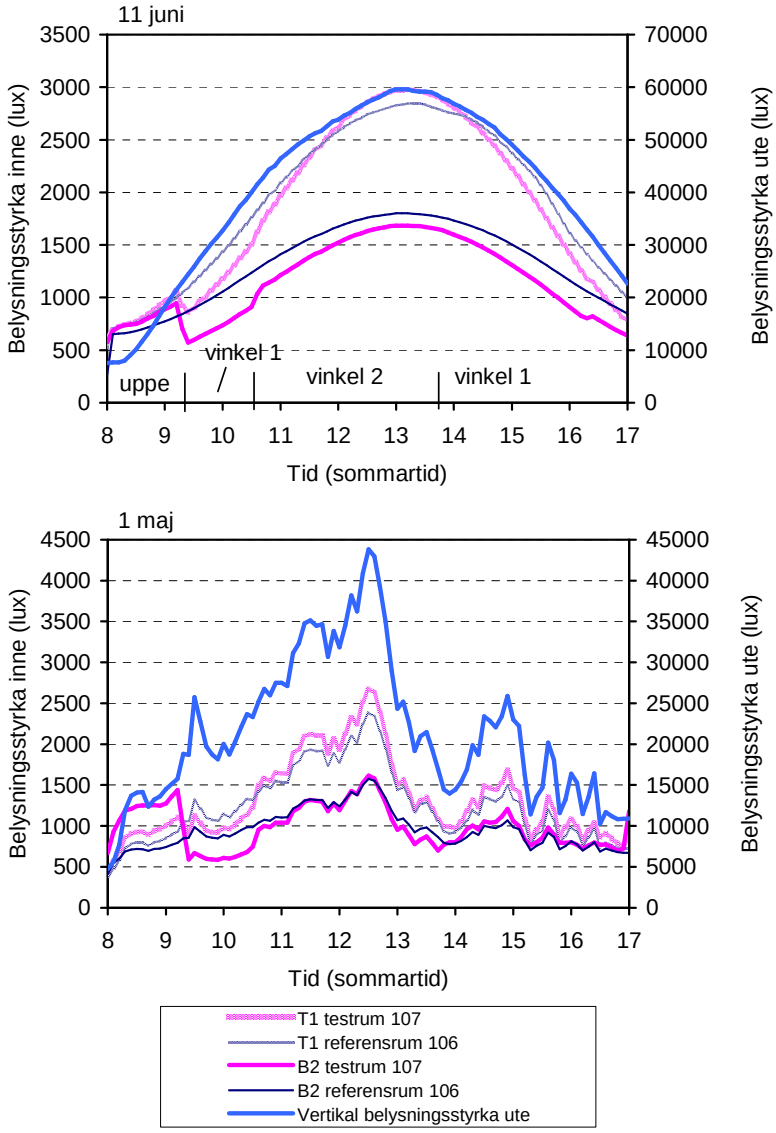
Mätpunkt	Testrum 107	Referensrum 106
B1	314	317
B2	468	405
B3	224	201
T1	220	177
T2	154	134

Den soliga dagen den 11 juni händer något strax efter kl 9; persiennen i testrummet går ner, se Figur 4.11. Belysningsstyrkan i B2 sjunker då med drygt 400 lux och i T1 med ca 200 lux. Belysningen har inget med detta att göra, den tändes kl 8 men dimmade ner direkt och använde bara 25 W fram till 10:45 då den släcktes helt. Detta innebär att ljusflödet var ca 18 % av fullt flöde. Kl 16:25 tändes den igen, men var igen fullt nerdimmad fram till att den släcktes strax efter kl 17. I referensrummet lyste belysningen fullt med effekten 78-79 W.

Vid ca kl 10:30 är det en knyck på kurvan för B2 i testrummet. Detta förklaras av att persiennen då öppnas med 13 grader. Kl 13:45 var persiennen programmerad att återgå till den vinkel den hade på morgonen, men detta är svårare att se i diagrammet. Den lilla knycken kl 16:25 är då belysningen tänds.

Den halvsoliga dagen den 1 maj går det också att se att persiennen går ner vid 9-tiden (Kl 9:16 enligt logg-filen). Mellan kl 13:45 och 16:55 ligger persiennen och pendlar mellan att ha sitt bör-värde och att vinkla om till horisontella lameller (dvs i vänteläge för att gå upp). På

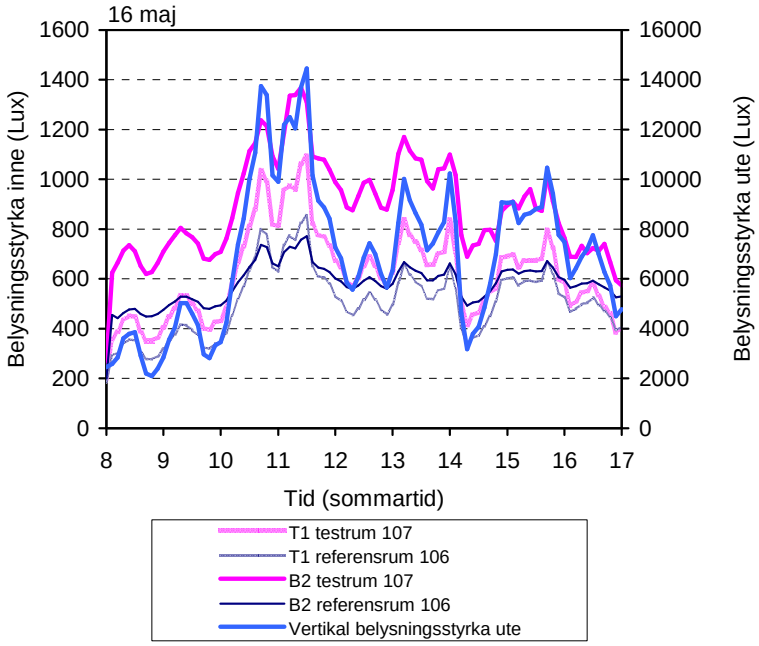
grund av växlande ljusstyrka går den dock inte upp förrän 16:55, vilket ses som ett kraftigt hopp uppåt i kurvan. Belysningen dimmar ner på morgonen, nästan lika kraftigt som den 11 juni och är sedan släckt under två perioder på dagen, Figur 4.11.



Figur 4.11 *Belysningsstyrka inne mitt i rummet (punkt B2) och i främre delen av taket (punkt T1) för testrum och referensrum. Uppskattad belysningsstyrka på fasad framgår också. Överst: Solig dag den 11 juni, Nederst: Halvsolig dag 1 maj.*

Den mulna dagen den 16 maj visas i Figur 4.12. Belysningsstyrkan ute är avsevärt lägre denna dag. Av kurvorna att döma verkar persiennen ha varit uppe eller ganska öppen denna dag. Belysningen verkar ha lyst ganska väl i relation till de varierande ljusstyrkorna utomhus.

Det kan vara intressant att betona att belysningsstyrkorna inomhus är avsevärt högre med dagsljus samtliga studerade dagar än vad det är på natten med enbart elbelysning. I taket ger armaturen bara 150-200 lux, medan det varierar mellan 300-3000 lux med dagsljus för de tre visade dagarna. I rummets mittpunkt ger belysningen 400-500 lux, medan det med dagsljus kan vara 1000 lux eller mer. Samtliga mätta värden för belysningsstyrkorna i maj finns redovisade i Appendix 1.

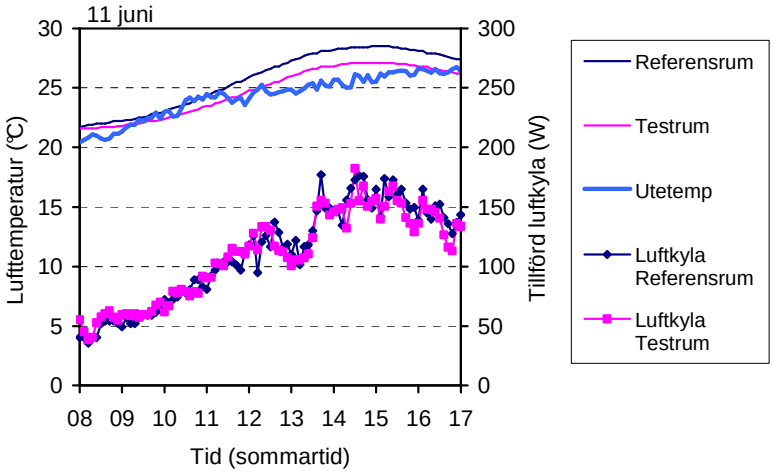


Figur 4.12 *Belysningsstyrka inne mitt i rummet (punkt B2) och i främre delen av taket (punkt T1) för testrum och referensrum. Uppskattad belysningsstyrka på fasad framgår också. Mulen dag den 16 maj.*

4.2.2 Resulterande inneklimat en solig dag i juni

Temperaturen i de två rummen under den soliga dagen den 11 juni visas i Figur 4.13. När mätningarna börjar på morgonen är temperatu-

ren i rummen i stort sett lika. Tillufttemperaturen låg nattetid i genomsnitt på 18,9 grader men steg mitt på dagen till i medeltal 20,1 grader. Detta berodde på ett driftproblem med kylanläggningen. Tilluftflödet var i snitt 20 l/s. Den tillförda luftkylan beräknas ur produkten mellan luftflödet och temperaturdifferensen mellan från- och tilluften, samt luftens densitet och specifika värme. Kurvorna visar att den på så sätt tillförda kylan stiger lite under dagen, vilket beror av stigande tilluftstemperatur, men att den är lika för båda rummen. På grund av den kraftiga solinstrålningen denna dag (se Figur 4.9) ökar temperaturen under dagen. Temperaturen blir något högre i referensrummet än i testrummet. Skillnaden i rumstemperatur är som störst på eftermiddagen och uppgår då till ca 1,4 grader. Under denna mätning var persiennen mer stängd i referensrummet än i testrummet, vilket ger lägre solinfall i referensrummet. Belysningen i referensrummet var däremot tänd mellan kl 8.00 och 17.00 med en konstant avgiven effekt på 78-79 W. I testrummet var den kraftigt nedreglerad fram till kl 10:50 och efter kl 16:20, däremellan helt släckt (se Figur 4.10). Den högre temperaturen i referensrummet tillskrivs därför belysningen som avger betydligt mer värme i referensrummet.

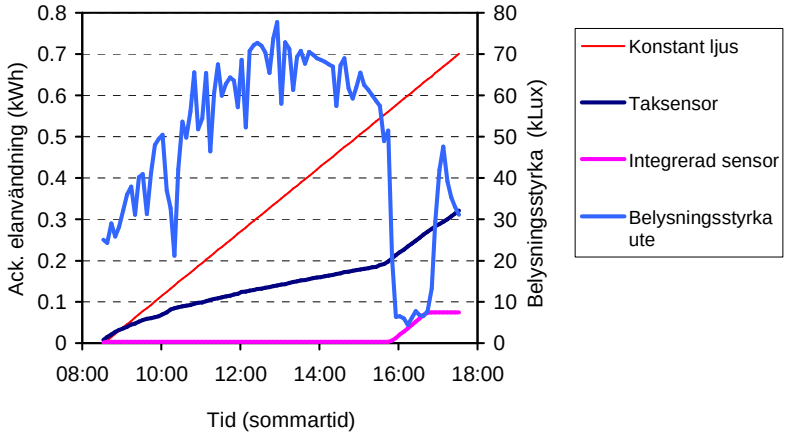


Figur 4.13 *Uppmätt utetemperatur och innetemperatur i referens- och testrum för en solig sommardag (11 juni). Tillförd luftkyla (höger axel).*

4.2.3 Effekt av sensorplacering

Placeringen av ljussensorn kommer naturligtvis att ha stor betydelse för besparingspotentialen för belysningselen. En sensor som mäter långt in i rummet kommer t ex att motta mindre dagsljus än en sensor nära fönstret. Sensorns placering måste naturligtvis anpassas till arbetsplatsen och ytan som armaturen ska belysa. Under en kortare period i augusti/sept gjordes en enkel jämförelse av en sensor riktad rakt ner mot bordet som satt integrerad i armaturens ände (den närmast fönstret) och en sensor placerad i tak riktad snett ner mot fönstret. Idén med den takmonterade sensor var att den skulle kunna uppfatta när persiennen är starkt belyst och då dimma ner lampan. Jämförelserna nedan utfördes dels med uppdragna persienner, dels med fasta persienner i samma läge utan reglering i något rum. El-besparingen är beräknad i jämförelse med vad en konstant fullt tänd belysning hade använt. Analysen har inte omfattat vilken belysningsstyrka som armaturen gav, eftersom dagsljuset självt ofta gav betydligt mer än 500 lux och det var den totala belysningsstyrkan (dagsljus+konstljus) som mättes.

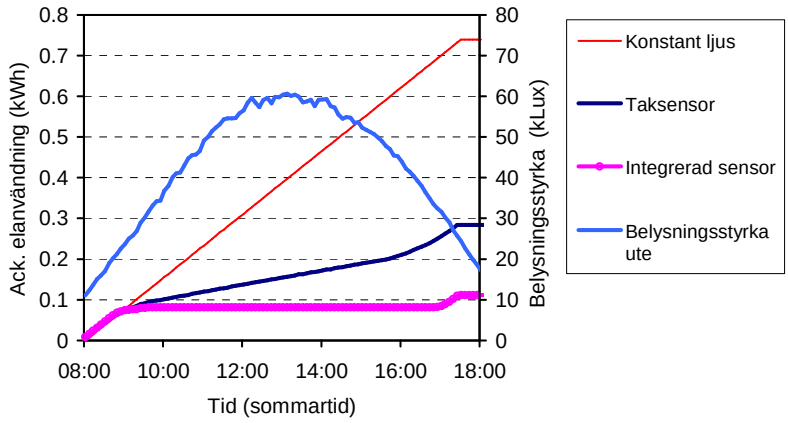
El-besparingen mellan kl 8:30-17 under en relativt solig dag (28/8) med uppdragna persienner var 62 % med takmonterad sensor och 89 % med integrerad sensor. Belysningsstyrkan ute var i medeltal 49 kLux, se Figur 4.14.



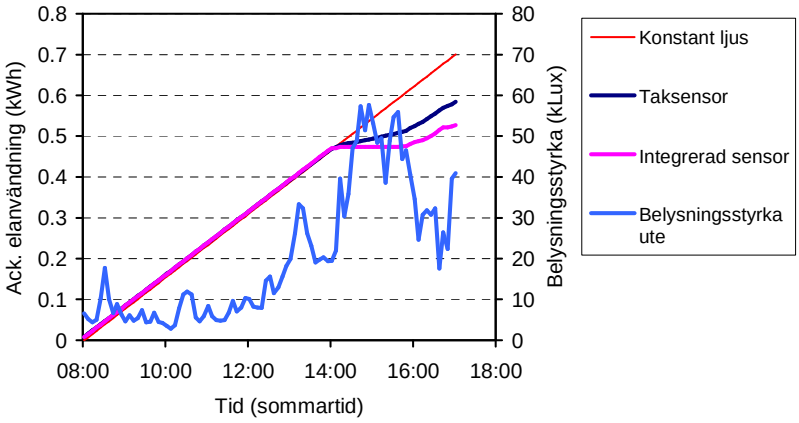
Figur 4.14 El-besparing en solig dag (28/8) utan persienner kl 8:30-17.

En annan solig dag (11/9) var persiennerna ställda med ca 40 graders lamellvinkel. El-besparingen mellan 8-17 uppgick då till 64 % med takmonterad sensor och till 88 % med integrerad sensor. Ute var belysningsstyrkan i medeltal 45 kLux. Figur 4.15.

En dag (7/9) som började ganska mörk och mulen men som blev ljusare på eftermiddagen visas också, se Figur 4.16. Också här är persiennerna nere och ställda med 40 graders lutning. Här lyste båda armaturerna fullt ända till ca kl 14. När belysningsstyrkan ute nått ca 30 kLux började båda armaturerna reglera och besparingen blev för hela dagen (8-17) ca 17% för den takmonterade sensorn och 25 % för den integrerade.



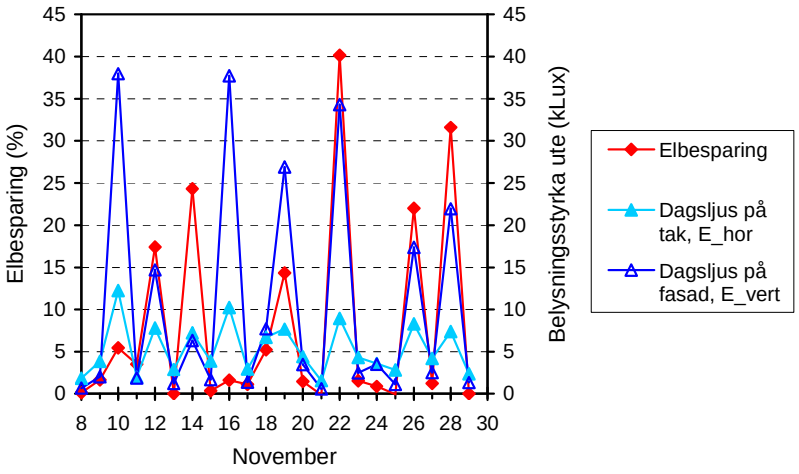
Figur 4.15 *El-besparing en solig dag (11/9) med persienner i 40°. Lamporna släcktes kl 17:30.*



Figur 4.16 *El-besparing en dag med mulen inledning och sedan växlande väder (7/9) med persienner i 40°.*

4.2.4 Elanvändning och belysning i november

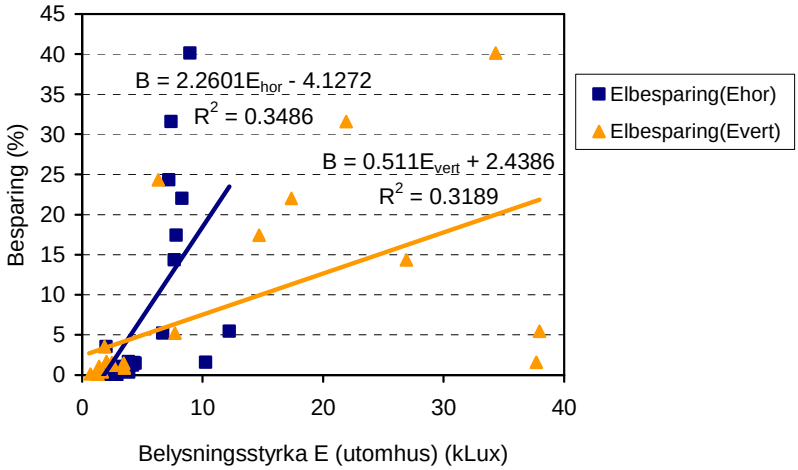
Mätningar av elanvändningen till belysning utfördes även för del av november månad, här visas perioden 8-30 november. Denna präglades av många mulna dagar med låg belysningsstyrka. Besparingen av el till belysning blev därför bara måttliga 5 %. Armaturen i testrummet styrdes under denna period av den integrerade sensorn, inte av den takmonterade, vilket således inte borde vara någon underskattning av elbesparingen (jämför kapitel 4.2.3 ovan). I Figur 4.17 visas besparingen dag för dag samtidigt med den genomsnittliga belysningsstyrkan ute. Både den uppmätta belysningsstyrkan horisontellt på tak, och den uppskattade vertikala mot fasad visas. Här syns tydligt att när solen lyser i november är belysningsstyrkan avsevärt högre mot det vertikala fönstret än mot horisontalen, vilket beror av den låga solhöjden. (Solhöjden kl 12 sjunker från 18 grader den 8 november till 12 grader den 30 november).



Figur 4.17 *Daglig el-besparing i nov för testrum jämfört med referensrum samt genomsnittlig utvändig belysningsstyrka (globalt).*

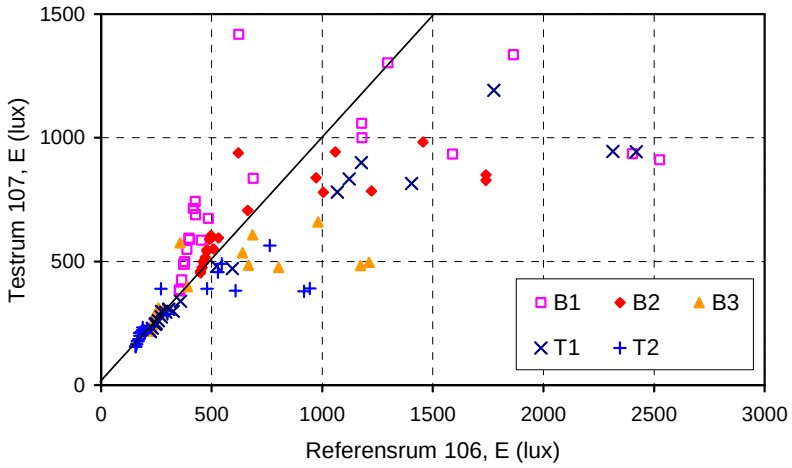
Korrelationen mellan besparingen (i procent) och belysningsstyrkan ute visas i Figur 4.18. Belysningsstyrkan vertikalt är framräknad på samma sätt som redovisas i avsnitt 4.3. Ljusutbytet varierade mellan 91 och 115 lm/W, i medeltal 103 lm/W (medelvärde för dygnets ljusa timmar, dvs ca kl 8:00-15:30). Relationen mellan besparingen och belysningsstyrkan är inte alls lika god som i maj månad. Resultaten ovan visar på ett ganska intrikat samband mellan persiennen som reglerar och elbesparingen. Armaturen styrs ju enbart av det dagsljus som bordet

mottar och följer så att säga efter persiennen. Detta förklarar sannolikt den svagare korrelationen jämfört med mätningarna i maj.



Figur 4.18 *Daglig el-besparing i november för testrum jämfört med referensrum som funktion av utvändig belysningsstyrka mätt horisontellt (blå punkter) eller vertikalt uppskattat mot fasad (orange punkter). Regressionslinjer visas också.*

De belysningsstyrkor som rådde inomhus under mätningarna i november visas i Appendix 2. I Figur 4.19 visas korrelationen mellan belysningsstyrkorna i de fem parvis lika placerade mätpunkterna. Värdena för referensrummet visas på x-axeln och för motsvarande punkt i testrummet på y-axeln. Vissa dagar är nivån i de två rummen lika, då ligger punkterna på linjen. Under totalt sett sju dagar är det i genomsnitt mörkare i testrummet, detta gäller de punkter som ligger under linjen. Under andra dagar är det ljusare i testrummet (punkterna ovan linjen). Att det varierar så här beror på samspelet mellan den reglerande persiennen och den reglerande armaturen. Även om bilden kan vara lite svårtolkad kan man ändå se att under knappt hälften av dagarna i den studerade perioden har man betydligt mer belysning inomhus, trots att man är i november, än vad man hade haft med enbart elbelysning. Under andra dagar är tillskottet litet, vilket beror på att det nu är mycket mörkt utomhus. När det är helt mörkt ute varierar belysningsstyrkorna i de 10 mätpunkterna i rummet mellan 135 och 440 lux, se Tabell 4.2. Under dagtid kan de uppmätta belysningsstyrkorna således maximalt innehålla motsvarande tillskott från elbelysningen, resten kommer från dagsljuset.



Figur 4.19 *Uppmätt belysningsstyrka (lux) i referensrum jämfört med motsvarande punkt i testrum för 3 bordsplacerade givare (B1-B3) och två takmonterade (T1-T2). Medelvärden mellan kl 8-17.*

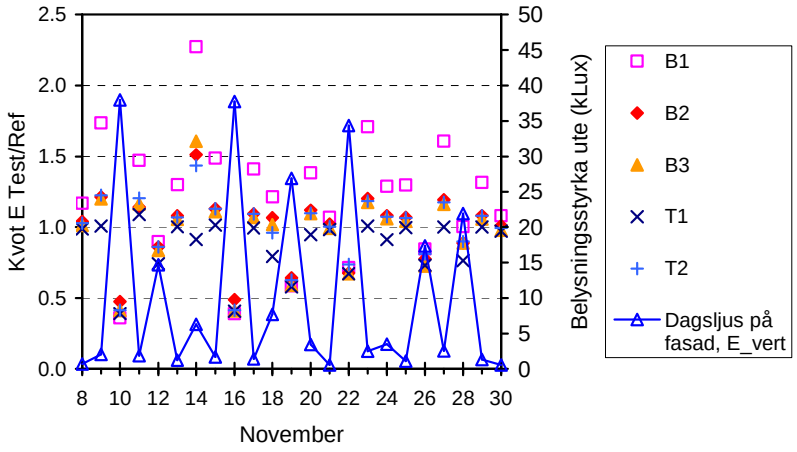
Tabell 4.2 *Uppmätt belysningsstyrka från armaturerna vid fullt ljusflöde enligt nattmätningar i november. Mätonoggrannhet ca +15/-5 lux.*

Mätpunkt	Testrum 107	Referensrum 106
B1	277	335
B2	417	437
B3	195	213
T1	190	198
T2	135	148

Figur 4.20 visar kvoten mellan de uppmätta belysningsstyrkorna som visades i Figur 4.18 i de 5 parvis lika punkterna B1-B3 resp T1 och T2. Dagsljuset ute visas också. Här kan man åter se att den 10, 16, 19 och 22 november var soliga. Även den 12, 26 och 28 november förekom en del sol. Under alla dessa dagar utom den 28/11 är belysningsstyrkan i testrummet något till avsevärt lägre än i mätrummet 106. Särskilt de riktigt soliga dagarna den 10 och 16 november är avvikelsen tydlig. Detta måste betyda att persiennen har gått ner och varit tämligen stängd. Detta förklarar därmed varför el-besparingen uteblir dessa två dagar. Vid de tillfällen då persiennen i testrummet går ner, intar den ett mycket stängt läge, medan den fasta persiennen i 106 är betydligt öpp-

nare. Detta förklarar varför belysningsstyrkan ibland är så mycket lägre i testrummet.

Den 14:e avviker något från mönstret fast åt andra hållet genom att ha en oväntat hög el-besparing trots relativt lite dagsljus ute, jfr Figur 4.17. Om man studerar belysningen inne är det tydligt att belysningsstyrkan i B1 och B2 är som högst denna dag. Under dagen förekom något lite direktstrålning och diffusstrålningen var relativt hög, men troligen gick persiennen ändå inte ner, och därmed kunde armaturen dimma ner.



Figur 4.20 *Uppmätt belysningsstyrka (lux) i testrum resp referensrum för mätpunkter B1-B3 i bordshöjd och T1-T2 i tak.*

4.2.5 Uppskattning av årlig el-besparing

Genom mätningarna i maj och november gjordes en ungefärlig uppskattning av vilken el-besparing som kan förväntas på årsbasis. Denna uppskattning gjordes genom att utnyttja regressionslinjerna i Figur 4.8 och 4.20 och applicera dessa ekvationer på en klimatfil för ett normalår. Ekvationen för maj användes för sommarhalvåret (21/3-21/9) medan novemberekvationen användes vinterhalvåret. En syntetiskt genererad klimatfil från programmet Meteonorm för Lund med timvärden för den globala solinstrålningen utnyttjades. Ljusutbytet sattes till 95 lm/W för sommarhalvåret och till 103 lm/W för vinterhalvåret. Allt dessa sammantaget gör att uppskattningen blir mycket grov. Den beräknade el-besparingen blev då ca 50 %, om man räknar på alla timmar mellan 8-17 (då belysningen antas vara tänd).

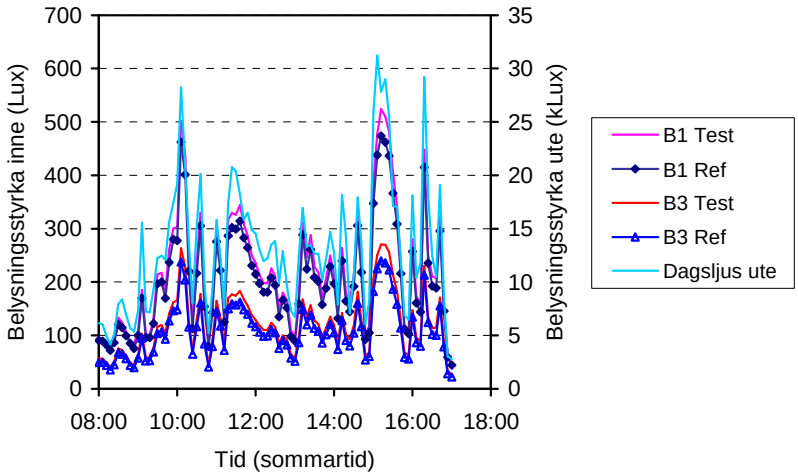
4.3 Effekt av ljuslänkande del hos persiennen

4.3.1 Mätningar utan elbelysning

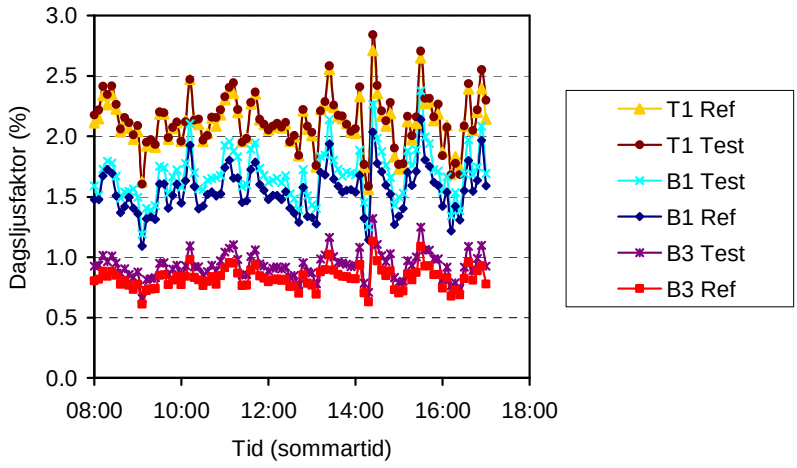
En jämförelse av persiennkonstruktionen med resp utan ljuslänkande del genomfördes under två veckor i juni/juli. Persiennerna var fasta (ingen reglering) och mätningarna genomfördes utan elbelysning. Persiennerna var då inställda enligt följande:

- Testrum: Lameller uppe 14°/nere 34°
- Referensrum: Lameller 34°

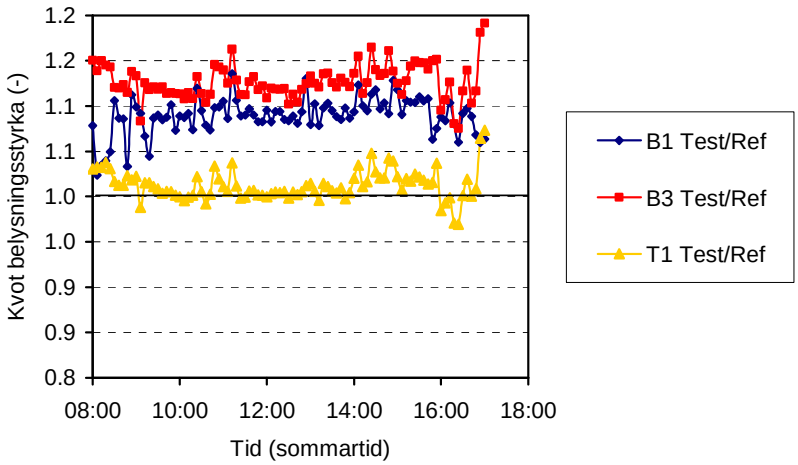
Först väljer vi att illustrera förhållandena under en mulen dag. Den 27 juni väljs ut som en perfekt jämnmulen dag. Detta verifierades genom att kvoten mellan globalstrålningen och diffusstrålningen var 1,0 hela dagen. Ute är det i genomsnitt 13 kLux under mätningarna på dagen. Belysningsstyrkan ute samt på bordssensorn närmast fönstret (B1) resp längst in i rummet (B3) i resp mät- och referensrum visas i Figur 4.21. Även om dagen är mulen, varierar belysningsstyrkan kraftigt under dagen, dvs en rätt så typisk situation. Belysningsstyrkan inne följer med belysningsstyrkan ute, och man kan se att skillnaden mellan de två rummen är relativt liten. Genom att dividera mätvärdena inne med belysningsstyrkan ute fås dagsljusfaktorn fram, denna visas i Figur 4.22. Här har även mätningarna med taksensorn T1 tagits med. Denna figur visar lite tydligare än den förra att det blir något ljusare i testrummet som är utrustad med den dagsljuslänkande persiennen. Skillnaden illustreras lite tydligare då kvoten mellan belysningsstyrkan mätt i de två rummen istället beräknas, se Figur 4.23. I bordshöjd ökar belysningsstyrkan i snitt med ca 10 % på sensorn närmast fönstret (B1) och 15 % på sensorn längst in (B3), medan taket är ungefär lika ljust i båda fallen. Skillnaden är dessutom relativt konstant hela dagen, vilket man kan förvänta sig vid mulet väder. Detta beror på att ljusfördelningen från himlen då inte beror av solen. Dagsljusfaktorn, dvs kvoten mellan belysningsstyrkan inne och ute är då relativt konstant hela dagen. Dessutom blir dagsljusfaktorn oberoende av orienteringen på rummet.



Figur 4.21 *Belysningsstyrka inne (lux) på bordssensor B1 och B3 i test- och referensrum resp belysningsstyrka utomhus (höger axel) i kLux. Mulen dag 27/6.*



Figur 4.22 *Dagsljusfaktorn på bordssensorerna B1 och B3 samt på taksensorn T1 i testrum respektive referensrum. Mulen dag 27/6.*



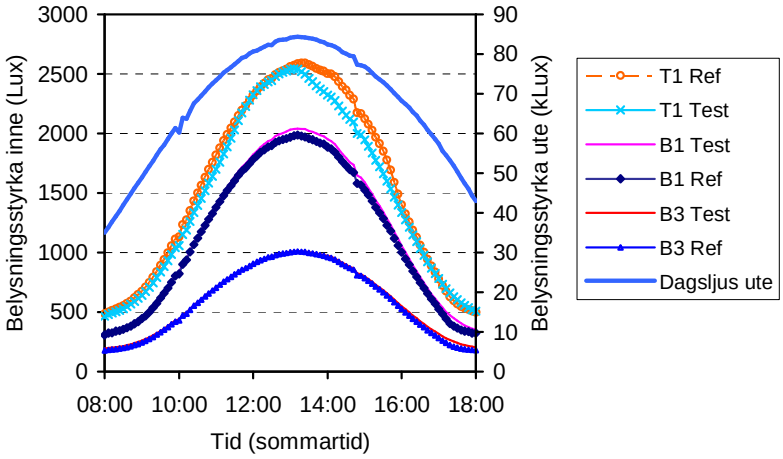
Figur 4.23 *Kvot mellan belysningsstyrka i testrum resp referensrum på bordssensor B1 och B3 samt på taksensor T1. Mulen dag 27/6.*

Mätningar från en klar solig dag illustreras i Figur 4.24. Belysningsstyrkan ute är här avsevärt högre, i medeltal 67 kLux för mätperioden 7-17 (vintertid). Här är skillnaderna mellan de två rummen ännu mindre, dock uppstår under eftermiddagen en viss skillnad i taket, som är svår att förklara. Här är dock trenden lite annorlunda jämfört med den mulna situationen: belysningsstyrkan ökar något i bordshöjd, men sjunker i tak. Enligt beräkning ska solen denna dag stå som högst kring kl 12.10 vintertid, och det stämmer med mätningarna som har sitt maximum precis då.

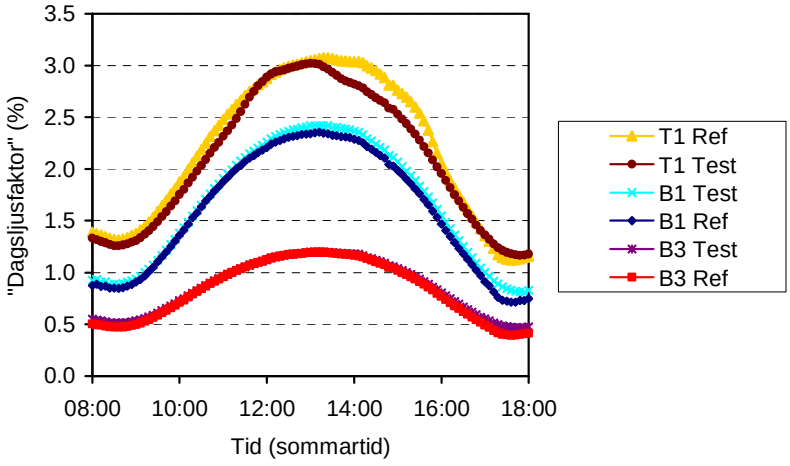
Att beräkna dagsljusfaktorn för en solig dag är något oegentligt, eftersom dagsljusfaktorn är definierad för mulet väder, men det har ändå gjorts, se Figur 4.25. Taksensorn i testrummet visar något förhöjda värden strax före kl 12 och därefter något lägre värden på eftermiddagen. Detta skulle kunna bero på ett mätfel, t ex att mätaren inte sitter helt horisontellt och påverkas olika av reflekterat ljus då solen står snett mot öster eller snett mot väster. Det är dock troligare att persiennen har reglerat och ändrat vinkel under denna period. Kurvan för T1 i Figur 4.25 är därför något svårtolkad.

I punkt B3 (längst in i rummet) visas tydligt att belysningsstyrkan ökar morgon och kväll (med upp till 10 %) med dagsljuslänkande persienner, medan det nästan inte är någon skillnad mellan rummen mitt på dagen. Se Figur 4.26. Det är också värt att notera att belysningsstyrkan i B3 tangerar 1000 lux mitt på dagen utan elbelysning trots att persiennen är ställd till 34 grader! Det är alltså dubbelt så mycket ljus i

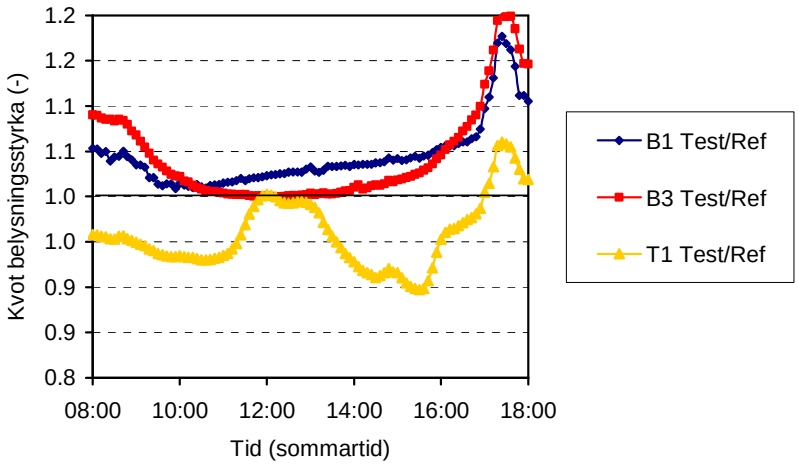
denna punkt som det man brukar projektera belysningen på arbetsytan för (500 lux) och nära fönstret (B1) är det 4 ggr mer ljus!



Figur 4.24 *Belysningsstyrka inne (lux) på taksensor T1 samt bordssensor B1 och B3 i test- och referensrum resp belysningsstyrka utomhus (höger axel) i kLux. Solig dag 2 juli.*



Figur 4.25 *Dagsljusfaktorn på bordssensorerna B1 och B3 samt på taksensorn T1 i testrum respektive referensrum. Solig dag 2 juli.*



Figur 4.26 *Kvot mellan belysningsstyrka i testrum resp referensrum på bordssensor B1 och B3 samt på taksensor T1. Solig dag 2 juli.*

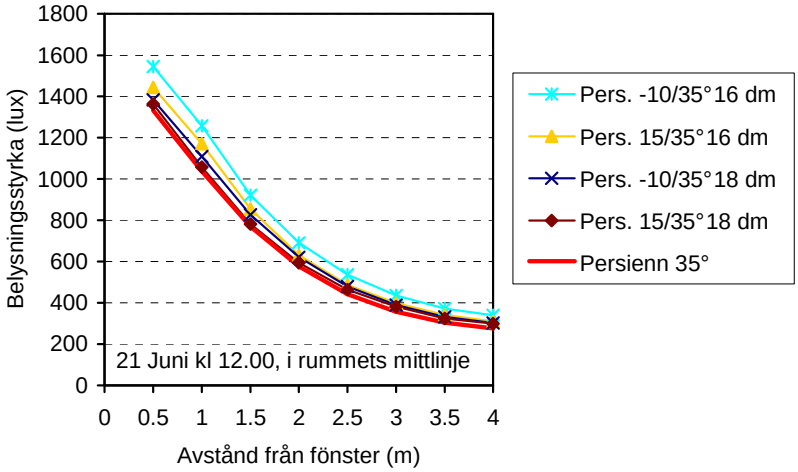
4.3.2 Simulering i typkontor utan elbelysning

Effekten av en ljuslänkande persienn undersöktes även genom ljussimuleringar i Radiance. I detta fall gjordes en modell av ett ganska typiskt kontorsrum med ett modulmått på 2,4 m, dvs lite smalare än rummen i labbet, men ungefär lika djupt och högt. Istället för fönsterband gjordes en modell av två fönster i fasad, med kopplad treglasruta (1+2) och mellanliggande persienn i yttersta spalten. Fönsterarean från utsidan sett (med tänkt våningshöjd 3,5 meter) motsvarar ca 30 %. Reflektansen hos rummets ytor var för tak 85 %, väggar 65 %; golv 35 % och möbler 50 %. Detta motsvarar rekommendationerna för energieffektiva kontor som NUTEK tagit fram (NUTEK, 1994). En bild från dörren mot fasaden visas i Figur 4.27.

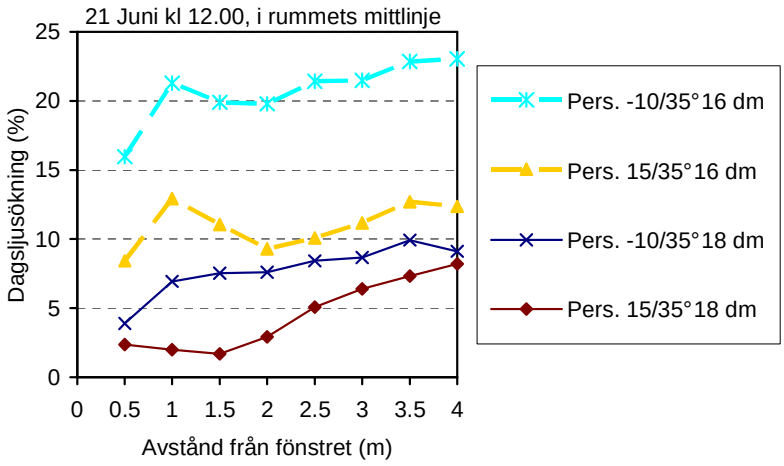
Figur 4.27 *Bild simulerad i Radiance för solhöjden i juni kl 12.00 sann soltid*

Belysningsstyrkan i rummets mittlinje för en solig timme i juni då solen står högt visas i Figur 4.28 för fyra ljuslänkande persiennvarianter och för vanlig persienn med samma vinkel längs hela höjden. (Både höjden på brytpunkten mellan övre och nedre del varierades liksom vinkelskillnaden mellan uppe och nere, se kapitel 3.5). Persiennerna har namngivits enligt principen ”aktuell lamellvinkel uppe/nere_brytpunktens höjd”. De ljuslänkande persiennerna släpper in mer dagsljus, men skillnaden är ändå liten i absoluta tal, och kan svårligen uppfattas av ögat.

Den procentuella skillnaden redovisas tydligare i Figur 4.29, där den relativa ökningen jämfört med den vanliga persiennen har beräknats. Denna figur visar att det är viktigare att sänka brytpunkten än att ha mer öppet i toppen av persiennen. Med en vinkelskillnad på 45 grader och brytpunkten placerad 1,6 meter över golv ökar belysningsstyrkan med drygt 20%, men med en vinkelskillnad på bara 20 grader och brytpunkten på 1,8 meter är ökningen bara ca 5 %. I praktiken är det för oss i Sverige också problematiskt att ha en så stor vinkelskillnad som 45 grader om man vill undvika att få in direktsol om vintern, eftersom rörelsefriheten hos den undre delen av persiennen begränsas då stegbanden kortas in. (På sydligare breddgrader har man inte samma problem med lågt stående sol, där kan 45 grader vara acceptabelt). Att sänka brytpunkten kan också vara vanskligt, eftersom en öppnare persienn blir ljusare och därmed mer bländande, och därför vill man ha upp denna öppnare del en bit ovanför det centrala synfältet.



Figur 4.28 *Belysningsstyrka (lux) på olika avstånd från fönstret för en vanlig persienn med 35 graders lamellvinkel och 4 varianter på dagsljus-länkande persienn. Beräknad med Radiance för solhöjden i juni kl 12.00 sann soltid.*



Figur 4.29 *Relativ ökning av belysningsstyrka (%) på olika avstånd från fönstret för 4 varianter på dagsljuslänkande persienn jämfört med en vanlig persienn med 35 graders lamellvinkel. Beräknad med Radiance för solhöjden i juni kl 12.00 sann soltid.*

4.4 Jämförelse av temperaturer mellan mätning och ParaSol-simulering

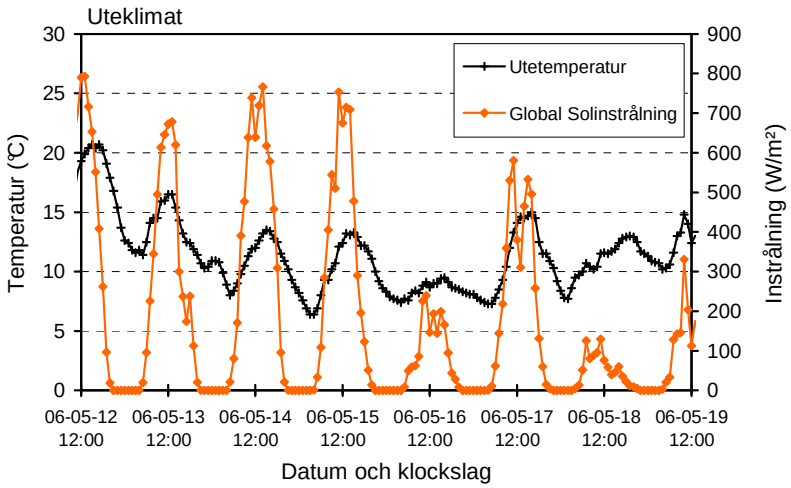
För att kunna genomföra en jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden på innetemperaturer och värmebehov skapades en geometrisk modell av laboratorierummen i programmet ParaSol v 3.0. ParaSol har dock begränsade möjligheter att variera vissa parametrar under och mellan enskilda dagar, såsom förändring av lamellvinklar och varierande internlaster pga variationer i armaturens nedreglering. För att jämförelsen ska bli rättvisande användes därför mätningarna från referensrummet där förhållandena är mer konstanta. En särskild klimatfil för maj och juni 06 skapades ur mätningarna av utetemperatur och solinstrålning. Internlasten sattes lika det uppmätta effektbehovet för armaturen (som var tänd dagligen mellan 8-17). Inblåsningstemperaturen och flödet sattes lika medelvärdet för de utvärderade perioderna (olika värden för dag resp natt). Då rummet har mycket lätta omslutande ytor i tak, yttervägg och innerväggar valdes lätta väggar i simuleringen. Värmetrögheten för bjälklaget (golv/tak) varierades dock mellan de tre alternativen lätt, mellan och tung eftersom det finns en pågjutning av 100 mm betong på rummets golv. Indata för ParaSol-simuleringen sammanfattas i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Indata för ParaSol-rummets geometri och solskydd.

Rumsmått (b x h x d)	2,7 x 3,1 x 4,1 m
Fönster	2 glas med le-skikt och argon
	(Utifrån räknat: 4 mm Optitherm SN – 16 Ar – 4 mm Optifloat)
Glasareal	2,7 m²
U-värde glasdel	1,21 W/m²K
g-värde glasdel	0,57
Karmarea	1,3 m²
Yttervägg	0,63 W/m²K, lätt
Innervägg	lätt
Golv och tak	3 alternativ: tung/mellan/lätt
Solskydd	Invändig vit persienn, lameller 34°, ingen reglering

4.4.1 Period i maj med värmebehov

Den första period som utvärderades var en period i maj (12-19/5) som inleddes med soligt väder och som sedan hade ett par molniga eller halvsoliga dagar, se Figur 4.30. De indata som användes för energibalansen i ParaSol återges i Tabell 4.4.

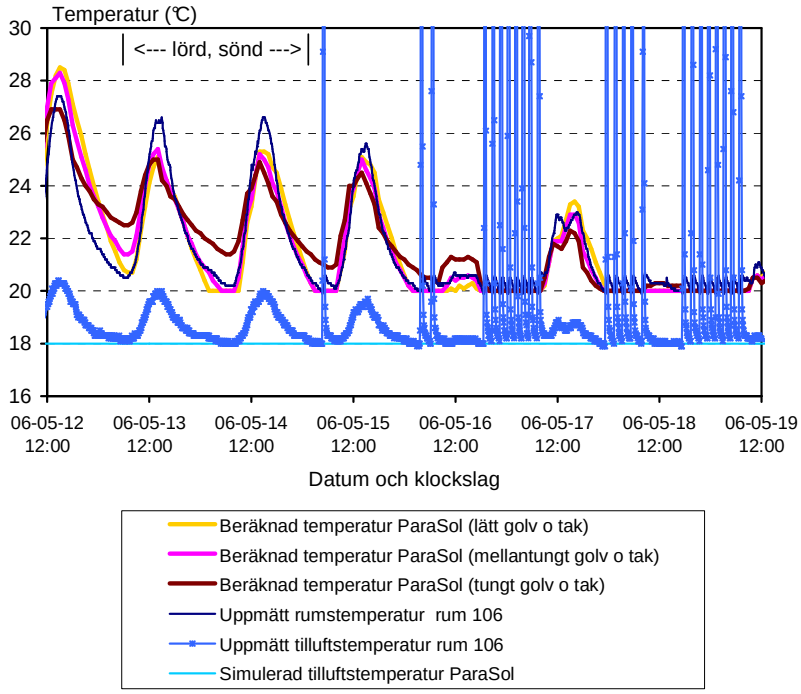


Figur 4.30 *Uppmätt uteklimat (lufttemperatur och global solinstrålning mot horisontell yta) för perioden 12-19 maj 2006.*

Tabell 4.4 *Indata för ParaSol-rummets energibalans 12-19 maj.*

Termostatinställning värme/kyla	20/30 °C
Internlast dag/natt	7,0/0 W/m²
Tillufttemperatur dag/natt	18,0/18,0 °C
Tilluftsflöde (kontinuerligt)	20,0 l/s

Resultat från ParaSol-simulering och mätning visas i Figur 4.31. Under slutet av perioden värmdes rummet nattetid genom impulser av varmluft, därav de höga spikarna på inblåsningstemperaturen (maxtemperaturen var 50-55 grader). (Styrningen regleras med avseende på rumsgivaren).



Figur 4.31 *Uppmätt och simulerad rumstemperatur samt uppmätt och simulerad tilluftstemperatur för perioden 12-19 maj 2006.*

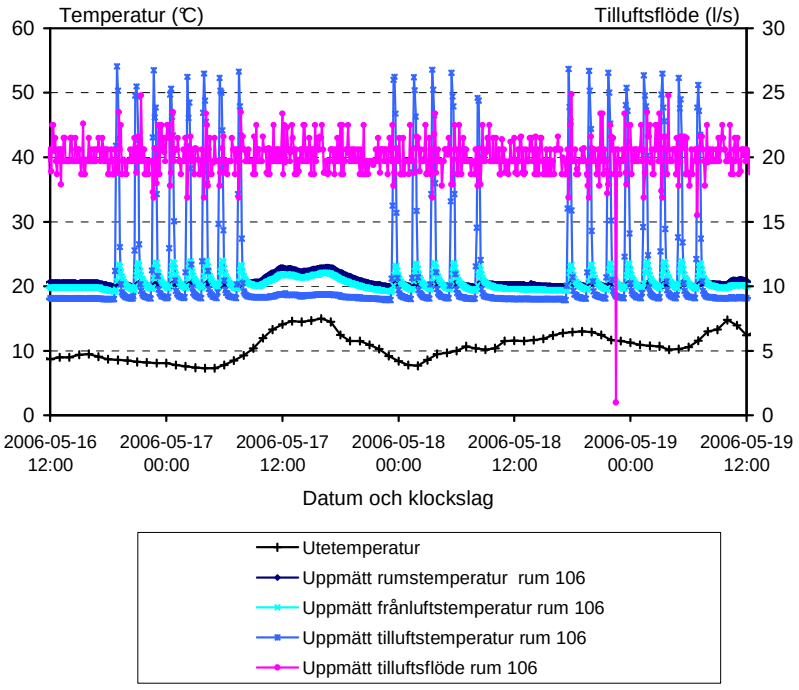
Det tunga fallet skiljer ut sig en hel del jämfört med det lätta och mellantunga som är sinsemellan mer lika. Uppmätt temperatur ligger relativt lika det lätta och mellantunga fallet. Detta diskuteras vidare i avsnitt 4.4.2. Vidare ska noteras att den 13-14 maj var en helg. Eftersom ParaSols indatamenyer behandlar nätter och helgdagar lika, innebär detta att ingen internlast lades på under veckosluten. I mätningarna var dock belysningen igång dagtid varje dag. Under den soliga perioden kan detta skönjas i resultaten genom att simulerad innetemperatur för det lätta och mellantunga fallet överstiger uppmätta värden på veckodagar, medan det är tvärtom på helgen.

Värmefallen under periodens sista tre nätter studeras ytterligare genom jämförelser mellan simulerat värmebehov i ParaSol och tillförd värmeenergi i rummen. Denna värme beräknas ur de mätningar på temperaturer och flöden som finns tillgängliga och som redovisas i Figur 4.31. Ur dessa mätningar kan ses att en del av tilluften verkar gå direkt ut i frånluftsdonet, eftersom temperaturen där klart påverkas vid värmefallen. En sådan kortslutning skulle också förklara varför uppmätt frånluftstemperatur alltid är lägre än rumstemperaturen då värmebehov

ej föreligger. En annan möjlig förklaring är förstås ett mätfel i någondera givaren, detta har dock ej utretts närmare.

Rummets verkliga värmebehov har trots detta uppskattats ur uppmätt tilluftsflöde och skillnaden mellan till- och frånluftstemperaturen. I detta ligger ett antagande om att rummet är helt lufttätt och att frånluftsflödet därmed är lika med tilluftsflödet. Rummet är visserligen mycket tätt, men ett otätat runt hål på ca 10 cm i diameter fanns vid mätningarna. Vidare har värmetransporten genom innerväggarna mot klimatkammaren försummats.

Värmebatteriet i tilluften har en ganska hög effekt medan det aktuella värmebehovet är litet. Detta innebär att värmebatteriet går en kort stund och slår därefter av, vilket tydligt kan ses i Figur 4.32. Perioden mellan tillslagen för den utvärderade perioden var strax under två timmar. Värmebehovet beräknades därför först ur de loggade 6-minutersvärdena och integrerades därefter upp till 2-timmarsvärden.



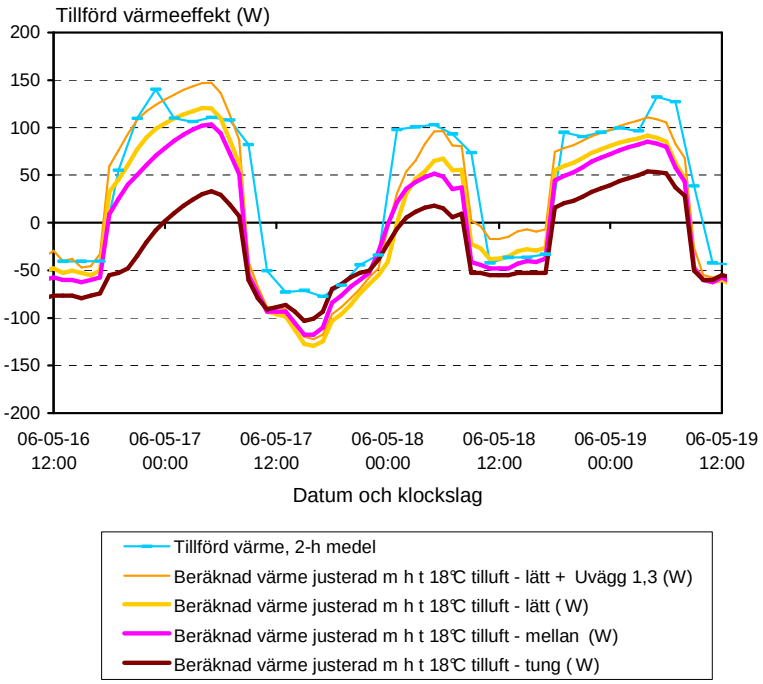
Figur 4.32 Uppmätta temperaturer och luftflöde för perioden 16-19 maj.

Rummet simulerades därefter i ParaSol med tung, mellantung resp lätt bjälklag (golv och tak). Det värmebehov som därmed beräknas är den värme som måste tillföras rummet för att upprätthålla den önskade rumstemperaturen med de antaganden om inblåsningstemperaturer och

flöden som angivits i Tabell 4.4. Eftersom undertempererad tilluft med konstant temperatur och flöde fanns med i beräkningsantagandena har de beräknade värmebehoven justerats enligt följande:

$$Q_{tillförd} = Q_{sim} \cdot (T_{till} - T_{rum}) \cdot q_{till} \cdot \rho \cdot c_p$$

Där $Q_{tillförd}$ är det justerade värmebehovet, Q_{sim} är det i ParaSol framräknade värmebehovet, T_{till} är inblåsningstemperaturen (konstant, 18°C), T_{rum} är den simulerade rumstemperaturen, q_{till} är tilluftsflödet (konstant, 20 l/s), ρ är luftens densitet och c_p luftens specifika värme. I simuleringen är tilluftflödet lika med frånluftsflödet, och för rumsluften antas perfekt omblandning. Frånluftstemperaturen kan därmed antas vara lika med rumstemperaturen. I figur 4.33 redovisas en jämförelse mellan på detta sätt uppmätta och beräknade värmebehov justerade med hänsyn till den undertempererade tilluften. (Eftersom simuleringen genomförs på timbasis, är det timvärden som redovisas). Överensstämmelsen är god, dock tenderar simulerade värmebehov att vara lite lägre än uppmätt. Detta kan bero på mätosäkerheter. Men en osäker faktor i simuleringen är ytterväggens verkliga U-värde. I ParaSols tre grundfall antas ytterväggen (inkl fönster) ha ett U-värde på 1,05 W/m²K. Känsligheten studerades genom ett fjärde simuleringsfall där fallet med det lätta bjälklaget gavs en sämre yttervägg. U-värdet försämrades här till 1,31 W/m²K. Detta gör att värmebehovet ökar nattetid. Skillnaden är större än mellan fallen lätt och mellantungt bjälklag, så denna parameter är således viktig.



Figur 4.33 *Jämförelse mellan uppmätta och beräknade värmebehov för perioden 16-19 maj.*

4.4.2 Solig period i juni

Den andra period som utvärderades var en solig period som studerats tidigare, den 10-11 juni, då inget värmebehov förelåg och himlen var klarblå. De indata som användes för energibalansen i ParaSol återges i Tabell 4.5.

Tabell 4.5 *Indata för ParaSol-rummets energibalans 10-11 juni.*

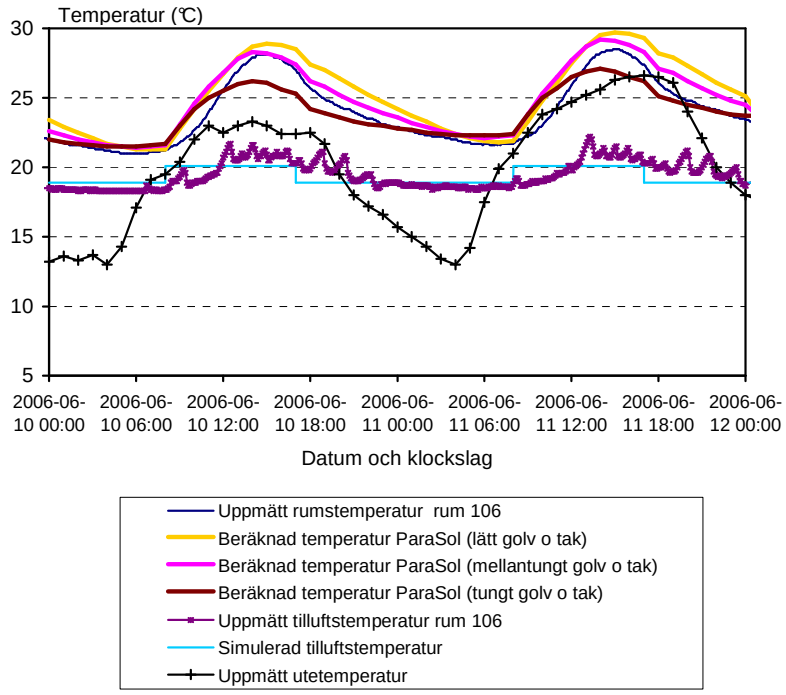
Termostatinställning värme/kyla	20/30 °C
Internlast dag/natt	7,14/0 W/m²
Tillufttemperatur dag/natt	20,1/18,9 °C
Tilluftsflöde (kontinuerligt)	19,8 l/s

De temperaturer som erhålls med dessa antaganden visas i Figur 4.34. Man kan se att olika antaganden om golvets och takets värmetröghet har stor inverkan på den beräknade maxtemperaturen i rummet, särskilt

det tunga fallet avviker. Det mellantunga fallet ger en maxtemperatur som är mycket lik den uppmätta, medan det lätta fallet ger en något högre maxtemperatur. Mintemperaturen för fallen lätt och mellan sammanfaller väl med uppmätta värden. Överensstämmelsen mellan beräkning och mätning är därför relativt hyfsad för båda fallen *mellan* och *lätt*.

Vilket fall som bäst motsvarar verkligheten är dock inte helt lätt att avgöra. Här finns osäkerheter i flera parametrar som alla påverkar den absoluta nivån på temperaturen i rummet. Fel i persiennens uppmätta lamellvinkel på +/- 5 grader ger dock små skillnader i temperaturen, liksom små variationer i fasadens uppskattade totala U-värde. Hur t ex inblåsningstemperaturen varierar mellan dag- och nattfallet bedöms vara källa till större fel, och i synnerhet den eftersläpning mellan simulering och mätning som kan spåras i diagrammet. Detta förklarar troligen varför temperaturen i simuleringen stiger snabbare på morgonen än i mätningen. I simuleringen antas att förlusterna genom rummets 5 st innerytor är noll, medan det i verkligheten förelåg en temperaturdifferens mellan rum och klimatkammare som ger en viss värmeförlust, även om rummen är välisolerade.

Att inblåsningstemperaturerna inte kunnat hållas på konstant 18 grader berodde på bristande funktion hos kylsystemet i huset under mätperioden. Simuleringen bygger också på integrerade timvärden för temperatur och strålning, medan mätvärdena redovisas med en upplösning i 6-minuters perioder. Internlasten i simulering och mätning sammanfaller dock helt i tiden (8-17). Med detta i åtanke verkar resultaten i ParaSol fullt rimliga och acceptabla.



Figur 4.34 *Jämförelse mellan simulerade och uppmätta rumstemperaturer, inblåsningstemperaturer resp utetemperaturen för två soliga dagar i juni.*

Den totala värmetröghet som rummet har i verkligheten jämfört med i simuleringarna är ytterligare en felkälla. Vilken simulerad tröghet som stämmer bäst skulle kunna gissas ur hur snabbt temperaturen klingar av på kvällen/natten och mellanfallet ser då ut att stämma ganska väl med mätningen. Avklingningen beror dock också ganska kraftigt av inblåsningstemperaturen så det är svårt att dra entydiga slutsatser från en mätning, även det lätta fallet skulle kunna vara tillämpligt.

Eftersom ParaSol endast tillåter användaren att välja mellan tre fördefinierade konstruktioner kan det vara bra att veta hur dessa underliggande konstruktioner ser ut och hur de därmed avviker från de i mätningen. Med lätta ytter- och innerväggar simuleras exempelvis väggar med 26 mm gips innerst, medan innerväggarna i labbet består av 0,5 mm stålplåt och 4 mm plywood vilket är ännu ”lättare”. Ytterväggen består i princip bara av 4+4 mm glas, vilket också är lättare än simulerat. Under mätningarna var dessutom de två undre lufterna täckta av 30 mm cellplast vilket gör att glasets tröghet inte kan utnyttjas. Taket i labbet är uppbyggt på samma sätt som innerväggarna, och är därmed mycket lätt. Golvet består av en pågjutning av 100 mm betong, vilket

således är den enda större värmetröghet som finns i rummet. I simuleringen sätts golv- resp takkonstruktionen lika och består i lätta fallet av 30 mm trä. Ett mellantungt bjälklag består av 125 mm lättbetong och ett tungt av 100 mm betong.

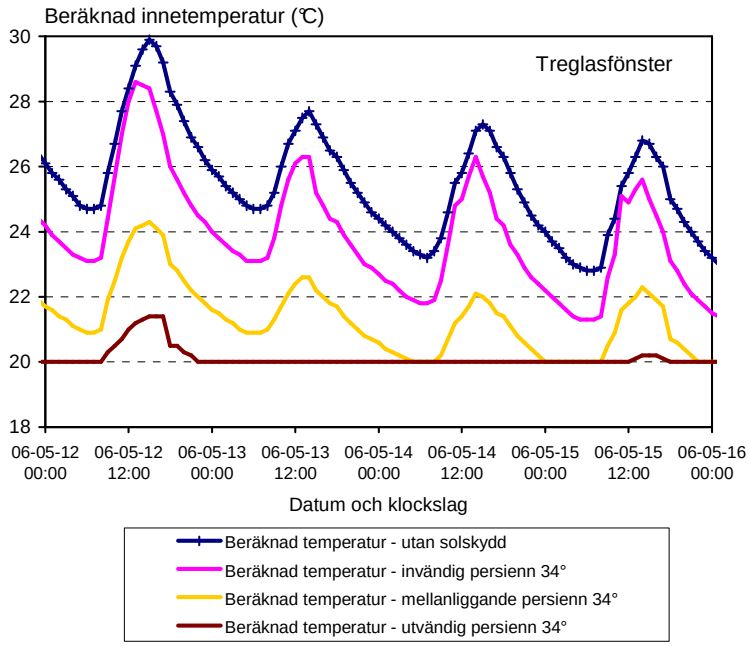
Det kan noteras att de soliga dagarna 10-11 juni inföll på en helg, och eftersom internlasten hade satts till noll under kvällar sätter ParaSol även internlasten till noll hela dygnet under helgdagar. För att undvika denna felkälla fejkades klimatfilen så att värdena för den 10-11 kopierades över till den 8-9 juni som är veckodagar, och det är egentligen beräkningen för dessa dagar som redovisats.

4.4.3 Parameterstudie av persiennplacering

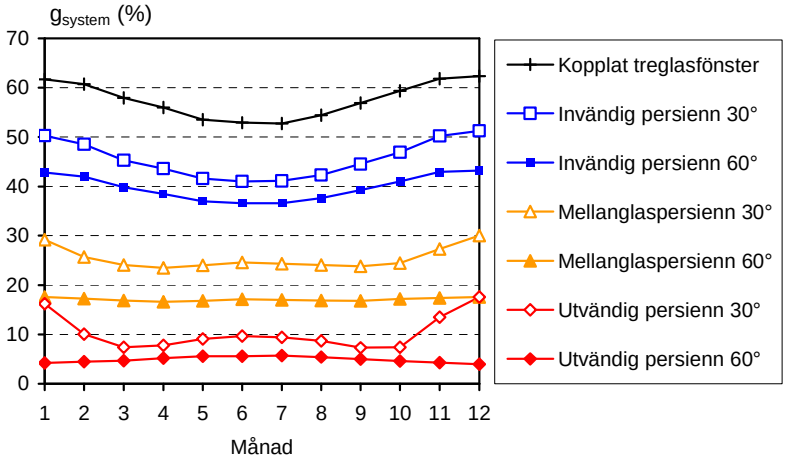
Eftersom den testade persiennen är tänkt att kunna användas som mellanglaspersienn i befintliga kontor med äldre kopplade fönster, gjordes en enkel parameterstudie av persiennplaceringen med ett sådant fönster. Här valdes ett lite modernare treglasfönster av 1+2 typ som var mycket vanligt under 1990-talets kontorsbyggeri (enkelglas ytterst, isolerruta innerst). Bjälklaget sattes till tungt, i övrigt användes samma indata som i Tabell 4.5. En fast ljus persienn simulerades därefter såsom en 80 mm bred fasadpersienn, samt en 25 mm persienn placerad i yttre spalten som mellanglaspersienn alternativt som en invändig persienn. Lamellvinkeln var densamma för alla 3 fallen, 34°.

Resulterande innetemperaturer för den soliga perioden mellan 12-15 maj visas i Figur 4.35. Den invändiga persiennen gör en viss nytta jämfört med att inte ha solskydd alls, men temperaturen blir ändå okomfortabelt hög mitt på dagen, över 28 grader. Mellanglaspersiennen ger dock ett mycket bra klimat, temperaturen går upp till fullt acceptabla 24 grader. Den utvändiga persiennen skärmar av solinstrålningen så effektivt att temperaturen bara stiger till som mest ca 21,5 grader.

Även om den verkliga temperaturen kommer att variera beroende på internlaster, inblåsningstemperaturer och luftflöden så visar detta räkneexempel ändå tydligt att en mellanglaspersienn tillsammans med en 1+2 lösning är en mycket effektiv solavskärmning. Denna fönstertyp är idag tyvärr ofta bortglömd i modernt kontorsbyggeri där 2-glas isolerrutor nästan uteslutande används, ofta i kombination med stora fasta glaspartier. 1+2 fönstret kan dock principiellt liknas vid det man idag åstadkommer i högprestige-projekt då ett extra glasskikt läggs utanför den normala glasfasaden, i det som har kommit att kallas dubbelglasfasader eller dubbelskalfasader (namnet varierar). Slutligen visas därför några g-värden för en persienn i de tre diskuterade lägena tillsammans med detta treglasfönster för två olika lamellvinklar (g_{system}). Värdena är simulerade i ParaSol ver 3. Se Figur 4.36.



Figur 4.35 *Simulerad innetemperatur i ett kontorsrum för en solig period i maj (tors-sönd) med utvändig persienn, mellanliggande persienn rest invändig persienn med kopplat treglasfönster (1+2). Tungt bjälklag.*



Figur 4.36 *Simulerade g-värden för kopplat treglasfönster med olika placering av persiennen. Fönstrets eget g-värde redovisas också. Beräknade som månadsmedelvärden för ett södervänt fönster i Lunds klimat.*

5 Diskussion

Dagsljus tillför i regel betydligt mer ljus till ett rum än vad enbart konstljus gör. Med rätt placering i förhållande till fönstret är dagsljus också en bra källa till belysning på arbetsytan. Forskning om vår biologiska klocka och de icke-visuella effekterna av ljus indikerar att rikligt med dagsljus också har flera positiva effekter på vår hälsa. Det borde därmed även vara hälsosamt att ha mycket dagsljus i den lokal där man vistas mest under dagtid, vilket för många är på jobbet. Tidigare studier har också visat att personal som får välja sin placering, gärna sitter nära fönstret. Detta skulle kunna tolkas som att man föredrar denna ljusare plats, men det kan naturligtvis också bero på den förbättrade utsikten mot omgivningen. Samtidigt måste dock bländning undvikas. Detta hamnar då ofta i konflikt med önskan att få in dagsljuset.

Effektiv solavskärmning blir allt viktigare ju större glasandelen i fasad är för att minska övertemperaturer och undvika eller hålla nere behovet av komfortkyla. Utvändig solavskärmning är som regel effektivare än invändig. All form av solavskärmning begränsar dock tillgången på dagsljus. Eftersom solavskärmningen bara behövs då det är soligt kan fasta solskydd skärma dagsljuset då vi vill ha in det för att belysa rummen. En rörlig solavskärmning är därför avsevärt mer flexibel och har också större möjligheter att skärma solen under hela året, eftersom solhöjden varierar så kraftigt under året. Förvaltare är dock som regel mycket försiktiga när det gäller val av rörlig solavskärmning med tanke på osäkerhet om hur länge produkterna håller och förväntat högre underhållskostnader. I vårt klimat har vi förutom vindpåverkan även snö och is att ta hand om. En lösning som kan placeras i kopplade fönster har därför en stor potential att bli effektiv, då den både kan placeras relativt gynnsamt med tanke på att begränsa solvärmen. Den sitter också skyddat från vind och nederbörd.

Inget annat solskydd är så flexibelt som en persienn när det gäller möjligheten att reglera ljusinsläppet och därmed bländningen steglöst. Det var därför mycket intressant att studera möjligheterna hos en vanlig persienn som var kompletterad med en nyutvecklad motor och styrning. Förutom styrningen studerades även effekten av en ljuslänkande persienn, som i detta fall var en variant på en vanlig persienn med vita

lameller där lamellerna i den övre delen var ca 20 grader mer öppna än i den undre delen.

Att skapa en ljuslänkande persienn är relativt enkelt. För att öppna lamellerna i toppen räcker det att korta in stegbanden på persiennens rumssida. Detta kan göras genom att vira stegbandet runt ett enkelt billigt clips. Ju mer av snöret som kortas in, desto större blir skillnaden mellan lamellvinkeln uppe och nere. I detta ligger både en möjlighet och en fara: Möjligheten är att man kan stänga den undre delen av persiennen ganska mycket och ändå släppa in ljus i toppen. Den undre delen kan då bli tillräckligt mörk för att bländning från persiennen kan undvikas. Faran är att persiennen är för öppen i toppen och att den därför inte lyckas begränsa direkt solinfall då solen står lågt, t ex om vintern för ett södervänt fönster, eller om morgonen för ett östervänt. För våra nordliga breddgrader med lågt stående sol måste vi därför hålla vinkelskillnaden ganska liten. Detta minskar naturligtvis den mängd dagsljus som kan släppas in. Brytpunkten måste också placeras en bra bit ovanför ögonhöjd för att undvika bländning. Därmed blir effekten väldigt begränsad för vanliga standardkontor med fönster placerade med överkant på 2,1-2,2 meter. Detta visades både i mätningarna och i simuleringen med Radiance.

Dagsljus genom fönster i vägg kan betraktas som en huvudsakligen snett nedåtriktad vektor, som belyser rummet på ett annat sätt än konstljus. Persiennlameller riktar om dagsljuset mot taket över hela sin yta. Hela persiennen är därmed att betrakta som en ljuslänkare.

Sensorplaceringen i tak verkade inte alltid fungera som vi tänkt. Problemet är att dagsljuset kommer uppifrån himlen och snett neråt, och belyste ibland kraftigt bordet mellan relativt öppna persiennlameller. Taksensorn såg däremot inte detta ljus, eftersom den tittade från motsatt håll snett nedåt mellan lamellerna: den såg då istället en mörk asfaltyta nedanför fönstret. Vid jämförelser med en i armaturen integrerad sensor gav den senare en något större besparing av belysningsel.

Den styrning av solskyddet som utvärderats baseras huvudsakligen på mätning av dagsljuset mot fönsterplanet tillsammans med en beräkning av solvinklar mot fönsterplanet och beräkning av s k cut-off vinkel genom persiennen. En viss säkerhetsmarginal verkas dessutom finnas med hänsyn till cut-off vinklarna. Det är dock luminansen på insidan av fönsterplanet som avgör risken för bländning och denna beror förutom dagsljusintensiteten även på ljustransmissionen hos solskyddet. Denna är betydligt svårare att mäta och vi vet idag inte heller exakt vilken luminans som kan tolereras. Dels beror det på hur man väljer att möblera rummet och därmed hur man sitter: vad ser man i det centrala resp i det omgivande synfältet? Det vi vet är att vi är mer känsliga för höga luminanser i det centrala synfältet men även höga luminanser i det omgivande synfältet kan orsaka subtil obehagsbländning. Tidigare

forskning visar också på stora skillnader mellan individers känslighet för bländning. Här behövs betydligt mer forskning innan vi kan lämna konkreta förslag till alternativa styrstrategier.

6 Slutsatser

6.1 Generell funktion hos persiennen

Rent tekniskt har det utvärderade systemet med en motoriserad persienn och en ljusreglerande armatur fungerat mycket väl. Den typ av motor som valts för persiennen ger en mycket exakt styrning och persiennen hamnar även efter många reglersekvenser alltid i ”rätt” läge, dvs i den vinkel som styrsystemet önskar.

6.2 Resulterande ljusmiljö

Dagsljus har möjlighet att särskilt sommartid ge mycket höga ljusnivåer inomhus, och dagsljus belyser även rummet på ett helt annat sätt än elljus. Särskilt taket erhåller avsevärt mer ljus med dagsljus, men även bordsytorna blir kraftigt belysta. En persienn eller annan form av bländskydd är därför en nödvändighet i en arbetssituation såsom kontorsarbete. Även med persiennerna nerfällda och delvis stängda kan belysningsstyrkan och särskilt luminansen inne vara besvärande hög.

För att undvika bländningsproblem är en grundförutsättning att direkt solinstrålning undviks. Detta är huvudkonceptet för den utvärderade styrningen av solskyddet: styrning med hänsyn till solhöjd och s k ”cut-off” vinklar. Eftersom solhöjden om sommaren är hög ställs persiennen i ganska öppna lamellvinklar som medger utsikt till omgivningen. Vår slutsats är dock att vinklarna under sommaren inte är tillräckligt stora, dvs persiennen är alltför öppen, för att också undvika bländning från himmel eller persiennen själv. Detta gäller främst då solintensiteten är hög, vilket är den situation som normalt ger de högsta belysningsstyrkorna. Om styrningen ändrades för att prioritera större lamellvinklar (mer stängd persienn) skulle detta samtidigt ge effektivare solavskärmning eftersom g-värdet (den totala solenergitransmittansen) då också minskar. Tyvärr begränsas dock möjligheterna till utsikt.

En alternativ styrning skulle kunna baseras på luminansen på insidan av fönstret, men här kommer både möblering (var i synfältet) och individuella preferenser in. Fortsatta studier med försökspersoner skulle därför vara värdefullt för att finna algoritmer som är lämpliga att styra på.

6.3 Besparing av elanvändning till belysning

El-besparingen för det utvärderade systemet var avsevärt större under mätperioden i maj än under mätperioden i november, vilket naturligtvis beror på att maj är avsevärt ljusare och har betydligt högre solhöjder än november. Besparingen av elanvändning till belysning var 77 % i maj och 5 % i november. Detta är beräknat på en brinntid mellan kl 8-17. På årsbasis har besparingen bedömts till ca 50 %. Dessa besparingar är uträknade gentemot ett referensfall med ett likadant rum med belysningen kontinuerligt tänd till 100% mellan kl 8-17, och med en fast persienn med lamellvinkel 34 grader. På årsbasis för ett helt kontor där kanske hälften av arbetsplatserna ligger långt ifrån fönster, kan man anta att besparingen skulle kunna bli hälften, dvs 25 %, gentemot detta kontor där arbetsplatsen var placerad nära fönstret.

Armaturerna har reglerat på det ljus som persiennen släppt in. Eftersom persiennen i sin tur har reglerat på dagsljuset ute, har det inte varit möjligt att avgöra hur stor besparingen hade varit om persiennen hade varit fast även i testrummet, dvs inte reglerat.

6.4 Effekt av sensorplacering

I studien jämfördes en takmonterad sensor som tittade snett ner mot fönsterplanet och en i armaturen integrerad sensor som mätte rakt ner mot bordsytan. I detta fall gav den integrerade sensorn en något större besparing av belysningselen, vilket beror på att sensorn ser en medelljus bordsyta belägen nära fönstret som ofta är ganska ljus. Tanken med den takmonterade sensorn var att den skulle kunna uppfatta när fönstret var kraftigt belyst, dvs hade en hög luminans, men så blir inte resultatet: Sensorn kan inte uppfatta den strålning som passerar snett ner genom fönstret. Om persiennen är uppe ser den en del av marken framför fönstret och med persiennen nere ser den ibland delvis marken, mellan lamellerna. Eftersom denna mark var asfalterad är den mycket mörk dvs mycket lite ljus reflekteras upp mot taksensorn. En sådan placering av en sensor som mäter luminans är därför inte heller lämplig att utnyttja för styrning av persiennen själv. För att finna en lämplig placering av en sensor som mäter luminanser måste man istället utgå från brukaren, och dennes centrala och omgivande synfält. En ideal sensor hade då kanske varit placerad på brukarens panna eller åtminstone tittande snett utåt/uppåt mot den ljusa himlen.

6.5 Effekt av ljuslänkande del hos persienn

Att skapa en ljuslänkande del hos en persienn, dvs en öppnare del än resten av persiennen, är mycket enkelt att göra. Det räcker att korta in

stegbanden på persiennens rumssida. I det utvärderade systemet gjordes detta genom av vira stegbandet ett varv kring ett enkelt clips i plast. Detta skapar en möjlighet att släppa in mer dagsljus i rummet, vanligtvis genom toppen på persiennen som normalt ligger ovanför det centrala synfältet. Samtidigt skapar det svårigheter att arbeta med två lamellvinklar, om man vill kunna undvika direkt solinstrålning under hela året.

Våra studier pekar mot att skillnaden i vinkel mellan persiennen övre och nedre del måste begränsas till omkring 20 grader för att undvika problem med direkt solinstrålning om vintern. Detta är en mycket mindre vinkelskillnad än den som ofta erbjuds med dessa system. Det utvärderade systemet kom t ex med ett clips som skapade en vinkelskillnad på 45 grader, och vi fick därför använda ett modifierat clips som dock inte känns färdigutvecklat.

För att undvika bländning måste även brytpunkten mellan övre och undre del hållas en bra bit ovanför ögonhöjd och det centrala synfältet, eftersom en öppnare persienn medger mer utsikt mot den ljusa himlen, och persiennen är i sig även ljusare då den är mer öppen. Detta gör att möjligheterna till dagsljusinlänkning är små för ”vanligt” sittande fönster, dvs med en överkant på ca 2,1 m över golvet. I vårt experimentrum bedömdes belysningsstyrkan inomhus öka med ca 10 % med den ljuslänkande delen i toppen av persiennen. Simulering i Radiance av liknande rum gav liknande resultat.

För att kunna använda det utvärderade styrsystemet med denna typ av ljuslänkning måste menyhanteringen anpassas om man vill fortsätta styra på den undre delen av persiennen. Inkortningen av stegbanden stänger nämligen persiennen under clipset, och därmed stämmer inte längre vinklarna överens med det som styrsystemet anger. Samtidigt begränsas också rotationsmöjligheten hos persiennen, den kan aldrig stängas helt i sin övre del. Om styrsystemet ska kunna användas för denna typ av persienner bör man därför tänka igenom vad som händer vid olika inkortningar av stegbanden, hur vinklarna bör anges i systemet, och sedan göra nödvändiga förändringar. Vår slutsats är att för kontor där fasadväggen har en måttlig fönsterandel och då fönstren dessutom sitt ”normalt” placerade (överkant ca 2,1 m över golv) ger ljusinlänkning bara en försumbar ökning av belysningsstyrkan, medan risken för bländning sannolikt ökar.

6.6 Inneklimat och kylbehov

Jämförelse mellan uppmätt och beräknat inneklimat i ParaSol gav mycket god överensstämmelse, och ParaSol verkar vara ett tillförlitligt program för att bedöma innetemperaturer och energianvändning för rumsmoduler med persienner.

Om den föreslagna styrningen av solskyddet appliceras på en utvändig fasadpersienn har man mycket goda möjligheter att begränsa övertemperaturerna i lokaler och att hålla kylbehoven små. En mellanglaspersienn är något sämre, men avsevärt bättre än en invändigt placerad persienn. Om persiennstyrningen förändras något så att den stänger lite mer vid starkt solsken om sommaren har den föreslagna 25 mm styrda persiennen mycket goda möjligheter att fungera väl både som solavskärmning och bländskydd. Den ljuslänkande, öppnare delen i toppen kan sannolikt uteslutas för normalt sittande fönster, då den ger mycket liten ökning av ljusmängden. Persiennen blir därmed ännu enklare att både hantera och styra.

Referenser

Brainard, G C; Hanifin, J P; Greeson, J M; Byrne, B; Glickman, G; Gerner, E; and Rollag M D. (2001). Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *J. Neurosci.*, Aug 2001; 21: 6405 – 6412.

Bülow-Hübe H. (2007). *Daylight in glazed office buildings. A comparative study of daylight availability, luminance and illuminance distribution for an office room with 3 different glass areas*. Lund (Sweden): Lund University, Lund Institute of Technology, Dept. of Construction & Architecture, Div. of Energy and Building Design. (i tryck)

Bülow-Hübe H. (2000). Office Worker Preferences of Exterior Shading Devices: A Pilot Study. Proc. of the *EuroSun 2000* Conference, June 19-22 June, Copenhagen (Denmark).

Bülow-Hübe, H., Håkansson, H., Perers, B. (2005). New Full-Scale Solar and Building Energy Laboratory at Lund University. *Proc. of North Sun 2005*, Vilnius, Lithuania, May 25-27, 2005.

Christoffersen, J., Petersen, E., Johnsen, K., Valbjørn, O. & Hygge, S. (1999). *Vinduer og daglys – en feltundersøgelse i kontorbyggninger.* SBI-Rapport 318. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, Danmark.

Dubois, M.-C. (2001a). *Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices. Simulations with Radiance* (Report TABK—01/3062). Lund, Sweden: Lund University Dept. of Construction & Architecture.

Dubois, M.-C. (2001b). *Impact of Solar Shading Devices on Daylight Quality. Measurements in Experimental Office Rooms.* Report TABK—01/3061). Lund, Sweden: Lund University Dept. of Construction & Architecture.

Küller, R. (1981). *Non-visual effects of light and colour. Annotated bibliography.* (Document D15:81). Stockholm, Sweden: Swedish Council for Building Research.

NUTEK (2004). *Office Lighting. Requirements for good and energy-efficient office lighting.* 1994-11 version 2. (Numera Energimyndigheten).

Osterhaus, W. K. E. (2001). Discomfort glare from daylight in computer offices: What do we really know? Proc. of *Lux Europa 2001*, Reykjavik, Iceland.

Poirazis, H. (2005). S*ingle Skin Glazed Office Buildings. Energy Use and Indoor Climate Simulations.* (Report EBD-T--05/4). Lund (Sweden): Lund

University, Lund Institute of Technology, Dept. of Construction & Architecture, Div. of Energy and Building Design.

Statens Energimyndighet (2003). *Energiläget 2002.* November 2002. 41 sidor.

Veitch, J. A. & Newsham, G. R. (1996). *Determinants of lighting quality I: State of the science*. (NRCC-39866). 1996 Annual Conference of the Illuminating Engineering Society of North America, Cleveland, OH, Aug 5-7 1996.

Wall, M. & Bülow-Hübe, H. (eds.) (2001). *Solar Protection in Buildings* (Report TABK—01/3060). Lund, Sweden: Lund University Dept. of Construction & Architecture.

Wall, M. & Bülow-Hübe, H. (eds.) (2003). *Solar Protection in Buildings. Part 2: 2000-2002.* (Report EBD-R--03/1). Lund, Sweden: Lund University Dept. of Construction & Architecture.

English summary

This report is an evaluation of a demonstration project for an innovative Venetian blind with a new-developed control system together with daylight-controlled office lighting. The demonstration project was brought as a follow-up to the technical procurement program for Daylight and Solar Shading that was conducted in 2004 and has been financed by BELOK and the National Energy Administration.

The general background for the technical procurement program was that BELOK wanted to find better solutions that have the potential to improve the indoor climate and reduce the energy demand in office buildings. A particular goal for the competition was to develop new products that can be used for refurbishment in existing office buildings. Daylight has the ability to provide very high illuminance levels indoors, especially in the period from March to October, and can thus be used to replace artificial lighting. All technologies which can handle the difficult compromise between daylight admittance, view out, glare protection and solar shading are particularly interesting.

Technically, the evaluated system with a motorised interior blind and a daylight controlled electric light fitting has performed very well. The type of motor that was chosen for the blind gives a very precise control of the blind, and even after a large number of control sequences, the blind always returns to the right position, i.e. in the slat position that the control system desires.

In order to avoid glare a basic prerequisite is that direct solar radiation is avoided. This is the main concept of the evaluated control system: sun-tracking or control with respect to solar height and cut-off angles of the blind. Since the solar heights are high during the summer the blind can be kept rather open, allowing for a view out. Our conclusion is however that the blind should be closed more to reduce glare from the sky and from the blind itself. This applies especially to the situation with intense sunlight, which is the situation that normally also brings the highest illuminance values. If the control system is modified to close the blind more during strong sunlight, this would also provide for a more efficient solar shading, since the g-value (the total solar energy transmittance) is reduced. Unfortunately, the view out is then also reduced.

An alternative control strategy could be based on the luminance of the inner side of the window, but the placement of furniture (i.e. the field of view) and the individual preferences of the user also come into play. Continued studies with test subjects would be valuable to find control algorithms that are suitable for control regarding glare and visual comfort. The sensor placement is crucial, and here one should first and foremost identify those luminances that appear in the user's field of view.

The electric light savings of the luminaire was considerably higher in the measurement period in May than in the period in November, which is due to the much higher illuminance levels that occur in May. The electric light saving was 77 % in May and only 5 % in November. This was estimated for office hours between 8-17. On a yearly basis the electric light savings were estimated to 50%. Assuming that 50% of the lighting in an office is in the daylight zone, the average annual light saving were roughly estimated to 25 %.

To create a light linking part of a Venetian blind is very easy to do, just by shortening the inner string of the string ladder that holds the slats in place. In this case this was done my winding the string once around simple plastic clips. This creates an easy possibility to increase the light levels in the room through the upper part of the blind, which normally lies above the central field of view. At the same time, it creates a problem to work with two different slat angles, if direct solar radiation should be avoided during the whole year. Our studies indicate that the angle difference between the upper and lower slats should not exceed 20 degrees to avoid direct sunlight penetrating the blind during winter solstice. This is a much small slat angle difference than is normally offered with these systems. The evaluated system came for example with clips that generated a 45 degree slat angle difference, and the system thus had to be modified during the measurements.

To avoid glare the break-point between the upper and lower part of the blind must be kept well above the eye-height of the user, since the upper, more open, part of the blind provides more of a view to the bright sky. Further, the back side of the blind is also brighter when it is more open. The possibility of daylight linking is also rather limited with windows placed with their upper edge on 2,1 m above the floor, which is rather typical for many older office buildings, while the risk of glare is increased. In our test room, the illuminance levels increased with approximately 10% with the daylight blind, compared to a traditional blind, where the same slat angle is applied all over. Simulations in Radiance for a typical office room from the 1990s gave similar results. Daylight blinds are thus questionable in such rooms.

Comparisons between measured and in ParaSol calculated indoor climate showed a very good agreement, and ParaSol seems to be a reli-

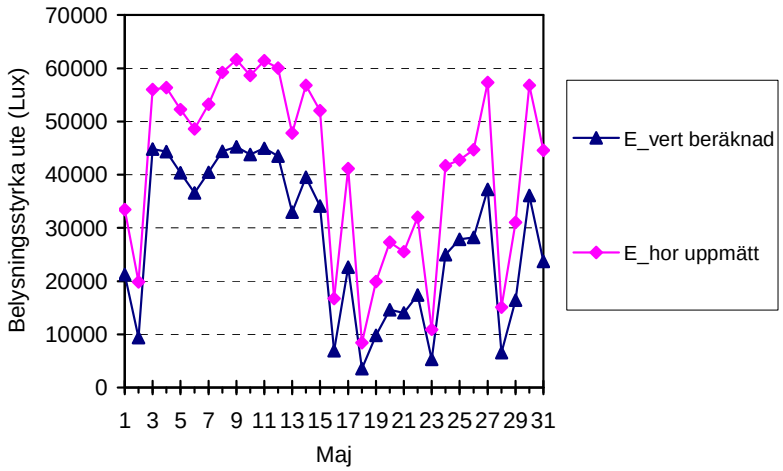
able tool for the estimation of indoor temperatures and energy use of rooms modules with blinds.

If the proposed control system of the blind is applied to an exterior blind instead of an interior blind, there is a very good possibility to reduce overheating in offices, and to keep cooling demands low. A blind placed between an exterior clear glass pane and an interior double-glazed unit is somewhat less efficient, but considerably better than the same blind placed on the inner side of a triple-glazed window. If the control strategy is changed somewhat to favour large slat angles during the summer, the proposed white 25 mm blind has a good potential to function well both as glare protection and as solar shading (if placed between glass panes in coupled windows). The upper, more open, part of the blind can probably be omitted for windows placed around 2,1 meter above the floor, since it gives a very small increase of the illuminance levels in the room. The blind thus becomes even easier to adjust and control.

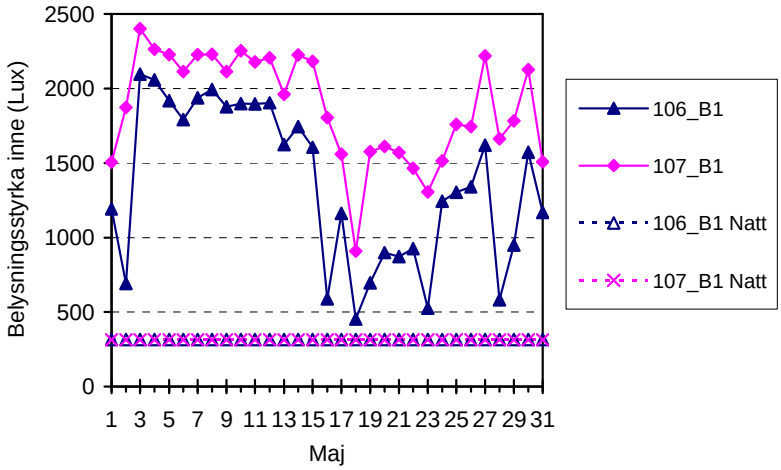
Appendix 1 – Belysningsstyrkor i maj

Uppmätta belysningsstyrkor inomhus och utomhus under perioden 1-31 maj visas i Figur A1.1-6. Värdena avser medelvärden för kl 8-17 resp nattvärden för elbelysning. Under perioden användes en fast persienn med 34 graders lamellvinkel och konstant belysning i rum 106. I rum 107 användes en reglerad persienn och dagsljusstyrd belysning. När persiennen reglerades ner, stängdes den mindre än i rum 106.

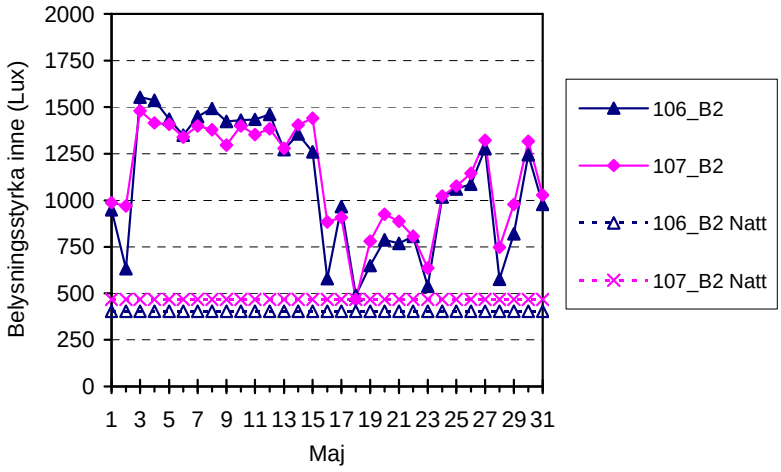
I figur A1.7-8 visas kvoten mellan uppmätt invändig belysningsstyrka och utvändig global belysningsstyrka på horisontell yta. (Ehor). Här ingår dock den artificiell belysningens tillskott i inomhusvärdena, varför det ej är helt korrekt att kalla dessa värden dagsljusfaktor.



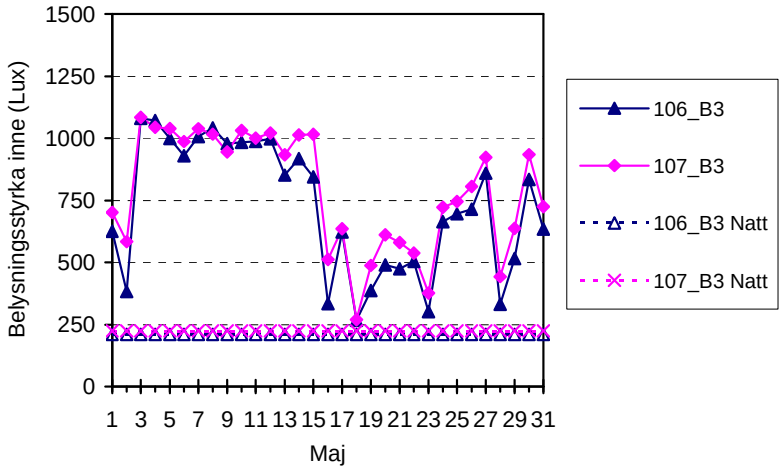
Figur A1.1 *Uppmätt belysningsstyrka på horisontell yta (på tak) resp beräknad vertikal belysningsstyrka på fasad.*



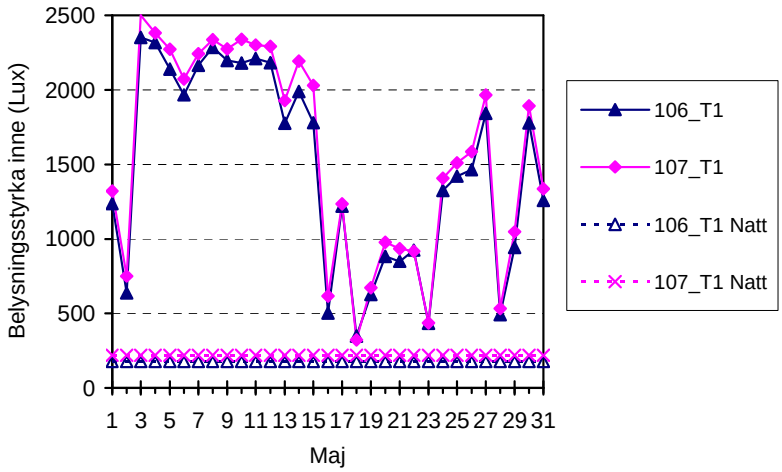
Figur A1.2 *Uppmätt belysningsstyrka i bordshöjd i punkt B1, 1,05 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



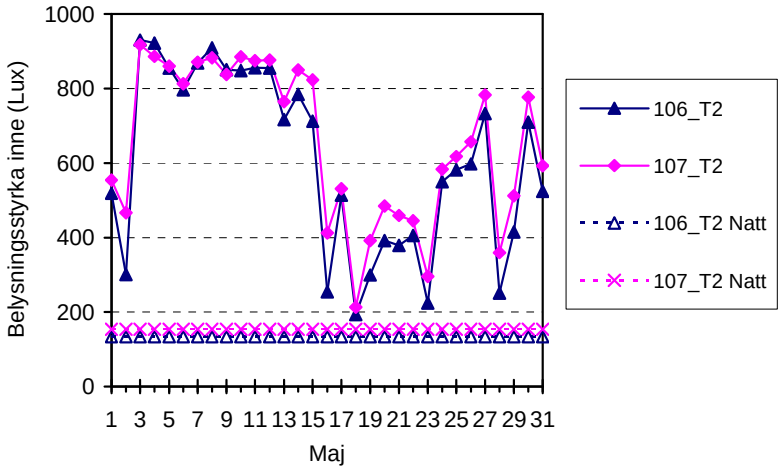
Figur A1.3 *Uppmätt belysningsstyrka i bordshöjd i punkt B2, 2,1 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



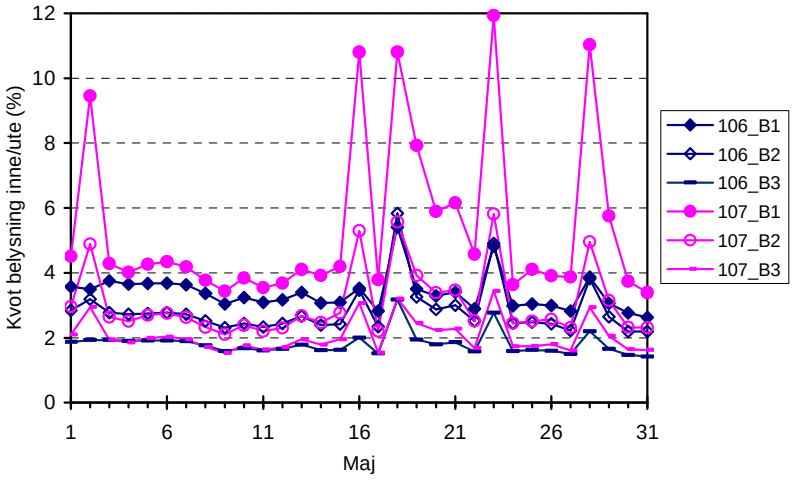
Figur A1.4 *Uppmätt belysningsstyrka i bordshöjd i punkt B3, 3,15 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



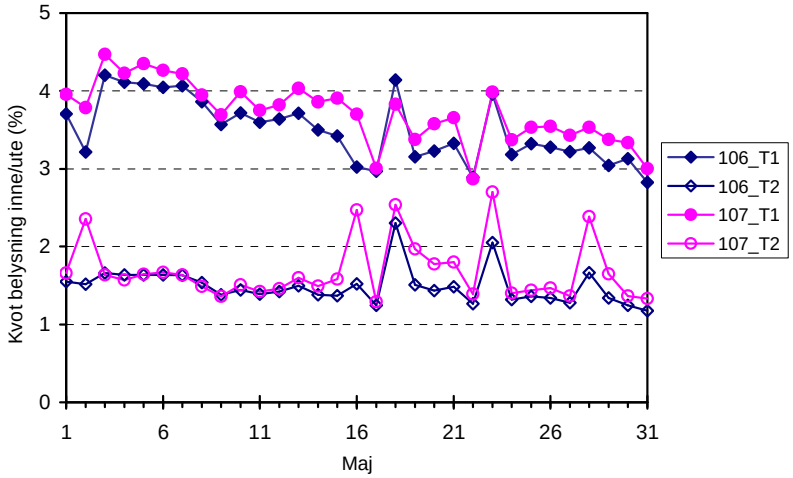
Figur A1.5 *Uppmätt belysningsstyrka i tak i punkt T1, 1,1 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



Figur A1.6 *Uppmätt belysningsstyrka i tak i punkt T2, 3,1 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



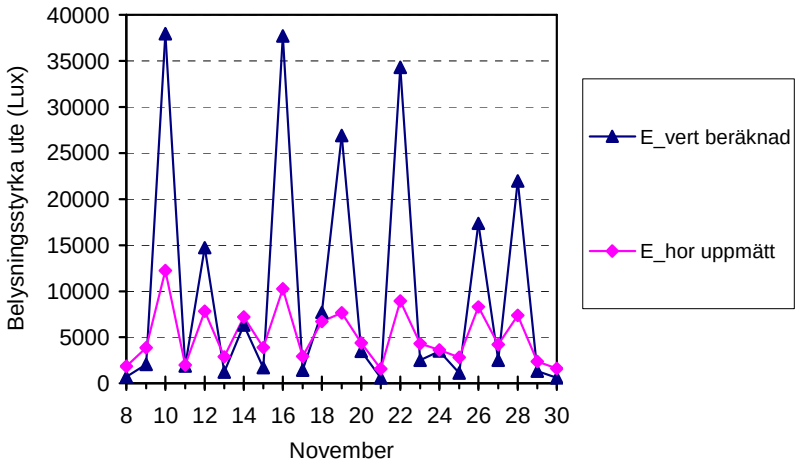
Figur A1.7 *Kvot mellan uppmätt belysningsstyrka ute (horisontellt) och inne i bordshöjd (Punkt B1-B3) för både test- och referensrum.*



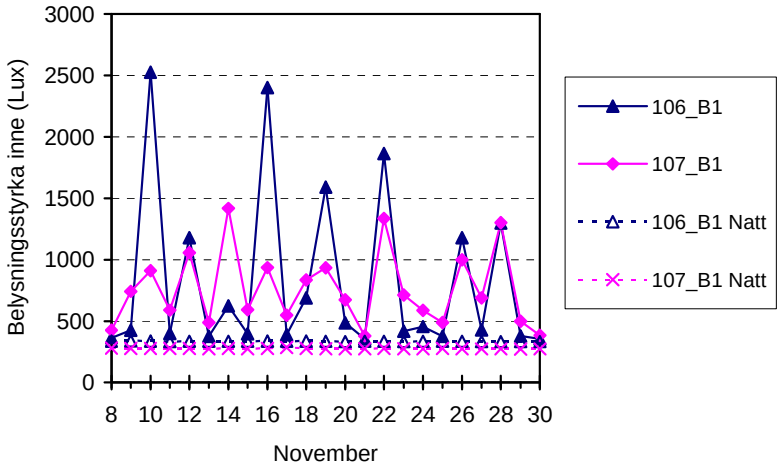
Figur A1.8 *Kvot mellan uppmätt belysningsstyrka ute (horisontellt) och inne i tak (Punkt T1-T2) för både test- och referensrum.*

Appendix 2 – Belysningsstyrkor i november

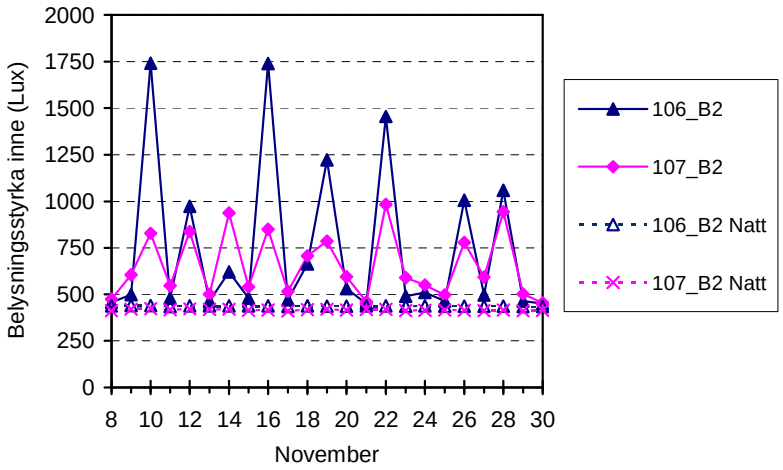
Uppmätta belysningsstyrkor inomhus och utomhus under perioden 8-30 november visas i Figur A2.1-6. Värdena avser medelvärden för kl 8-17 resp nattvärden för elbelysning. Under perioden användes en fast persienn med 34 graders lamellvinkel och konstant belysning i rum 106. I rum 107 användes en reglerad persienn och dagsljusstyrd belysning. När persiennen reglerades ner, stängdes den mer än i rum 106.



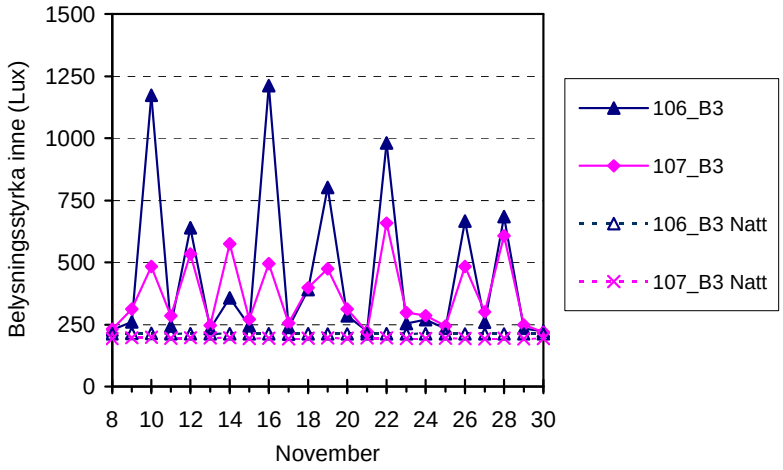
Figur A2.1 *Uppmätt belysningsstyrka på horisontell yta (på tak) resp beräknad vertikal belysningsstyrka på fasad.*



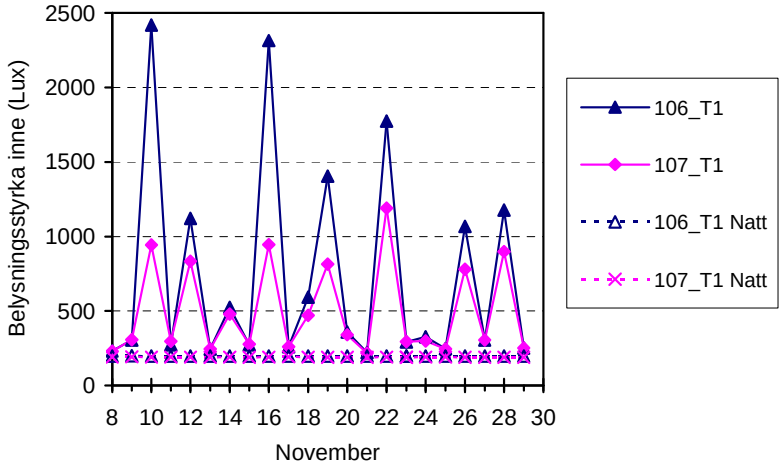
Figur A2.2 *Uppmätt belysningsstyrka i bordshöjd i punkt B1, 1,05 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



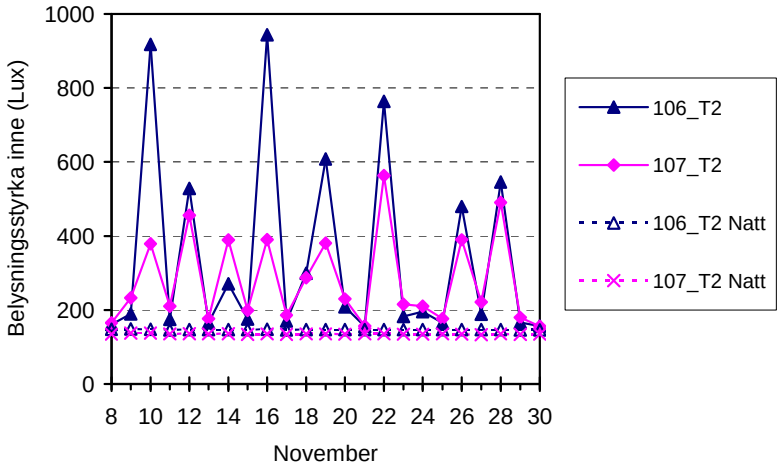
Figur A2.3 *Uppmätt belysningsstyrka i bordshöjd i punkt B2, 2,1 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



Figur A2.4 *Uppmätt belysningsstyrka i bordshöjd i punkt B3, 3,15 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



Figur A2.5 *Uppmätt belysningsstyrka i tak i punkt T1, 1,1 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*



Figur A2.6 *Uppmätt belysningsstyrka i tak i punkt T2, 3,1 m från fönster i rum 106 (referensrum) resp 107 (testrum). Nattmätningar från belysningen visas också (då inget dagsljus fanns).*

LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

ISSN 1671-8136
ISBN 978-91-85147-20-5