

Planleggingskriterier for lysstyring basert på dagslystilgang i bygninger

Ane Solem Knutsen

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, IEL

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk



MASTEROPPGAVE

- Kandidatens navn : Ane Solem Knutsen
- Emne : TET4905 Energibruk og energiplanlegging, masteroppgave
- Oppgavens tittel (norsk) : **Planleggingskriterier for lysstyring basert på dagslystilgang i bygninger**
- Oppgavens tittel (engelsk) : Design criteria for lighting control based on daylight availability in buildings
- Oppgavens tekst : Belysning står for rundt 20% av energibruken i bygninger, og i Norge dimensjoneres lysanleggene med 100% effektdekning, pga den mørke vinteren. Dette gjør at det eksisterer et potensiale for å spare effekt og energi ved å styre den kunstige belysningen etter dagslys når dagslysforholdene er gode.
Det eksisterer ulike typer sensorer og styringsprinsipp, hvor dagslyset utnyttes. Imidlertid synes det å være nokså tilfeldig hvordan planlegging og installasjon av slike systemer utføres, og kost-nytteverdien av systemene kan være svært varierende. I tillegg er det usikkerhet om hvorvidt slike systemer kan gi en redusert komfort for brukerne.
- Kandidaten skal
- foreslå beregningsmetodikk for dagslystilgang i bygninger
 - vurdere energisparepotensialet i ulike typer bygninger
 - vurdere komfortforhold for brukere i bygg med dagslystyring.
- Oppgavens gitt : 15.01.18
- Besvarelsen leveres innen : 11.06.18
- Besvarelsen levert : 07.06.18
- Utført ved (institusjon, bedrift) :
- Kandidatens veileder : Eilif H. Hansen, NTNU

Trondheim, 15.01.18

faglærer

Forord

Denne oppgaven er den avsluttende hovedoppgaven ved det 2-årige masterstudiet Energibruk og energiplanlegging ved Norges Teknisk-vitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng og er en videreføring av min prosjektoppgave «Bruk av dagslyssensorer i kontorbygg» skrevet høsten 2017. Noen av kapitlene i denne oppgaven vil derfor inneholde delkapitler fra prosjektoppgaven. I masterprosjektet er dagens dagslysprosjektering undersøkt og det er blitt utført energi- og effektmålinger på en bygning for å vurdere dagslyssensorens energisparepotensiale.

For å besvare oppgavens problemstilling har jeg vært avhengig av respons og hjelp fra både frivillige deltakere i spørreundersøkelser og fra bransjen. I tillegg har jeg fått hjelp av byggeiere til å utføre energi- og effektmålinger. Jeg vil først og fremst takke Roger Dahl ved KLP Eiendom AS og Ken Jøran Konst fra Entra Eiendom AS for å være behjelpelig med utføring av målinger på Abels Hus og Trondheimsporten. Jørgen Løfaldli i Sparebank1 Midt-Norge fortjener også en takk for å ha satt av tid til både mailkorrespondanse og et møte med en nysgjerrig student.

En stor takk må rettes til rådgiverbransjen som har tatt seg tid til å svare detaljert på spørreundersøkelsen jeg har sendt ut. Svarresponsen og utdypningene av svarene har vært til stor nytte i oppgaven. Jeg setter også stor pris på at de ansatte i Merit Consulting AS og Sykehusapotekene i Midt-Norge som har bruk tid på å besvare spørreundersøkelsen angående brukerens komfort. Til slutt vil jeg takke min veileder ved NTNU, Eilif Hugo Hansen for hjelp med å koble opp måleutstyr og for kritisk gjennomlesning av oppgaven.

Trondheim 07.06.18

Ane Solem Knutsen

Ane Solem Knutsen

Sammendrag

Dagslyssensorer er et energibesparende tiltak i bygninger som skal redusere den kunstige belysningen etter innkommende dagslys. En forutsetning for at styringen skal kunne føre til energibesparelse er at dagslystilgangen i bygningen er god store deler av arbeidsdagene gjennom året. Sensorene blir i dag installert sammen med bevegelsessensorer i nye bygninger eller ved oppgradering av lysanlegg, som oftest uten noen forundersøkelser.

Hensikten med dette masterprosjektet er å vurdere energisparepotensialet i ulike type bygninger med dagslyssensorer og vurderer komfortforholdene for brukere i disse bygningene. Det skulle utføres energi- og effektmålinger på lyskursene i Abels hus og Trondheimsporten, i tillegg til spørreundersøkelser som omhandlet brukerens komfort i Abels Hus. Måleutstyret på Trondheimsporten måtte tas ned på grunn av forstyrrelser på resten av bygningens styresystem, og det ble derfor ingen måldata som kunne benyttes til videre analyse fra denne bygningen.

Energi- og effektmålingene ble utført i 3.etg i C-blokken på Abels hus og resultatene viser en total energibesparelse på 58,2 % sammenlignet med at lysanlegget hadde stått på for fullt over arbeidsdagene (kl. 0745 – 1715). Av denne besparelsen står konstantlys-styring (dagslys) for ca. 16,9 % og bevegelsessensoren for ca. 41 %. Resultatene fra spørreundersøkelsen tyder på at brukerne legger merke til styringen, men de opplever den ikke som en stor ulempe. Enkelte opplever at tenningen av armaturen er mer brå enn neddimmingen.

Statiske simuleringsverktøy er de mest utbredte i prosjektering av lys og dagslys. Disse simuleringsverktøyene beregner dagslyset ut fra en konstant overskyet himmel. Denne vurderingsformen vil ikke vise hvordan lyset er inne i rommet til enhver tid, fordi den blant annet ikke inkluderer sollys og bruk av solskjerming. For å kunne estimere energibesparelsen og optimalisere bygningers dagslystilgang bør prosjekteringen ta i bruk dynamiske simuleringsverktøy som inkluderer reelle værdata og himmelforhold.

I prosjektets oppstartsfasen var det også tenkt å foreslå beregningsmetodikk for dagslystilgang i bygninger, ved å gjennomføre dynamiske simuleringer (CBDM) i Daysim. På grunn av manglende veiledning i simuleringsverktøyet ble det ikke mulig å gjennomføre. I stedet ble det utført en undersøkelse for å finne ut hvordan dynamiske vurderinger kan inkluderes i prosjektering av dagslys.

I denne undersøkelsen ble prosjekterende av lys i rådgivende bransje kontaktet. Resultatene viser at det finnes få dynamiske verktøy på dagens marked. Verktøyene forutsetter gode forkunnskaper og forståelse av lysets egenskaper. I tillegg er simuleringstiden betydelig høyere enn for statiske simuleringsverktøy.

For å kunne estimere en mer nøyaktig energibesparelse ved å utnytte dagslyset bør det inkluderes krav om mer dynamiske beregninger i Byggteknisk forskrift (TEK). For å få innført CBDM i dagens prosjektering bør det inkluderes i et allerede utbredt statistisk simuleringsprogram på det Europeiske markedet. I tillegg bør det innføres separate reduksjonstall for ulike styringsprinsipp i SN/TS 3031. Reduksjonstallet i dag skiller ikke på separat eller kombinert styring av dagslys og bevegelse.

Abstract

Daylight photosensors is an energy saving measure in buildings that will reduce the artificial lighting depending on the incoming daylight. High daylight availability in the building is a prerequisite for the control strategy to achieve energy savings. The sensors are often installed in combination with motion sensors in new buildings, or when old systems are upgraded, most often without any investigations.

The purpose of this master project is to evaluate the energy savings potential in different types of buildings and evaluate the comfort conditions for the users. Energy- and power-measurements for the light circuits were planned at both Abels Hus and Trondheimsporten. Due to interferences, the measurements at Trondheimsporten had to be stopped and therefore no data from this building could be used for further analysis. Surveys regarding the occupants comfort were conducted at Abels Hus.

The energy- and power-measurements were performed on the 3rd floor in the C-wing in Abels Hus. The results showed a total energy saving of 58,2 % compared to when the lighting system had been on full power during working hours (0745 AM to 0515 PM). Constant lumen control (daylight) accounted 16,9 % of the total energy savings and the presence sensor 41 %. The results of the survey indicated that the occupants do notice the control system, however they did not experience it as a major disadvantage. Some experienced the ignition of the luminaire a bit abrupt.

Static simulation-tools are the most common in the design of light and daylight. They calculate the daylight in the building under a constant cloudy condition. This assessment does not consider direct sun light or use of sun screening, as it cannot determine the illuminance inside the room at all time. In order to estimate energy savings and optimize daylight access, the design should use dynamic simulation tools that include real-world weather and sky data. Initially, the master thesis was thought to suggest calculation methodology for daylight access in buildings based on results from dynamic simulations in Daysim. The simulations were not possible to complete due to lack of guidance in the simulation tool. Instead, implementation of dynamic assessments into daylight design was investigated through a survey.

In this survey, daylight designers and projecting engineers of light in the consulting industry was interviewed. The result shows that there are few dynamic simulation tools in the market at present, and that the existing tools rely on good knowledge and understanding of the characteristics of light. In addition, the simulation time is significantly higher than for static simulation tools.

To be able to estimate a more accurate energy saving by utilizing daylight, the Building Acts and Regulations (TEK) should include requirements for more dynamic calculations. To increase the use of climate-based daylight modeling in daylight design, it should be implemented in an already widely used static simulation tool in the European marked. Reduction figures for energy by using light control should distinguish combined and single control for daylight and motion in SN/TS 3031.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål og problemstilling.....	2
1.3 Struktur.....	3
1.4 Avgrensninger.....	3
2 Dagslys.....	5
2.1 Definisjon.....	5
2.2 Lystekniske begreper.....	6
2.3 Dagslyset betydning for mennesker.....	6
3 Dagslyssensorer	7
3.1 Oppbygning og virkemåte	8
3.2 Installasjon og konfigurering	9
3.3 Potensiell energibesparelse	10
3.5 Faktorer som påvirker sensorene.....	13
3.6 Investeringskostnader	14
4 Prosjektering av lys og dagslys	17
4.1 Bygningers tilgang på dagslys.....	17
4.2 Dagens regelverk og ulike vurderingsformer for dagslys.....	18
4.2.1 Dagslysfaktor	19
4.2.2 Klimabaserte dagslyssimuleringer (CBDMM)	21
4.3 Simulering av dagslys	22
4.3.1 Beregningskjerner	23
4.3.2. Himmelmodeller.....	26
4.4 Simuleringsverktøy.....	28
4.4.1 Relux.....	28
4.4.2 Velux Daylight Visualizer	28
4.4.3 IDA ICE – IDA Indoor Climate and Energy.....	29
4.4.4 DIALux.....	29
4.4.5 Radiance	29
4.4.6 Daysim	30
4.4.7 Licaso	31

4.5	Konsulentbransjens erfaringer	33
4.5.1	Vurdering av dagslysf forholdene i en bygning	33
4.5.2	Programvarer som benyttes i lys- og dagslysberegninger	34
4.5.3	Klimabaserte dagslyssimuleringer (CBD M)	34
4.5.4	Vurdering og plassering av dagslyssensorer	35
5	Metode	37
5.1	Simuleringer i Daysim	37
5.2	Spørreundersøkelsen «Brukernes komfort med styring etter dagslys»	38
5.3	Spørsmål til rådgiverbransjen.....	39
5.4	Aktuelle bygninger med dagslyssensorer.....	40
5.4.1	Sparebankbygget	40
5.4.2	NTNU Ak rinn.....	43
5.4.3	Abels Hus	43
5.4.4	Trondheimsporten.....	45
5.5	Analyse av måleresultater fra energi- og effektmålingene	46
6	Energi- og effektmålinger i Abels Hus	49
6.1	Måleutstyr, oppsett og kursbetegnelse	50
6.2	Test av måleresultater.....	52
7	Resultater	53
7.1	Energi- og effektmålinger på Abels Hus	53
7.1.1	Gjennomsnittlig effektbruk for utvalgte uker	57
7.1.2	Gjennomsnitt effektbruk for dager med mye og lite sol.....	59
7.1.3	Gjennomsnittlig effektbruk for dager med lite sol og dager med middels sol	61
7.1.4	Gjennomsnitt av dager med mye sol og middels sol.....	63
7.1.5	Brukermønster, sensorens energisparing og parasittisk energibruk	66
7.2	Spørreundersøkelse «Brukerens komfort»	68
8	Diskusjon	71
8.1	Simuleringsverktøy.....	71
8.2	Dagens krav og dagens praksis.....	73
8.3	Energi- og effektmålinger på Abels Hus	75
8.3.1	Løsningen i bygget.....	75
8.3.2	Måleutstyr og metoder	76
8.3.3	Resultater	77
8.4	Brukerens komfort ved bruk av dagslyssensorer	80
8.5	Videre arbeid	81
9	Konklusjon	83

Referanseliste.....	85
Vedlegg A - Spørreundersøkelse om brukernes komfort.....	A
Vedlegg B – Vurdering fra NSD.....	C
Vedlegg C – Fargeanalyse av spørreundersøkelsen på Abels Hus	E
Vedlegg D – E-post til rådgiverbransjen	F
Vedlegg E – Effektforbruk for «identiske» soldager.....	G

1 Innledning

Denne rapporten tar for seg bygningers energisparepotensiale ved å utnytte dagslys. Oppgaven vil kartlegge dagens prosjektering av bygningers dagslystilgang og undersøke energibesparelsen knyttet til styring av den kunstige belysningen etter dagslystilgangen i bygningen. Rapporten vil komme med et forslag til en løsning som bør ligge til grunn for å kunne estimere en mer eksakt energibesparelse, som fortsatt ivaretar brukernes komfort. Dette kapitlet vil presentere oppgavens bakgrunn, formål og problemstilling. I tillegg vil oppgavens avgrensninger begrunnes.

1.1 Bakgrunn

Dagslys og bygningers tilgang på dagslys har tidligere blitt ansett som mindre viktig i bygningsbransjen. De siste årene har dagslys fått større oppmerksomhet særlig etter dagslyskravet ble opprettholdt i den nye versjonen av Byggteknisk forskrift (TEK17). I tillegg bygges nå bygninger tettere, som vil gjøre dagslysprosjekteringen enda viktigere. Samtidig med denne utviklingen har Norge satt seg ambisiøse mål for å redusere sin energibruk, og byggsektoren er en stor energiforbrukskilde som må bidra til reduksjon for å nå denne målsetningen.

Belysning står i dag for mellom 16-20 % av dagens energibruk i tjenesteytende næring og offentlig forvaltning. Styring basert på bevegelse og tilstedeværelse har vært brukt i mange år og har allerede bidratt med en høy energireduksjon. Energibruken kan reduseres ytterligere ved å implementere styringssystemer. Det er utført undersøkelser som viser at dersom bygningene har god tilgang på dagslys kan styring etter dagslyset alene redusere energiforbruket med 20 %. [1] For å oppnå denne besparelsen bør dagslys stå i fokus i en tidlig fase av prosjekteringen av bygninger for å blant annet bestemme orientering, optimal plassering av vinduer og arbeidsplasser.

Problemer i dagens dagslysprosjektering er at dagslyskravet som oftest beregnes ut fra dagslysfaktor ved hjelp av statiske simuleringsprogrammer. Disse konvensjonelle programmene beregner dagslysfaktoren etter en overskyet himmel, og inkluderer ikke bruk av solavskjerming og direkte sollys i beregningene. Dette vil føre til at bygninger med vinduer med god lystransmisjon vil få en høyere dagslysfaktor enn det det reelt vil være gjennom et helt år, siden solavskjermingen i perioder vil stenge for dagslyset. Tidligere forsøk viser at solskjermingen kan være nede så mye som halvparten av arbeidstiden over året. [2]

Når et lysanlegg skal dimensjoneres må dagslys, termisk komfort, energibesparelse og brukernes generelle komfort inkluderes i planleggingen. I tillegg må lovverket overholdes, og sistnevnte er det som har størst fokus hos en byggherre. Det er også kjent fra eldre anlegg at styring med dagslyssensorer kan oppleves som ubehagelig for mennesker fordi mange systemer ikke er nøyaktig nok konfigurert og dimmingen oppleves som irriterende.

Høy dagslystilgang kan igjen skape problemer som overoppheting og blinding. Overoppheting fører til et høyere kjølebehov, som igjen øker energibruken. Blinding blir sjeldent vurdert i prosjekteringsfasen og høy blendingsgrad vil føre til at solavskjermingen er aktivert, samtidig med at lysene står på. Dette vil føre til at det ikke spares energi i form av dagslysutnyttelse.[3]

Det vil være vanskelig å oppnå samme energibesparelse som det estimeres i de statiske simuleringsprogrammene, siden det ikke er tatt høyde for at det ikke slippes inn dagslys når solavskjermingen er nede. Dagslyssensorer blir i dag installert i mange nye bygninger, og sensorene blir ofte sett på som en standardløsning. Tall for energibesparelse blir som oftest hentet fra en standard, og inkluderes i energiregnskapet uten noen grundigere undersøkelser.

Det finnes mer dynamiske simuleringsverktøy på markedet som tar høyde for både blinding og solavskjerming i sine beregninger, som potensielt kan bidra til å finne krysningpunktet mellom brukernes komfort og energibesparelse basert på dagslysstyring. Dynamiske verktøy inkluderer flere himmeltilstander i sine simuleringer, og noen av de benytter også reelle værdata. Resultatene av disse simuleringene vil gi et mer realistisk bilde av dagslysnivået i bygningen til enhver tid. Disse verktøyene er ikke i utbredt bruk i den rådgivendebransjen i dag.

1.2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven er å kunne gi et bilde av utfordringene med dagslysgesign i dagens rådgiverbransje med tanke på energibesparelse, og undersøke om energibesparelsen ved installasjon av dagslyssensorer overestimeres.

Oppgavens tre formål er:

- Foreslå beregningsmetodikk for dagslystilgang i bygninger
- Vurdere energisparepotensialet i ulike typer bygninger
- Vurdere komfortforholdene for brukere i bygg med dagslysstyring.

Oppgavens problemstilling skal løses gjennom å kartlegge dagens forskriftskrav, beregningsmetodikk og simuleringsverktøy. I tillegg til å utføre spørreundersøkelser og logge energi- og effektbruken til lysanlegg i aktuelle bygninger.

1.3 Struktur

Rapporten er strukturert i 7 kapitler. Kapittel 2 omhandler definisjon av dagslys og dets påvirkning på mennesket. I kapittel 3 vil dagslyssensorens oppbygning og virkemåte presenteres, og kapittel 4 tar for seg dagens prosjektering og presentasjon av simuleringsverktøy som finnes på markedet. Kapittel 5 vil omhandle oppgavens ulike metodevalg, og kapittel 6 presenter energi- og effektmålinger på et lysanlegg i et kontorbygg. I tillegg presenteres en spørreundersøkelse om brukernes komfort ved bruk av dagslyssensorer og resultatene av spørreundersøkelsen og målingene finnes i kapittel 7. De siste to kapitlene inneholder diskusjon og oppgavens konklusjon.

1.4 Avgrensninger

Opgaven tar kun for seg dagslys- og styringsprosjektering i næringsbygg. Før prosjektperioden var det planlagt å utføre simuleringer i simuleringsverktøyet Daysim. Det ble gjennomført noen enkle simuleringer i programvaren, se utdypning i kapittel 5.1 Simuleringer i Daysim.

Det lyktes ikke å finne mange brukerveiledninger for å få de ulike programmodulene til å snakke sammen, og det ble nødvendig å laste ned eldre versjoner av programmene for å utføre simuleringene. Dette førte til at programmene krasjet og enkelte ganger ikke ville gjennomføre simuleringene. Det kom heller ikke klart frem i resultatfilen om beregningsfeltene i 3D-modellen var inkludert i simuleringene. Det lyktes heller ikke i å finne noen som kunne validere modellen og resultatene.

Resultatene fra disse simuleringsforsøkene ble verdiløse for å løse problemstillingen og på grunn av tidsbegrensningen ble det valgt å ikke bruke mere tid på dette uten å få rett veiledning. Oppgaven inkluderer derfor ikke egne utførte simuleringer for å bestemme designkriterier for dagslys, som vil være en svakhet ved oppgaven.

Det er derfor heller benyttet tidligere forsøk og i tillegg utført undersøkelser i rådgiverbransjen som grunnlag for å trekke en konklusjon for designkriteriene for dagslys. Oppgaven presenterer blant annet de mest utbredte simuleringsverktøyene. Grunnen til at det ikke er valgt å simulere i disse er fordi de benytter statiske beregninger, og simuleringer i disse programmene vil derfor ikke være representative for å løse oppgavens problemstilling. Simuleringer i Licaso ble også vurdert som uaktuelt fordi dette ikke er et verifisert simuleringsverktøy.

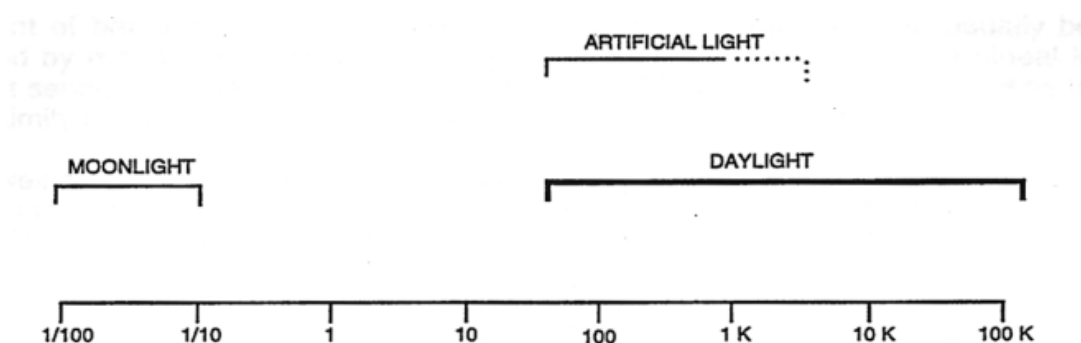
2 Dagslys

Dagslys er hovedkilden som gjør at det i hele tatt er mulig å oppnå energibesparelse ved å benytte dagslyssensorer. Dette kapittelet vil definere dagslyset og dets betydning for mennesket. Rapporten vil inneholde noen lystekniske begreper, som er forklart i kapittel 2.2 Lystekniske begreper.

2.1 Definisjon

Lys er elektromagnetisk stråling, og de bølglengdene i strålingen som mennesker oppfatter som synlige ligger i intervallet 380 – 780 nm. Dagslys ligger også innenfor dette intervallet. Øyets følsomhet for lysstråling er størst ved 550 nm og følsomheten avtar ved kortere og lengre bølglengder. [4]

Dagslys er definert som en del av solstrålingen, og deles ofte inn i direkte og indirekte kilder; direkte sollys, diffus himmelstråling og reflektert stråling. Direkte sollys vil forekomme når solstrålingen ikke blir blokkert av skyer, mens diffus himmelstråling vil være strålingen som reflekteres og trenger igjennom skylaget i atmosfæren. Reflektert stråling er direkte sollys eller diffus himmelstråling som reflekteres på jorda. Dagslyset gir høye belyningsstyrker og typiske verdier ligger mellom 10 000 til 100 000 lux. Det betyr at bygninger kan ha god tilgang på høye bidrag fra dagslyset i løpet av arbeidsdagen dersom bygningen er utformet riktig. Kunstig belysning vil bidra med mye lavere belyningsstyrker, slik Figur 1 illustrerer. [5]



Figur 1 - Figuren sammenligner kunstig belysning og dagslys på en logaritmisk skala. Enheten på x-aksen er lux.[5]

Dagslyset har den egenskapen at den gir en jevn spektralfordeling sammenlignet med kunstige lyskilder, og den inneholder hele fargespekteret. Det vil si at fargegjengivelsen i dagslys er høy. I tillegg er dagslys en bærekraftig og gratis energikilde, som er godt tilgjengelig store deler av året. [5, 6]

2.2 Lystekniske begreper

I denne rapporten vil flere ulike lystekniske begreper benyttes. De vil derfor defineres og forklares i dette underkapittelet. Lystekniske enheter er stråling som er veiet mot øyets følsomhetskurve, siden øyet ikke har samme følsomhet for all stråling. For å finne ut hvilken effekt øyet oppfatter av strålingen fra en kilde veies kildens utstrålingspektrum mot øyets følsomhetskurve. [4]

Lysfluks [lumen]

Er den strålingseffekten som øyet oppfatter, og har betegnelsen lumen.

Belysningsstyrke [lux]

Angir hvor stor lysfluks som faller på hver arealenhet av flaten. Belysningsstyrken måles i lumen/m² og har betegnelsen lux. Det engelske navnet på belysningsstyrke er illuminance.

Lysutbytte [η]

Lysutbyttet angis som forholdet mellom den utsendte lysfluks og den opptatte elektriske effekt fra forsyningen, og måles i lumen/W. Lysutbyttet har betegnelsen η .

Refleksjonsfaktor [ρ]

En prosentvis angivelse av hvor mye lys som blir reflektert fra en flate. [7]

2.3 Dagslyset betydning for mennesker

Dagslys spiller en meget viktig rolle i den naturlige vitamin- og hormonproduksjonen til mennesker. Hormonproduksjonen vil igjen påvirke menneskets biologiske klokke og den naturlige døgnrytmen. Dagslyset har også en nær forbindelse med en rekke følelsesmessige verdier. For lite dagslys kan føre til sløvhets og spise- og hormonforstyrrelser, særlig om vinteren. [8]

Dagslys varierer i nivå, retning og spektralfordeling i løpet av dagen og over året. Det gir variabel modellerings- og luminansmønstre, som oppfattes som gunstige for mennesker i innendørs arbeidsmiljø. Vinduer er derfor et viktig element på arbeidsplasser, både fordi de slipper inn dagslys og for den visuelle kontakten de gir med utemiljøet. [9] Østorienterte vinduer vil være mer fordelaktig enn vestorienterte, siden brukerne da eksponeres for dagslys tidligere på dagen. Dette vil aktivere de fysiologiske funksjonene nevnt i avsnittet ovenfor.

3 Dagslyssensorer

Store deler teorien og undersøkelsene som er beskrevet i dette kapitlet er hentet fra forfatters prosjektoppgave fra høsten 2017. [10]

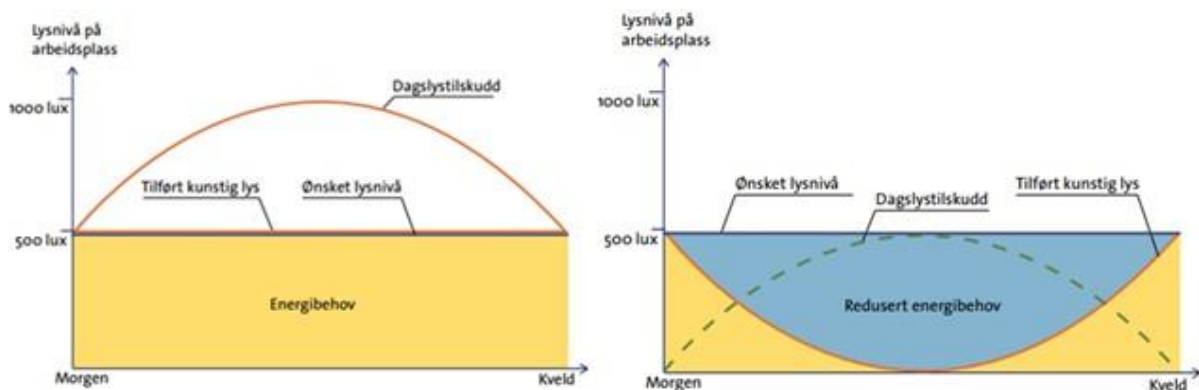
Dagslyssensorene består primært av en lyssensor, som kan utføre styring på to forskjellige prinsipper, *dagslysstyring* og *konstantlysstyring*.

Dagslysstyring vil si at lyssensoren måler dagslysnivået og slukker den kunstige belysningen om nivået er tilstrekkelig til å dekke kravet til belysningsnivå i rommet alene. Den kunstige belysningen vil slås på igjen når dagslyset alene ikke er tilstrekkelig.

Styringsprinsippet konstantlysstyring går ut på at armaturen reguleres kontinuerlig etter dagslysnivået i rommet. Den kunstige belysningen styres i motsatt syklus av dagslysinnfallet. Dersom lyssensorer måler at dagslyset kan dekke halvparten av rommets angitte belysningsnivå, kan armaturen dimmes tilsvarende. [11]

Ved konstantlysstyring kan sensoren ha stilt inn ulike forhåndsbestemte scenarier. Innstillingen kan for eksempel være slik at dagslyset må dekke et visst nivå, for eksempel 30 % av belysningsstyrken før armaturen kan tillates å dimmes ned. Ofte benyttes en tidsforsinkelse, slik at dagslyset må overholde et nivå over en viss tid før den kunstige belysningen reguleres, men konstant-lysprinsippet kan også foregå kontinuerlig.

Figur 2 illustrerer hvordan det elektriske energibehovet kan reduseres ved å unytte dagslyset. For å få et såpass redusert energibehov forutsettes det at bygningens tilgang på dagslys er høy og at styringssystemet fungerer optimalt.



Figur 2 - Illustrasjon av elektrisk energibehov uten og med dagslysstyring [11]

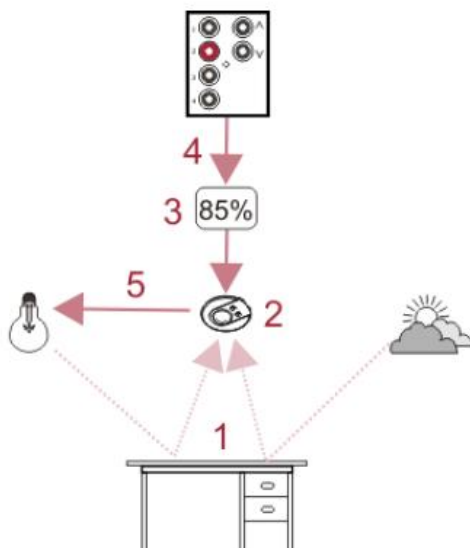
For å benytte konstantlysstyring forutsettes det at armaturen kan dimmes. Lysrør har forkoblingsutstyr, en ballast, som skal sikre en startpuls til røret og som sørger for at lyskilden mottar en korrekt og jevn strøm. For at et lysrør skal kunne dimmes, må det ha en ballast som er laget for å kunne regulere lyset, kalt en dimmbar ballast. Disse er relativt kostbare og de bruker energi.[12] LED-belysning er blitt svært utbredt i nye lysanlegg de siste årene, og de fleste LED-armaturer har også behov for et slikt forkoblingsutstyr.

3.1 Oppbygning og virkemåte

Fotocellen er den delen av lyssensoren som «måler/føler» belysningsstyrken i rommet. Cellen vil måle det reflekterte lyset fra dens deteksjonsområde, videre betegnet som arbeidsplanet. Lyssensoren består også av en fotoresistor, som er en motstand hvor resistansen minker med økende innfallende lysintensitet. [13]

En fotoresistor er laget av halvledermaterialer med høy resistans. Når det innfallende lyset på sensoren har en høy nok frekvens vil fotoner gi energi til elektronene bundet i halvledermaterialet, slik at de kan hoppe over til ledningsbåndene. Det frie elektronet, og dets tilhørende elektronhull vil generere en elektrisk strøm, som gjør at resistansen minker. Resistansen vil minke eksponentielt med det reflekterte lyset fra arbeidsplanet. Når strømmen øker betyr det at fotocellen måler en høyere lysfluks på arbeidsplanet, og sensoren vil sende et signal om at lyset skal senkes, slik som vist i punkt 5 under Figur 3. [13, 14]

Figur 3 illustrerer en prinsippskisse av hvordan lyssensoren virker. De ulike punktene på figuren er forklart under.



Figur 3 - Illustrasjon av virkemåten til en daglysføler [15]

1. Det tilgjengelige lyset i et rom er en blanding av omgivelseslys (daglys) og kunstig belysning.
2. Lyssensor måler mengden av reflektert lys fra overflaten under seg, arbeidsplanet.
3. Systemet har et målnivå for den mengden lys sensoren skal motta. Den vil hele tiden måle luminansen fra arbeidsplanet via en fotocelle. Fotocellen kan ikke måle belysningsstyrke (lux), og den ønskede verdien må som oftest justeres med et luxmeter ved installering, se nærmere forklaring i neste delkapittel.
4. Det er mulig å stille inn ulike «scenarier», som for eksempel at daglyset må dekke 30 % av målnivået, før armaturen kan dimmes ned.

5. Etter å ha sammenlignet lyssensorens nivå med målnivået vil systemet sende kommandoer som vil øke eller minske utgangsnivået til armaturene i et forsøk på å matche de to nivåene. Denne prosessen skjer kontinuerlig. [15, 16]

3.2 Installering og konfigurering

Konstantlys-prosessen fungerer på et enkelt tilbakemeldingsprinsipp, og har ingen mulighet til å kjenne til egenskapene til lampene den kontrollerer. Dette betyr at det er mulig å sette målnivået slik at systemet vil forsøke å få lampene til å ha et høyere lysnivå enn det de trenger.

Denne feilen kan skje ved at målnivået er satt på en lys dag, og dagslysnivået som registreres av lyssensoren er mange ganger det nivået armaturene kan klare å levere. Under disse omstendighetene vil sensoren sette armaturenes lysnivå til 100 % og de vil fortsette å operere på dette nivået, selv om det er tilstrekkelig dagslys til å dempe armaturene. [15]

Løsningen på dette problemet er å sette målverdiene når solskjermingen er nede eller når det er mørkt ute. Dette er for å sikre at lyset som sensoren mottar er den kunstige belysningen fra armaturene, og ikke fra dagslyset. [15]

Som tidligere nevnt er lysnivået målt av lyssensorene relativt, og kan ikke kalibreres til å korrespondere med en belysningsstyrke i lux fra armaturen. Lyssensoren må derfor justeres manuelt ved å følge punktene under. [15]

1. Plassere et luxmeter i arbeidsplanet i lyssensorens virkningsområde
2. Juster lysstyrken fra armaturene til luxmeteret måler ønsket verdi
3. Lagre verdien sensoren leser som et målnivå for konstant lys

Dette er den «tradisjonelle» måten å utføre det på. Men flere dagslyssensorer leveres nå med en lux-sensor i seg. Det ligger da en algoritme i sensoren som omgjør det målte lysnivået til en ekvivalent lux-verdi. Dette skal gjøre konfigureringen mye lettere, og innstillingene kan blant annet gjøres via en app på en smarttelefon.

Etter konfigureringen foretar disse sensorene en automatisk kalibrering av rommet, ofte om kvelden etter skumring første dag. I denne prosessen dempes og slukkes alle soner slik at sensoren danner seg et bilde av hvilket lystilskudd hver sone gir til rommet. Skulle det likevel være feil lux-nivå på for eksempel en arbeidsplass i en eller flere av sonene, kan man benytte et luxmeter på arbeidsbordet for så å legge inn denne verdien i appen. Det vil si at man manipulerer algoritmen. [17]

Ved installasjon er det viktig å være oppmerksom på faktorer som kan virke inn på sensoren. Som oftest er lyssensoren kombinert med en IR-detektor for bevegelse. Derfor bør det unngås å plassere detektoren i nærheten av gardiner som blaffer, eller planter med store blader. I tillegg reagerer detektoren på infrarød stråling, slik at den ikke kan plasseres i nærheten av varmekilder som tilluftskanaler og lignende. Det er viktig å passe på at sensoren ikke blir påvirket av høyreflekterende overflater som f.eks. glass og speil. Sensoren skal plasseres slik

at den kan detektere både dagslys og kunstig belysning, men den skal ikke plasseres for nære vinduet, da den vil måle et høyere dagslysnivå enn det som faktisk er lengre inne i rommet.

Installatøren må unngå å stå i veien for lyset som treffer arbeidsplanet når innstillingen av lux-verdien settes. Dersom armaturene er nedhengt og består av lysrør som lyser opp i taket, må ikke dette lyset forstyrre fotocellen. [18]

3.3 Potensiell energibesparelse

Det eksiterer ulike tall for hvor høy energibesparelse som kan oppnås ved å styre lyset etter konstantlys-prinsippet. I forfatters prosjektoppgave ble det gjort et litteratursøk der blant annet et forsøk utført i Canada viste at dagslyssensorene alene førte til en gjennomsnittlig energibesparelse på 20 %, og at den kunne oppnådd en energibesparelse på 32 % dersom den kunstige belysningen kunne dimmes helt ned til 0 %. Det samme forsøket viste at ved kombinert dagslys- og tilstedeværelsesstyring var tallene på henholdsvis 45 % og 51 %. [10, 19]

Thorn Lighting har i et en informasjonsbrosjyre om lysstyringssystem oppgitt ulike tall for energieffektiviteten til ulike lysstyringsprinsipp. Tallene er referert fra en rapport utgitt i 2012 utført av Leukos. Rapporten sammenligner 240 utførte studier basert på ulike styringsteknologier og styringsprinsipper. Resultatene fra forsøkene viser en gjennomsnittlig besparelse på 24 % for bevegelsesstyring og 28 % for styring basert på konstantlys-styring. Av disse 240 studiene var det kun 2 % av studiene tok for seg en kombinert styring av dagslys og tilstedeværelse. Studiene var fordelt på mange ulike bygningskategorier der 25 % av byggene var kontorbygg. [20]

For å dekke de ulike energikravene satt i TEK 17 benytter prosjekterende som oftest «Bygningers energiytelse» (NS:3031) utgitt av Norsk Standard. NS:3031:2014 ble trukket tilbake 1. februar 2018 og erstattes av SN/TS 3031:2016, men NS 3031 dekker fortsatt TEK17.

[SN/TS 3031 – Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning](#)

I NS:3031 finnes verdier for energibehovet til belysning for ulike bygningskategorier, og verdiene er gitt i $[(kWh/m^2 \cdot \text{år})]$ [21]. Det samme gjelder for SN/TS 3031.

SN/TS 3031 åpner også for reelle energiberegninger for lysanlegget, ved å utlede timesverdier. Da benyttes $[(Wh/m^2 \cdot d\ddot{o}gn)]$ og årets driftstimer for ulike bygningskategorier til å finne $[(kWh/m^2 \cdot \text{år})]$. For kontorbygg er dette 9,62 (Wh/m^2) og en driftstid fra kl. 7-16 og 5 dager i uken. [22]

Begge versjonene inneholder en reduksjonsfaktor for energibruket på 20 % dersom det benyttes styringssystem for utnyttelse av dagslys eller basert på tilstedeværelse. [21, 22]

Både NS:3031 og SN/TS 3031 refererer til at andre verdier for belysning kan dokumenteres med beregningsmetoder etter NS-EN 15193 «Energikrav i lysnalegg».

SN/TS har også inkludert at ved beregning av reelt energibehov skal parasittbelastning inkluderes. Parasittbelastning er energi som ikke går direkte til belysning, men til for eksempel til styringsmoduler og nødbelysning. I allerede eksisterende bygninger der de parasittiske belastningsverdiene er ukjente kan standardverdiene 1 [(kWh/m² · år)] for nøddlys og 5 [(kWh/m² · år)] for automatisk lyskontroll benyttes. [21, 22]

NS-EN 15193 – 1 (2017) – Bygningers energiytelse - Energikrav i lysanlegg

I denne standarden utregnes LENI- tall, som skal være en indikator for energibehovet til belysning. LENI står for Lighting Energy Numeric Indicator, og er gitt i [(kWh/m² · år)]. Tallet inkluderer også energiforbruk for parasittlaste som styringsmoduler, sensorer og forkoblinger som forbruker energi også når de står i stand-by. LENI-tallet defineres som W_t .

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$$

$$W = \sum (8760 / t_s \cdot W_t) [kWh / \text{år}]$$

$$LENI = W / A [kWh / (m^2 \cdot \text{år})]$$

Der A er bygningens areal og W er totalt årlig energibehov for belysning.

$W_{L,t}$ er den estimerte energien som trengs for å dekke belysning. Og formelen er:

$$W_{L,t} = \sum \{ (P_n \cdot F_c) \cdot F_o [(t_D \cdot F_D) + t_N] \} / 1000 [kWh / t_s]$$

$$P_n = \sum_{i=1}^{i-n} P_i [W]$$

P_i er armaturenes nominelle effekt multiplisert med antall armaturer. Dersom armaturene er tilkoblet strømforsyningen via elektroniske forkoblinger, eller at det er en transformator i armaturen skal P_i multipliseres med 1,2 for å kompensere for det ekstra effektforbruket.

F_o avhengighetsfaktoren for tilstedeværelse som igjen vil være avhengig av blant annet hva slags styringsstrategi/egenskaper tilstedeværelsesstyringen er kontrollert etter. t_D og t_N er henholdsvis er områdets timer med og uten dagslys. F_c er avhengighetsfaktoren for konstant lys, og vil være avhengig av virkningsgraden for styringsprinsippet og anleggets vedlikeholdsfaktor. Virkningsgraden settes til å være 1 når denne er ukjent.

F_D er avhengighetsfaktoren for dagslys, som igjen er avhengig av dagslystilskudd og den dagslysavhengig lyskontroll for den kunstig belysningen. Faktorene som bestemmer $W_{L,t}$ vil

varere for ulike steder i bygningen. Der må derfor foretas beregninger for alle områdetyper i bygningen, slik Figur 4 viser.

Area Code	F_O	F_D	F_C	P_n	P_{em}	P_{pc}

Figur 4 - Illustrasjon av tabell for effekt og påvirkningsfaktorer for energibruket for belysning

$W_{p,t}$ er den estimerte årlige standby energien som trengs for å dekke energi til nødlysbatteriene og standby energien for automatisk lyskontroll.

$$W_{p,t} = \sum \left\{ (P_{pc} \cdot t_y) + (P_{em} \cdot t_e) \right\} / 1000 [kWh / year]$$

Hvor P_{em} er standby ladeeffekt for batteriene i selvforsynte nødlysarmaturer. Denne effekten skal være oppgitt på de gjeldende armaturene. Og P_{pc} er den nødvendige standby effekten for lysstyring og detektorer i selve armaturen uten at armaturen er tent. Denne effekten skal også være oppgitt på de gjeldende armaturene. t_y og t_e er henholdsvis antall timer i året og ladetiden for batteriene.

Formelen for $W_{p,t}$ inkluderer ikke den nødvendige effekten som trengs for et sentralt nødlysbatterisystem. Den inkluderer heller ikke effekten som trengs for kontrollsystemer som ikke trekker effekt fra armaturen.

Dersom nødlys og automatisk lysstyring er inkludert i installasjonen skal følgende standardverdier benyttes: $W_{pe} = 1,0kWh / m^2\text{år}$ og $W_{pc} = 1,5kWh / m^2\text{år}$. Disse verdiene gjelder kun for integrerte sensorer. [23]

3.5 Faktorer som påvirker sensorene

I forfatterens prosjektoppgave ble det utført ulike tester for å undersøke hva som eventuelt kan påvirke sensorene før og etter konfigureringen. Sensorene er beskrevet som svært følsomme, og dersom det skjer små endringer i detekteringsområdet skal sensoren reagere ved å justere lysnivået tilsvarende.

Mengden lys sensoren mottar er avhengig av farger og de reflekterende egenskapene til overflatene i sensorens detekteringsområde. Dersom sensoren er montert over et skrivebord laget av et mørkt materiale, og det blir plassert hvite, lyse dokumenter på bordplaten vil det reflekterte lyset øke. Sensoren skal da registrere et høyere lysnivå enn det virkelige nivået i rommet, og dimme armaturene tilsvarende. Når papiret fjernes, skal sensoren øke lysnivået. En lignende effekt skal oppstå dersom innredningen i rommet omlegges etter at dagslyssensorene er satt opp. Følgende scenarier ble testet ut i prosjektoppgaven:

- Hvordan reagerer sensoren på endring av dagslys i arbeidsplanet?
- Hvordan reagerer sensoren dersom refleksjonsegenskapene i arbeidsplanet endres?
- Hvordan reagerer sensoren ved ommøblering?

Resultatene fra påvirkningstestene viste at lysnivåene økte med 20 % ved utbytting av en bordplate med en mørkere farge og dårligere refleksjonsegenskaper, og en økning på 30 % ved ommøblering (ved å fysisk flytte det hvite bordet slik at det mørke gulvet lå i sensorens deteksjonsområde).

Sistnevnte verdi kan muligens være høyere. Dette er fordi armaturen var stilt inn med et lysnivå på 70 % før testene startet, og armaturen økte til 100 % lysutgang. Dersom armaturen hadde hatt et lavere lysnivå som utgangspunkt (f.eks. 50 %) er det mulig at den fortsatt hadde økt til 100 %. Resultatene viser viktigheten med en nøyaktig konfigurering og rekonfigurering ved en eventuell utskiftning av møbler og ommøblering.

3.6 Investeringskostnader

Dagslyssensorene som leveres på dagens marked er ofte integrert med en bevegelsessensor, og kalles gjerne multisensor. Når en armatur skal styres etter konstantlys-prinsippet er det en forutsetning at den kan dimmes. I forfatterens prosjektoppgave ble det utført en merinvesteringsundersøkelse som kan legge et grunnlag for nytte-kostverdien for konstantlys-sensorer.

Siden bevegelsessensorer eksisterer i de fleste nye lysanlegg, er det eventuelt merinvesteringskostnaden for dagslysføleren som vil være aktuell å undersøke. Leverandørene av lysstyring har sjeldent eller aldri opplysninger om prisen på sine produkter på sine nettsider. Derfor ble bransjen kontaktet for å finne merinvesteringskostnadene. Resultatene av undersøkelsene viser at prisforskjellen mellom en bevegelsessensor og en multisensor er liten, mens prisforskjell mellom forskjellige fabrikater og systemer er derimot noe høyere. [24]

Kostnaden for en armatur styrt med en multisensor sammenlignet med en armatur uten styring antas i gjennomsnitt å være rundt 600 kr, se Tabell 1. Ofte er det samme sensoren som leveres både ved bevegelsesdetektering og styring etter dagslys. Det koster ca. 200 kroner å få en armatur levert med bevegelsesdetektering, der armaturen kun skrur av/på. Når konstantlys-funksjonen også skal benyttes må armaturen kunne dimmes. Det tilkommer da det et tillegg på ca. 400 kr. [25]

Til sammen vil da sensoren og muligheten for å dimme armaturen utgjøre en merinvesteringskostnad på 600 kr, sammenlignet med en armatur uten noen form for styring. Dette er en gjennomsnittskostnad for en armatur, der en sensor styrer flere armaturer samtidig. [25]

Tabell 1 - Merinvesteringskostnader for sensorer med ulike styringsegenskaper [21]

Løsning	Merinvesteringskostnad [kr]
Armaturløsning med manuell av/på styring	0
Nedhengt armatur med ekstern bevegelsessensor	200
Nedhengt armatur med mulighet for dimming	400
Nedhengt armatur med ekstern multisensor (bevegelse + konstantlys-funksjon)	600

Det betyr at merkostnaden for en DALI-sensor beregnet for dimming kontra en sensor for av/på styring er cirka det dobbelte. [26]

Disse prisene vil være «prosjektpriser». I store prosjekter, som krever mange komponenter vil en kunne forhandle seg til bedre pris, men denne prisforskjellen vil ikke endre seg mye fra et lite og stort prosjekt. [25]

Ut ifra spørreundersøkelsene hos rådgiverbransjen, se kapittel, 4.5.4 Vurdering og plassering av dagslyssensorer oppgir de fleste at merinvesteringskostnaden for å installere dagslyssensorer er såpass liten at de installerer de, uten å undersøke nærmere hvor stor den faktiske energibesparelsen kommer til å bli. For at dette skal være et argument må det bety at armaturene da allerede skal ha dimmingsfunksjonen integrert uansett om det installeres lysstyring eller ikke.

4 Prosjektering av lys og dagslys

Det blir stadig satt høyere miljø- og energikrav til nye bygninger. Samtidig bygges det tettere og det settes strenge krav til inn klima og komfort. Dette kapittelet vil gi en introduksjon i kriterier for bygningers tilgang på dagslys og dets tilhørende regelverk. Videre vil også simuleringsverktøy for dagslys og kunstig belysning presenteres, og utdype deres fordeler og begrensninger. Kapittelet vil også presentere rådgiverbransjens tanker og erfaringer om bygningers dagslysforhold, energibesparelse og dynamiske simuleringsverktøy.

4.1 Bygningers tilgang på dagslys

Dette delkapittelet er hentet fra forfatterens prosjektoppgave. [10] Det er flere faktorer som spiller inn på dagslystilgangen i en bygning. De utvendige faktorene er skjerming av vegetasjon og nabobygg, samt refleksjoner fra disse. De innvendige faktorene er rommets refleksjonsegenskaper, rommets geometriske utforming og vinduenes lystransmisjon. I tillegg vil den geografiske lokaliseringen og orienteringen ha en betydelig virkning på byggets dagslystilgang. [8]

Vinduenes plassering og størrelse, i tillegg til glassflatenes egenskaper for lystransmisjon, er meget viktige faktorer. Lystransmisjon er en betegnelse på hvor mye av lyset som slippes igjennom glasset og inn i rommet. Tolags-vinduer har som regel en lystransmisjon på 80 %, mens trelags-vinduer har en lystransmisjon på 70 %. Lystransmisjonen avhenger av hvor overskyet himmelen er, og de nevnte tallene gjelder for en overskyet himmel. [27] Vinduenes plassering, størrelse, og høyde vil også ha betydning for mengden dagslys som trenger inn i rommet.

Solskjermingen vil påvirke lystransmisjonen inn gjennom vinduet. Skjermingen vil som oftest være med på å hindre lystilgang inn i rommet, men den kan også bidra med å styre lyset dypere inne i rommet. Det finnes både innvendige og utvendige solskjermingssystemer. Hvor høy lystransmisjon som slipper inn i rommet vil avhenge av skjermingens helning, overflateegenskapene til materiale i skjermingen og om himmelen er skyfri eller overskyet. [28]

Siden det er satt strengere krav til bygningers energibruk de siste årene, har det ført til at bygninger har en mer kompakt bygningskropp. Veggene blir tykkere og vinduskarmene blir dypere, noe som fører til at lyset ikke vil falle like langt inn i rommet, som det ville gjort med tynnere vegger. En konsekvens av en kompakt og godt isolert bygningskropp er faren for overopphetning om sommeren. Det øker behovet for større vindusarealer med lavere transmisjonsgjennomgang for å unngå overopphetning. Dette vil bidra til å redusere lysinnslippet.

Rommets interne refleksjonsegenskaper og interne skjerminger vil ha noe å si om hvordan lyset reflekteres og fordeler seg i rommet. Dersom rommets refleksjonsfaktorer er ukjente, kan det benyttes 20 % for gulv, 50 % for vegger og 70 % for tak. I tillegg vil det være interne refleksjoner fra rommets møbler og lignende som har andre refleksjonsegenskaper. [27]

De geografiske lengde og breddegradene er en avgjørende faktor på hvor mye dagslys som er tilgjengelig på en bygningens geografisk plassering. Lengdegraden vil bestemme når sola går opp, ned og når den står i senit. Breddegraden vil ha en større innvirkning på tilgjengelig dagslys, fordi den bestemmer den tilgjengelige solhøyden, samt tapet til sollyset gjennom atmosfæren. Den vil også ha innvirkning på hvor lenge sola er oppe i løpet av et døgn. [27]

Været vil også variere ut fra bygningens geografiske plassering, som selvfølgelig vil ha en betydning for tilgang på dagslys. Været kan også gi tilsmussing av vinduene, med for eksempel regn og pollen, som kan redusere vinduenes lystransmittans betydelig.

4.2 Dagens regelverk og ulike vurderingsformer for dagslys

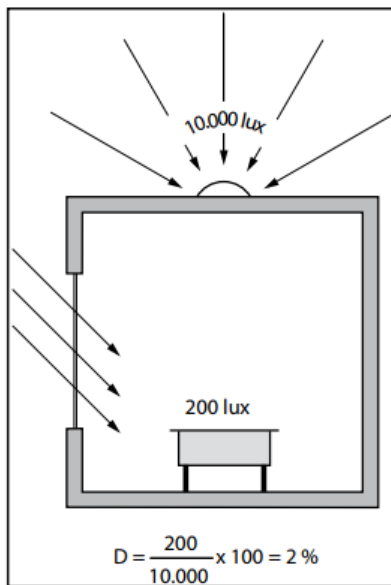
I Norge i dag vurderes bygningens dagslystilgang som oftest etter dagslysfaktor, og denne er godkjent som tilstrekkelig dokumentasjon i Byggteknisk forskrift (TEK 17). [29] Denne vurderingsformen er statisk, det vil si at den ikke inkluderer de naturlige variasjonene i dagslyset gjennom et år. Tidligere har også andre metoder blitt benyttet, som for eksempel at andel vindusareal skal være 10 % i forhold til gulvareal. Denne metoden har vist seg å være dårlig, slik at den er fjernet i TEK17. [3]

Konklusjonen fra flere forskningsartikler som omhandler bygningens dagslystilgang, komfort og inneklima mener at det i fremtiden bør benyttes en mer dynamisk vurdering. I en dynamisk vurdering vil lyset variasjon over året finnes ved å benytte meteorologiske data. Klimabaserte dagslyssimuleringer er en fullstendig dynamisk vurdering som det er forsket en del på. Denne vurderingsformen vil både vurdere bygningens dagslystilgang samtidig som den inkluderer brukerens komfort. Både dagslysfaktoren og klimabaserte dagslyssimuleringer (CBDM) vil videre utdypes i dette underkapittelet.

4.2.1 Dagslysfaktor

Dette underkapittelet er hentet fra forfatterens prosjektoppgave. [10] Dagslysfaktoren er definert som forholdet mellom belysningsstyrken på en horisontal flate inne i rommet og belysningsstyrken fra dagslys til en tilsvarende horisontal flate ute, med en jevn overskyet himmel og fri horisont, se Figur 5. Belysningsstyrken innendørs skal måles i arbeidsplanet, ofte 0,8 meter over gulvet. [30]

For beregning av dagslysfaktor benyttes en himmelmodell, CIE overskyet himmel. Dette er en teoretisk himmelmodell som baserer seg på langvarige målinger av luminans fra himmelen på flere geografiske steder. [31]

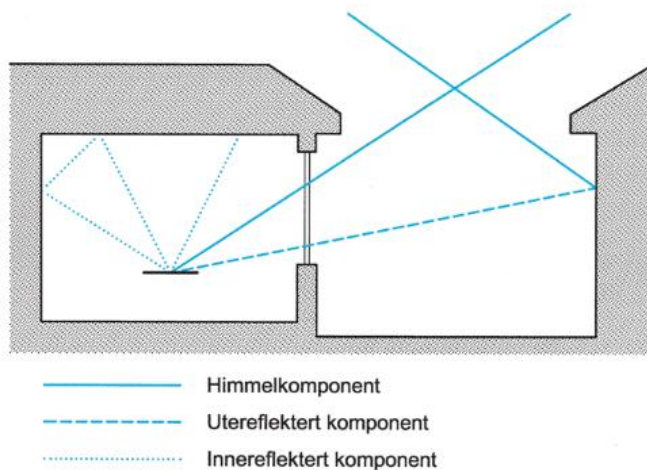


Figur 5 - Beskrivelse av daglysfaktor [31]

Daglysandelen i dagslysfaktoren deles inn i tre komponenter, slik Figur 6 illustrerer.

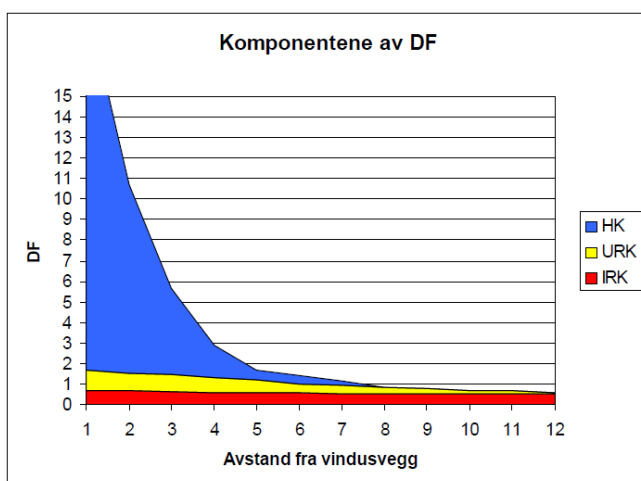
- Diffus stråling (himmelkomponent)
Er strålingen som kommer direkte fra en uskjermet himmel
- Utereflektert komponent
Det reflekterte lyset fra omgivelsene, som kan f.eks. refleksjon fra nabobygninger, vegetasjon eller andre gjenstander utendørs
- Innereflektert komponent
Refleksjon fra tak, vegger og gulv

Den diffuse strålingen fra himmelen og den utereflekterte komponenten må korrigeres for transmisjonstap i vindusglasset.[30]



Figur 6 - Dagslysfaktorens tre hovedkomponenter [30]

Dagslysandelen vil være størst i nærheten av vinduer. Figur 7 viser hvordan dagslysfaktorens komponenter avtar med avstanden fra vindusveggen. Illustrasjonen viser at det er fordelaktig med lys fra den direkte himmelkomponenten fordi den kan gi en høy dagslysfaktor et godt stykke inn i rommet.



Figur 7 – Illustrasjon av hvordan dagslysfaktorens komponenter forandrer seg inn i rommet [32]

TEK17 stiller krav om en minste gjennomsnittlige dagslysfaktor på 2 % for rom med oppholdssoner. I danske byggteknisk forskrift, BR18, er dagslysfaktor fjernet som en tilfredsstillende ytelse, men 10 %-regelen lever fortsatt. Dagslyskravene i BR18 kan også tilfredsstilles ved å dokumentere at rommene har 300 lux for halvparten av arealene i halvparten av dagslystidene. Denne vurderingsformen vil fortelle mer om rommets dagslysbidrag enn dagslysfaktor.[33]

4.2.2 Klimabaserte dagslyssimuleringer (CBDM)

I dag bruker rådgiverbransjen hovedsakelige statiske simuleringprogrammer for å dokumentere dagslystilskuddet i bygninger. Disse simuleringverktøyene baserer seg på CIE-himmelmodellen som er en lett overskyet himmel, se nærmere beskrivelse i kapittel 4.3.2.1 CIE overskyet himmel. Ved å benytte disse programmene vil dagslysnivået kun bli vurdert under konstante forhold som ikke inkluderer direkte sol og bruk av solavskjerming. [34]

Klimabaserte dagslyssimuleringer på engelsk kalt Climate Based Daylight Modeling (CBDM) ble utarbeidet av Mardaljevic i 2006, men har fortsatt ikke en formell definisjon. [35] I CBDM benyttes Perez All-weather himmelmodell som baserer seg på realistiske sol og himmeltilstander fra standardiserte eller observerte klimadata, se kapittel 4.3.2.2 Perez All Weather sky model. Klimadataene benyttet i denne himmelmodellen tar også høyde for bygningens geografiske beliggenhet og orientering. [36]

De mest benyttede vurderingsdataene i CBDM er daylight autonomy (DA) og useful daylight illuminance (UDI). Forskjellen mellom DA og UDI sammenlignet med vurderingsmetodene i TEK17 er at disse tar hensyn til både variasjon i dagslyset og hva brukerne oppfatter som tilfredsstillende dagslys.

Daylight Autonomy (DA)

Daylight Autonomy sier noe om hvor stor andel av arbeidsdagen dagslyset er tilstrekkelig som eneste lyskilde i en bygning. For eksempel på en kontorplass er kravet til minste belyningsstyrke på arbeidsplanet 500 lux.

Videre deles daylight autonomy inni flere undergrupper. En av de mest utbredte er *Spatial Daylight Autonomy (sDA)*, som definerer hvor stor del av arbeidsplanet som oppnår belyningsstyrker på over 300 lux i 50 % av arbeidstiden. [3, 36] Grenseverdien på 300 lux er basert på resultatene fra en studie utført av både dagslyseksperter og brukere av bygninger.[3]

Fordelene med DA sammenlignet med dagslysfaktor er at DA-beregningene inkluderer brukermønster i bygningene sammen med vær- og himmelforhold. DA-verdiene er uavhengig av den kunstige belysningen og dens kontrollstrategi. DA vil derfor kun si noe om dagslystilgangen i bygningen men ikke noe om selve energibesparelsen til den kunstige belysningen. Men DA gir et bilde på energisparepotensialet som kan oppnås ved styre den kunstige belysningen etter dagslyset. [37]

Useful Daylight Illuminance (UDI)

Useful daylight illuminance forteller som navnet tilsier; hvor stor andel av arbeidsdagen dagslyset er nyttig for brukerne. UDI kartlegger hvor stor del av en arbeidsdag dagslysbidraget ligger i intervallet 100-3000 lux i arbeidsplanet.

Metoden er utviklet og basert på undersøkelser som viser at dagslyset er verdifullt for brukerne om det bidrar med verdier mellom 100-2000/3000 lux. Noe litteratur mener denne grensen går ved 2000 lux og gjelder for kontorer. Steder der brukerne har mulighet til å utføre

justeringer selv, kan høyere luminanser aksepteres. Ved dagslysbidrag på 100 lux og mindre anses bidraget som utilstrekkelig for å utføre noen energibesparelse. Metoden er basert på omfattende feltundersøkelser av brukernes vurdering og atferd i rom med dagslystilgang. [36]

I intervallet mellom 100-500 lux anses dagslyset som nyttig, og kan benyttes både som et supplement til den kunstige belysningen samt at daglyset også kan fungere som eneste verdi. I intervallet mellom 500-2000/3000 lux anses dagslyset fortsatt som akseptabelt, men i dette intervallet kan dagslyset være med på å skape diskomfort for brukerne. Når verdien overstiger 2000/3000 lux er det fare for blinding hos brukerne, og det kan skape termisk ubehag i form av overopphetning. [2, 3] UDI inkluderer altså brukernes preferanser for mengder dagslys som skaper ubehag eller uønsket termisk ubehag for forbrukerne. [38]

Fordelene ved å benytte seg av CBDM er at resultatene vil gi et godt bilde av dagslysforholdene i et rom i tillegg til variasjonene i dagslysnivået, som vil være en meget viktig faktor ved prosjekteringen av dagslyssensorer. De største ulempene ved CBDM er at metoden er mer komplisert og det krever en del inputdata og kjennskap til disse for å kunne få nøyaktige resultater fra simuleringene. Metoden inneholder også noen forenklinger, blant annet at det benyttes timebaserte klimadata. Lyset og været kan ha store variasjoner i løpet av en time.

4.3 Simulering av dagslys

Statsbygg utførte i 2014 i et FoU-prosjekt der formålet var å undersøke og utvikle bruken av Bygningsinformasjonsmodellerings (BIM) i energi- og inneklimaberegninger. Dagslysberegninger var også inkludert, og muligheten for å benytte BIM som underlag i dagslyssimuleringer ble undersøkt. Dagslysevalueringer i BIM er et ganske ferskt tema, og dersom BIM kan benyttes som underlag i dagslyssimuleringer, vil dette kunne bidra til å redusere mange arbeidstimer og øke både nøyaktigheten og kvaliteten på dagslysevalueringene.[39]

De ulike simuleringeverktøyene for dagslyssimuleringer har forskjellige produsenter, og det vil derfor være forskjell i hvordan de ulike programmene er oppbygd. Dette underkapittelet skal forsøke å gi en oversikt over noen av de mest utbredte programmene. Kapittelet skal gi et kort overblikk av hvilke beregningsmetoder de benytter seg av og begrensningene som ligger i de ulike verktøyene. Felles for de alle er at de trenger en modell av bygningene som skal undersøkes. Denne modellen må inneholde bygningenes geometri og omgivelse samt alle materialeoverflatenes optiske egenskaper (reflektans). [39]

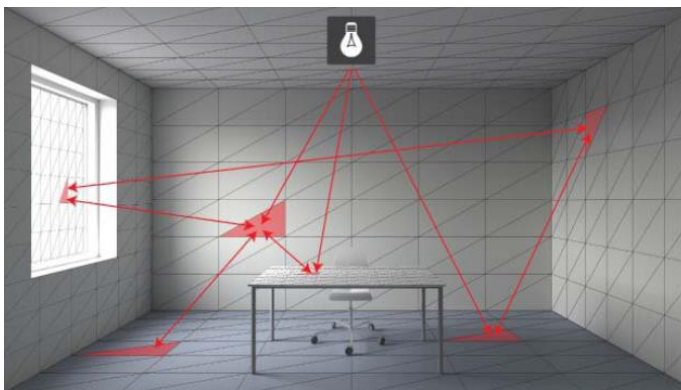
Før simuleringeverktøyene presenteres og sammenlignes er det viktig å ha kjennskap til de ulike beregningskjernene simuleringeverktøyene benytter.

4.3.1 Beregningskjerner

Det finnes flere typer simuleringsverktøy for lys og igjen benytter flere av disse forskjellige beregningsalgoritmer. I dette delkapittelet er det kun valgt å dra frem beregningskjernene som benyttes i de mest utbredte programmene. Dette er for å gi en oversikt over hvordan beregningsmotorene for de ulike verktøyene fungerer, og samtidig få presentert deres fordeler og begrensninger.

4.3.1.1 Radiosity

Denne beregningsalgoritmen skal kunne illustrere realistiske dagslysscenarioer og inkluderer både skygger og diffust lys. Programmene som baserer seg på radiosity benytter elementmetoden for å gjengi lysets fordeling for scenarioer med rent diffuse overflater. Elementmetoden er en numerisk løsningsmetode. Denne metoden krever at overflatene blir delt i et nett av mindre punkter, slik som de røde punktene i Figur 8. Ulike faktorer mellom hvert punkt blir beregnet. Belysningen for et punkt blir bestemt ved å legge til alle bidrag fra alle nærliggende punkter samt lyskildene. Kort sagt beregnes den totale mengden med lys som sendes ut fra et punkt.



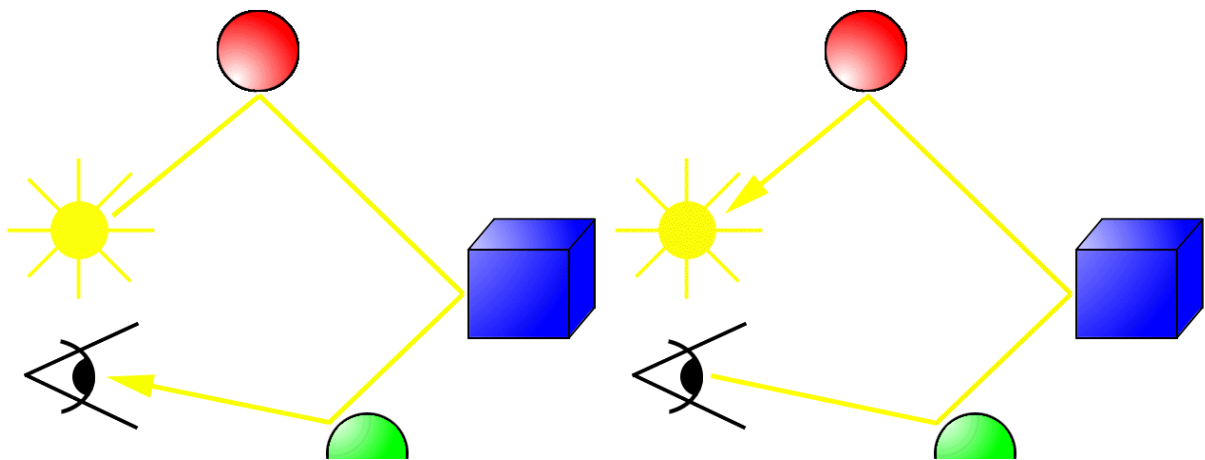
Figur 8 - Illustrasjon av hvordan Radiosity-algoritmen fungerer [40]

Radiosity har sine begrensninger i en simulering av dagslys og kan kun benyttes i rom med relativ enkelt geometri. [40]

4.3.1.2 Ray tracing

Ray tracing baserer seg på beregning av strålingsfordelingen til en stor mengde lysstråler. Som navnet tilsier følges strålingen til den treffer objekter i rommet. Da vil lysstrålens retning etter at den har truffet objektet beregnes. I tillegg må et nytt sett med stråler beregnes og følges til deres intensitet blir liten og ubetydelig. [41]

I forward ray tracing følges lyspartiklene fra lyskilden til objekter i rommet og videre til «øyet», se Figur 9. Øyet i figurene vil i denne sammenheng være et beregningspunkt i det grafiske bildet som vil vises i simuleringverktøyet. I backward ray tracing skjer dette i motsatt rekkefølge. Her følges en stråle fra beregningspunktet som treffer objekter i rommet og fortsetter videre.

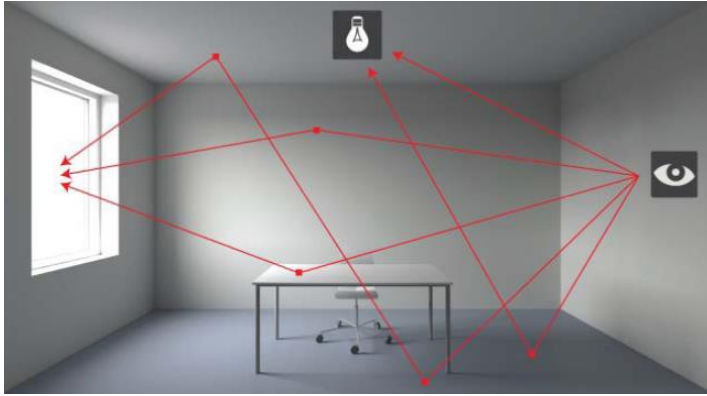


Figur 9 - Illustrasjon av ray tracing. Forward ray tracing til venstre og backward ray tracing til høyre [42]

I backward ray tracing vil det første objektet som strålen fra beregningspunktet treffer, være synlig i den grafiske fremstillingen i simuleringverktøyet. En ray tracer vil gjenspeile fargen og skyggeleggingen av objektet i resultatfilen i simuleringverktøyet. Backward ray tracing antar at strålen fra beregningspunktet som treffer objektet ikke vil bli bøyd. For eksempel om man plasserer et optisk glass rett over et bord, vil backward raytracing tolke at strålen går rett gjennom linseglasset. Den vil ikke korrigere for at strålen i virkeligheten ville blitt bøyd. [42] Figur 10 illustrerer backward ray tracing i et rom.

Backward ray tracing er raskere enn forward ray tracing, siden den kun beregner strålene som treffer objekter i rommet. Teknikken er ikke egnet i tilfeller der lyskildene er vanskelige å finne i en simuleringsscenene som for eksempel i smale lysspalter.

Forward ray tracing har en meget nøyaktig fargegjengivelse av objektene, men denne beregningsteknikken er ineffektiv. Grunnen til det er at flere av strålene fra lyskildene ikke går via et objekt og videre til beregningspunktet. Alle disse strålene vil følges, uansett om de treffer punktet eller ikke. Dette betyr at ikke alle strålene blir inkludert med i det endelige grafiske bildet som vises i simuleringverktøyet.



Figur 10 - Backward ray tracing [40]

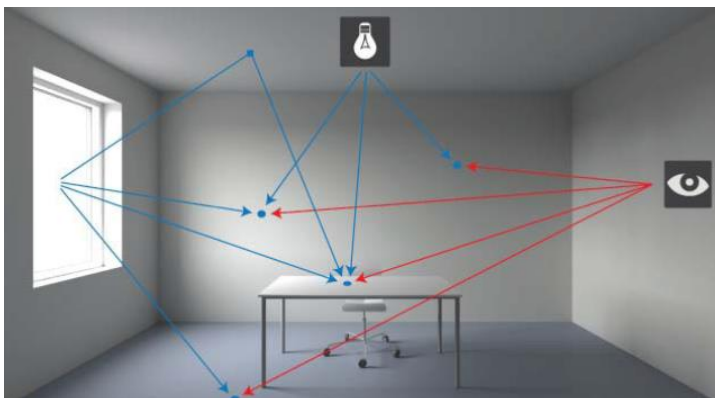
Ray tracing inkluderer både refleksjon, transmisjon i tillegg til at den støtter brytning av stråler i materialer. Dette fører til at det kan benyttes komplekse materialer i simuleringstøytø basert på ray tracing. [40]

4.3.1.3 Photon mapping

Photon mapping er en teknikk som benytter toveis-ray tracing, det vil si at den benytter både forward og backward ray tracing. Den kalles også hybrid ray tracing

Denne teknikken benytter noen av stegene i forward ray tracing og algoritmen lagrer disse dataene. Videre vil beregningskjernen gå over til å utføre backward ray tracing. Videre vil data fra begge teknikkene benyttes i farge og skyggegjengivelsene. [42]

Først kombineres deler av forward ray tracing til å fordele lyset i rommet, og for å fange lysfluksen på overflatene. Det andre steget består av å benytte backward ray tracing, som følger lyset fra visningspunktet og videre ut i rommet.



Figur 11 - Illustrasjon av photon mapping. De blå pilene illustrerer steg 1, og de røde steg 2 [40]

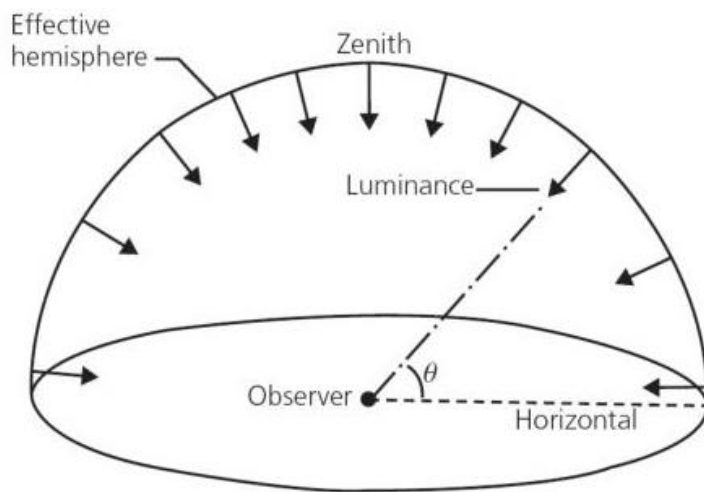
Resultatene fra denne metoden skal gi et mer nøyaktig resultat for mer komplekse lysscenarier, samtidig som den er raskere enn tradisjonell backward ray tracing.[40]

4.3.2. Himmelm modeller

Vær og årstid vil ha en stor innvirkning på hvor mye dagslys som er tilgjengelig ute, og ikke minst hvor mye dagslys som trenger inn i bygninger. De fleste simuleringsverktøyene benytter seg av himmelmodeller som ikke tar for seg disse variasjonene. Dette underkapittelet vil presentere himmelmodellene som benyttes i verktøyene som utdypes i kapittel 4.4 Simuleringsverktøy.

4.3.2.1 CIE overskyet himmel

Denne himmelmodellen er utarbeidet av Commission Internationale de l'Éclairage som er den internasjonale belysningskomitéen. Modellen er en konstruert himmelmodell. Det finnes flere CIE himmelmodeller, men i de aller fleste simuleringsverktøy benyttes CIE overskyet himmel. I denne modellen er den relative luminansfordelingen kun avhengig av høydevinkelen. Det betyr at den ikke er avhengig av solas posisjon eller bygningens orientering. [43]



Figur 12 - Illustrasjon av hvordan luminansene regnes ut for CIE overskyet himmel [44]

CIE overskyet himmelmodell inkluderer ikke variasjoner i sol- og værforhold, men er statisk og benytter kun værforholdet ved en overskyet himmel. Figur 12 illustrerer himmelkuppelen og de ulike parameterne for beregning av luminansen for en bestemt vinkel ut fra Formel 1

Formel 1 - Formel for beregning av luminans i CIE himmelmodellen

$$L_{\theta} = L_z \frac{1}{3} \left(\frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \right)$$

4.3.2.2 Perez All Weather sky model

Perez All Weather er en dynamisk himmelmodell som brukes til å finne den relative luminansfordelingen for himmelkuppelen. Modellen benytter en klimafil som baserer seg på innsamlet værdata fra værstasjoner over hele verden. [45] Klimafilen er et standardisert værsett, og inneholder data for hver av årets timer. Det er utarbeidet utfra mange års observasjoner og den velger ut måneder fra forskjellige år som statistisk viser seg å være representativ for 95 % av tilfellene. Det vil si at værdataene for en dag januar kan være hentet

fra et helt annet år enn værdataene fra en dag i juni. Dette er for å luke ut de ekstreme tilfellene. [45]

Grunnen til at faktiske værdata benyttes, er for å også kunne forutsi dagslysverdier for perioder uten en lett overskyet himmel. Modellen inkluderer også en blå klar himmel med sol, og en mørk og tett overskyet dag. Dette skal føre til å gi et bedre helhetsbilde av hvordan dagslysnivået vil variere gjennom alle årets dagslystimer. [36]

Perez Modellen benytter seg av to parametere; delta og epsilon. Delta representerer sky brightness og epsilon representerer sky clearness. Disse parameterne er bestemt ut ifra de diffuse horisontale og direkte irradiansverdiene for ulike datoer og steder. Det er mulig å hente disse klimafilene gratis på internett, og EnergyPlus.com er en side der filene er tilgjengelige. [46] Den diffuse horisontale irradiansen er direkte fra sola og er målt i $[W/m^2]$.

Perez modellen inkluderer også overflateduggpunktstemperaturen som har en innvirkning på relativ fuktighet. Fuktighet påvirker spredningen og mengden av lys som trenger igjennom atmosfæren. [45]

4.4 Simuleringsverktøy

Det eksisterer veldig mange simuleringsverktøy for lys på markedet. Noen av verktøyene er kun tiltenkt dagslys og eventuelt termiske beregninger, mens andre kan gjennomføre både beregninger for kunstig lys og for dagslys. Dette kapitlet inneholder en oversikt over de mest brukte simuleringsverktøyene. I tillegg vil det bli presentert noen mindre kjente verktøy, for å gi et bilde av hva som er tilgjengelig på markedet.

Kapitlet vil i stor grad basere seg på informasjon fra to separate rapporter som har testet verktøyene og vurdert ulemper og fordeler med noen av programmene. I tillegg til at det er hentet informasjon fra de respektive produsentenes hjemmesider.

4.4.1 Relux

Dette simuleringsverktøyet er tilpasset det Europeiske markedet, og er det mest utbredte verktøyet i bransjen i dag. En av grunnene til at det er såpass utbredt kan være fordi det stadig er i utvikling. Relux kan beregne kunstig belysning, dagslys, energibruken til den kunstige belysningen i tillegg til å hente inne fotometriske databaser fra produsenter. Verktøyet anvender både radiosity og ray tracing i simuleringsmotoren, og det er derfor opp til brukeren å avgjøre hvilke av alternativene som skal benyttes. Relux er også gratis, men har ingen åpen kilde. [40]

I Relux er det mulig å tegne opp rommet som skal undersøkes, og at programmet kun støtter CAD-tegninger (2D), som kan benyttes videre til å lage beregningsmodellen. Programmets støtter enda ikke IFC-modeller. [39] IFC er en åpen standard, som vil si at prosjekteringstegninger (3D-modeller) kan importeres i alle IFC-sertifiserte programmer.[47]

Relux er et separat program og er ikke integrert i et modelleringsverktøy, som for eksempel Autocad og Revit, men Relux har en kontrollfunksjon opp mot Byggteknisk forskrift.[39]

4.4.2 Velux Daylight Visualizer

Velux er et enkelt dagslys simulerings- og visualiseringsverktøy. Det blir benyttet både for dagslysdesign og dagslysanalyse i bygninger. Verktøyet er utviklet for å fremme utnyttelse av dagslys i bygninger, og benytter seg av photon mapping-teknikken. Programmet tillater import av CAD-tegninger men det er ikke mulig å importere 3D-modeller.

Programmet er gratis og fritt tilgjengelig. [40] Det er ikke mulig å integrere Velux i et modelleringsverktøy. Velux har også kontroll opp mot Byggteknisk forskrift. [39]

4.4.3 IDA ICE – IDA Indoor Climate and Energy

IDA ICE er et simuleringsverktøy laget for dynamiske energi og innklimaberegninger for bygninger. Programmet har også mulighet for å utføre dagslysberegninger, og er basert på radiance- verktøyene og benytter backward ray tracing. IDA ICE skal også ha mulighet til å utføre dagslysberegninger med en klar himmelmodell.

IDA ICE kan beregne dagslysfaktor og illuminans og brukes for det meste av rådgivere som jobber innenfor energi og VVS. IDA ICE kan importere blant annet CAD-tegninger og verktøyet har også mulighet for å importere IFC-modeller. [39, 48] Programmet er ikke integrert i et modelleringsverktøy og krever lisens. [39]

4.4.4 DIALux

Dette beregningsverktøyet kan beregne både kunstig belysning samt dagslys, i tillegg til energibruken til den kunstige belysningen. Programmet benyttes både på innendørs og utendørs lysberegninger. Det er tilpasset det Europeiske markedet, og følger flere nasjonale standarder for lysberegninger. I DIALux er det mulig å laste ned fotometriske databaser direkte fra produsentene av armaturene som benyttes i beregningene. [49]

Simuleringsverktøyet behersker ikke avansert geometri, og valg av himmelforhold er begrenset, mens anses som akseptabelt for verktøyet har et variert utvalg av værforhold. [40] DIALux har en ekstern radiosity og ray-tracing model. DIALux er gratis, men er ikke en åpen kilde.[49]

DIALux Evo er en versjon av DIALux benytter seg av tre forskjellige himmelmodeller, overskyet himmel, gjennomsnittlige himmel og klar himmel. Dagslysfaktoren blir i de fleste standardene evaluert etter en overskyet himmel. I DIALux kan dirkete sollys kun evalueres når det er valgt en klar eller gjennomsnittlig himmelmodell. [50] DIALux Evo skal også kunne fungere til dagslysberegninger med solavskjerming. [51]

4.4.5 Radiance

Radiance er en rekke programmer for analyse og visualisering av lys, og baserer seg på backward ray tracing. I disse programmene trenger man inputfiler som spesifiserer geometrien, materialene, armaturene, tid og dato samt himmelforholdene. I dette programmet er det mulighet for å få resultatene ut både som numeriske verdier, visuelle fargebilder eller kontur-plot. De beregnede verdiene inneholder spektral utstråling (luminans + farger), irradians (belysningsstyrker + farger) samt blendingsindekser. Radiance benyttes både av arkitekter og ingeniører. [40]

Fordelen med Radiance er at det ikke eksiterer noen begrensninger i henhold til rommenes geometri, slik som kan forekomme i enklere simuleringsprogrammer. [40]

4.4.6 Daysim

Daysim er utviklet av National Research Council of Canada, og er et avansert dagslysanalyseprogram som benytter seg av CDMB. Simuleringsverktøyet kan analysere den årlige mengden tilgjengelige dagslys i og rundt bygninger. Daysim kan også analysere energibruken til belysning når den er styrt manuelt og av automatisk lyskontroll som bevegelsessensorer og dagslyssensorer.

Det er også mulig å legge inn informasjon om byggets fasadesystemer og solskjerming. Alt fra helt enkle standardpersiener til persiener med lysomdirigerende elementer, smart glass, eller kombinasjoner av disse. Smart glass er glasselementer der glassets lystransmisjon endres når spenning, lys eller varme tilføres. [37, 40]

Daysim har ikke et innebygget «simuleringsverkøy» og bruker derfor Radiance, som benytter seg av backward ray tracing. I Daysim benyttes «Perez all weather sky model» som himmelmodell for å beregne belyningsstyrken. Modellen tar med solens posisjon og de virkelige himmelforholdene i betraktning. [37]

Beregningsdata som kan hentes ut fra Daysim er klimabaserte verdier som DA, UDI og energibruk til elektrisk belysning. Verktøyet kan også gi timebaserte tidsplaner for tilstedeværelse, belastning av elektrisk lys og for solskjermingsystemet som kan benyttes til termiske simuleringer. [40]

For å benytte klimabaserte dagslyssimuleringer basert på Radiance må det først opprettes en 3D-modell av bygningen i programmene Ecotech, Rhinoceros eller i Google Google SketchUp. Når modellen er ferdig tegnet må det legges inn et rutenett siden Daysim benytter seg av numerisk analyse. Det må derfor lages et nett med diskrete punkter som karakteriserer rommets geometri.

Når dette er gjort må det opprettes en hovedfil som videre kan benyttes i selve Daysim, for å utføre simuleringer. Det må installeres en tilleggspakke til modelleringsprogrammet for å få til å eksportere filene til hovedfilen i Daysim. Først må værdataene lastes opp enten fra Daysim eller EnergyPlus. Når dette er gjort må filene eksporteres og det vil bli laget en Daysim hovedfil. Denne vil inneholde værfilen og en fil som beskriver punktene som ble spesifisert i 3D-modellen. I tillegg vil det inneholde en Radiance-fil som beskriver modellens geometri og materialer. Hovedfilen benyttes så videre i Daysim for å utføre simuleringer.

I Daysim vil det igjen være mange innstillingsparametere. Blant annet kan det legges inn filer med modeller for å forutsi tilstedeværelse og dynamisk solskjerming. For dynamisk solskjerming benytter Daysim flere luminansprofiler med ulike skyggesystem. Videre benyttes disse resultatene sammen med tilstedeværelsesmodellen for å forutsi hvordan systemet vil operere. [52]

Nylig er det utviklet en plug-in i selve Daysim som kan evaluere dagslyskontrollerte dimmesystemer for et helt år. Programmet skal også kunne modellere lysanlegg styrt av dagslyssensorer, som vil evaluere sensorens plassering og kontrollalgoritme i den årlige

energibesparelsen. Det skal også være mulig å få en vurdering over hvor godt systemet klarer å opprettholde målverdien. [52] Simulering i Daysim krever en god del forarbeid og simuleringstiden er relativt lang.

DIVA for Rhino er en plug inn for modelleringsverktøyet Rhinoceros. DIVA benytter Radiance og Daysim som beregningsmotor. DIVA skal være mer brukervennlig enn å benytte Daysim direkte, men innstillingsparameterne er færre i DIVA, se Figur 13. Det skal også være mulig å få ut Daysim rapporten selv om DIVA benyttes. [53] DIVA gir mer visuelle resultater, når Daysim benyttes med Radiance opereres det uten GUI (grafisk brukergrensesnitt), og resultatene fra simuleringene vil være tallbaserte. [54]

Daylight Images Daylight Grid-Based Thermal Single-Zone		
Daylight Factor Point-in-Time Illuminance Climate-Based Radiation Map		
Metric	Daylight Autonomy	?
Occupancy Schedule	8to6withDST.60min.occ.csv	?
Target Illuminance	300	?
Units	Lux	?
Show Daysim Report	<input checked="" type="checkbox"/>	?
Use DGP Schedules	<input checked="" type="checkbox"/>	?
Advanced Parameters		
Radiance Parameters	-ab 2 -ad 1000 -as 20 -ar 300 -ad	?
Adaptive Visual Comfort	User(s) cannot adapt. Simuli	?
Geometric Density	100	?
Cleanup Temporary Directory	<input checked="" type="checkbox"/>	?

Metrics Menu: Climate-Based

Figur 13 - Illustrasjon av de klimabaserte datainputene i DIVA

4.4.7 Licaso

Licaso er et simuleringsverktøy for klimabaserte dagssimuleringer. Dette simuleringsverktøyet er relativt nytt og det er ikke funnet mye informasjon om programmet. Verktøyet baserer seg hverken på Radiance-programmer eller på ray tracing. Licaso bruker derimot en egen algoritme, «patent-pending»-algorithms.

Algoritmen har en simuleringstid som kun er tre ganger lenger enn ved å benytte statiske simuleringsverktøy. Det er mulig å benytte Perez All-Weather sky i Licaso, som gjør at alle himmelforhold, også direkte sollys inkluderes i simuleringsresultatene. [55]

Licaso er en tilleggspakke for Lighting Analyst's sin programvare AGi32 og ElumTools, og kan benyttes dersom modellene er laget i disse programmene. Noen kilder opplyser at Licaso kan implementeres i Revit. Licaso ser ut til å ha en tilnærmet lik prosedyre som Daysim, men simuleringstiden skal være mye raskere med Licaso. Modellene må gjøres klar for dagslysberegninger i AGi32 eller ElumTools før selve simuleringen kan starte. [56]

Licaso gir også mulighet for å få en høyere kvalitet på visualiseringen av resultatene ved å bruke post-radiosity. Det vil si at de benytter en ray tracing for å kunne visualisere skyggefelter bedre i tillegg til å få en mer nøyaktig luminansgradient. Ray tracingen vil ikke ha innvirkning på de beregnede dagslyssimuleringene, men vil kun være et virkemiddel for en bedret visualisering. [56]

En oversikt over egenskapene til simuleringverktøyene som er beskrevet i kapittel 4.4 Simuleringverktøy er vist i Tabell 2.

Tabell 2 - Oversikt over egenskaper til simuleringverktøyene

	Relux Pro	DIALux	Daysim	Velux Daylight Visualizer	IDA ICE	Licaso
Beregningskjerne						
Radiosity	X	X				
Raytracing	X	X	X		X	
Photon mapping				X		
Egen utviklet algoritme						X
Import						
*Dwg (CAD)	X	X		X	X	
*Dxf (CAD)	X	X		X	X	
IFC - modeller	Nei	Ja**	Nei	Nei	X	Nei
Himmelmodell						
CIE overcast sky	X	X		X	X	
Perez All Weather			X			X
Kostnad						
Gratis	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja

*DWG er en tegnefil. DXF er et filformat som tillater applikasjoner som ikke kan åpne DWG-filen å bruke informasjonen som ligger i tegnefilen. [57]

** Gjelder kun for DIALux Evo

4.5 Konsulentbransjens erfaringer

For å få et bedre innblikk i hvordan dagens prosjektering av bygningers dagslystilgang foregår ble det sendt ut en undersøkelse til de største rådgivende konsulentfirmaene i Norge. Undersøkelsen ble sendt ut via E-post. Ingen av svarene vil bli knyttet opp til firmaene og respondentene, for å beskytte firmaenes forretning. 5 av 7 firmaer har besvart undersøkelsen. I Tabell 3 finnes en oversikt over firmaene som er kontaktet, og E-posten med spørsmålene som ble utsendt ligger vedlagt i vedlegg D.

Tabell 3 - Oversikt over firmaene som er kontaktet i undersøkelsen

Firma	Respons
Asplan Viak	<i>Ikke besvart</i>
COWI	<i>Besvart</i>
Rambøll	<i>Besvart</i>
Sweco	<i>Besvart</i>
Norconsult	<i>Ikke besvart</i>
Multiconsult	<i>Besvart</i>
Erichsen og Horgen	<i>Besvart</i>

De underliggende delkapitlene under vil være et referat av svarene til respondentene. Respondentene har ulik bakgrunn og består av rådgivere innenfor elektro, VVS/energi og lysdesign. Dette førte til ulik dybde og utgreiing på noen av spørsmålene, men alle respondentene har besvart spørsmålene som ble stilt og svarene på de fleste spørsmålene virker å være godt dekket.

4.5.1 Vurdering av dagslysførholdene i en bygning

Nesten alle respondentene poengterer at den formelle dagslysvurderingen i henhold til TEK17 utføres av arkitekten, men det er ofte elektrorådgiveren som utfører selve beregningen. Grunnen til dette er at dagslysvurderingen og beregning av den kunstige belysningen ofte utføres i samme programvare.

Hvordan dagslysførholdene vurderes avhenger både av bygningskategori og prosjektfase. Et firma skriver at dersom de kommer inn helt i tidligfase av prosjektet kan det kjøres simuleringer av sky view factor eller dagslysfaktor på fasaden, som vil gi en tidlig indikasjon på dagslystilgang. Analysene kan blant annet være med på å bestemme plassering, høyder på bygg, eller for å undersøke hvor det er potensielt god dagslystilgang bygningen.

Et annet firma svarer at før de setter i gang med dagslysberegningene velges det ut representative typiske rom for bygningene som lysdesignerne mener er kritiske med tanke på dagslys. Dette kan være rom som har en eller annen form for skjerming for dagslyset. Skjermingene kan være motstående fasader, bygningsmasser, fjell og tett skog. Det er også mulig å vurdere dagslysførholdene med fysiske lux-målinger før prosjekteringen starter, men dette benyttes for det meste i en etterkontroll for dagslys.

For boligbygninger blir dagslysforholdene ofte sjekket opp mot forenklet metode i TEK17, som angir glassareal/BRA. For øvrige bygningskategorier blir som oftest rommets gjennomsnittlige dagslysfaktor beregnet og evaluert opp mot pre-akseptert ytelse på 2,0 % dersom det ikke foreligger andre prosjektspesifikke krav.

4.5.2 Programvarer som benyttes i lys- og dagslysberegninger

Relux Pro blir benyttet til beregning av både dagslys og kunstig belysning, og 4/5 respondenter benytter dette programmet. *Dialux* benyttes også en del, spesielt siden den har fått importfunksjon for IFC for dagslysberegninger. Dette gjør at tegninger fra arkitekten kan benyttes direkte inn i *Dialux*, og skal forhindre at personen som skal prosjektere lysanlegget må tegne modellen manuelt. Om dette skal fungere er det en forutsetning at arkitekten har satt inn riktig data i sin modell. Noen mener *Relux* er mer fordelaktig enn *Dialux* siden *Relux* benytter ray tracing som beregningsalgoritme. Noen firmaer opplyser at de kun benytter *Dialux* til lysberegninger for kunstig lys og ikke dagslysberegninger.

For beregninger av dagslysfaktor benyttes også *IDA ICE*. Til sky view factor beregninger eller beregning av dagslysfaktor på fasade benyttes *Lumina*, som er en plug-in til Google SketchUp.

4.5.3 Klimabaserte dagslyssimuleringer (CBDM)

De prosjekterende av dagslys og kunstige lysanlegg benytter ikke CBDM enda, men noen få VVS- og energiavdelinger benytter det i evaluering av termisk komfort. De fleste benytter *IDA ICE* til denne evalueringen, men verktøyet støtter ikke CBDM per dags dato. En av grunnene til at CBDM ikke benyttes er at forskriftene fremdeles henviser til dagslysfaktor som pre-akseptert ytelse, og at etterspørselen etter CBDM fra kunder ikke er stor.

Flere av respondentene poengterer at de dagslys har fått et sentralt fokus i prosjekteringen av bygg de siste årene. Det har lenge vært utbredt at arkitektene først og fremst har forholdt seg til 10 % glassareal/BRA, men denne vurderingsformen er nå fjernet.

Beregninger basert på CBDM er mer tidkrevende i tillegg til at det kreves god kompetanse å utføre og analysere klimabaserte beregninger. Det fører til at det er vanskelig å selge inn i byggeprosjekter når utbygger først og fremst er opptatt av å tilfredsstille TEK17 innenfor en ofte stram kostnadsramme.

To av respondentene har vært borte i CBDM. En av dem opplyser at brukergrensesnittet var lite brukervennlig, blant annet fordi programvaren er delt i flere moduler som måtte installeres hver for seg.

Relux er et av programmene som har lovet å gå over til å bli mer dynamisk. Grunnen til at dette ikke allerede er implementert er på grunn av at CBDM ikke er et krav i internasjonale standardene, og det er få land som faktisk har den i det hele tatt nevnt i sine standarder. For at *Relux* skal implementere CBDM er det viktig at det blir et marked for det. Det opplyses også at bransjen jobber med det. Det kommer snart en CEN standard om dagslys og utsyn som vil henvise til klimabaserte beregninger og evalueringsmål. Denne standarden vil fortsatt ha en ekvivalent dagslysfaktor som evaluering.

I tillegg angir den siste versjon av BREEAM-manualen CBDM som et alternativ for å oppnå poeng for dagslys. De fleste respondentene er enige om at CBDM er noe hele bransjen bør jobbe mer med i fremtiden. Noen mener også klimabaserte dagslysberegninger ligger mer mot energirådgiverens ansvar enn elektroingeniørens.

4.5.4 Vurdering og plassering av dagslyssensorer

Flere av firmaene opplyser at det ikke gjøres en vurdering om det skal installeres dagslyssensorer eller ikke. Noen opplyser at de har de med som standardløsning siden merinvesteringskostnaden er liten, og de fleste sier at det kun installeres når det er et krav fra kunden.

Et firma vurderer innstallering av dagslyssensorer ved å se arealene i bygningen har vinduer direkte mot det fri og om rommene er beregnet for varig opphold. De gjør ingen energiberegninger for valg av installasjon av dagslyssensor eller ikke. Et firma nevner at et argument for å ha konstantlys-styring er at det fanger opp problematikken med overdimensjonering av belysningsanlegg grunnet lystilbakegang i armaturen over tid.

Energibesparelsen ved å bruke dagslyssensorene inkluderes i bygningens totale energiregnskap som ofte utføres av bygningsfysikerne. I prosjekter som ikke er høyambisjonsprosjekter med hensyn til energi benyttes gjerne 20 % reduksjon i energi til belysning hentet fra NS:3031. For høyambisjonsprosjekter beregnes gjerne LENI-tallet i henhold til NS 15193, så beregnes snitt effekt i brukstid basert på dette som input i energiberegningene.

Et firma opplyser at de utfører LENI-tallsberegninger i en del prosjekter, siden det sier noe om lønnsomheten til tiltaket. Hvilke av reduksjonsberegningene som benyttes avhenger av prosjektet og i hvilken fase av prosjektet de kommer inn. I de tilfellene hvor styring etter dagslys ikke installeres antas det at begrunnelsen som oftest er et ønske om å redusere installasjonskostnadene fra kundenes side.

Dagslyssensorene benyttes gjerne i klasserom, kontorer og lignende. Korridorer, toaletter og smårom har sjelden annet enn bevegelsesdetektorer fordi det er ikke er rom for varig opphold i tillegg til at vindusarealene er små. Hvem som har ansvar for plassering av sensoren dersom den ikke er integrert i armaturen varierer fra prosjekt til prosjekt. Når konsulentene utarbeider funksjonsbeskrivelse, gjøres plasseringen av installatør.

Dersom det utføres detaljprosjektering er det litt tilfeldig hvor de blir plassert. Rådgiveren vet som oftest ikke hvilken type sensor som blir levert, og de oppgir kun at dagslyssensoren skal dekke et gitt areal. Som oftest er ikke møbleringsplanen bestemt i denne delen av prosjekteringsfasen, og dette har ofte ført til uheldige plasseringer. I tillegg leveres styringen etter dagslys i kombinasjon av en tilstedeværelsessensor og plasseringen blir et kompromiss. Når de er kombinert blir de som oftest plassert et sted mellom midten av rommet og vinduene.

5 Metode

I dette masterprosjektet er det utført test av et simuleringsprogram og utført reelle energi- og effektmålinger på lysanlegg. Det er også blitt innhentet informasjon og data til oppgaven via ulike kommunikasjonskanaler som for eksempel gjennom en elektronisk spørreundersøkelse, mail og telefon. Dette kapittelet vil forklare og begrunne metodevalgene som er gjort for de ulike hovedpunktene i oppgaven. Kapittelet vil også presentere aktuelle bygninger med dagslyssensorer og metode for analyse av måledataene.

5.1 Simuleringer i Daysim

I prosjektets oppstartsperiode ble det forsøkt å utføre klimabaserte dagslyssimuleringer i Daysim, og Google SketchUp ble valgt som modelleringsprogram. Google SketchUp ble brukt siden det er gratis og kjent for å være et enkelt program å modellere i. Google SketchUp og Daysim ble installert på en pc uten noen store problemer. I tillegg kreves det en plug-in for å få Google SketchUp og Daysim til å samarbeide. Det ble kun funnet noen få installeringsveiledninger for å få programmene til å samarbeide med denne plug-inen. Veiledningene var også gamle slik at det ble nødvendig å laste ned eldre versjoner av både Google SketchUp og Daysim for å få disse programmene til å fungere sammen. Den eldre versjonen av Daysim manglet også informasjon under hjelpefilen i programmet. Veiledninger på Daysim sin egen hjemmeside var heller ikke tilgjengelige.

Det ble gjennomført noen simuleringer på veldig enkle modeller. Disse resultatene var lite verdifulle da det var usikkert om beregningsfeltene i Google SketchUp-modellene var utført rett, og det var også krevende å finne informasjon om hva de ulike input-verdiene i Daysim representerte uten videre veiledning. Siden det ikke var tilstrekkelig veiledning til å validere modellene og resultatene ble det valgt å ikke bruke videre tid med simuleringene. For å utføre simuleringene burde kandidaten også fått en grundig forklaring av inputverdiene og veiledning til å tolke resultatene fra Daysim.

Det ble heller valgt å fokusere på å kartlegge simuleringsprogrammer på markedet, og deres fordeler og ulemper. I tillegg til å bruke tid og rette fokus på å finne gode måleobjekter og gode respondenter i konsulentbransjen som kunne bidra til input og resultater for å besvare problemstillingen.

5.2 Spørreundersøkelsen «Brukernes komfort med styring etter dagslys»

Bakgrunn, utvalg og gjennomføring

Første steget i utformingen av spørreundersøkelsen var å undersøke om de aktuelle respondentene var villige til å delta i studien. Et av ønskene med spørreundersøkelsene var å få resultater som kunne knyttes opp mot analyse av energi- og effektmåledataene. Derfor ble firmaene som leier «målelokalene» i Abels Hus og Trondheimsporten kontaktet. De aktuelle firmaene er Helsedirektoratet, Sykehusapotekene i Midt-Norge HF og Merit Consulting AS. Etter telefon og e-postkorrespondanse ble de to sistnevnte firmaene med på å delta i spørreundersøkelsen. Det har ikke lyktes i å få svar på henvendelsene til Helsedirektoratet.

Etter positivt svar fra to av firmaene ble et utkast av spørreundersøkelsen utformet og det ble avgjort at spørreundersøkelsen skulle gjennomføres elektronisk i Select Survey. På grunn av at spørreundersøkelsen skulle gjennomføres elektronisk ble prosjektet meldt inn til Norsk senter for forskningsdata AS (NSD). NSD har en behandlingstid på ca. 30 dager, og i ventetiden ble spørsmålene i undersøkelsen gjennomgått og diskutert med veileder. I utformingen av spørsmålene ble tre elementer vektlagt:

- Å svare skal ikke være tidkrevende
- Tydelige spørsmål som ikke kan mistolkes
- Spørsmål som ikke krever grundige vurderinger

I tillegg var det viktig å la respondentene få mulighet til å tilføye andre kommentarer, dersom det er noen viktige elementer som er forbigått eller glemt i utformingen, eller for at de eventuelt kunne utdype svarene til spørsmålene.

Spørreundersøkelsen utformet i Select Survey, og spørsmålene ble kvalitetssikret både teknisk og innholdsmessig av Kyrre Svarva i Select Survey. Firmaenes ledere fikk også tilbud om å se igjennom spørreundersøkelsen før den skulle sendes ut, slik at de kunne forsikre seg om at den ikke var for tidkrevende for de ansatte. Etter å ha mottatt klarsignal til å utføre spørreundersøkelsen fra NSD ble et informasjonsskriv rundt undersøkelsen og lenke til spørreundersøkelsen sendt ut til firmaenes ledere, se vedlegg C. Lederne hadde selv ansvar for å sende ut undersøkelsen videre ut til sine ansatte.

Sykehusapotekene og Merit Consulting har til sammen 30 ansatte ved kontorene sine i Abels gate. Sistnevnte er et konsulentfirma der mange av de ansatte er utleid, og sitter lite på kontoret. To uker etter spørreundersøkelsen ble utsendt var det kommet inn svar fra 10 respondenter, som tilsvarer en svarprosent på 33 %. Derfor ble det utsendt en purremelding til firmaenes ledere, uten at det kom inn flere svar. I forkant av studien opplyste firmaenes ledere at KLP Eiendom (eieren av Abels Hus) har gjennomført mange og omfattende spørreundersøkelser i forbindelse med startfasen av bruken av bygget, som kan forklare antallet respondenter.

Analyse av resultatene

Siden kandidaten ikke har gjennomført metodefag er det valgt å benytte en forenklet metode for å analysere resultatene fra undersøkelsen. Svarene ble analysert med fargekoding, dette ble gjort for å luke ut respondenter som er veldig uenige i forhold til gjennomsnittet. Tabellen under viser de ulike fargekodene som ble brukt i analysen av svarene.

Tabell 4 - Fargekoder for å analysere spørreundersøkelsen

Farge	Beskrivelse
	Mann
	Kvinne
	Veldig likt gjennomsnittet
	Likt gjennomsnittet
	Ulikt gjennomsnittet
	Veldig ulikt gjennomsnittet

5.3 Spørsmål til rådgiverbransjen

For å kunne få mest mulig ut av en spørreundersøkelse over hva rådgiverbransjen tenker om dagslys- og energiberegninger ble det valgt å sende undersøkelsen ut relativt sent i prosjektprosessen. Grunnen til dette var at det først måtte letes frem relevante deltakerne til spørreundersøkelsen, både for å finne personer som kan svare på alle spørsmålene og for å dekke størsteparten av rådgiverbransjen.

For det andre har det tatt tid å lese seg opp på temaet, og det har gjennom prosjektprosessen samlet seg opp mange spørsmål som burde inkluderes i spørreundersøkelsen. Det ville derfor være mest hensiktsmessig å sende en mail med alle oppsamlede spørsmål mot slutten av prosjektperioden. Spørsmålene ble forsøkt å formuleres mest mulig presist slik at spørsmålet skulle tolkes likt hos alle respondentene og for å unngå misforståelser.

5.4 Aktuelle bygninger med dagslyssensorer

Arbeidet med å finne aktuelle skolebygg eller næringsbygg med installerte dagslyssensorer startet i forbindelse med forfatterens prosjektoppgave høsten 2017, og fortsatte ut i begynnelsen av masterprosjektet. Prosessen har vært noe tidkrevende, først og fremst fordi søket var geografisk avgrenset til Trondheimsområdet på grunn av oppgavens begrensede tidsperspektiv. Videre har det tatt tid å både finne riktig kontaktperson hos de ulike bygningseierne og få respons på henvendelser. Tabell 5 viser en oversikt over alle bygningene som er undersøkt som aktuelle måleobjekter. Kun halvparten av bygningene som ble ansett som aktuelle har installert dagslyssensorer.

Tabell 5 - Oversikt over de aktuelle bygningene

Bygning	Ferdigstilt	Miljøsertifisering	Dagslyssensorer
Sparebank1 SMN Hovedkontor	2010	-	NEI*
NINA-huset	2013	-	NEI
Rambøllbygget på Dora	2018	BREEAM NOR Excellent	NEI
Akrinn (Teknologibygget, NTNU)	2017	-	JA
Abels Hus	2017	BREEAM NOR Excellent	JA
Trondheimsporten	2018	BREEAM NOR Very Good	JA

*Dagslyssensorer er installert, men funksjonen er deaktivert

5.4.1 Sparebankbygget

Sparebank-bygget stod innflytningsklart i oktober 2010 og er et av de første fremtidsrettede byggene i Norge. Bygget er plassert i Søndre Gate i Trondheim Sentrum, og har energimerke A, lysgrønn, se Figur 14. Et av miljøtiltakene i dette bygget var å styre armaturene etter tilstedeværelse og dagslys. Alle solvendte fasadene ble også utstyrt med automatisk utvendig solavskjerming. [58]



Figur 14 - Sparebank1 Midt-Norges hovedkontor [59]

Dette bygget er et eksempel på et system der konstantlys-styringen ikke fungerte optimalt. Styringen ble koblet ut etter cirka et år etter bygget ble satt i drift. Dette var på grunn av

problemer med skyggeeffekter og at det ikke var tilstrekkelig med lys i ytterkanten av arbeidssonene. [60]

I løpet av prosjektperioden ble det utført et møte med prosjektleder i Sparebankbygget for å kartlegge problemet som oppstod.

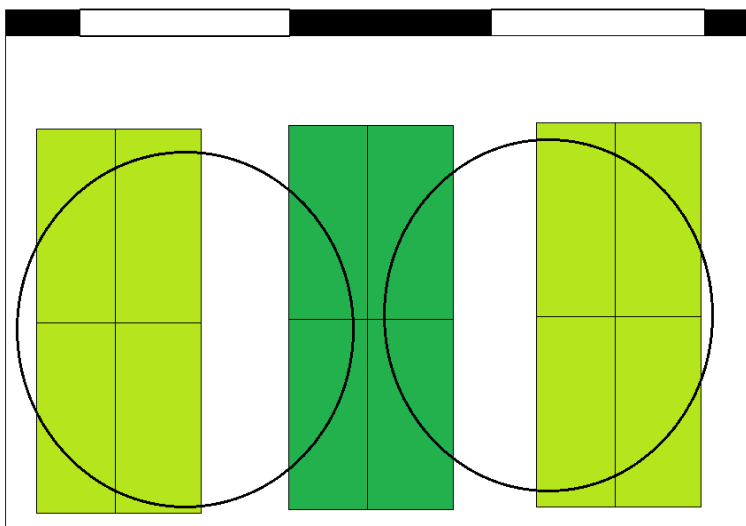
Hva gikk galt?

Brukerne av bygget registrerte at lysanlegget var styrt etter dagslyset, men de opplevde ikke denne styringen som et direkte ubehag. Problemet de rapporterte var at brukerne i de ytterliggende arbeidsplassene opplevde at det var for mørkt da lyset var dagslyskompensert.

Arbeidsplassene i dette bygget er fordelt i kontorlandskap, og det er cirka 40 arbeidsplasser per arbeidssone. I hver arbeidssone er det installert ca. 5-6 eksterne sensorer som styrer en armaturgruppe. Det betyr at hver sensor har i snitt 7-8 arbeidsplasser innenfor sitt deteksjonsområde. Lysanlegget er styrt etter både bevegelse og konstantlys-prinsippet av eksterne multisensorer. Den allmenne belysningen er satt til å være 300 lux, i tillegg har hver arbeidsplass en bordlampe som styres manuelt av brukeren selv.

Problemet oppstod i de tilfellene sensorene skulle dekke en sone med store variasjoner av dagslys innad i sonen. Tilfellene skjedde for de sensorene som dekket områdene i ytterkantene av rommet.

Arbeidsbord som ble liggende mellom to vinduer ble ikke eksponert i like stor grad av lyset utenifra, og disse var ofte skyggebelagt. Resten av sensorens deteksjonsområde fikk mye dagslys. Sensoren detekterte da at totalen av dagslys var over terskelverdien, og kompenserte den kunstige belysningen. De skyggebelagte arbeidsplassene ble da «mørklagte» og var forsynt med for lite lys, selv om det var tilstrekkelig med dagslys i resten av rommet. [60]



Figur 15 - Illustrasjon av sensorenes deteksjonsområde i Sparebankbygget

Figur 15 illustrerer problemet. De mørkegrønne arbeidsplassene har ikke direkte tilgang til dagslys fra vinduene, i motsetning til de lysegrønne. De svarte sirkelene representerer

sensorens deteksjonsområder. Problemet var størst i de øverste etasjene, siden her utgjør vindusarealene kun cirka 20 % av fasaden, som førte til relativt store skyggefelter.

Hvorfor er ikke sensorene koblet inn igjen?

Motivasjonen for å installere dagslyssensorene var for holde energibruken under 100 kWh/m²/år, som var et ambisiøst energimål på tiden da bygningen ble oppført. Da styringen skapte problemer, ble den koblet ut og det ble ikke vurdert noen enkle tiltak som kunne utbedret feilen. De målte verdiene i energirapporten viser til at bygget bruker mindre energi enn det som var målet. Dette er mulig en grunn til at de ikke ble fokusert på å rette opp feilen, men kun å fjerne problemet, siden energimålet allerede var oppnådd.

Forslag som ble diskutert under møtet, og som mulig kunne opprettholdt tilstrekkelig belysning for en hel arbeidssone er:

- Det kunne vært installert egne sensorer i områdene som var utsatt for skyggedekning.
- Alternativt kunne armaturene som henger over de områdene som var skyggebelagte ikke dimmes etter dagslys.
- Terskelverdien for sensorene kunne økes, slik at det måtte mer dagslys til for å senke hele armaturgruppen. Dette vil sikre at de skyggebelagte plassene har tilstrekkelig med lys til enhver tid.

Konklusjonen fra møtet er at plasseringen er en utfordring. Det kan godt tenkes at de som installerte sensorene ikke hadde fått noe plasseringsinformasjon, og mulig de heller ikke hadde møbleringsplanen.

5.4.2 NTNU Akrinn

I forfatterens prosjektoppgave høsten 2017 ble det utført energi- og effektmålinger i desember på et møterom og et kontorlandskap i 6. etasje i Akrinn, tidligere Teknologibyget på Kalvskinnet. Resultatene fra målingene på kontorene viste ingen effekt eller energibesparelse, som var forventet ut ifra tiden på året.

Resultatene viste derimot et relativt høyt effektforbruk utenfor arbeidstiden. Dette skyldes mest sannsynlig parasittisk energiforbruk som strømtilførsel til styringsmoduler, sensorer, forkoblinger og eventuelt lading av batteriene til nødlysanlegget. Det er også en mulighet for at måleinstrumentet ble forstyrret av annet utstyr som stod plassert på fordelingen som kan ha ført til feil måleverdier. Forbruksgrafene for effekt- og energi viste heller ingen tendens til reduksjon basert på konstantlys-prinsippet. Ut ifra denne erfaringen er det valgt å ikke fortsette med målinger på denne bygningen.

5.4.3 Abels Hus

Abels hus er et 6 etasjers næringsbygg i Teknobyen i Trondheim, og bygget eies og driftes av KLP Eiendom. Bygningen klassifiseres som et passivhus, og har energiklasse A. Abels Hus stod ferdigstilt mars 2017, og er den første bygningen i Midt-Norge som har oppnådd miljøsertifiseringen Breeam Nor Excellent. [61]



Figur 16 - Nye Abels hus i Teknobyen [61]

Rådgivende ingeniør elektro har vært Vintervoll, og bygningenes armaturer er levert av Glamox. Det er kun benyttet LED armaturer i bygningen. [62]

Armaturene i kontorarealene er dimmbare og er styrt av en Philips Actilume D-sensor. Dette er et kombinert dagslys og bevegelsessensor (multisensor) som er integrert i armaturen. Sensorene er styrt etter prinsippet konstant-lysstyring, og sensorenes defaultverdi er på 600 lux [63]

Resten av lokalene, som gang, wc, osv. er styrt av bevegelsessensorer. Alle solutsatte fasader har installert automatiske utvendige screens som solavskjerming, i tillegg til at det er behovsstyrt innvendig blendingskontroll på alle vinduer. [62, 64]

Bygningen har avlange og innfelte vinduer, se Figur 16.



Figur 17 - Fasade mot parkering (Sør-vest). Rød markering viser 3. etasje der målingene ble utført [65]

Byggets miljøsertifiseringsgrad tilsier at det gjennomsnittlig skal være minst 300 lux dagslys i 80 % av arealet for rom for varig opphold i minst halvparten av arbeidstiden (kl. 8-16) gjennom hele året. Den laveste dagslystyrken i det dårligste opplyste punktet skal være minst 60 lux innenfor de samme tidsrammene som ovenfor. Dersom disse kravene er oppfylt i bygningen tilsier det at dagslysforholdene skal være gode nok til å kunne få resultater av konstantlysstyringen. [66]

Abels Hus er ansett som et godt måleobjekt på grunn av sin gode dagslystilgang, og det ble valgt å logge energi- og effekt på utvalgte lyskurser i bygningen. Figur 17 viser C-blokken og etasjen det ble utført målinger i.

5.4.4 Trondheimsporten

Holtermannsvei 70, bedre kjent som Trondheimsporten er et nytt nærings- og undervisningsbygg plassert mellom Tempe og Sluppen i Trondheim. Bygningen består av en 5 etasjers lavbygg og en 15 etasjers høyblokk som er 58 meter høy. Trondheimsporten er sertifisert som Breeam «Very Good» og har fått energiklasse A. Største delen av bygget har vinduer som går fra gulv til tak. Varmedistribusjonen i bygget er lagt i himlingen og strøm- og datatilknytning er lagt i frittstående grener for å unngå hindringer foran vinduene. [67]

Bygget driftes av Entra eiendom og stod klart til innflytning i slutten av februar 2018. Fjeldseth har levert det elektriske anlegget, og styringen er levert av Schneider Electric. [68]



Figur 18 - Illustrasjon av Trondheimsporten sett sørfra [69]

Høyblokken består både av cellekontor og kontorlandskap, og etter befaring ble lyskursene i kontorlandskapene i 15 etasje utvalgt som aktuelle måleobjekter. Erfaringen fra befaring var at denne etasjen er et godt måleobjekt og har potensiale for å påvise besparelse siden bygningen er høy og unngår dermed skjerming fra nabobygg.



Figur 19 - Bilde tatt under befaring som viser de store vinduene i kontorlandskapet

Etasjen hadde også gode dagslysforhold selv om solskjermingen var nede slik Figur 19 illustrerer. Byggets nettstruktur er TN-S, og lys er koblet på egne kurser i form av enfaseuttak.

Målingene ble tilkoblet i slutten av mars, og allerede etter ett døgn ble måleutstyret frakoblet av bygningseier, fordi måleoppsettet forstyrret deler av bygningens styreanlegg. Det ble derfor uaktuelt å utføre videre målinger på dette bygget, som er veldig synd for oppgavens allerede begrensede tilgang på måledata.

5.5 Analyse av måleresultater fra energi- og effektmålingene

Det brukt sammen måleinstrument, DENT ELITEpro XC, i masterprosjekter som i prosjektoppgaven før jul. Måleinstrumentets tilhørende programvare, ELOG15 er benyttet til å laste ned måledataene. I prosjektoppgaven ble ELOG15s egen plottefunksjon benyttet til å lage grafer for energi- og effektbruk. Dette gjorde analyse av måledataene mye mindre tidkrevende.

I masterprosjektet har det vært nødvendig å kombinere måledata for alle de tre loggede lyskursene, samt kombinere de med parallelt målte sol-data. Måleinstrumentet har logget energi- og effekt hvert minutt over en periode på 11 uker. For å analysere resultatene er det valgt å benytte Excel. Måledataene er konvertert til csv-filer og lastet inn i Excel. Videre er de aktuelle dataene sortert ut og lagt i et tilpasset Excel-skjema.

Måledataene er blitt hentet med jevne mellomrom, både for å fordele plottearbeidet og for å overvåke at måleinstrumentet fungerer og at måleverdiene ser ut til å være realistiske. Energi- og effektbruken til lysanlegg er som kjent avhengig av været, og da spesielt om det er sollys eller ikke, siden det påvirker solskjermingen. Sol-data er hentet fra Meteorologisk institutts database klima.no med intervall på en time.

Det finnes ikke mange målestasjoner som har en så lav intervallopløsning i Trøndelag. En av de få er målestasjonen på Gløshaugen. Gløshaugen og Abels Hus, som er plassert på Teknobyen ansees for å være så nærme hverandre at sol-dataene fra målestasjonen på Gløshaugen er representative for Abels Hus.

Måledataene for sol og deler av resultatene fra spørreundersøkelsen hos brukerne av huset er benyttet for å diskutere måleresultatene. I fremstillingene av resultatene for energi- og effektbruk er gjennomsnittsverdier fra flere dager, for å gi et bilde av hvordan bruken endres over dagen. Det er også laget grafer for gjennomsnitt for uker og for dager med lite, middels og mye sol for å kunne få danne et bilde av hvordan energi- og effektbruken varierer for de ulike periodene og dagtypene. Resultatkapittel består kun av grafer for effektbruk. Siden effekten er logget hvert minutt vil også grafer for energibruk ha de samme trendene som effektgrafene. Det er derfor kun valgt å plote effektforbruk og heller regne på energiforbruk.

For energi- og effektbesparelsesberegningene er de reelle verdiene sammenlignet med et scenario uten noen form for lysstyring. Det vil si at anlegget hadde stått på full effekt gjennom hele arbeidstiden. Installert effekt er antatt til å være den høyeste effekten observert gjennom måleperioden. Toppeffektene for alle kursene har oppstått om morgenen og veldig tidlig i måleperioden da det enda var mørkt om morgenen.

Driftstid gjennom arbeidsdagen i TN/TS 3031 i er satt til å være fra kl.7-kl.17. I Abels Hus går lysanlegget i høy effekt rundt kl. 7:45 og effekten synker ikke betydelig før kl. 17:15. Det er derfor valgt å benytte dette tidsintervallet som en arbeidsdag i beregningene.

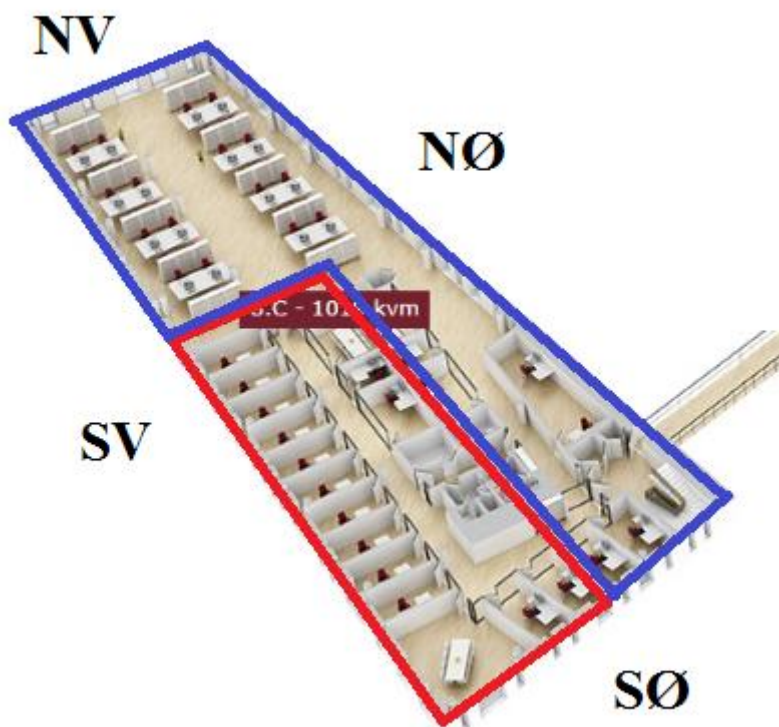
Driftstiden er antatt å være mandag-fredag, men helligdager og andre fridager er ikke inkludert i beregningene. De fleste «inneklemte dager» i mai er heller ikke medtatt, siden dette vil mest sannsynlig være med på å trekke gjennomsnittet for måleresultatene i feil retning. Påskeferien inkludert mandag til onsdag i påskeuken er heller ikke medregnet i resultatene.

6 Energi- og effektmålinger i Abels Hus

Dette kapittel vil presentere måleutstyret og testoppsettet samt undersøkelse av måleresultatenes pålitelighet.

Abels Hus har en nettstruktur av type TN-S 400 V, og lys er koblet på egne kurser i form av enfaseuttak. Bygningens C-blokk ble valgt ut som den mest aktuelle delen for utførelse av målinger fordi blokken har det største arealet med sør-vestfasade, og skal derfor være mest utsatt for sol og lys i løpet av arbeidsdagen. En annen grunn er at blokken har fasader mot alle himmelretningene, slik at energi- og effektbruket for de ulike fasadene potensielt kan sammenlignes.

Måleinstrumentet ble satt opp i fordelingen i 3 etasje, siden fordelingstavlen i denne etasjen ligger utenfor leietakernes disponible arealer. Arealene som lyskursene dekker benyttes av to ulike firmaer, Merit Consulting AS og Sykehusapotekene i Midt-Norge HF, se arealplan i Figur 20.

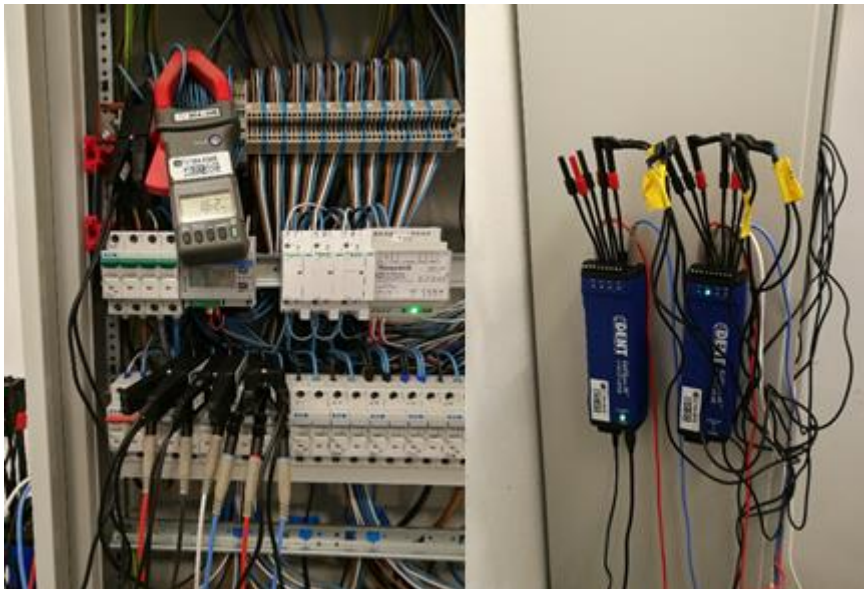


Figur 20 - Plantegning for 3. etg blokk C Abels Hus, der målingene ble utført. Rødt område tilhører Merit Consulting AS og blått området tilhører Sykehusapotekene i Midt-Norge HF. Merk at arealplanen i figuren ikke stemmer overens med virkelig innredning. [70]

Armaturene er styrt av en kombinert dagslys og bevegelsessensor og er integrert i armaturen. Sensoren tenner armaturen i 15 min på innstilt verdi, defaultverdien på 600 lux. Styringen skal foregå kontinuerlig og trinnløst, som betyr at armaturen hele tiden reduserer eller øker sin lysutgang ut fra dagslysinnfallet i sensorens deteksjonsområde. [71]

6.1 Måleutstyr, oppsett og kursbetegnelse

For å utføre effekt- og energimålinger ble DENT ELITEpro XC bærbar datalogger benyttet. Strøm og spenning fra kursene som skulle måles ble koblet til loggeren, som måler og lagrer dataene. For å måle strømmen ble det benyttet fire strømtenger av merket Chauvin Arnoux. Hvert måleinstrument kan måle tre strømkurser, siden målingene ble utført på fire kurser var det nødvendig med to måleinstrumenter. Strømtengene måler strømmen som går i en kabel ved å måle magnetfeltet i kabelen. Se bilde av oppsettet i Figur 21.



Figur 21 - Oppsett av målingene på Abels Hus

Den første loggeren logget kursnummer XF002, XF003 og XF004 og 3 strømtenger ble koblet til fasen til de respektive kursnumrene. Kurs XF005 ble tilkoblet den andre loggeren, og på grunn av plasttilgangen ble strømtangen til denne kursen koblet til kursens nøytralleder. Tabell 6 viser oversikt over kursbetegnelsene og tilhørende leietakere.

Tabell 6 - Beskrivelse av de de utvalgte lyskursene målingene ble utført på ved Abels Hus

Kursnummer	Kanalnummer	Betegnelse	Leietakere
XF002	1 (Instrument 1)	Lys kontorareal bygg C (sør-øst)	Merit Consulting
XF003	2 (Instrument 1)	Lys kontorareal bygg C (sør-vest)	Merit Consulting
XF004	3 (Instrument 1)	Lys kontorareal bygg C (nord-vest)	Sykehusapotekene i Midt-Norge
XF005	1 (Instrument 2)	Lys kontorareal bygg C (nord-øst)	Sykehusapotekene i Midt-Norge

Strømtengene ble stilt inn på 10 A, og omsetningsforholdet ble funnet til å være rundt 320 A/mV for alle strømtegnene etter mange finjusteringer under oppsettingen. Det ble kontrollert at måleinstrumentet målte de rette verdiene og at strømtengene var stilt inn til rett omsetningsforhold ved å benytte en kalibrert strømtang med display, se Figur 21.

Den tilhørende programvaren til dataloggeren, ELOG 15, ble benyttet til å gi oppsettsinnstillingene for målingene, samt for å laste ned målingene fra loggeren. Figur 22 viser inndataen i setup-tabellen som ble sendt til det første måleinstrumentet.

The screenshot displays the ELOG 15 setup interface. At the top, it shows the Logger Type as 'ELITEproXDC', Setup Table Name as '3 Phase - 4 Wire', Data Interval as '1 minute', and Line Frequency as '50 Hz or 400 Hz'. A 'SEND SETUP TABLE to Logger' button is present. The Memory Capacity is set to '93 Days 11.98 Hours'.

The 'Data Logging' section includes options for Start (Immediately selected), Stop (Never (Ring Memory) selected), and Date/Time settings. A Peak Demand Window of 15 Minutes is also shown.

The 'Quick Setups' section offers four options: Single Phase 2-Wire, Single Phase 3-Wire, 3 Phase 3-Wire, and 3 Phase 4-Wire, with an 'Enable THD' checkbox.

The 'Physical Power Channels' section contains a table with columns for Name, Voltage References (V High, V Low, PT Ratio), Current Transformers (Type, Amps, Phase Shift), and Recorded Values (Volts, Amps, KW, KVA, PF, KVAR). It lists Power 1, 2, 3, and 4.

The 'Calculated Power Channels' section includes a table for Name, Combine Channels, and Recorded Values, listing Power 5 (Power Sum) and Power 6.

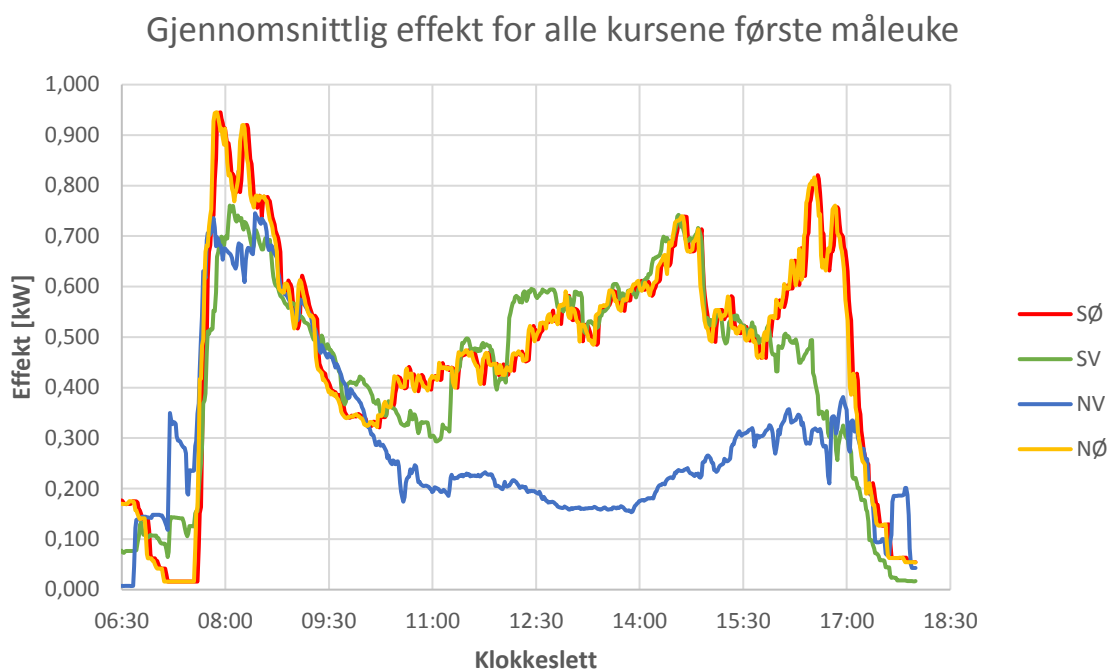
Power	Name	V High	V Low	PT Ratio	Type	Amps	Phase Shift	Volts	Amps	KW	KVA	PF	KVAR
Power 1	2	L1	N	1.000	MilliVolt	320.000	1.100	A	A	A,H	A	A	A
Power 2	3	L2	N	1.000	MilliVolt	320.000	1.100	A	A	A,H	A	A	A
Power 3	4	L3	N	1.000	MilliVolt	320.000	1.100	A	A	A,H	A	A	A
Power 4	Off												
Power	Name	Combine Channels	Volts	Amps	KW	KVA	PF	KVAR					
Power 5	Power Sum	3 Phase System Total	1	2	3	4	A	A	A,H	A	A	A	A
Power 6	Off												

Figur 22 - Setup table i ELOG15 for målingene på Abels Hus

I denne sammenhengen hadde det ikke vært nødvendig å måle mer enn spenning, strøm og power-faktoren for å kunne beregne energien/effekten som lyskursene trekker. Tidligere erfaringer fra bruk av måleinstrumentet viser at målingene blir mer nøyaktige dersom alle de ulike måleparameterne logges.

6.2 Test av måleresultater

Måleinstrumentet ble satt opp 22. februar, og etter en drøy uke ble de første målingene lastet ned for å undersøke om verdiene kunne gi grunnlag til å analysere energi- og effektbruken, og om det var hensiktsmessig å fortsette å utføre målinger. I tillegg var det bestemt at instrument 2 skulle tas ned og benyttes til målinger på Trondheimsporten. Dermed ble mulighet til å kun måle på tre av de fire lyskursene, og det var derfor behov for å finne ut hvilken av de fire kursene som skulle tas ned.



Figur 23 – Gjennomsnittlig effekt over arbeidsdagen for alle lyskursene i perioden 22.februar - 2.mars.

Det ble bestemt å ta ned en av kursene som tilhører fasadene som vender mot nord. Det ble til slutt valgt å ta ned kursen som tilhører NØ-fasadene, siden denne kursen får minst sollys i løpet av en dag og på grunn av orientering mot himmelretning.

Gjennomsnittet av måleverdiene for perioden 22. februar – 2.mars for de fire fasadene ble plottet for å se hvordan effektuttaket for lyskursene endrer seg over arbeidsdagen. Figur 23 viser måleresultatene fra denne perioden.

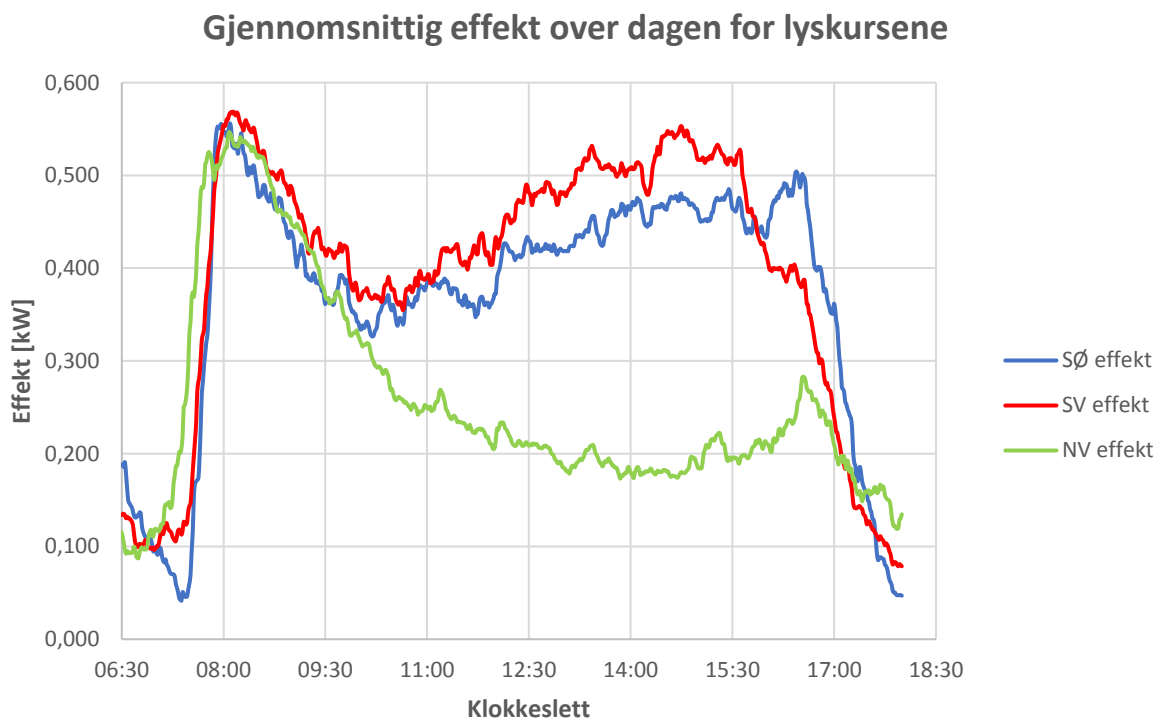
Resultatene av måledataene viser at nord-øst-kursen (NØ) og sør-øst-kursen (SØ) er tilnærmet like. Det vil derfor mest sannsynlig være likegyldig for det totale resultatet at NØ-kursen ble fjernet, siden resultatene fra SØ-vil være nokså like. I tillegg ville det også være hensiktsmessig å fortsette å logge NV-kursen siden denne er lite utsatt for sol og skiller seg ut med sitt lave effektbruk.

7 Resultater

Dette kapittelet vil presentere resultatene fra energi- og effektmålingene for lyskursene i kontorlokalet i Abels Hus. Kapittelet vil blant annet inneholde grafer for effektbruk og sol-data. I tillegg vil energi- og effektbruken for dager med lite, middels og mye sol sammenlignes med hverandre. Tabeller som viser resultater fra beregning på energibesparelse med styringsprinsippet i Abels Hus vil også presenteres her. Det siste delkapittelet presenterer analysen av spørreundersøkelsen om brukerens komfort ved å benytte konstantlys-styring i kontorbygninger.

7.1 Energi- og effektmålinger på Abels Hus

Måledataene er utført over perioden på 11 uker, fra 21. februar til 10. mai. Før de spesifikke resultatene presenteres er det nødvendig å få et overblikk over det totale samlede resultatet. Figur 24 viser den gjennomsnittlige effektbruken for tre av fasadene gjennom måleperioden.

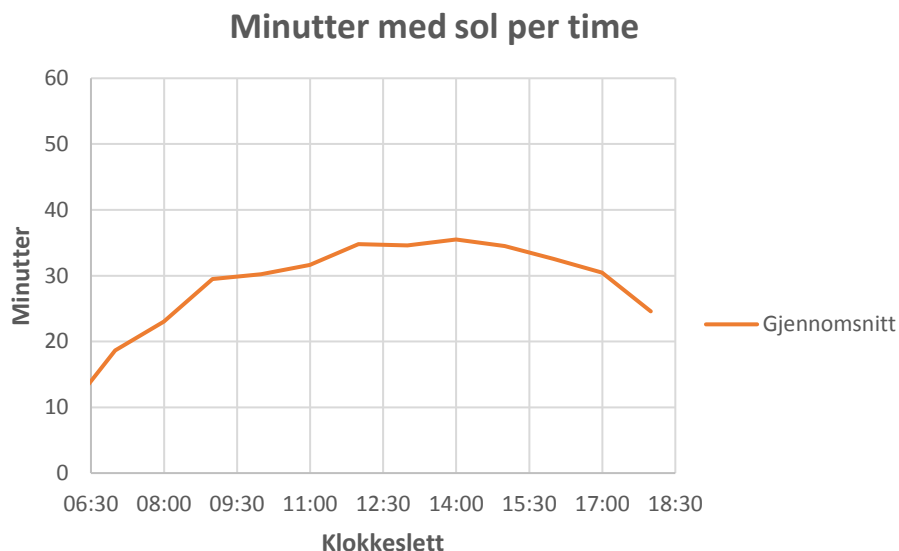


Figur 24 - Gjennomsnittlig effektbruk for kursene over hele måleperioden, 21. februar til 10. mai

Resultatene viser at effektgrafene for sør-øst-kursen (SØ) og sør-vest-kursen (SV) har omtrent de samme trendene og endringene i løpet av en dag, men SV-kursen har et noe høyere effektbruk. Nord-vest-kursen (NV) skiller seg ut med et mye lavere effektbruk, men har omtrent samme gjennomsnittlig topp-effekt som sør-vest-kursen.

Effektbruken for lyskursene vil være væravhengig og da spesielt av sola siden den vil blant annet påvirke solskjermingen. Figur 25 viser gjennomsnittlig minutter med sol per time gjennom dagen for hele måleperioden.

Grafen viser at det dagene i måleperioden har vært solrike. Det har kun vært tre dager som har vært helt overskyet og uten noe sol gjennom måleperioden.



Figur 25 - Gjennomsnittlig minutter med sol per time over hele måleperioden

Dataene er plottet slik at hvis det for eksempel er 60 minutter med sol mellom kl. 12 og 13 vil dette vises plottet som 60 minutter kl. 12 på grafen. Dette vil gi noen unøyaktigheter, men hensikten med grafen er å få et bilde av hvordan gjennomsnittsværet har vært gjennom måleperioden.

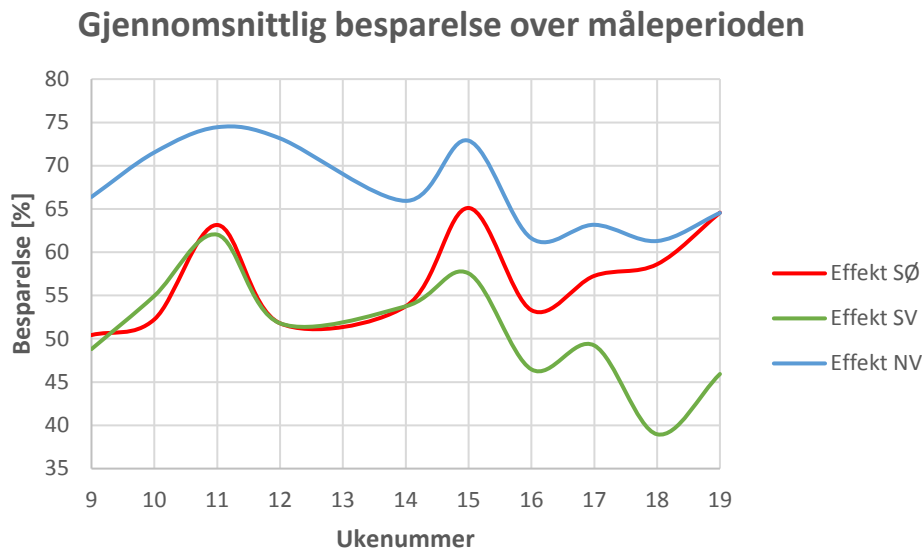
Tabell 7 viser en oversikt over lyskursenes gjennomsnittlige effekt- og energiforbruk. I tillegg er gjennomsnittlig besparelse for både for energi og effekt beregnet. Besparelsesprosenten er sammenlignet med et energiforbruk basert på at anlegget står på maks effekt over hele arbeidsdagen.

Tabell 7 - Oversikt over gjennomsnittlig energi- og effektbruk samt styringens besparelse

Lyskurs	Maks effekt	Gjennomsnittlig effektbruk	Gjennomsnittlig effektbesparelse	Energiforbruk uten styring	Gjennomsnittlig energibruk	Gjennomsnittlig energibesparelse
SØ	1,136	488 W	57 %	10,8 kWh	4,6 kWh	56,9 %
SV	1,04	524 W	50,9 %	9,88 kWh	5 kWh	49,5 %
NV	0,985	320 W	67,5 %	9,35 kWh	3,05 kWh	67,4 %

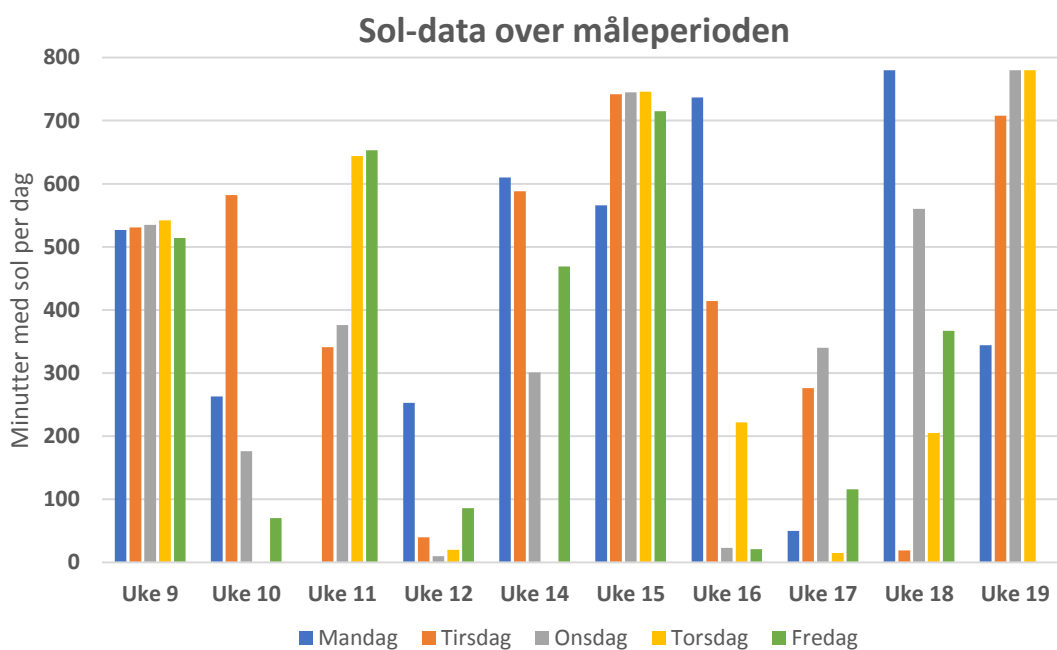
Arbeidsdagen er satt til å være fra kl. 07:45 til 17:15 for lokalene i Abels Hus. Effektkurvene presentert i dette kapittelet vil ha et lenger tidsintervall lenger tidsintervall enn arbeidsdagen. Dette er kun for å illustrere når effekten stiger om morgenen og når den synker om ettermiddagen/kvelden.

Figur 26 illustrere hvordan energisparingen varierer for alle lyskursene over måleperioden. Grafene er basert på gjennomsnittlig besparelse for hver uke. Uke 9-13 er i mars, 14-17 i april og 18 og 19 er de to første ukene i mai.



Figur 26 - Besparelse ved bruk av styresystemer sammenlignet med ingen styring

Under måleperioden har det vært veldig mange dager med sol, og flere av disse dagene har hatt sol over omtrent hele arbeidsdagen. Figur 27 viser en oversikt over antall minutter med sol per dag fra kl. 6-kl.18 delt inn i uker.



Figur 27- Oversikt over antall minutter med sol hver dag fra uke 9-19

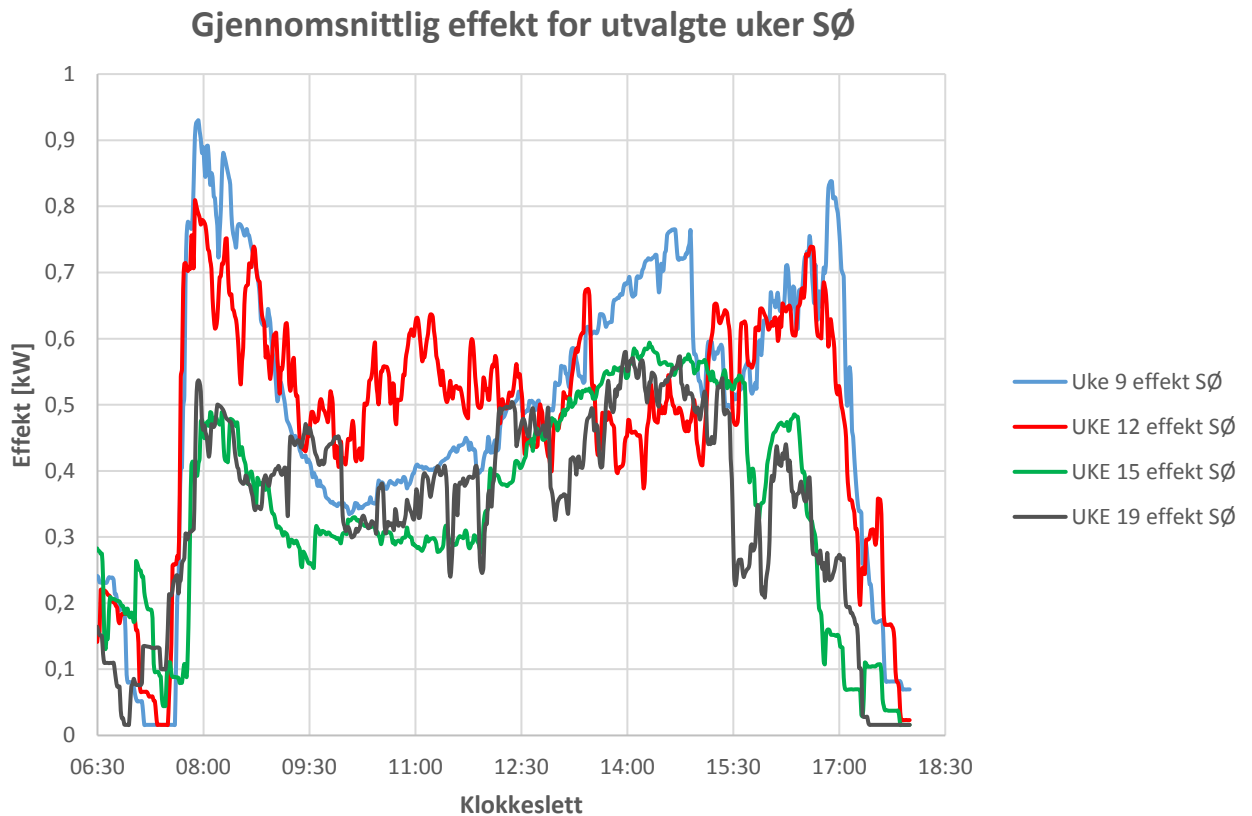
Den største besparelsen oppstår for i uke 11 for lyskursene som tilhører sør-vest og nord-vest fasadene, og begge kursene har minst besparelse i uke 18. For kursen som tilhører sør-øst fasaden skjer det høyeste besparelsen i uke 15, og den minste besparelsen er i uke 9.

For uke 9 er det ikke registrert soltimer før i time 9, altså mellom kl. 9-10. Ellers er de resterende timene fulle med sol. I uke 18 er ikke mandag 30. april og tirsdag 1. mai medregnet, på grunn av fridager. Besparelestallene er derfor kun basert på onsdag-fredag denne uken. Av disse dagene er det mye sol på onsdagen, mens de resterende dagene har middels solmengder.

Uke 15 og 11 oppnås det høyest energibesparelse. Uke 15 er en solfylt uke med omtrent sol gjennom hele arbeidsdagen alle fem dagene. Uke 11 har en dag uten sol og to dager med middels solmengder.

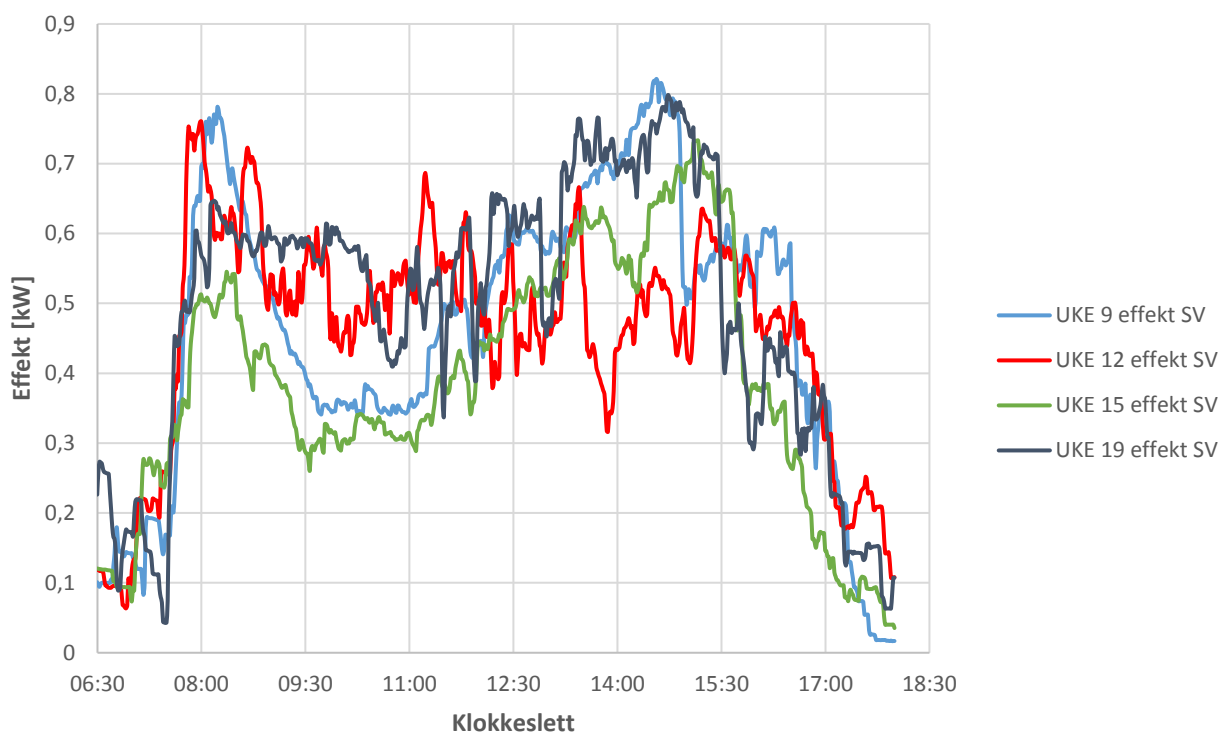
7.1.1 Gjennomsnittlig effektbruk for utvalgte uker

I begynnelsen av måleperioden var det mørkt ute om morgenen, og daglyset kom ikke før utover morgenen/formiddagen. Figur 28, Figur 29 og Figur 30 viser effektkurvene for 4 uker spredt over måleperioden. For SØ fasaden stiger effektkurvene til værs i starten av måleperioden, når det er mørkt ute, og de siste ukene viser til omtrent halvert toppeffekt om morgenen. SV har noe lignende trend, mens grafene for NV ser ikke ut til å være like påvirket av om det er lyst eller mørkt ute.



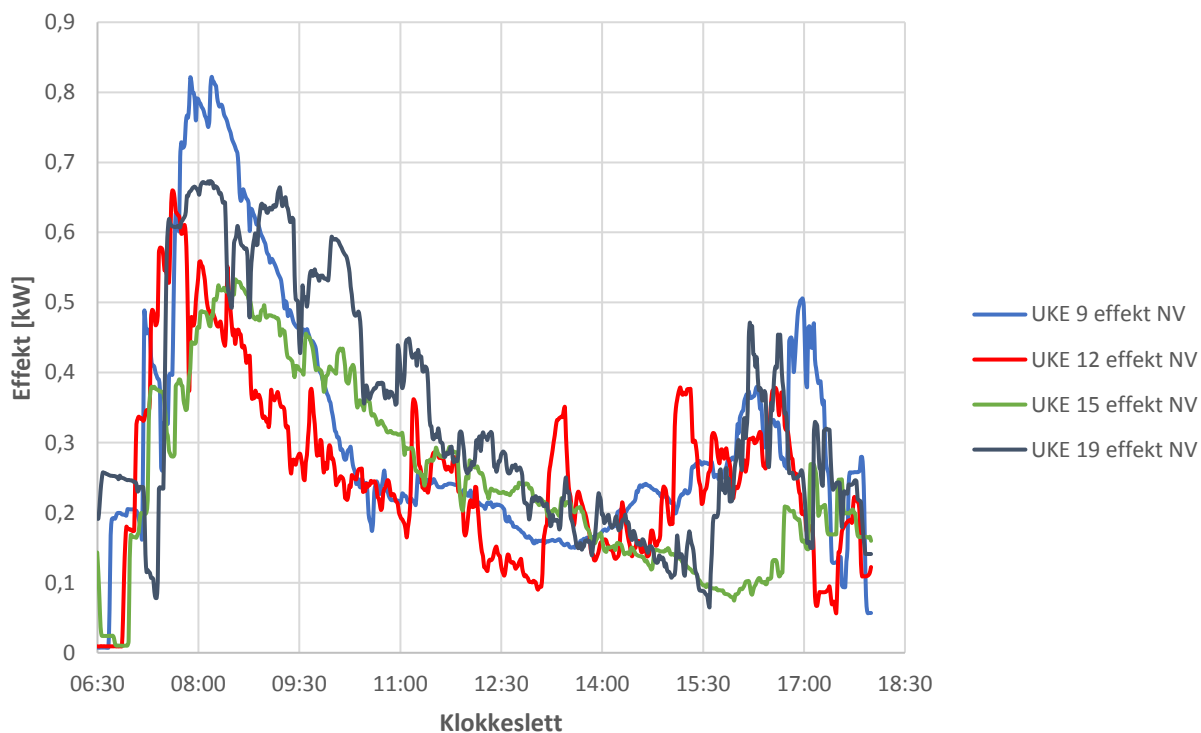
Figur 28 - Effektgrafene for utvalgte uker over måleperioden SØ

Gjennomsnittlig effekt for utvalgte uker SV



Figur 29 - Effektgrafene for utvalgte uker over måleperioden SV

Gjennomsnittlig effekt for utvalgte uker NV



Figur 30 - Effektgrafen for utvalgte uker over måleperioden NV

Dagene over måleperioden har vært solrike, men det varierer hvor lenge solen har vært fremme på de ulike dagene. Derfor er dagene delt inn i tre ulike kategorier for å se hvordan solen påvirker den gjennomsnittlige energi- og effektbruken. De ulike kategoriene er:

- Lite sol: Dager med mindre enn 100 med sol
- Middels sol: Dager med 100-500 minutter med sol
- Mye sol: Dager med mer enn 500 med sol

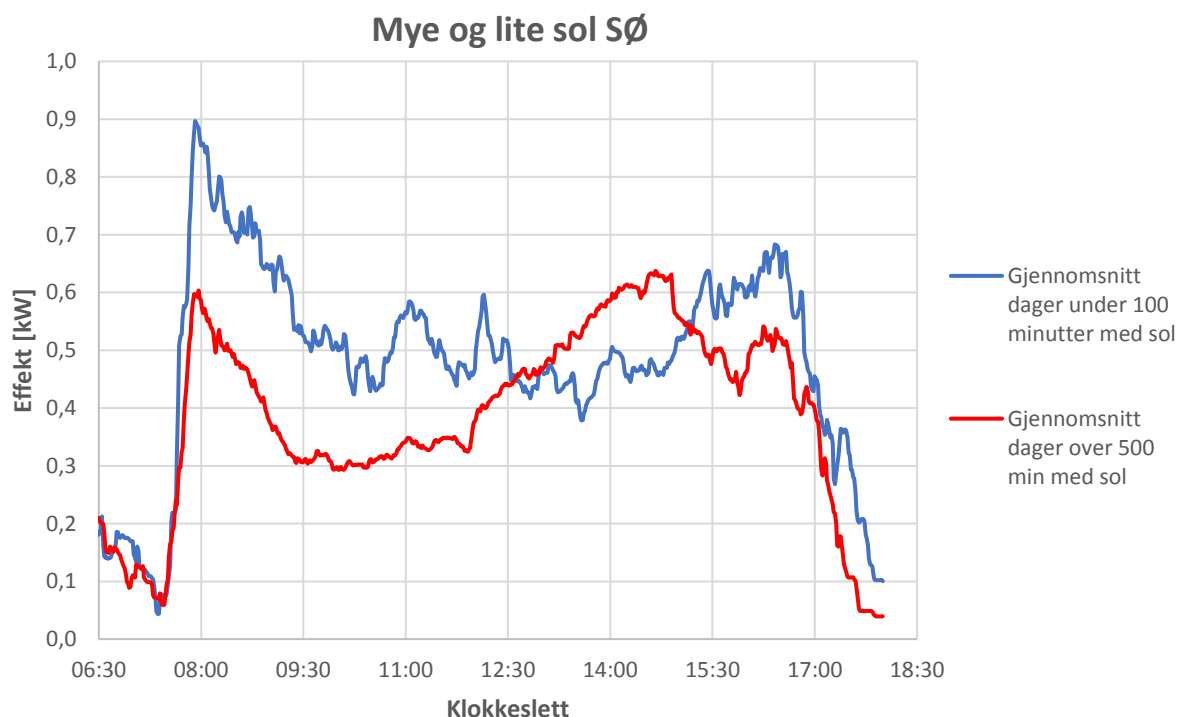
Måledata for lite sol er hentet fra 13 dager, mens måleperioden hadde 14 dager med middels solmengder og 18 dager med mye sol.

7.1.2 Gjennomsnitt effektbruk for dager med mye og lite sol

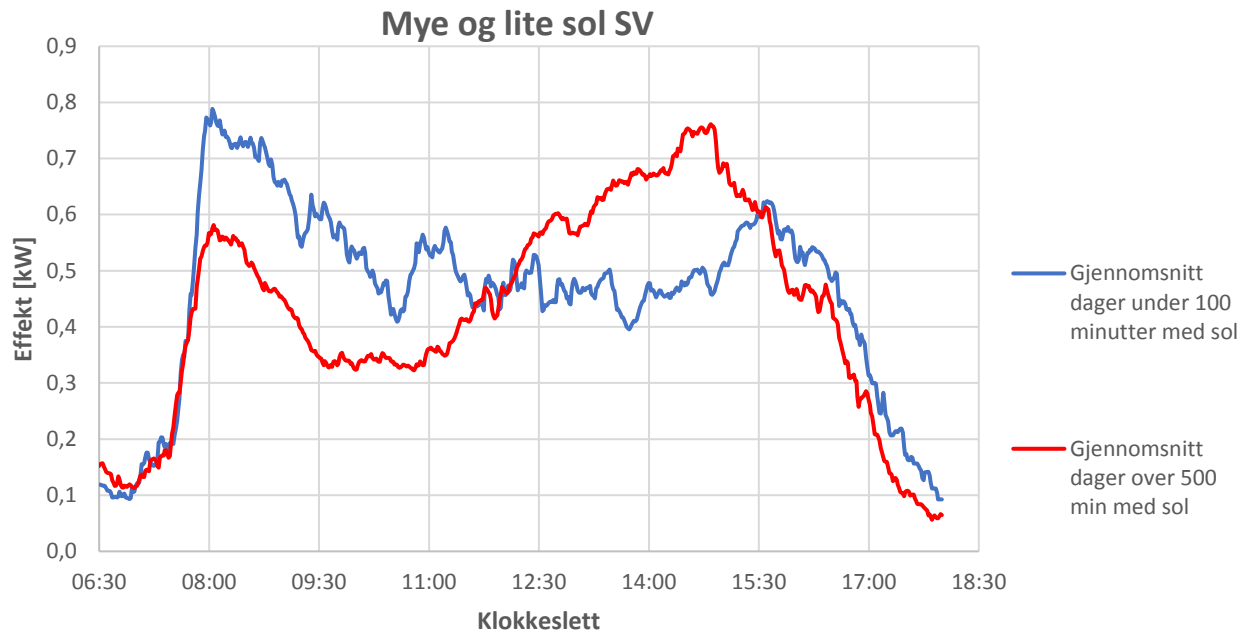
Figur 31, Figur 32 og Figur 33 viser effektkurvene for dager med mye og lite solmengder for de tre kursene. De blå grafene presenterer gjennomsnittlig effekt for dager med lite solmengder, og de røde grafene dager med mye sol.

Den røde kurvene viser at det trekkes mindre effekt før lunsjtid for dager med mer sol, enn ved lite sol for SØ og SV-fasadene, men effektbruken øker etter lunsjtid. Det samme skjer for dagene med lite sol, men effektbruken etter lunsj stiger ikke før mot slutten av arbeidsdagen.

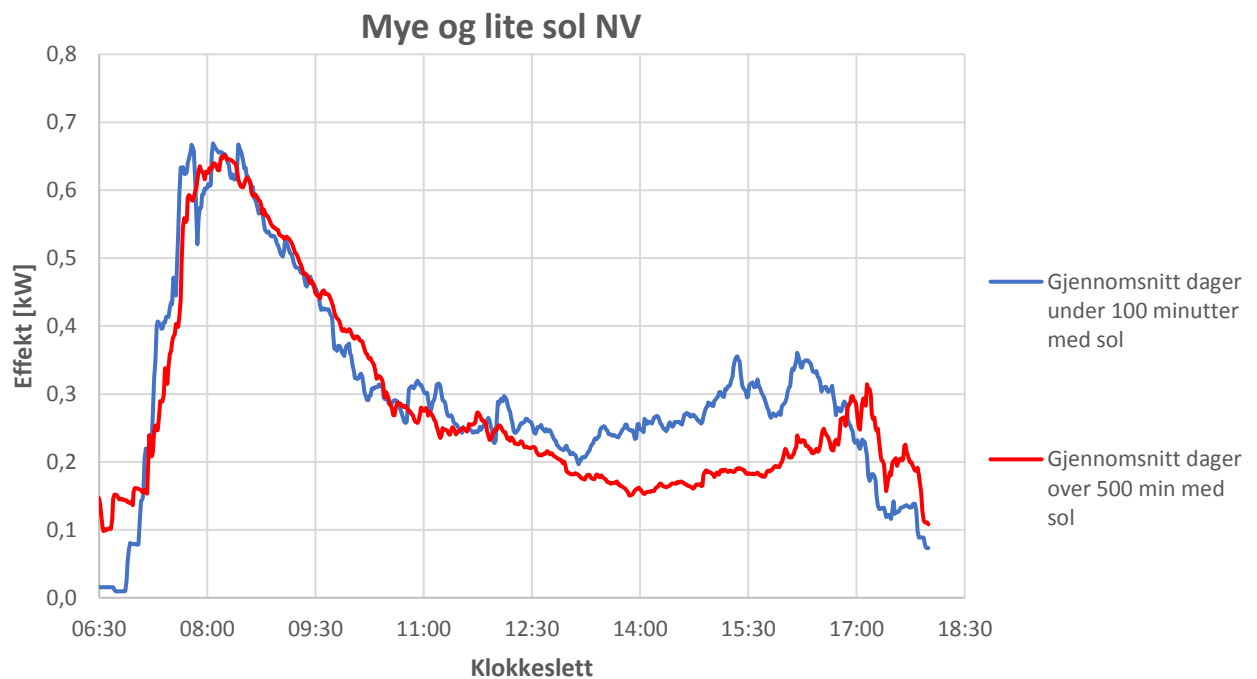
Resultatene for NV viser at effektbruken er nokså jevn for dager med mye og lite sol, men at den øker noe mer utover ettermiddagen for dager med lite sol.



Figur 31 - Effektbruk for SØ-kursen dager med mye(rød) og lite sol (blå)



Figur 32 - Effektbruk for SV-kursen dager med mye(rød) og lite sol (blå)



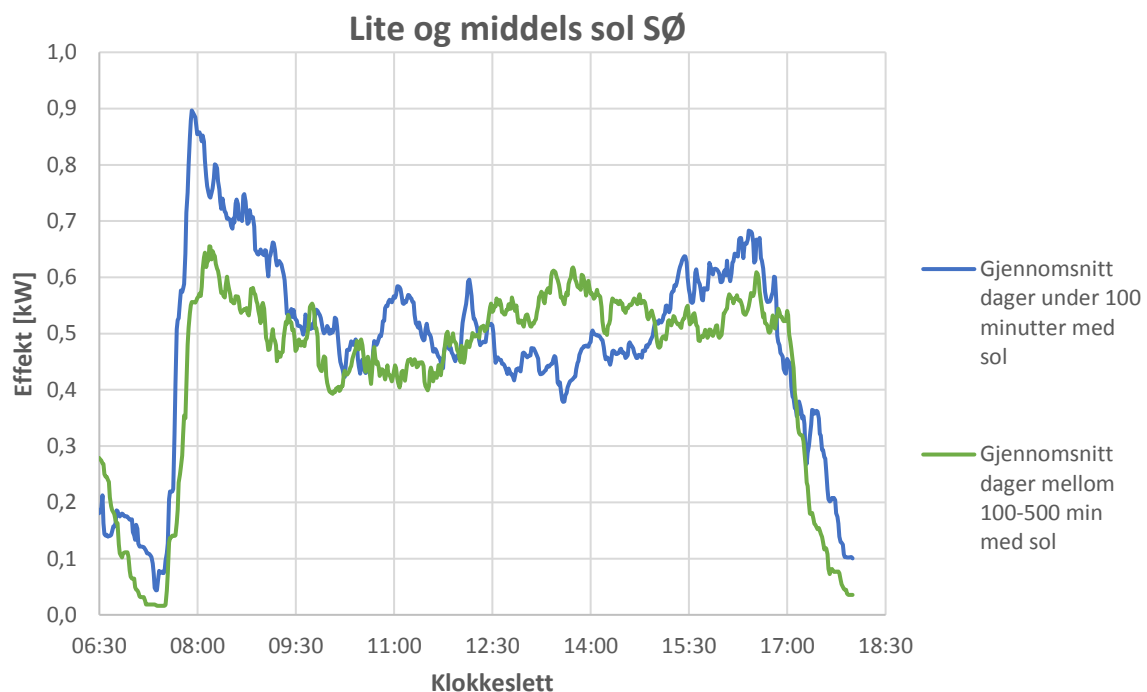
Figur 33 - Effektbruk for NV-kursen dager med mye(rød) og lite sol (blå)

7.1.3 Gjennomsnittlig effektbruk for dager med lite sol og dager med middels sol

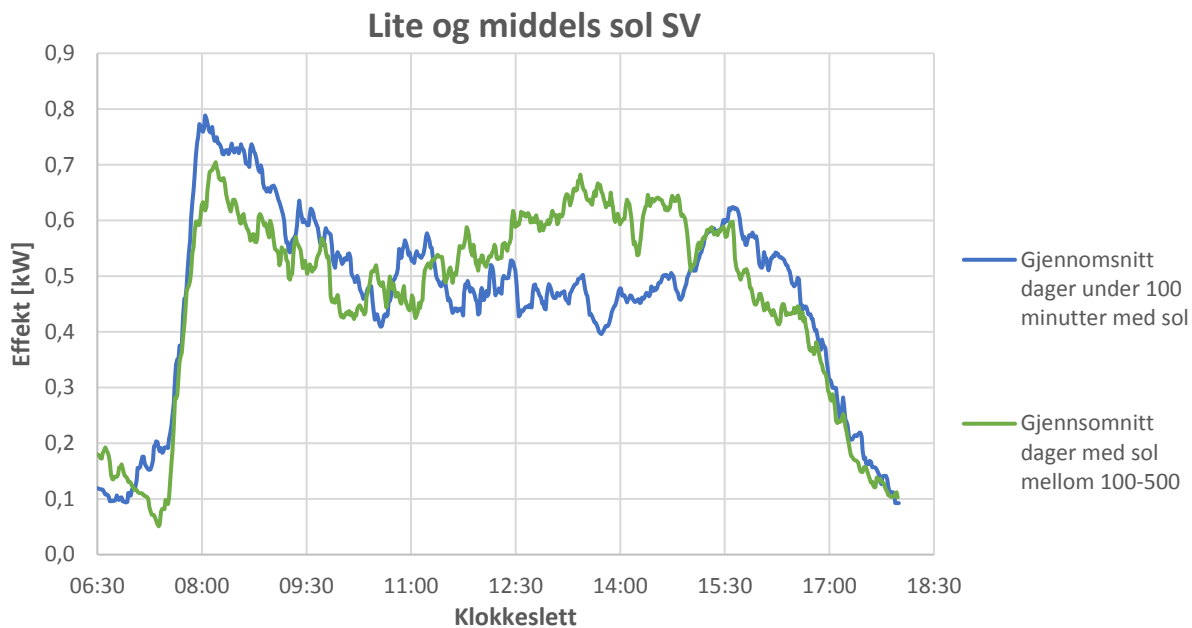
Figur 34, Figur 35 og Figur 36 viser effektkurvene for dager med lite og middels solmengder for de tre kursene. De grønne grafene presenterer gjennomsnittlig effekt for dager med middels solmengder, og de blå grafene dager med lite sol.

Den de grønne kurvene viser at det trekkes mindre effekt før lunsjtid for dager med middels sol, for SØ og SV-fasadene, men effektbruken øker etter lunsjtid. For dager med lite sol er effektbruken veldig høy om morgenen, og synker en god del utover dagen, og stiger igjen mot slutten av arbeidsdagen.

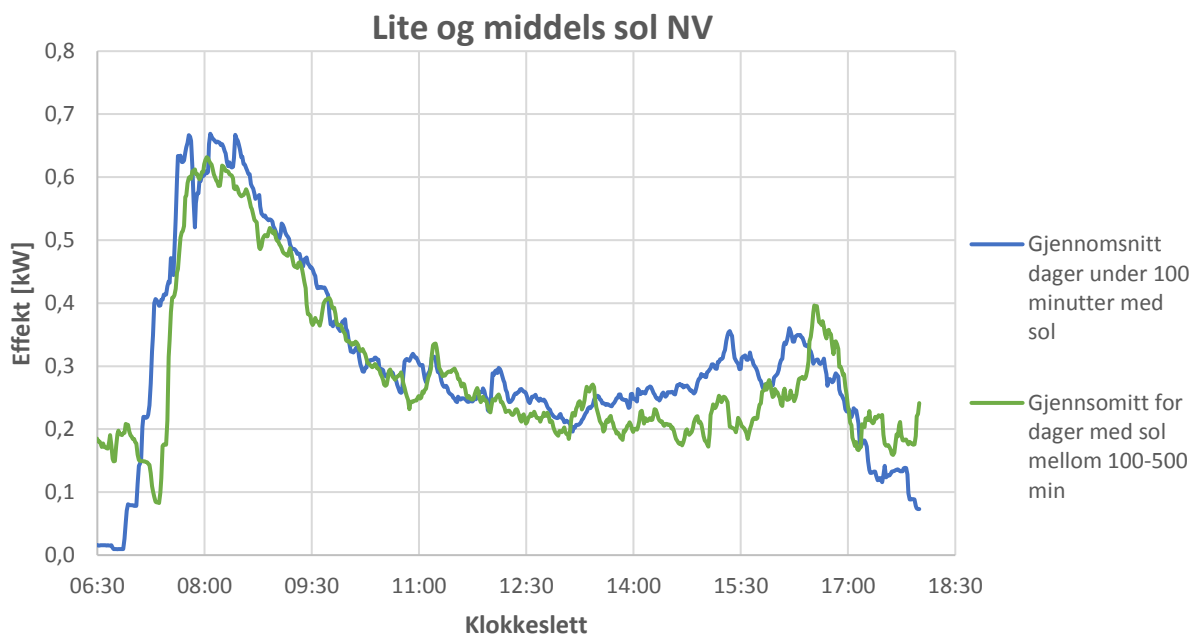
Resultatene for NV viser også her at effektbruken er nokså jevn for dager med middels og lite sol. Effektbruken øker noe utover ettermiddagen for både middels og små solmengder.



Figur 34 - Effektbruk for SØ-kursen dager med lite(blå) og middels sol (grønn)



Figur 35 - Effektbruk for SV-kursen dager med lite (blå) og middels sol (grønn)

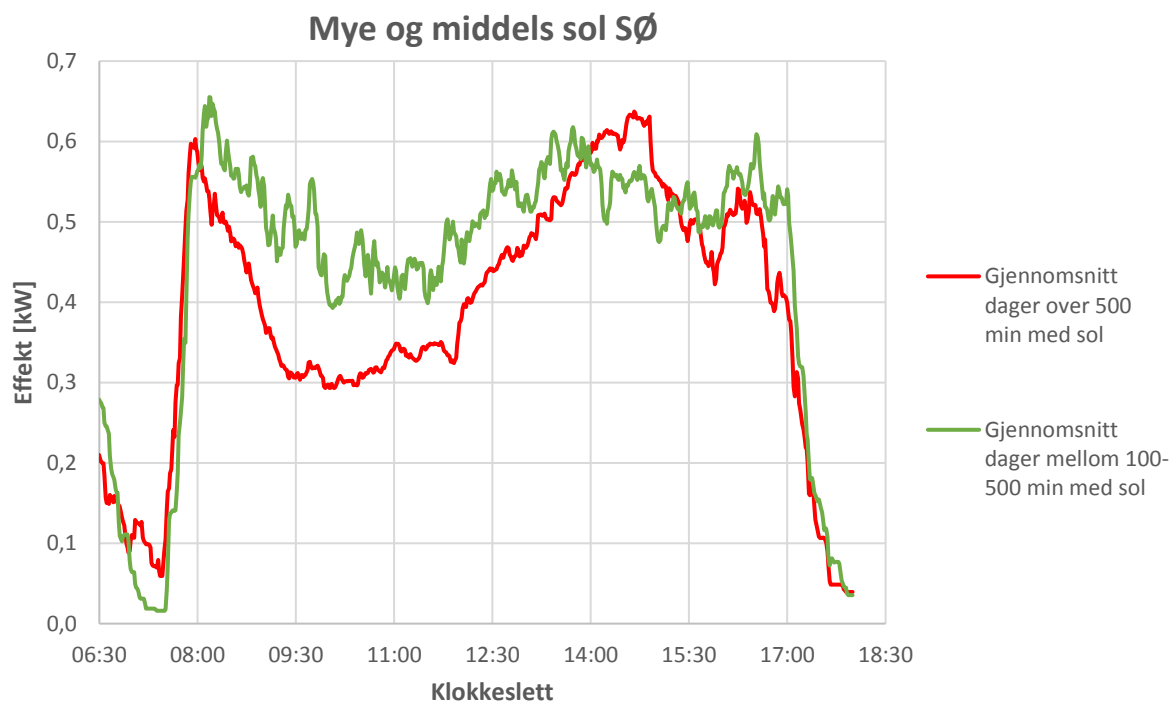


Figur 36 - Effektbruk for NV-kursen dager med lite(blå) og middels sol (grønn)

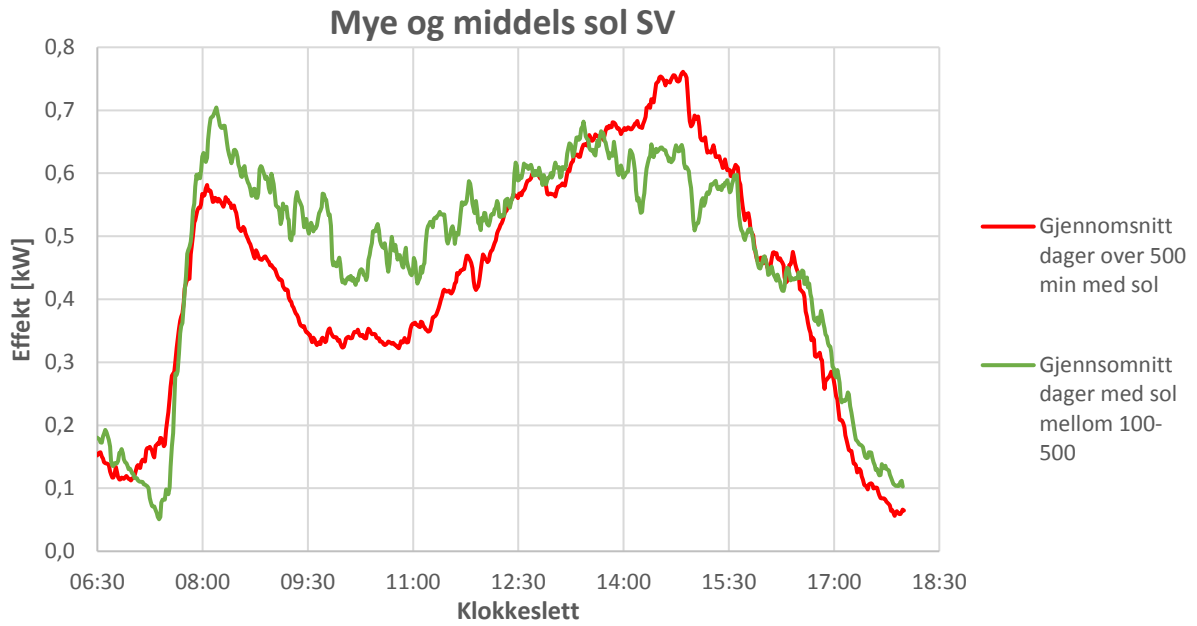
7.1.4 Gjennomsnitt av dager med mye sol og middels sol

Figur 37, Figur 38 og Figur 39 viser effektkurvene for dager med mye og middels solmengder for de tre fasadene. De røde grafene presenterer gjennomsnittlig effekt for dager med mye sol, og de grønne grafene dager med middels sol. Også her viser resultatene at det trekkes mindre effekt før lunsjtid for dager med mye sol, for SØ og SV-fasadene, og at effektbruken øker betydelig etter lunsjtid.

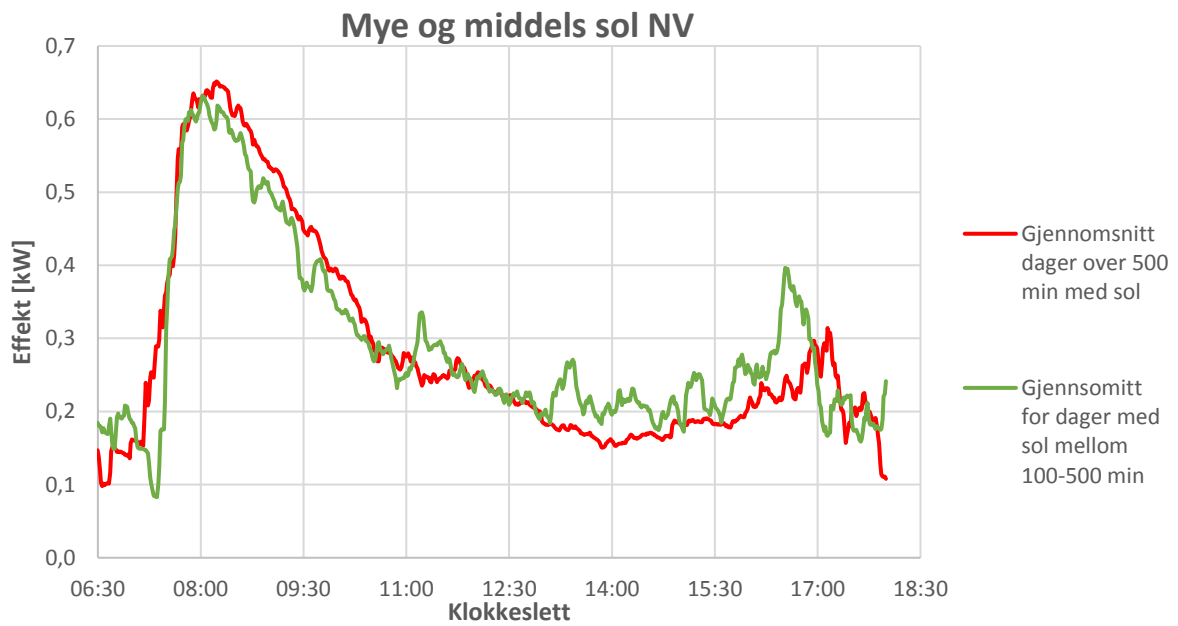
Resultatene for NV viser at effektbruken fortsatt nokså jevn for dager med mye og middels sol, men at den også her øker noe utover ettermiddagen for dager med middels sol.



Figur 37 - Effektbruk for SØ-kursen dager med mye(rød) og middels sol (grønn)



Figur 38 - Effektbruk for SV-kursen dager med mye(rød) og middels sol (grønn)



Figur 39 - Effektbruk for NV-kursen dager med mye(rød) og middels sol (grønn)



Figur 40 - SV-fasaden (solbelagt) og SØ-fasaden (skyggebelagt) 15.mai kl. 1230, en dag med mye sol

Alle effektgrafene viser at forbruket varierer etter hvordan været varierer. Tabell 8 inneholder en oversikt over effekt- og energibruk for kursene på de ulike værdagene. Tabellen inneholder også besparelsen for styresystemet.

Tabell 8 - Oversikt over forbruk og besparelse for de tre værkategoriene. Besparelsen er sammenlignet med full effektbruk over hele arbeidsdagen.

Lyskurs	Lite sol	Besparelse	Middels	Besparelse	Mye	Besparelse
SØ						
Energibruk	5,160 kWh	52,3 %	4,7 kWh	55 %	4,2 kWh	61 %
Effektbruk	540 W		511 W		444 W	
SV						
Energibruk	4,97 kWh	49,7 %	5,1 kWh	48,4 %	4,7 kWh	52,5 %
Effektbruk	522 W		535 W		493 W	
NV						
Energibruk	3,2 kWh	66 %	2,9 kWh	68,7 %	2,8 kWh	69,6 %
Effektbruk	344 W		308 W		299 W	

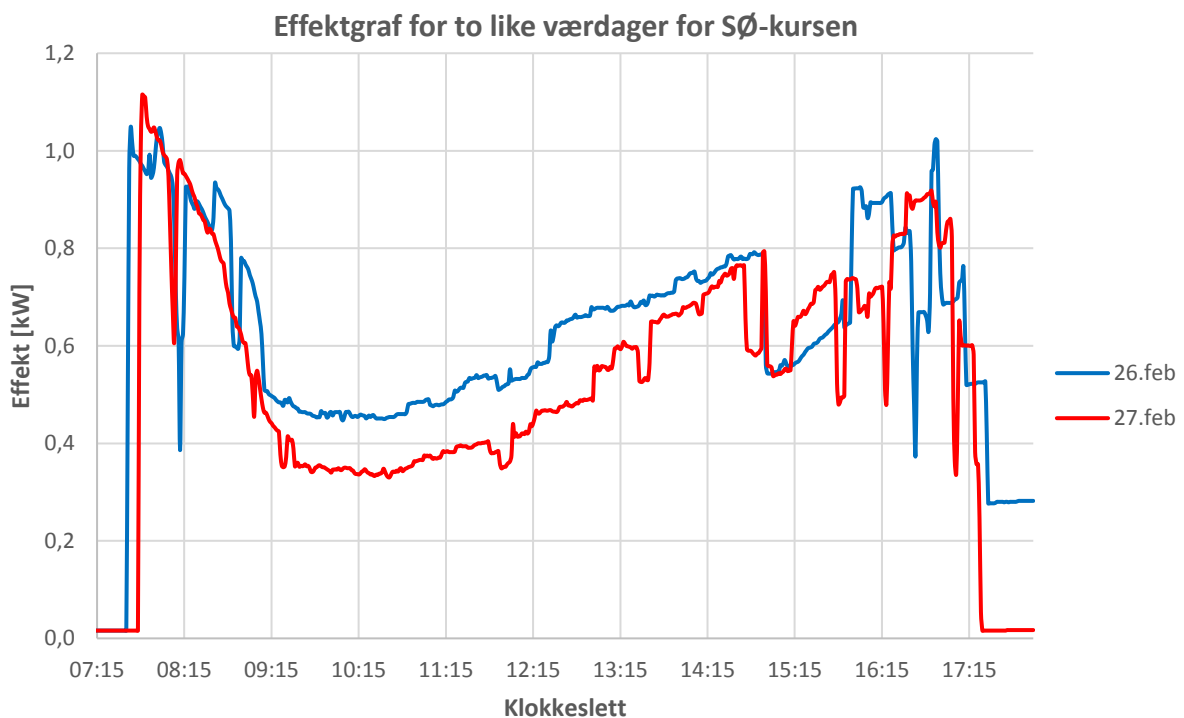
Besparelsen er høyest for dager med mye sol for alle kursene og den er minst for dager med lite sol for SØ og NV-kursene. SV-kursen har minste besparelse for dager med middels sol.

7.1.5 Brukermønster, sensorens energisparing og parasittisk energibruk

For å kunne diskutere og analysere måledataene må brukermønsteret for de forskjellige lyskursene undersøkes nærmere. Derfor er dager der sola opptrer tilnærmet identisk, sammenlignet med hverandre. Dagene som er sammenlignet med hverandre er 26. og 27. februar, 15. og 16. mars, 11. og 12. april og 8. mars og 12. mars. Brukermønsteret for disse dagene ser ut til å ha de samme trendene, med noen ulike effektvariasjoner.

Beregning viser at den største variasjonen i energibruk mellom to av dagene som sammenlignes er på maks 6 % for SV og SØ, mens NV skiller seg ut noe høyere forskjell med 17 % i forskjell mellom dager to dager uten sol. For å kunne si noe om dagslyssensorens energibesparing vil det vil videre i oppgaven antas at brukermønsteret i kontorlokalene er tilnærmet konstant over måleperioden.

Figur 41 viser et eksempel for effektratene for to identiske soldager for SØ-kursen, der det er 6 % forskjell i energibruken for de to dagene. Tilsvarende figurer for de andre dagene ligger vedlagt i vedlegg E.



Figur 41 - Effektgrafene for to identiske soldager som viser er nokså konstant brukermønster.

Om antakelsen om konstant brukermønster benyttes videre vil dagslyssensorens energibesparelse stå for differansen mellom uken med mest og minst besparelse. For om brukermønsteret og tilstedeværelsen er lik vil det kun være den dagslysavhengige delen av sensoren som står for besparelsen mellom disse to ukene.

Det betyr at besparelsen dagslyssensoren i snitt utgjør er på 16,9 % og bevegelsessensoren står for 41 %, se Tabell 9. Den totale energibruken for alle kursene sammenlignet med null styring over hele måleperioden ga en total besparelse på 58,2 %.

Tabell 9 - Resultat av energisparing for kun dagslyssensor, bevegelsesstyring og kombinert styring (multisensor)

Lyskurs	Minste energibesparelse	Største energibesparelse	Dagslys	Bevegelse	Kombinert
SØ	50,3 %	65 %	14,7 %	42,2 %	56,9 %
SV	39 %	62 %	23 %	26,5 %	49,5 %
NV	61,3 %	74,4 %	13,1 %	54,3 %	67,4 %
Total			16,9 %	41 %	58,2 %

Tabell 10 viser en oversikt over lyskursenes parasittiske energi- og effektforbruk. Parasittlastene er relativt like, utenom for NV-kursen som skiller seg ut med et lavt forbruk. Kursene har totalt et parasittisk energiforbruk på 508,1 kWh per år.

Tabell 10 - Parasittisk energiforbruk for de målte lyskursene

Parasittlast	SØ	SV	NV	NØ	Total
Effektforbruk [kW]	0,016	0,019	0,007	0,016	0,058
Energiforbruk over hele året [kWh/år]	140,2	166,4	61,3	140,2	508,1
Energiforbruk utenfor arbeidstid [kWh/år]	58,2	69,2	25,5	58,2	211,1

Hele 3. etg i C-blokken er til sammen på litt over 1000 m². Lyskursene som er logget dekker kun arbeidssoner og arbeidsplasser, og det vil være sannsynlig at ca. 50 % av etasjen består av dette.

Verdiene for parasittisk energiforbruk til styringsmoduler i SN/TS 3031 er 5 kWh/m²år. I NS:15193 er samme verdi satt til 1,5 kWh/m²år. Om disse verdiene gjelder for hele året eller kun timer utenfor arbeidstid kommer ikke klart frem i standardene. Det er derfor regnet ut parasittisk energiforbruk for hele året (8760 timer) og for utenfor arbeidstid (3640 timer) i Tabell 10. Dersom det antas at målearealene er på 500 m² vil det gi et parasittisk energiforbruk på 1kWh/m²år for hele året, og 0,5 kWh/m²år utenom arbeidstid.

7.2 Spørreundersøkelse «Brukerens komfort»

Formålet med spørreundersøkelsen er først og fremst å samle inn informasjon om brukernes komfort ved bruk av styring basert på dagslysinnfallet. I tillegg vil de ansattes brukermønster også bli kartlagt. Resultatene skal forhåpentligvis gi et bedre grunnlag til å besvare oppgavens problemstilling, samtidig som de kan bidra til en grundigere analyse av energi- og effektmålingene. Undersøkelsen vil registrere respondentenes kjønn og alder, fordi det også vil være interessant og se om det finnes en sammenheng mellom disse faktorene i forhold til respondentenes komfort.

Deltakerne i spørreundersøkelsen er ansatte hos leietakerne i de samme lokalene hvor målingene ble utført i Abels Hus. Leietakerne er Sykehusapotekene i Midt-Norge HF og Merit Consulting AS. Totalt sitter det 29 personer i lokalene, og undersøkelsen har en svarrespons på 33 %. Dette underkapittelet vil først presentere resultatene av undersøkelsen og videre analysere trendene i de innsamlede svarene. I tillegg vil resultatene fra enkelte spørsmål også benyttes videre i analysen av måleresultatene. Spørreundersøkelsen som ble utsendt og resultatene er vedlagt i vedlegg A og C.

Kjønn, alder og opphold

Kjønnsfordelingen av respondentene i spørreundersøkelsen er 60 % menn og 40 % kvinner. Alle respondentene er mellom 30-50 år, der underkant av halvparten er mellom 30-40 år, og resterende er mellom 40-50 år. Flertallet krysser av for at de oppholder seg på kontoret 50-70 % av en normal arbeidsuke. Det er kun to som oppholder seg på kontoret mer enn 70 % av arbeidstiden, og en respondent oppholder seg på kontoret mindre enn 30 % av arbeidstiden.

Plassering og avstand til vindu

I spørreundersøkelsen oppgir respondentene om de sitter plassert i cellekontor eller kontorlandskap. Her oppgir 90 % at de sitter i kontorlandskap, og kun 10 % sitter plassert i cellekontor. Halvparten av respondentene sitter plassert 1-2 meter fra nærmeste vindu. 40 % sitter rett i nærheten av et vindu (0-1 meter), og det er kun en respondent som sitter 3-5 meter fra vinduet.

Kjennskap, observasjon og hyppighet

Alle utenom én respondent skal ha kjennskap til at deres kontorplass har konstantlysstyring, og alle her lagt merke til styringen. I overkant av halvparten legger merke til at den kunstige belysningen endres 1-2 ganger daglig, og resten merker det mer enn 2 ganger daglig.

Opplevelse, tilvenning og tilstrekkelig belysningsstyrke

I spørreundersøkelsens viktigste spørsmål; hvordan brukerne opplever lysendringene er det noen mere individuelle forskjeller. 20 % tenker ikke over dimmingen av lyset i det hele tatt. 50 % oppgir at de legger merke til den, men de opplever det ikke som forstyrrende. De resterende 30 % opplever styringen som irriterende. Hele 90 % av respondentene oppgir at de trenger 0-2 minutter i adaptasjonstid fra lyset er ferdig dimmet til de har tilvendt seg det nye lysnivået. 20 % av respondentene opplever aldri at deres kontorplass ikke har tilstrekkelig belysning. De resterende svarer at de opplever det av og til eller sjelden.

Solskjerming

Det er valgt å inkludere et spørsmål om solskjermingen i spørreundersøkelsen for å få et innblikk av om hvor ofte den er aktivert når det ikke er direkte sol ute. 30 % av respondentene mener at den ofte er nede selv om det ikke er direkte sol på fasaden. 20 % mener det skjer av og til, og de resterende 50 % svarer at det skjer sjelden.

Svar i utkanten av skalaen

Siden denne spørreundersøkelsen først og fremst skal kartlegge brukernes komfort, er det spørsmålene som er omhandler dette som må analyseres nærmere. Respondentene som opplever styringen som ubehagelig er to kvinner mellom 40-50 år, og en mann mellom 30-40 år.

Kvinnene avgir like svar på resten av spørsmålene. De sitter 0-1 meter fra nærmeste vindu, og bruker maks 2 minutter på å tilvenne seg det nye lysnivået. De opplever kun at belysningen ikke er tilstrekkelig «av og til». En av disse kvinnene opplyser som en tilleggs kommentar at det er spesielt når man sitter og jobber med lesing på skjerm og papir at hun oppdager at lyset ikke er tilstrekkelig.

Den mannlige respondenten behøver 2-5 minutter på å tilvenne seg det nye nivået. Han sitter 1-2 meter fra nærmeste vindu, og opplever sjelden at lyset ikke er tilstrekkelig. Dette er den eneste respondenten som er tilstede 100 % ved kontoret.

Et annet ytterpunkt er respondenten som sitter i cellekontor. Respondenten svarer ganske så likt gjennomsnittet på de resterende spørsmålene. Dette gjelder også for respondenten som sitter 3-5 meter fra nærmeste vindu.

En respondent har lagt til en tilleggs kommentar om at det oppleves en nokså stor forskjell i lysstyrke ved hver justering, og mener det burde vært noe tetter imellom punktene som trigger justeringen. I tillegg burde endringen både vært mindre og gå over lenger tid, slik at lyset dimmes mer langsomt og at lyset ikke tennes brått.

8 Diskusjon

Dette kapitlet inneholder diskusjon for undersøkelsene som er utført og metodene som er benyttet i dette prosjektet. I kapitlet blir simuleringsverktøyene og dagens krav og praksis i rådgiverbransjen diskutert. Gjennomføring av resultater for energi- og effektmålingene i tillegg til spørreundersøkelsen utført på Abels Hus vil også diskuteres. Kapitlet vil avslutte med et forslag til videre arbeid.

8.1 Simuleringsverktøy

Informasjonsinnhenting for simuleringsverktøyene i kapittel 4 har vært av ulik vanskelighetsgrad. For noen verktøy finnes det ikke lett tilgjengelig informasjon om beregningskjerner og liten informasjon om deres fordeler og begrensninger. Noe av informasjonen som er innhentet kan være eldre og ikke gjelde i senere videreutviklede versjoner av simuleringsverktøyene.

Forutsetningen for å kunne oppnå en god energibesparelse ved å utnytte dagslyset er først og fremst god dagslystilgang i bygninger. De statiske simuleringsverktøyene sammen med dagens forskriftskrav vil ikke kunne hente ut de største potensialene for energisparing, fordi de ikke kan angi hvor mye dagslys som er tilgjengelig i bygningen til enhver tid.

Mest sannsynlig vil resultatene fra dynamiske simuleringer kunne være mer nyttig både i vurdering av glassareal og plassering av vinduer som, vil gi en høyere gevinst for både energibesparelsen og brukers komfort.

Noen av de statiske verktøyene nevnt i kapittel 4 har mulighet til utføre en mer dynamisk analyse ved å benytte flere himmeltilstander, men denne funksjonen er som oftest ikke lagt som en standard prosedyre i verktøyene. Daysim er det eneste verifiserte programmet som kan utføre fullt dynamiske simuleringer, siden verktøyet kan utføre CBDM.

3D-modelleringsprogrammene som støtter konvertering over i Daysim lite brukt i konsulentbransjen. I dagens bransje er det AutoCad og Revit som er de mest utbredte modelleringsverktøyene. For å eventuelt få Daysim mer attraktivt burde det åpnes for at tegninger fra disse 3D-modelleringsprogrammene kan benyttes. En enda bedre løsning ville vært at Daysim støtter IFC, slik at bygningene kan modelleres i et valgfritt verktøy og senere importeres inn i Daysim.

Licaso er et verktøy som også utfører CBDM og verktøyet kan implementeres i Revit. Det vil derfor kanskje være noe mer brukervennlig slik status er i dag. I tillegg skal Licaso være et hurtigere beregningsverktøy enn Daysim, men det er ikke funnet informasjon om Licaso er et sertifisert verktøy. Mest sannsynlig er ikke dette tilfellet siden Licaso benytter seg av en mindre kjent beregningskjerne.

Relux benyttes av de fleste i rådgiverbransjen og de har lovet å gå over til mere dynamiske beregninger i fremtiden. Programmet er godt utbredt i Europa og Relux dekker en stor del av markedet. Det vil nok være lite lønnsomt for Relux å gjøre programmet mer dynamisk

ettersom etterspørsel i markedet er liten. For å øke etterspørselen er det nødvendig at de europeiske forskriftene gir dagslyskriteriene mer oppmerksomhet og at det blir innført strengere forskriftskrav for beregning og dokumentasjon for dagslys og kunstige belysningsanlegg. Dersom CBDM kommer inn som en evalueringsmetode i TEK kan det føre til at en mer detaljert prosjektering av dagslys vil bli obligatorisk i et byggeprosjekt.

Dersom forskriftskravene i flere land endres, vil det føre til at flere leverandører også implementerer dynamiske beregninger for å ikke tape sin plass i markedet. Men for å kunne utføre en forskriftsendring er det også en viktig forutsetning at det finnes tilgjengelige verktøy til å utføre beregningene forskriftene setter.

Det vil nok være enklere å få bransjen til å benytte allerede kjente verktøy og tilføye nye elementer i disse, enn å få bransjen til å gå over til helt ukjente og nye simuleringsverktøy. En eventuell forskriftsendring vil nok derfor ta mye tid.

Et annet viktig poeng er at mer dynamiske beregninger fører til en mer kompleks strålingskalkulering. Per dags dato er simuleringsverktøyene som kan utføre dynamiske beregninger trege og krever flere kunnskapsressurser de enn statiske. Det vil igjen være vanskelig å selge inn «dyrere» beregninger i et prosjekt uten at det faktisk er et krav for byggherren i Byggeforskriften.

8.2 Dagens krav og dagens praksis

Verdier for energibesparelse

NS:3031 inneholder kun ett felles reduksjonsfaktor på 20 % for alle typer styring, og skiller ikke mellom styring basert på bevegelse, dagslys eller kombinerte system. Reduksjonsfaktoren er nok satt såpass lav for å ikke overestimere energireduksjonen, men det er opplagt at dette tallet er en unøyaktig angivelse.

Et anlegg med kun bevegelsesstyring vil ha et annet energibesparelseresultat enn et anlegg som kombinerer bevegelse- og konstantlys-styring. Det finnes mer nøyaktige metoder for å beregne energibesparelsen, som ved å benytte NS 15193 og beregne LENI-tallet og benytte dette videre til å finne energibruken.

LENI-tallet er en mer reell verdi enn reduksjonsfaktoren i NS:3031 siden det i utregningen er noen flere valgmuligheter blant styringsalternativene, i tillegg til at det inkluderer parasittisk energiforbruk. Ut ifra svarene fra rådgiverbransjen ser det ut til at reduksjonsverdiene fra NS:3031 er de mest benyttede og at LENI-tall som oftest benyttes i prosjekter med høye energiambisjoner.

For å kunne estimere en mer nøyaktig reduksjonsberegning bør det lages egne tall for anleggenes styringsprinsipp i SN/TS 3031, som skiller på bevegelse, dagslyskompensert styring eller et kombinert system. I tillegg vil bygningens egenskaper og orientering vil ha stor innvirkning på bygningens dagslystilgang og derfor energisparepotensiale. Bidraget fra dagslyset må opp i relativt høye belyningsstyrker før det kan bidra til å kompensere for den kunstige belysningen og bidra til energireduksjon. Størrelsen på dagslysfaktoren bør derfor også virke inn på hvor stor energibesparelsesfaktor som kan medregnes.

Et annet viktig moment for å oppnå god energibesparelse er riktig plassering av sensorene og riktig konfigurering av dem. Testene utført i prosjektoppgaven viser at sensorene er veldig følsomme for endringer i fotocellens deteksjonsområde som vil ha stor innvirkning på om sensoren klarer å oppnå en god energibesparelse, selv om bygningens dagslysegenskaper ligger til rette for det. Det vil derfor være fordelaktig at møbleringsplanen er satt før sensorenes plassering bestemmes.

Sparebankbygget er et eksempel på dårlig planlegging av sensorenes plassering og konfigurering. Flere kombinasjonsdetektorer har nå utviklet egne algoritmer som skal konfigurere sensoren optimalt. Likevel bør nok sensorene etterkontrolleres for å forsikre at de fungerer på en optimal måte, siden en feilkonfigurering vil ha innvirkning både på energiforbruket og ikke minst brukerens komfort.

Dagslysfaktor og klimabaserte dagslyssimuleringer

Dagslysfaktor er den mest benyttede vurderingsformen for dagslys i næringsbygg. Dersom besparelsen beregnes etter dagslysfaktor kan besparelsen overestimeres, siden dagslysfaktoren kun sier noe om forholdene med en overskyet himmel, og inkluderer ikke

bruken av solskjermingssystemer. For å kunne få et best mulig bilde av hvor mye naturlig lys som er i rommet til enhver tid bør dynamiske vurderingsformer benyttes, som for eksempel CBDM, siden denne vurderingsformen vil si noe om både brukerens komfort, solskjermings aktivitet og dermed også finne energibesparelsen som kan sammenlignes med investeringskostnadene.

De siste årene er LED-armaturer blitt ledene på markedet. Denne type armaturer har redusert energi- og effektbruken til belysning betydelig. Siden den kunstige belysningen beveger seg i en meget energieffektiv retning kan det stilles spørsmål om lysstyringsberegninger vil være særlig aktuelt om noen år. For at sensorene fortsatt skal være aktuelle må sensorene spare enda mer enn det de gjør i dag for å kunne hente inn deres merinvesteringskostnader, dersom de ikke blir betydelig billigere.

Uansett om energisparing vil være viktig i fremtiden eller ikke, vil dagslysberegninger fortsatt være aktuelt siden dette påvirker menneskers komfort i såpass stor grad. CBDM vil uansett være fordelaktig siden vurderingsformer (DA og UDI) basert på denne modelleringen sier først og fremst noe om forbrukerens komfort ved bruk av bygningen og ikke bare noe om energibesparelsene dagslyset bidra med.

Rådgiverbransjens erfaringer

Alle respondentene i spørreundersøkelsen har hørt om klimabaserte dagslysberegninger, men kun noen få har testet ut et simuleringsverktøy som baserer seg på det. De peker på at hvor detaljerte deres dagslysberegninger blir, avhenger av hvor de kommer inn i prosjekteringsfasen som igjen avhenger av energiambisjonen for bygningen. I de fleste tilfeller er det største fokuset å tilfredsstille kravene satt i Byggteknisk forskrift.

De siste årene har det blitt en voksende trend å utføre bygninger med miljøsertifiseringer som BREEAM og lignende. I BREEAM er det nylig lagt inn klimabaserte dagslysberegninger som et alternativ for å oppå poeng for dagslys. Dette vurderingsformen brukes nok sjelden, men det er i det minste et steg i riktig retning. Et annet poeng som skal skape konflikt i henhold til dagslysstyring i BREEAM-bygg er at manualen har alternativer for at brukerne skal kunne styre lyset selv. Det er sjeldent at dagslysstyringen eller konstantlys-styringen kan overstyres. Dette er to punkt som i så fall må vurderes før eventuelt dagslyssensorer installeres.

Respondentene er samstemte om at CBDM bør inkluderes i prosjekteringsfasen, men for at det skal lykkes er de alle enige om at det er forskriftskravene som må bli strengere. Respondentene gir et klart svar på at simuleringsverktøyene må gå over til å bli mer dynamiske, både for å kunne gi et bedre bilde av hvor gode lysforholdene er i bygningene til enhver tid, og for å unngå feilestimering av energibesparelsen.

Reduksjonsfaktoren fra NS 3031 på 20 % benyttes av alle respondentene. Det virker som at få av de har stilt spørsmål til denne verdien, og heller ikke at det kun eksiterer et enkelt tall for energibesparelse av lysstyring. Denne erfaringen kan være med på å underbygge påstanden

om at dagslyssensorer installeres ofte som en standardløsning uten noen nærmere beregninger.

8.3 Energi- og effektmålinger på Abels Hus

Dette kapitlet vil diskutere styringsløsningene i bygningen i tillegg til måleutstyr og metodene som er blitt brukt. Videre vil resultatene av måleresultatene diskuteres.

8.3.1 Løsningen i bygget

Detektorenes styringsprinsipp og valg av område

Dagslyssensorene på dette anlegget er integrert i armaturene, slik at detekteringsområdene for hver sensor er mest sannsynlig små sammenlignet med en ekstern sensor. Det vil gjøre at bevegelsesdetektering og måling av dagslysinfallet vil skje lokalt i de respektive arbeidssonene og vil ikke være like avhengig av nærliggende arbeidsplasser som ved bruk av en ekstern sensor.

Målingene er utført i C-blokkens 3. etasje for å komme opp i høyden slik at måleetasjen er mindre utsatt for en eventuell skjerming fra både omgivelser og andre bygninger.

Kursene som er valgt ut til å logges dekker kun arbeidsplasser. Det betyr at unødvendige soner som gang, sosiale soner osv. er lukket ut fra måledataen og som forenkler analysen. De fleste arbeidsplassene er organisert i kontorlandskap, som vil øke tilstedeværelsen i deteksjonsområdene til sensorene. Dette er et viktig punkt i analysen av energibesparelsen. Det er fordi det øker sannsynligheten for en mer nøyaktig fordeling mellom styringsprinsippene, siden tilstedeværelse fører til at armaturene er aktivert, og en eventuell reduksjon i energibruken vil da skyldes dagslyskompensasjonen.

En annen viktig faktor er systemets tidsforsinkelse. Sensorens tidsforsinkelse for bevegelsesdetektering er 15 minutter. Det betyr at belysningen kan stå på i 15 minutter fra det sist detekterte bevegelse til armaturen slukker. Dersom de ansatte ankommer lokalene i et intervall spredt utover en time vil armaturene som forbipasseres da stå på og trekke effekt selv om ingen benytter seg av armaturenes tilhørende arbeidsplasser. Dette kan være forklaringen på at effektforbruket er høyt om morgenen og ved arbeidsdagens slutt.

For konstantlys-styring skal styringen foregå kontinuerlig og trinnløst. Det betyr at styringen ikke har tidsforsinkelse, og en eventuell effektendring på som skyldes dagslyset skal i teorien kunne sees direkte grafen.

Solskjerming

Solskjermingen består av utvendige screens, og befaringer på Abels hus viser at dagslystilgangen er relativt god når solskjermingen er nede. Det er ikke utført logging av styringen av solskjermingen på Abels hus over måleperioden. Den eneste informasjonen som er innhentet for solskjermingssystemet er gjennom spørreundersøkelsen utført av de ansatte i kontorlokalene.

Ut ifra spørreundersøkelsen ser det ut til at solskjermingssystemet fungerer godt, og at den som oftest kun er aktivert ved nødvendighet. Det samme reflekteres i resultatene fra målingene som viser at energi- og effektbruken til lyskursene som oftest minker når antall soltimer øker. Måleperioden har bestått av mange dager med sol som mest sannsynlig har ført til et høyt forbruk av solskjermingssystemet. Et annet punkt det er viktig å ta i betraktning i analysen av resultatene er tilstedeværelse. Det kan ha vært en generell høyere tilstedeværelse for dagene med mindre sol som har ført til at effektbruken er høyere for disse dagene enn for mer solrike dager. Men perioden har bestått av et såpass høyt antall dager med mye sol og de regnes som representative nok til at det ikke kan antas høyere tilstedeværelse for dagene med mindre sol.

De innhentede sol-dataene er gitt i intervaller på en time, og sier ikke noe om når i timen solen inntraff. Det betyr at disse dataene ikke kan si noe om hvor lenge solskjermingen er nede i løpet av timen, siden minuttene med sol kan komme både sammenhengende eller spredt utover hele timen. I sistnevnte tilfelle vil solskjermingen mest sannsynlig være nede gjennom hele timen på grunn av solskjermingens tidsforsinkelse.

8.3.2 Måleutstyr og metoder

Måleutstyr

Måleutstyret benyttet i dette forsøket er et effektmeter og strømtenger. Verdiene som ble logget av effektmeteret ser ut til å være relativt nøyaktige og pålitelige. Strømtengene som ble benyttet har derimot vist seg å være mer sensitive enn effektinstrumentet. Selv om strømtengene er av samme modell og fabrikat måtte de ha ulike omsetningsforhold. I tillegg måtte omsetningsforholdet endres dersom de ble flyttet på. Det var derfor viktig at de fikk stå i ro over måleperioden.

Over måleperioden er måleinstrumentet er blitt kontrollert fire ganger og måledataen er lastet ned i flere intervaller for å kontrollere at det ikke hadde oppstått noen feil i måleoppsettet. Måleinstrumentet har blinket rødt to av gangene under kontroll, første gang på fase 1 og andre gang på fase 3. Begge feilene har vært borte til neste befaringsrunde. Rød lampe skal indikere at kretsen er feilkoblet, og dette har skjedd uten at noen har vært inne i fordelingen. Dette ser derfor ut kun til å være en feil i instrumentet og det ser ut til å ha noen innvirkning på måledataen. Årsakene til forstyrrelsene på Trondheimsporten er ikke nærmere undersøkt.

Sol-data

Sol-dataene er hentet fra eKlima.no som er en tjeneste fra Meteorologisk Institutt, og dataene for måleperioden er blitt kvalifisert som data med høy målesikkerhet av tjenesteleverandøren. I tillegg er dataene kontrollert ved å loggføre dager med mye og lite sol av forfatteren gjennom måleperioden. eKlima er en seriøs tjeneste og dataene er derfor ansett som pålitelige.

En feilkilde i oppgaven er at eKlima bruker UTC+1 tidssone for sine tidspunkt. Dette vil gi en avlesningsfeil på en time etter 24. mars, da sommertid startet. I oppgaven er ikke denne

tidsforskyvningen tatt i betraktning. Siden dataene kun blir benyttet til å luke ut dager med lite, middels eller mye sol er det ikke valgt å bruke tid på å endre denne feilen, siden den vil ha liten innvirkning på hvilke dager som klassifiseres som dager med små, middels eller store solmengder.

En usikkerhet i sol-dataene er hvordan registreringen av sol-data på Gløshaugen målestasjon utføres. Solstrålingen kan være veldig lokal, og de nærliggende områdene kan være overskyet og visa versa. Om sol-dataene gjelder for direkte sol eller diffus solstråling er ikke undersøkt nærmere. Dette vil i så fall være en feilkilde for tolking av solskjermingens syklus, siden det er mulig at solskjermingen ikke er aktivert ved for eksempel diffus solstråling.

8.3.3 Resultater

Sparepotensiale

Resultatene fra målingene viser at den totale energibesparelsen for styringssystemet er 58,2 % og tallet vurderes å være reelt og sannsynlig, siden besparelsen ligger i samme størrelsesorden som resultatene fra tidligere utførte forsøk i litteraturstudiet. Besparelsen sammenlignes med effektbruken dersom lysanlegget hadde stått på gjennom hele dagen. Dette er et noe misvisende scenario å sammenligne effektbruket med, siden det er få anlegg som faktisk står på for fullt gjennom arbeidsdagen.

Dersom besparelsen hadde blitt sammenlignet med et styringssystem med av/på-brytere ville den vært mye lavere. Med av/på-brytere ville ikke alle armaturene stått på gjennom hele arbeidsdagen, spesielt siden disse kontorlokalene har en såpass lav tilstedeværelse.

Anlegget er dimensjonert for at alle kan sitte i lokalene og ha tilstrekkelig med lys samtidig, og de høyeste effekttoppene for lyskursene vil nok ha inntruffet en dag da de fleste ansatte har vært i lokalene. Dersom energisparingspotensialet for den kombinerte styringen sammenlignes med den gjennomsnittlige toppeffekten i Figur 24 ville energibesparelsen vært på henholdsvis 8,2 % (SØ), 14,5 % (SV) og 45 % (NV) for kursene og ville gitt en total energibesparelse på kun 20 %.

Beregnet fordeling av energibesparelsen ut fra måledataene er på henholdsvis 16,9 % for konstantlys-styring og 41 % for bevegelsesstyringen. Disse tallene er basert på grove beregninger og vil inneholde mange usikkerheter. Grunnen er at det er flere antagelser som ligger til grunn for å skille styringsprinsippene fra hverandre. For det første kan ikke disse to styringsprinsippene virke samtidig. Bevegelsesstyringen vil ikke utføre besparelse i tilfellene der dagslyssensoren allerede har dimmet armaturene til null, og dagslyssensoren kan ikke redusere lyset selv om det er god dagslystilgang når bevegelsessensoren allerede har slukket armaturene.

Besparelsen fra konstantlys-styring kan også reelt være noe høyere, siden det allerede i uke 9 var dagslys tilgjengelig, som potensielt kunne føre til besparelse. I beregningene er besparellesprosenten funnet ved å forutsette at det er helt mørkt i uke 9 sammenlignet med

siste måleuke (uke 19). Resultatene for konstant-lysstyring varierer med en besparelse mellom 13-23 % for tre kursene. Fra tidligere studier i litteratursøket ligger energibesparelsen for konstantlysstyring på rundt 20 %, som samsvarer godt med besparelsen beregnet i dette prosjektet.

Resultatene for målingene viser noen avvikende verdier for energibesparelse ved bruk av bevegelsesstyring sammenlignet med tidligere forsøk. Besparelsen i dette forsøket ligger på 26-54 % sammenlignet med 30-40 % i tidligere forsøk. Grunnene til at målt energibesparelse for enkelte av kurser i oppgaven ligger høyere enn tilsvarende undersøkelser skyldes antageligvis den lave tilstedeværelsen i kontorarealene.

Når dagene med lite sol sammenlignes med dager med middels solmengder følger effektbruken for de to værtyperne omtrent de samme trendene, men med et noe høyere effekt- og energiforbruk for dager med lite sol. Det samme gjelder når dager med høye og middels solmengder sammenlignes. Dette ser igjen ut til å stemme godt med antakelsene om et høyere dagslystilkudd i kontorlokalene på dager med mye sol.

Måleperioden har bestått av mye sol, og det er derfor viktig å påpeke at energibesparelsen som er oppnådd i denne måleperioden gjelder for en solrik periode. Dersom energi- og effektbruken logges over samme tidsperiode et år med lite sol kan besparelsen være mye mindre.

Likt for alle kursene er at effektbruken er høyest om morgenen for så å synke utover dagen. Mot slutten av arbeidsdagen øker effektbruken igjen, men den er betydelig lavere enn effekttoppene om morgenen. Denne syklusen skyldes både at det generelt er mer tilgjengelig dagslys midt på dagen, i tillegg til at det er mer bevegelse i lokalene på starten og slutten av arbeidsdagen når de ansatte kommer og går.

Diskusjonene videre vil gå igjennom de individuelle variasjonene for energi- og effektbruken de tre lyskursene.

[SØ-kursen og SV-kursen](#)

Dersom grafene for gjennomsnittlig effektforbruk for SØ og SV for utvalgte uker studeres nærmere, viser de entydig at topp effektene om morgenen synker betydelig utover måleperioden. Dette er en klar indikator på at konstantlysstyringen fungerer etter sin hensikt på Abels hus.

SØ-fasaden har den høyeste installerte effekten, men den gjennomsnittlige effekttoppen er betydelig lavere. Grunnen til at SØ har en såpass mye lavere målt effekttopp kan skyldes orientering, tilstedeværelse og rommenes dagslystilgang. Kursen dekker for det første arealer vendt mot sør-øst, og vil derfor være fasaden som potensielt skal ha best tilgang på daglys. Men denne fasaden er den eneste av «målefasadene» i C-blokken vil bli skygget av nabobygninger fordi denne fasaden vender inn mot resten av byggene ved Teknobyen.

Ut i fra grafen for gjennomsnittlig effekt over måleperioden følger SØ og SV-kursene de samme trendene, og om grafene for dager med mye sol studeres for disse fasadene ser det

ikke ut til at det er store forskjell i effektbruken om fasadene har direkte sollys eller er skyggebelagte. SV-kursens effektbruk øker noe mere etter lunsj på dager med mer sol. Da står solen rett på fasaden, og solskjermingen er aktivert, mens SØ-fasaden er da skyggebelagt. Det ser derfor ut at det ikke er store forskjell i dagslysbidrag i lokalene når solskjermingen er nede for SV-fasaden som når SØ-fasaden er skyggebelagt. Her må det poengteres at tilstedeværelsen kan virke inn på det økte effektforbruket til SV-kursen.

SV-fasaden er fasaden med den laveste besparelsen, men har den høyeste beregnede energibesparelse basert på dagslys. Dette er fasaden med størst vindusareal, men vil også være fasaden som er mest utsatt for sol. Fordelingen mellom energibesparelsen for bevegelse og dagslys er som tidligere nevnt noe skjev og unøyaktig. Men isolert sett vil det altså se ut til at det oppnås høyest energibesparelse for konstantlys-funksjonen dersom fasaden er utsatt for sollys og at det er installert gode solskjermingssystemer i bygningen.

NV-fasaden

Den mest interessante resultatene er NV-kursens effektforbruk, siden denne har den høyeste besparelsen. Det gjennomsnittlige effektforbruket følger de samme trendene som de andre fasadene, men effekten synker enda lavere midt på dagen for NV-kursen sammenlignet med de andre. Effekten her øker også mot slutten av arbeidsdagen, men den øker betydelig mindre enn for de andre kursene.

I uke 9 ligger effektforbruket nærheten av installert effekt om morgenen. Dette stemmer godt i forhold til tiden på året, siden det er lite dagslys tilgjengelig så tidlig på dagen i februar. Det som derimot skiller seg ut er at effektgrafene for uke 19 er en god del høyere enn uke 12 og 15. En teori kunne vært at det er mye sol i uke 19, og at solskjermingen hindret for dagslystilgangen, men resultatene for de andre kursene tyder på at dagslystilgangen er god selv om solskjermingen er nede.

Dersom effektbruken for alle tre kursene sammenlignes ser ikke sola ut til å ha stor innvirkning på NV-kursenes effektbruk. Grunnen til dette er nok fordi sola faktisk ikke påvirker denne fasaden før helt mot slutten av måleperioden, og da heller ikke før helt mot slutten av arbeidsdagen. NV-fasaden vil nok derfor ha lite eller ingen direkte sollys på fasaden over måleperioden. Solskjermingen vil derfor sjelden eller aldri være aktivert, og fasaden har derfor potensielt god tilgang på dagslys over de største delene av måleperioden. Dette reflekteres i lyskursens kalkulerte energibesparelse.

Dagslyset er nok ikke den største bidragsyteren til den høye energibesparelsen for denne kursen. Effektgrafene for de utvalgte ukene viser at effekten synker omtrent like mye utover dagen i starten av måleperioden som i slutten av måleperioden. Siden det er mindre tilgang på dagslys i starten av måleperioden tyder det på at bevegelsessensoren vil ha en stor innvirkning på energibruken her. Sammenlignet med de andre kursene ser det også ut til at NV-kursen har en generell lavere tilstedeværelse, siden effektbruken synker såpass mye etter effekttoppen om morgenen.

Resultatene fra spørreundersøkelsen hos brukerne viser at tilstedeværelsen i løpet av en normal arbeidsuke er nokså lav. Om de ansatte er borte deler av dagen eller hele dager er det ikke undersøkt, men gjennomsnittlig tilstedeværelse for respondentene i spørreundersøkelsen var rundt 50 %. Derfor vil det ikke være usannsynlig at bevegelsesdetektoren i dette bygget har en energibesparelse på i 41 % slik resultatene tilsier.

Energi- og effektforbruk for styringsmodulene på lysanlegget har et meget lavt forbruk, både når tallene sammenlignes med verdiene oppgitt i både SN/TS 3031 og NS 15193. Det er en viss usikkerhet i de utregnende verdiene, siden det er ikke er funnet informasjon om hvordan de oppgitte standardverdiene er utregnet. Uansett har Abels hus et betydelig mindre parasittisk energiforbruk enn det resultatene fra målingene på Teknologibygget viste.

8.4 Brukerens komfort ved bruk av dagslyssensorer

Ut ifra resultatene fra spørreundersøkelsen utført på Abels Hus ser det ikke ut til at styringssystemet skaper noe særlig ubehag for brukerne. Respondentene er godt fordelt mellom kjønn og alder og svarprosenten var høy nok til at svarene kan anses som representative svar for denne lille undersøkelsen.

Omtrent alle respondentene svarer at de har opplevd at sensoren har senket lyset etter konstantlys-prinsippet. Det som derimot skiller seg ut er «adaptasjonstiden» til respondentene. De fleste trenger opptil 2 minutter før de har vendt seg til det nye lysnivået. Dette vil være uavhengig av kjønn og alder, men dersom svarene for om respondentene er representative, viser resultatene at dimmingen av lyset oppleves mindre irriterende for menn enn for kvinner.

En forklaring på funnet kunne vært at kvinnene har en høyere tilstedeværelse enn mennene, slik at de er mer eksponert for styringen. Kvinnene har like høy tilstedeværelse som mennene, så dette vil nok ikke være tilfellet. En annen forklaring kan være at de kvinnelige respondentene tilhører det samme firmaet, og sitter i en del av lokalet der styringen kanskje ikke fungerer like godt siden fasaden er mer eller mindre utsatt for sol. Det er her viktig å poengtere at spørreundersøkelsen har et begrenset omfang og få respondenter. Det kan derfor ikke trekkes en klar konklusjon ut fra resultatene fra spørreundersøkelsen.

Det er også lagt ved en tilleggskommentar angående dimmingen av lyset. Lyset dimmes som oftest ned kontinuerlig og trinnløst, men når armaturen tennes og skal dimmes opp igjen skjer dette ikke kontinuerlig, men armaturen tennes på et visst nivå. Alle respondentene opplever at lyset ikke alltid er tilstrekkelig til enhver tid. Det er lagt inn kommentarer på at det er spesielt når det skal leses på papir, men gjøres såpass sjelden at det ikke ser ut til å være et reelt problem. Dette er nok to viktig element i forklaringen på hvorfor så mange legger merke til at lyset er styrt etter konstantlys-prinsippet, og at det oppleves som irriterende for enkelte respondenter.

8.5 Videre arbeid

Gjennom prosjektperioden er følgende punkter funnet som forslag til å arbeide videre med:

- Sammenligne simuleringsresultater utført i et statisk og dynamisk verktøy med reelle målinger på en bygning. Eventuelt kan resultatene fra målingene i lysanlegget på Abels hus benyttes.
- Simulerer energi- og effektbruk til belysning på en bygning ved å benytte Daysim eller DIVA for Rhino og Licaso. Og deretter å sammenligne simuleringsresultatene med hverandre og eventuelt reelle måledata fra et lysanlegg.
- Utføre energi- og effektmålinger på flere bygninger parallelt for å kartlegge hvordan systemene faktisk fungerer.
- Finne kost og nytteverdien til dagslyssensorene sammenlignet med deres energibesparelse.

9 Konklusjon

Resultatene av målingene og undersøkelsene utført i dette masterprosjektet viser følgende:

- For å kunne estimere en mer nøyaktig energibesparelse ved å utnytte dagslyset bør det inkluderes krav om mer dynamiske beregninger i Byggteknisk forskrift (TEK). En forutsetning for å få innført dette kravet er at det finnes flere dynamiske verktøy tilgjengelige på markedet. I tillegg bør det innføres separate reduksjonstall for de ulike styringsprinsipp som benyttes i SN/TS 3031.
- De dynamiske klimabaserte dagslysmodelleringene (CBDM) som finnes på dagens marked forutsetter gode forkunnskaper og forståelse for lysets egenskaper. I tillegg er brukeren låst til bestemte 3D-modelleringsverktøy i dagens CBDM-simuleringer. For å oppnå mer utbredt bruk av CBDM bør de inkluderes i de allerede store og utbredte programverktøyene for dagslyssimuleringer av bygninger på det Europeiske markedet.
- Lysstyringsystemet på Abels Hus ser ut til å virke etter sin hensikt, og ga en total energibesparelse på 58,2 % sammenlignet med at lysanlegget hadde stått på for fullt over arbeidsdagene. Av denne besparelsen består 16,9 % av konstantlys-styring (dagslys) og bevegelsessensoren for 41 %. Resultatene viser entydig at energibesparelsen er størst for dager med mye sol.
- Brukerens opplever ikke konstantlys-styringen som en spesiell ulempe, men svarene inneholder noen individuelle forskjeller. Dette samsvarer med måleresultatene som tilsier at styringsanlegget fungerer godt og er forholdsvis riktig plassert og konfigurert. Ut ifra spørreundersøkelsen viser resultatene at kvinner opplever styringen som mer plagsomt enn menn og at tenningen av lyset skjer i for brå trinn.

Referanseliste

1. Nelfo, *Energiløsninger i bygg*. 2017.
2. Hilde Sund and Atle Geving, *Konseptutredning for innovative energiløsninger i bygg, Ormen Lange Hinna Park*. 2017.
3. Line Røseth Karlsen, *Design methodology and criteria for daylight and thermal comfort in nearly-zero energy office buildings in Nordic climate*. 2016.
4. Lyskultur, *Lys og belysning - Grunnleggende begreper*. 1994.
5. Barbara Matusiak, *SINTEF Rapport, Dagslys i Borgen skole*. 2001.
6. Lyskultur. *Lys og dagslys* <https://www.lyskultur.no/lys-og-daglys.5727220-342090.html> [Lastet ned: 26.01.18].
7. Glamox. *Lystekniske begreper* <http://glamox.com/no/lysbegreper> [Lastet ned: 05.10.17].
8. Vivian Loftness and Dagmar Haase, *Sustainable Built Environments*. 2013.
9. Standard Norge, *NS-EN 12464-1:2011 Belysning av arbeidsplasser del 1*. 2011.
10. Ane Solem Knutsen, *Prosjektoppgave - Bruk av dagslyssensorer i kontorbygninger*. 2017.
11. Enova SF. *Energieffektiv belysning i yrkesbygg*. 2008.
12. Lysbutikken. *Forskjellen på magnetisk og elektronisk ballast* https://www.lysbutikken.no/magnetisk_og_elektronisk_ballast [Lastet ned 13.12.17].
13. Damanjeet Kaur, et al., *Simulation of Dimmer Circuit for Daylight Harvesting*. 2012.
14. Lars Olav Tveita, *Kompendium i sensorteknologi Sjøkrigsskolen*. 2009.
15. Helvar, *Helvar deigner help*
16. *Mailkorrespondanse Vanpee ved Lars Nergård*. 26.10.2017.
17. Micro Matic. *NIKO Sensor Tool* <https://www.micromatic.no/produkter/lysstyring/bevegelse/se41936/> [Lastet ned 18.12.17].
18. Vanpee, *Presense detector for dali lighting control Instruction Manual*.
19. Anca Galasium, et al., *Energy Saving Lighting Control Systems for Open-plan Offices: A Field Study*. 2007.
20. Alison Williams, et al., *A Meta-Analysis of Energy Savings from Lighting Controls in Commercial Buildings* 2011.
21. Standard Norge, *NS 3031 - Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. 2014.
22. Standard Norge, *SN/TS 3031 Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*. 2016.
23. Standard Norge, *NS-EN 15193-1 Bygningers energiytelse, Energikrav i lysanlegg Del 1*. 2017.
24. *Telefonsamtale med Morten Berg, E-tech*. 08.12.2017.
25. *Mailkorespondanse Dr.Ing Pål Johannes Larsen, Norconsult*. 08.12.17.
26. *Mailkorespondanse Micro Matic Norge, ved Baard Nygaard*. Desember 2017.
27. Byggforsk, *421.625 Daglysinfall og sparepotensiale for belysning*.
28. Byggforsk, *533-163 Solskjerming. Typer og hensyn ved valg*.
29. byggkvalitet, D.f., *Byggteknisk forskrift (TEK 17)*. 2017.
30. Byggforsk, *Byggforskserien 421.626 - Beregning av gjennomsnittlig daglysfaktor og glassareal*. 2004.
31. Lyskultur, *Faktark 3 - Daglysfaktor*. 2014.
32. Barbara Matusiak, *Lows, Regulations and Simplified Calculations of DF*. 2017.
33. Bygningsreglementet, *Lys og udsyn (§377-§384)* http://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/18/Krav/379_381 [Lastet ned 10.04.18].
34. *Glass og fasade, Klimabaserte dagslyssimuleringer* <http://glassogfasade-digital.no/dm/glassogfasade-3-16/files/assets/common/downloads/page0039.pdf> [Lastet ned 15.02.18].
35. John Mardaljevic. *Climate-Based Daylight Modelling* <http://climate-based-daylighting.com/doku.php?id=academic:climate-based-daylight-modelling> [Lastet ned 26.02.18].

36. byggeforskningsinstitutt, S., et al., *Dagslysbestemmelser i BR - Vurdering av dagslysforhold*. 2016.
37. 731, A., *Daylight Calculations*
<https://faculty.unlv.edu/kroel/www%20731%20spring%202006/Daysim%20calculations.pdf>
[Lastet ned 22.01.18]. 2006.
38. Azza Nabil and John Mardaljevic, *Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors*. 2006.
39. Søren Gedsø, et al., *Dagslysberegninger i BIM*. 2015.
40. Anne Iversen, et al., *Daylight calculations in practice*. 2013.
41. Thyholt, M., *SINTEF rapport: Algoritmer for beregning av dagslys, med kobling til energiberegningsprogram*. 2004.
42. Stanford Education. *Ray Tracing*
<https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/1997-98/ray-tracing/types.html#Forward%20Ray%20Tracing> [Lastet ned 20.02.18].
43. Lise Røseth Karlsen. *Praktisk bruk av simuleringsverktøy for beregning av energi og inn klima i bygninger* http://ibpsa-nordic.org/onewebmedia/Praktisk%20bruk%20av%20simuleringsverkt%C3%B8y_Dagslys_Linse%20Karlsen.pdf [Lastet ned 20.03.18]. 2015.
44. *Natural lighting (illustrasjon)* <https://www.slideserve.com/yves/8-natural-lighting> [Lastet ned 05.05.18].
45. *Perez All-weather sky model* https://docs.agi32.com/AGI32/Content/references/Perez_All-Weather_Sky_Model.htm [Lastet ned: 25.01.18]. Available from: .
46. Ian Ashdown, *Perez All-Weather Sky Model Analysis*. 2009.
47. *IFC definition* <https://graphisoft.no/archicad/bim-og-ifc/> [Lastet ned 17.04.18].
48. Equa. *IDA ICE* <https://www.equa.se/en/ida-ice> [Lastet ned 10.04.18].
49. The Daylight Site. *Daylight Simulation Tools* <http://thedaylightsite.com/library-3/links/simulation-tools-2/> [Lastet ned 20.03.18].
50. Dialux Evo. *Daylight* <http://en.wiki.dialux.com/index.php/Daylight> [Lastet ned 20.03.18].
51. AKB Lighting AS. *Dialux Evo* http://www.akb-lighting.no/index.php?option=com_content&view=article&id=155:dialux-evo-lysberegning-og-kurs&catid=34:nyheter&Itemid=799 [Lastet ned 20.03.18].
52. Daysim. *About Daysim* www.daysim.ning.com/page/download [Lastet ned 23.01.18].
53. Diva4rhino. *Climate Based Metrics*. Available from: <http://diva4rhino.com/user-guide/simulation-types/climate-based>.
54. *Møte med Michael Gruner, SINTEF Byggforsk*. 17.11.2017.
55. Lighting analysts. <https://lightinganalysts.com/software-products/licaso/overview/> [Lastet ned 20.03.18].
56. Daylight Analysis. *Welcome to Licaso* <http://www.licaso.com/docs/2017/Content/Home.htm> [Lastet ned 25.03.18].
57. *Forskjell mellom DWG og DXF* <http://www.datamaskin.biz/Software/engineering-software/128979.html#.Wu8FD6SFOU> [Lastet ned 20.04.18].
58. Arkitektur.no. *Nytt banknygg med helhetlig miljøtankegang* <http://www.arkitektur.no/sparebank-1-smn?search=true&searchstring=sparebank> [Lastet ned 13.02.18].
59. Nettavisen. *Sparebankbygget* <https://www.nettavisen.no/na24/sparebanken-1-smn-vil-selge-hovedkontoret/3423362559.html> [Lastet ned 10.02.18].
60. Jørgen Løfaldli Prosjektleder SMN, *Personlig kontakt*. 2018.
61. Bygg.no, *Abels Hus* Lastet ned: 12.02.18. 2017.
62. Arkitektur.no, *Midt-Norges første kontorbygg med miljøsertifisering "BREEAM-Excellent"* <http://www.arkitektur.no/abels-hus> [Lastet ned. 12.02.18]. 2018.
63. *Mailkorrespondanse Vintervoll v/ Lars Esten Heggvik*. 23.10.2017.
64. Roger Dahl Driftsansvarlig KLP Eiendom, *Personlig kontakt*.

65. KLP Eiendom. *Tekno byen - Abels Gate 9* <http://www.klpeiendom.no/trondheim/vare-eiendommer/kontorer-og-n-ringslokaler/teknobyen-abels-gate-9-1.38678> [Lastet ned 16.02.18].
66. Grønn Byggallianse, *Breeam-Nor teknisk manual* 2016.
67. Bygg.no. *Trondheimsporten* <http://www.bygg.no/article/1343879> [Lastet ned 06.03.18].
68. *Personlig kontakt*, Ken Jøran Konst Entra AS. 2018.
69. Adressa.no. *Trondheimsporten* <https://www.adressa.no/nyheter/trondheim/article7078249.ece> [Lastet ned 25.03.18]. 2013.
70. KLP Eiendom, *Abels Hus - Finn ledige lokaler* <http://abels-hus.no/finn-ledig-lokale/3-etasje/> [Lastet ned 25.03.18].
71. Lars Esten Heggvik, V. *Mailkorrespondanse*. Oktober 2017.

Vedlegg A - Spørreundersøkelse om brukerens komfort



Brukerens opplevelse av dagslysstyring

Side 1 av 1

Vennligst les informasjonsskrivet vedlagt i mailen du har mottatt for informasjon om spørreundersøkelsens formål, samt behandling av svar og personopplysninger.

Det er frivillig å svare på spørsmålene i denne undersøkelsen. Dersom det dukker opp spørsmål du ikke vil svare på hopper du over disse.

1. Kjønn

- Mann
- Kvinne

2. Alder

- Under 20 år
- 20-30 år
- 30-40 år
- 40-50 år
- 50-60 år
- Over 60 år

3. Sitter du plassert i...

- Cellekontor
- Kontorlandskap

4. Hvor nære er din arbeidsplass (pult) et vindu?

- 0-1 meter
- Ca. 1-2 meter
- Ca. 2-3 meter
- Ca. 3-5 meter
- Over 5 meter
- Har ikke tilgang til vindu

5. Hvor stor del av en normal arbeidsuke oppholder du deg i kontorlokalene?

Spørsmålet gjelder når du er ute av kontorbygget. Er du på kontoret hver dag, men spiser f.eks. lunsj i kantina tilsvare det 100 %.

- 0-10 %
- 10-30 %
- 30-50 %
- 50-70 %
- 70-90 %
- 100 %

Dagslysstyring er et energisparingstiltak, der den kunstige belysningen i rommet reduseres når dagslystilskuddet utenfra øker. Lysarmaturene i deres kontorlokaler er styrt etter dette prinsippet.

6. Hadde du kjennskap til at kontorlokalene din arbeidsplass tilhører har dagslysstyring for gjennomføringen av denne spørreundersøkelsen?
- Ja
 - Nei
7. Har du lagt merke til at den elektriske belysningen er blitt redusert/dimmet når du har sittet ved kontorplassen din?
- Ja
 - Nei
8. *Hvor ofte skjer det?*
- 1-2 ganger hver dag
 - Mer enn 2 ganger per dag
 - Noen ganger i uken
 - Et par ganger i måneden
 - Skjeldnere enn én gang i måneden
 - Aldri
9. *Hvordan opplever du tidsrommet når lyset dimmes ned?*
- Tenker ikke over det
 - Legger merke til det, men opplever det ikke som forstyrrende
 - Opplever det som irriterende
10. *Hvor lang tid tar det fra den elektriske belysningen er dimmet ned til du venner deg til det "nye" lysnivået?*
- Merket ikke at nivået endres
 - 0-2 minutter
 - 2-5 minutter
 - 5-10 minutter
 - Mer enn 10 minutter
11. *Opplever du at lyset på arbeidsplassen noen ganger ikke er tilstrekkelig NÅR den elektriske belysningen dempes?*
- Ofte
 - Av og til
 - Sjelden
 - Aldri
12. *Opplever du at solskjermingen er aktivert (f.eks. persinner dekker til vinduene) selv om solen ikke lyser direkte på vinduene/fasadene?*
- Ofte
 - Av og til
 - Sjelden
 - Aldri
 - Vet ikke
13. Er det noen svar du vil utdype, eller annen informasjon du tenker kan være nyttig å nevne?

Ferdig

Vedlegg B – Vurdering fra NSD



Eilif Hugo Hansen

7491 TRONDHEIM

Vår dato: 17.04.2018

Vår ref: 60070 / 3 / LT

Deres dato:

Deres ref:

Forenklet vurdering fra NSD Personvernombudet for forskning

Vi viser til melding om behandling av personopplysninger, mottatt 24.03.2018.

Meldingen gjelder prosjektet:

<i>60070</i>	<i>Planleggingskriterier for lysstyring basert på dagslystilgang i bygninger</i>
<i>Behandlingsansvarlig</i>	<i>NTNU, ved institusjonens øverste leder</i>
<i>Daglig ansvarlig</i>	<i>Eilif Hugo Hansen</i>
<i>Student</i>	<i>Ane Solem Knutsen</i>

Vurdering

Etter gjennomgang av opplysningene i meldeskjemaet med vedlegg, vurderer vi at prosjektet er omfattet av personopplysningsloven § 31. Personopplysningene som blir samlet inn er ikke sensitive, prosjektet er samtykkebasert og har lav personvernulempe. Prosjektet har derfor fått en forenklet vurdering. Du kan gå i gang med prosjektet. Du har selvstendig ansvar for å følge vilkårene under og sette deg inn i veiledningen i dette brevet.

Vilkår for vår vurdering

Vår anbefaling forutsetter at du gjennomfører prosjektet i tråd med:

- opplysningene gitt i meldeskjemaet
- krav til informert samtykke
- at du ikke innhenter [sensitive opplysninger](#)
- veiledning i dette brevet
- NTNU sine retningslinjer for datasikkerhet

Veiledning

Krav til informert samtykke

Utvalget skal få skriftlig og/eller muntlig informasjon om prosjektet og samtykke til deltakelse.

Informasjon må minst omfatte:

- at NTNU er behandlingsansvarlig institusjon for prosjektet
- daglig ansvarlig (eventuelt student og veileder) sine kontaktopplysninger
- prosjektets formål og hva opplysningene skal brukes til
- hvilke opplysninger som skal innhentes og hvordan opplysningene innhentes

Dokumentet er elektronisk produsert og godkjent ved NSDs rutiner for elektronisk godkjenning.

- når prosjektet skal avsluttes og når personopplysningene skal anonymiseres/slettes

På nettsidene våre finner du mer informasjon og en veiledende mal for [informasjonsskriv](#).

Forskningsetiske retningslinjer

Sett deg inn i [forskningsetiske retningslinjer](#).

Meld fra hvis du gjør vesentlige endringer i prosjektet

Dersom prosjektet endrer seg, kan det være nødvendig å sende inn endringsmelding. På våre nettsider finner du svar på hvilke [endringer](#) du må melde, samt endringskjema.

Opplysninger om prosjektet blir lagt ut på våre nettsider og i Meldingsarkivet

Vi har lagt ut opplysninger om prosjektet på nettsidene våre. Alle våre institusjoner har også tilgang til egne prosjekter i [Meldingsarkivet](#).

Vi tar kontakt om status for behandling av personopplysninger ved prosjektslutt

Ved prosjektslutt 11.06.2018 vil vi ta kontakt for å avklare status for behandlingen av personopplysninger.

Gjelder dette ditt prosjekt?

Dersom du skal bruke databehandler

Dersom du skal bruke databehandler (ekstern transkriberingsassistent/spørreskjemaleverandør) må du inngå en databehandleravtale med vedkommende. For råd om hva databehandleravtalen bør inneholde, se [Datatilsynets veileder](#).

Hvis utvalget har taushetsplikt

Vi minner om at noen grupper (f.eks. opplærings- og helsepersonell/forvaltningsansatte) har [taushetsplikt](#). De kan derfor ikke gi deg identifiserende opplysninger om andre, med mindre de får samtykke fra den det gjelder.

Dersom du forsker på egen arbeidsplass

Vi minner om at når du [forsker på egen arbeidsplass](#) må du være bevisst din dobbeltrolle som både forsker og ansatt. Ved rekruttering er det spesielt viktig at forespørsel rettes på en slik måte at frivilligheten ved deltakelse ivaretas.

Se våre nettsider eller ta kontakt med oss dersom du har spørsmål. Vi ønsker lykke til med prosjektet!

Vennlig hilsen

Marianne Høgetveit Myhren

Lis Tenold

Vedlegg C – Fargeanalyse av spørreundersøkelsen på Abels Hus

Respondent	Kjønn	Alder	Plassering	Opphold	Avstand til vindu	Kjennskap til styringa?	Merket styringa?	Hvor ofte skjer det?	Opplevelse?	Tilvennelsestid	Ikke tilstrekkelig?	Solskjerming aktivert?
1	M	40-50	Cellekontor	50-70	0-1	Ja	Ja	1-2 ganger/dag	Tenker ikke over det	0-2 min	Av og til	Ofte
2	M	30-40	Landskap	30-50	3-5	Ja	Ja	1-2 ganger/dag	Legger merke til det, ikke forstyrrende	0-2 min	Sjelden	Sjelden
3	M	40-50	Landskap	50-70	1-2	Ja	Ja	Mer enn 2	Legger merke til det, ikke forstyrrende	0-2 min	Sjelden	Ofte
4	M	30-40	Landskap	100	1-2	Ja	Ja	Mer enn 2	Opplever det som irriterende	2-5 minutter	Sjelden	Sjelden
5	M	40-50	Landskap	50-70	1-2	Ja	Ja	Mer enn 2	Legger merke til det, ikke forstyrrende	0-2 minutter	Sjelden	Sjelden
6	K	40-50	Landskap	10-30	0-1 meter	Ja	Ja	1-2 ganger	Opplever det som irriterende	0-2 minutter	Av og til	Sjelden
7	K	30-40	Landskap	70-90	0-1 meter	Nei	Ja	Mer enn 2	Legger merke til det, ikke forstyrrende	0-2 minutter	Aldri	Ofte
8	K	40-50	Landskap	50-70	0-1 meter	Ja	Ja	1-2	Opplever det som irriterende	0-2 minutter	Av og til	Av og til
9	K	30-40	Landskap	50-70	1-2 meter	Ja	Ja	1-2	Legger merke til det, ikke forstyrrende	0-2 min	Av og til	Av og til
10	M	40-50	Landskap	50-70	1-2 meter	Ja	Ja	1-2	Tenker ikke over det	0-2 min	Aldri	Sjelden

Vedlegg D – E-post til rådgiverbransjen

Hei,

Jeg studerer 5. året Energi og miljø ved NTNU Trondheim, og jobber for tiden med min hovedoppgave som handler om energibesparelse ved bruk av dagslyssensorer i skole og næringsbygninger.

I oppgaven undersøker jeg blant annet beregningsmetodikk for dagslystilgang i bygninger. Jeg er skal også vurdere energisparepotensiale i ulike bygninger, samt brukerens komfortforhold i bygg med styring etter dagslyset.

Etter det jeg har erfart avhenger lysprosjekteringen avhenger av prosjektets størrelse, kundens etterspørsel og hvilket rådgivende ingeniør-firma som har gjort prosjekteringen. Det vil være verdifullt for oppgaven min å få et innblikk i hvordan dagens bransje utfører dagslysberegninger og hvordan de vurderer dagslyssensorers energisparepotensiale.

Håper du derfor kan ta deg tid til å svare på noen spørsmål!

Spørsmålene vil bli sendt ut til flere rådgivende ingeniør-firmaer. Svarene du gir vil være anonyme, og vil IKKE bli knyttet opp mot deg eller firmaet du representerer i oppgaven.

- **Hvordan går dere frem for å vurdere dagslyssforholdene i en bygning?**
- **Hvilke programvarer benytter dere til lysberegninger og dagslysberegninger? Benytter dere forskjellige programvarer til de ulike formålene?**
- **Benytter dere simuleringverktøy som utfører klimabaserte dagslysberegninger (CBDM), som f.eks. Daysim? Hvis nei, hvorfor ikke?**
- **Hvilken faktor er det som avgjør om det installeres dagslysstyring i et bygg? Utfører dere beregninger/simuleringer/vurderinger om tiltaket er lønnsomt i den aktuelle bygningen? Eller er det på grunn av at kunden ønsker denne styringsformen installert? Hvis det ikke utføres noen form for energiberegninger/simuleringer, hvordan inkluderes da energibesparelsen fra dagslysstyringen inn i energiregnskapet? Benyttes for eksempel reduksjonsverdier fra NS?**
- **Hvordan vurderer dere plasseringen av dagslyssensoren dersom den ikke er integrert i armaturen?**
- **Flere bygninger med BREAAAM-sertifisering o.l. velger å ikke installere dagslysstyring. Vet du hva som er grunnen til det? Er det på grunn av at styringsprinsippet kan gå utover brukerens komfort? Og hvis det er grunnen, hva slags grunnlag finnes for å trekke denne konklusjonen? Er det kjent i bransjen at dagslysstyringen kan skape ubehag?**

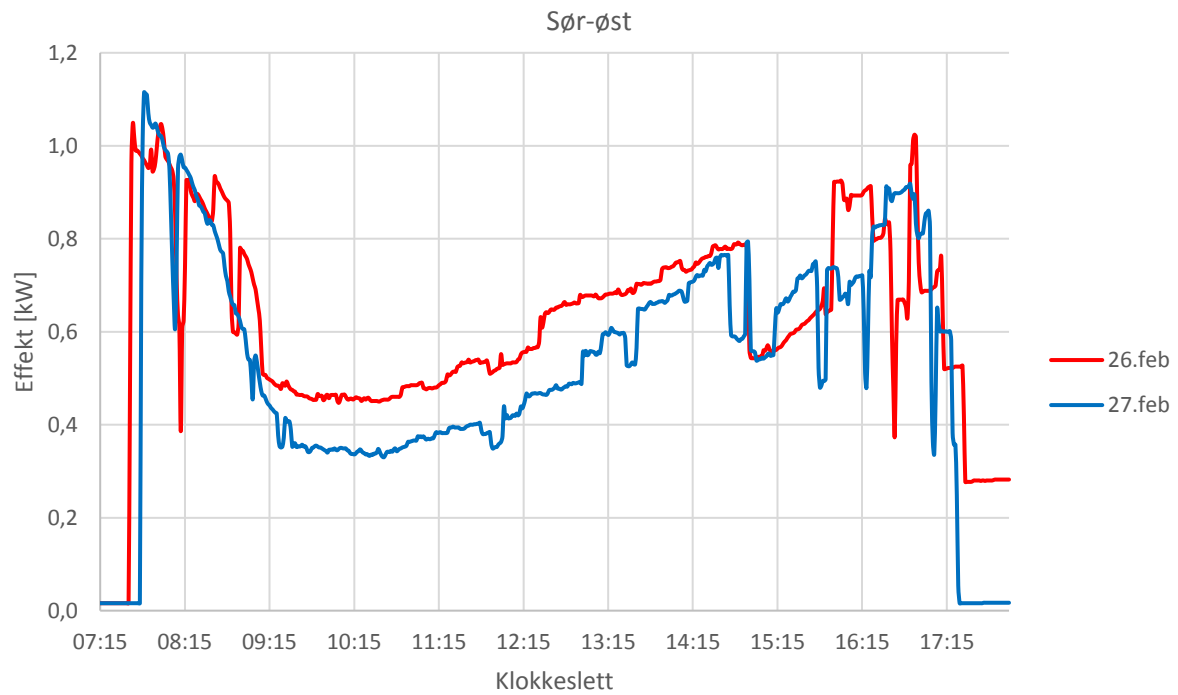
Er det noe du vil tilføye eller som du tenker kan være nyttig å vite for oppgaven min mottas det med stor takk!

Med vennlig hilsen

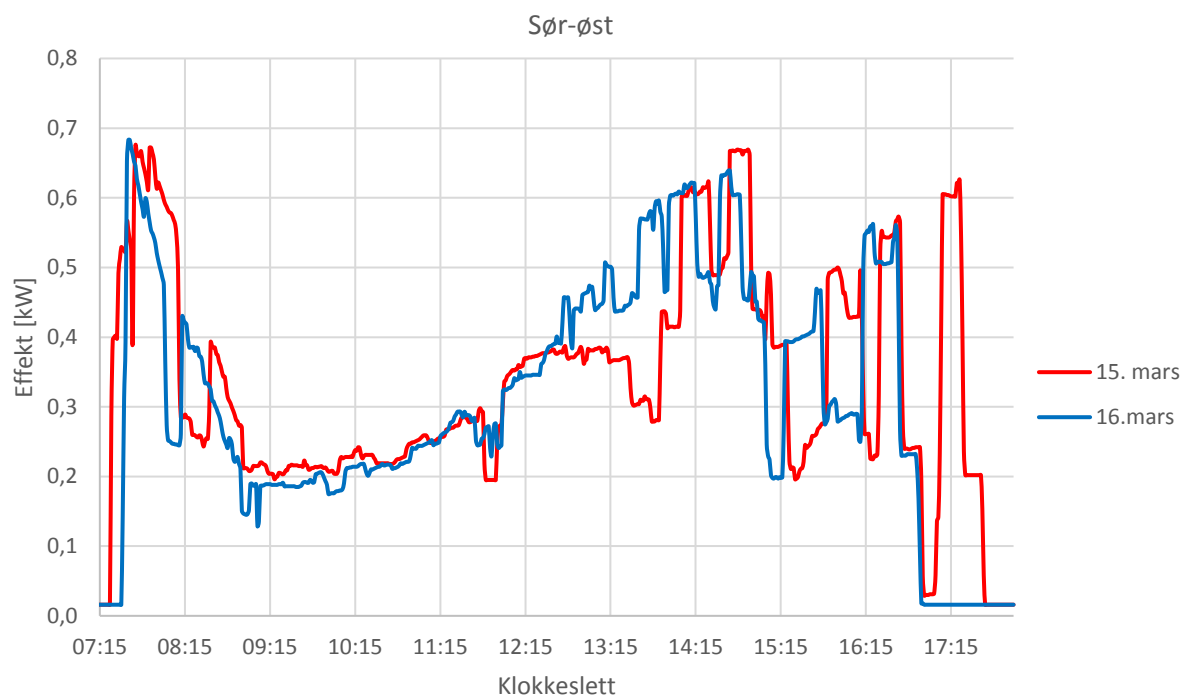
Ane Solem Knutsen
*Mastergradsstudent ved NTNU, Energi og Miljø
Institutt for elkraftteknikk*

Vedlegg E – Effektforbruk for «identiske» soldager

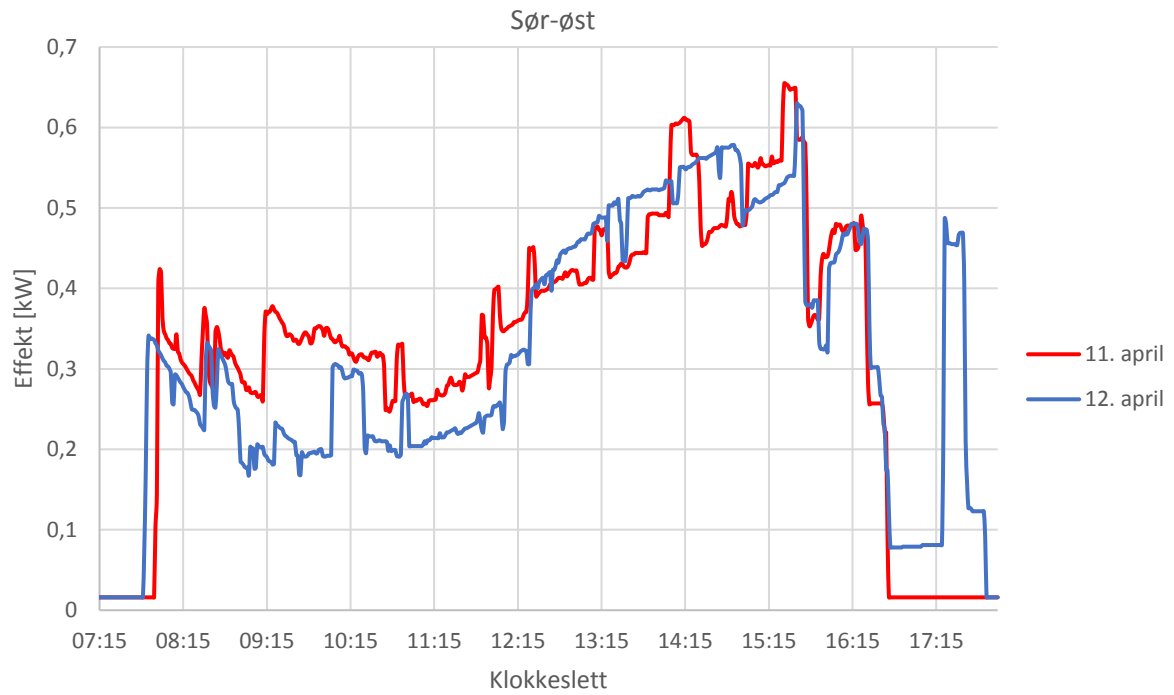
SØ-kursen



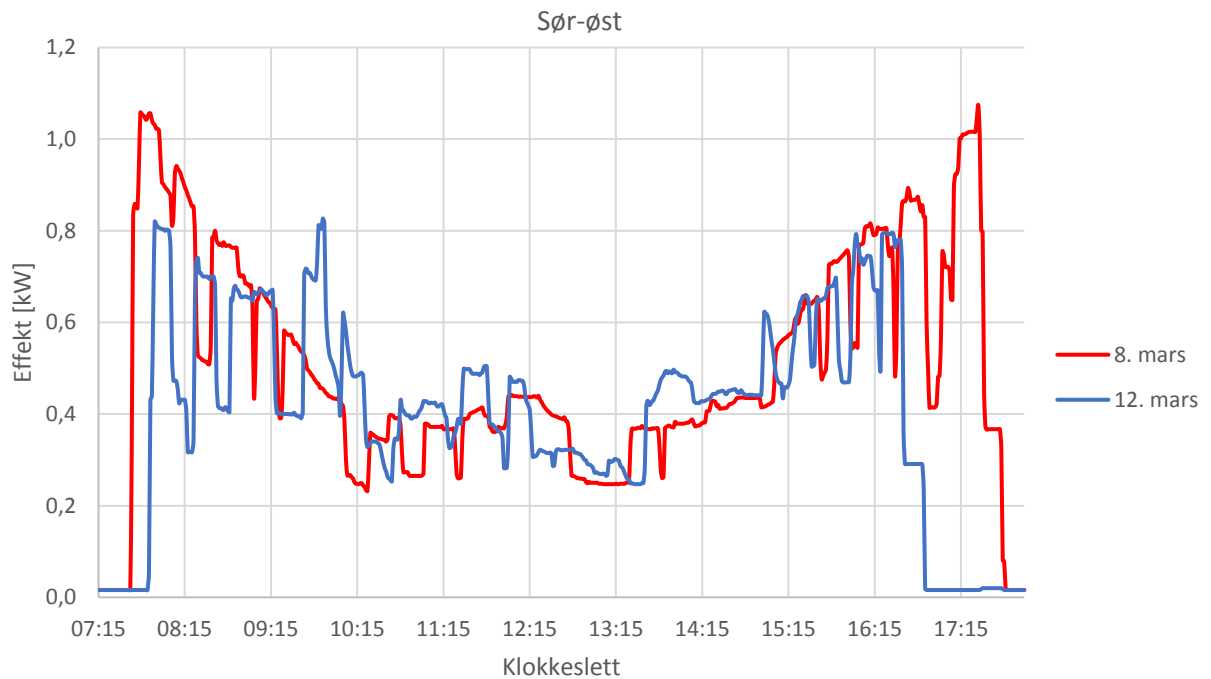
Figur 42 - Energiforbruk SØ-kurs 26. og 27. feb. 6 % høyere energibruk den 27.



Figur 43 - Energiforbruk 15. og 16. mars for SØ-kursen. 0,5 % høyere forbruk den 16.

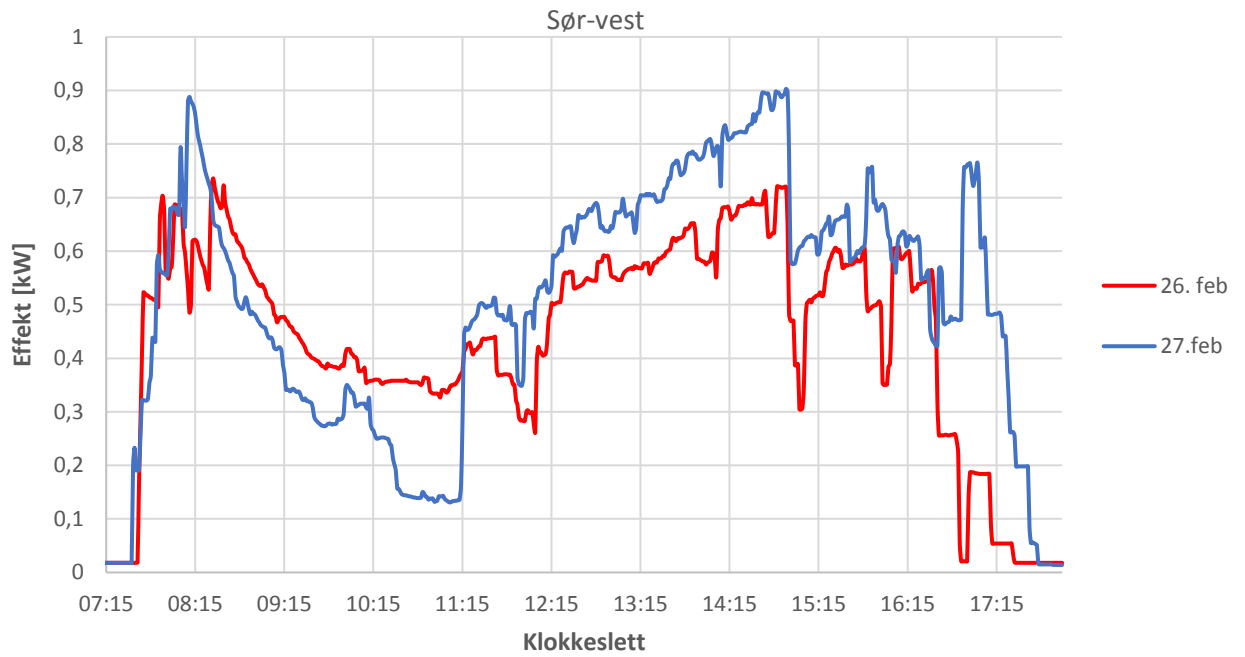


Figur 44 - Energiforbruk 11. og 12. april for SØ-kursen. 0,5 % høyere forbruk den 12.

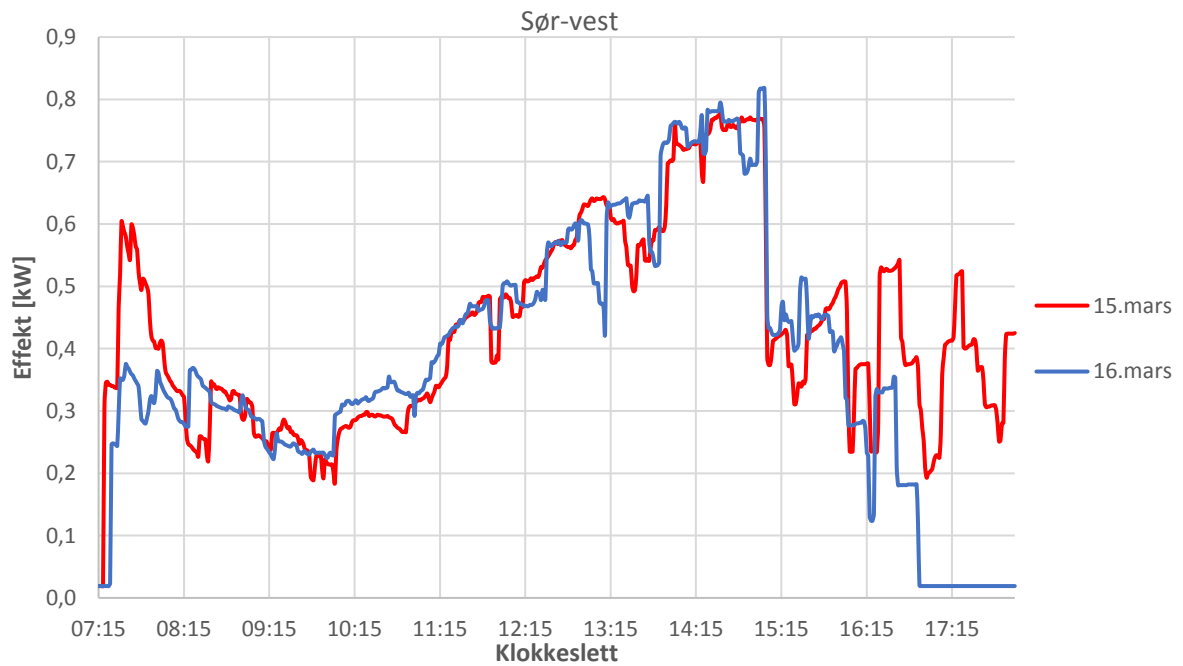


Figur 45 - Energiforbruk 8. og 12. mars for SØ-kursen. 5,3 % høyere forbruk den 12.

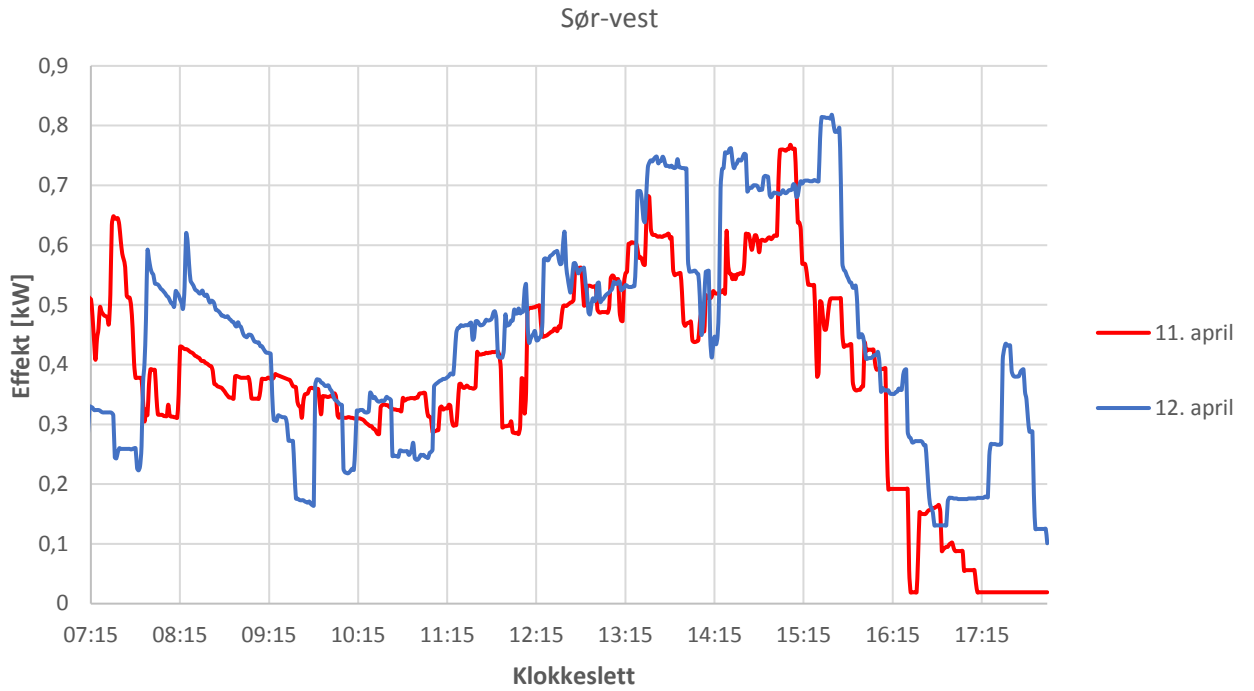
SV-kursen



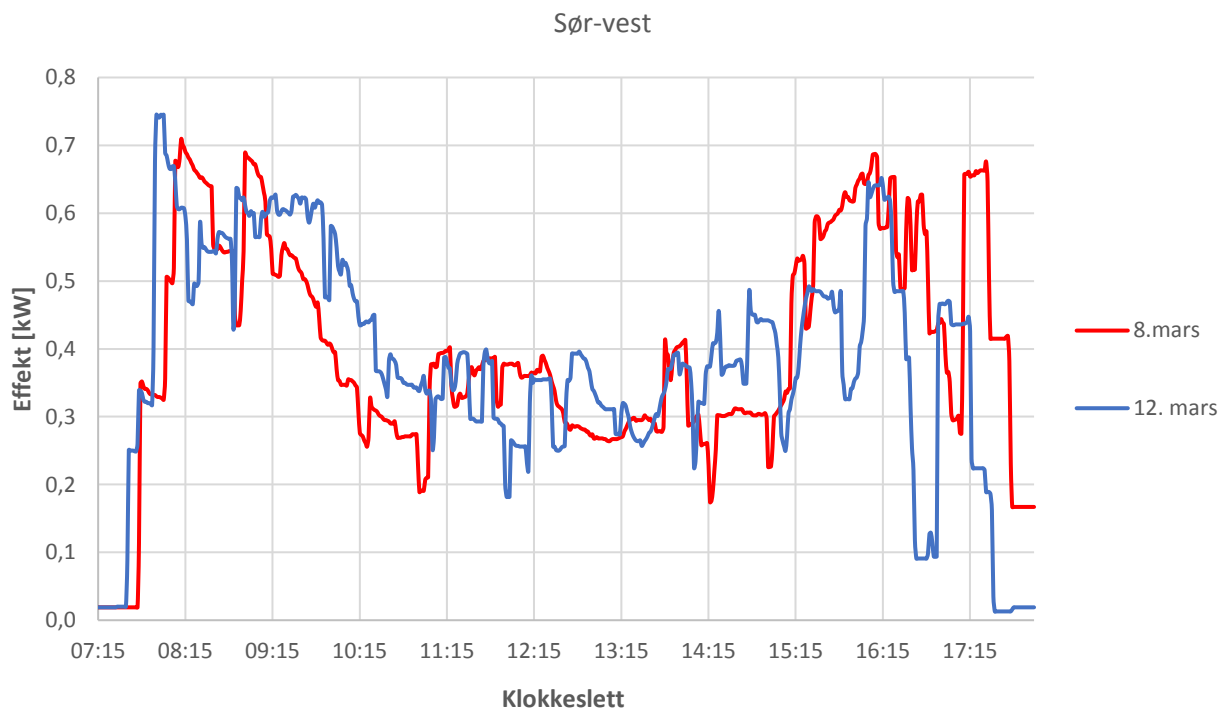
Figur 46 - Energiforbruk for SV-kursen 26. og 27. feb. 6 % høyere forbruk den 26.



Figur 47 - Energiforbruk for SV-kursen 15. og 16.mars. 1,7 % høyere forbruk den 16.

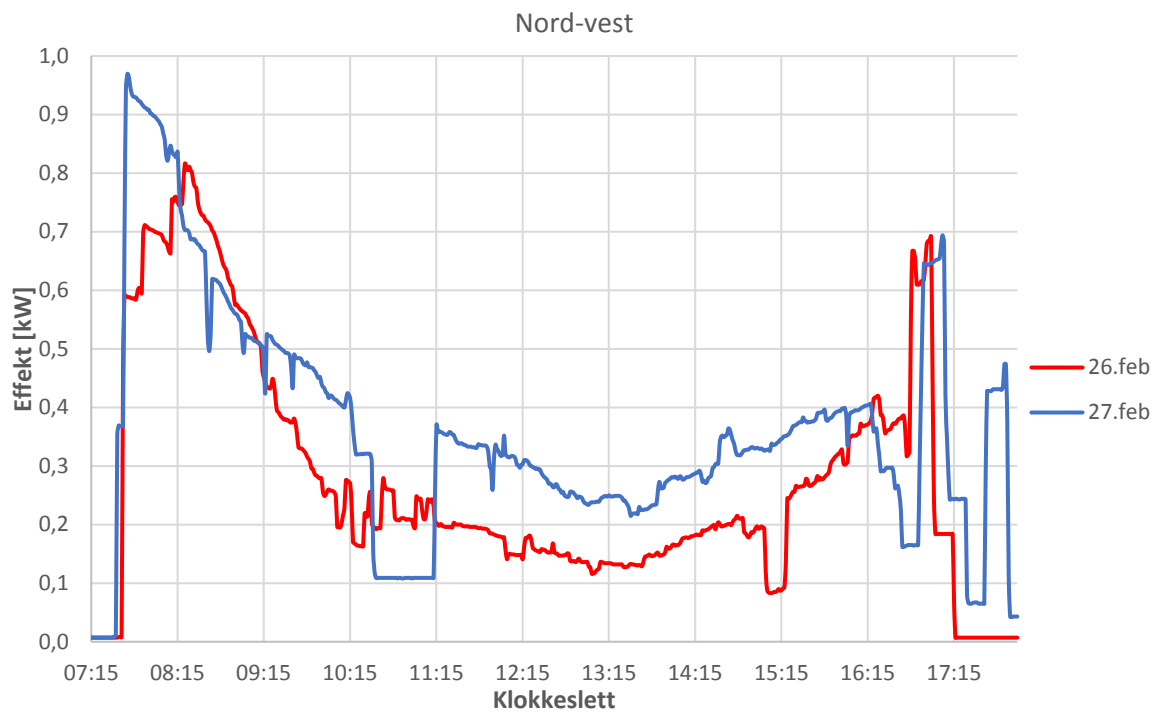


Figur 48 - Energiforbruk for SV-kursen 11. og 12. april. 6,2 % høyere forbruk den 12.

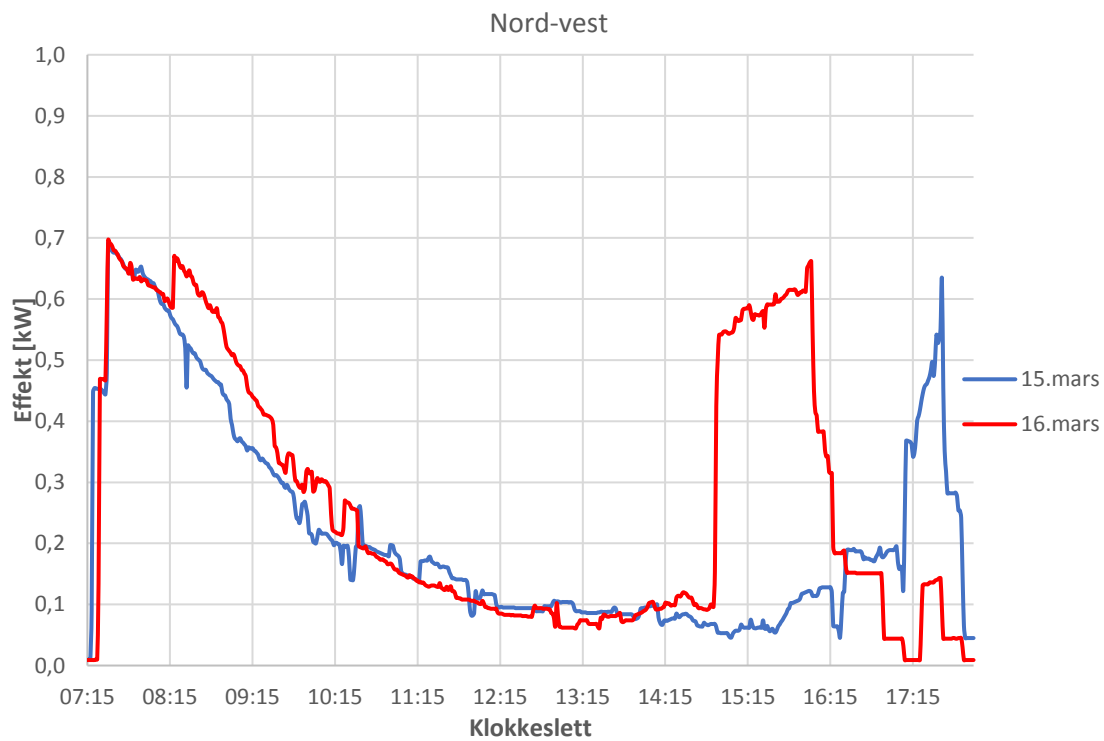


Figur 49 - Energiforbruk for SV-kursen 8. og 12. mars. 0,4 % høyere forbruk den 8.

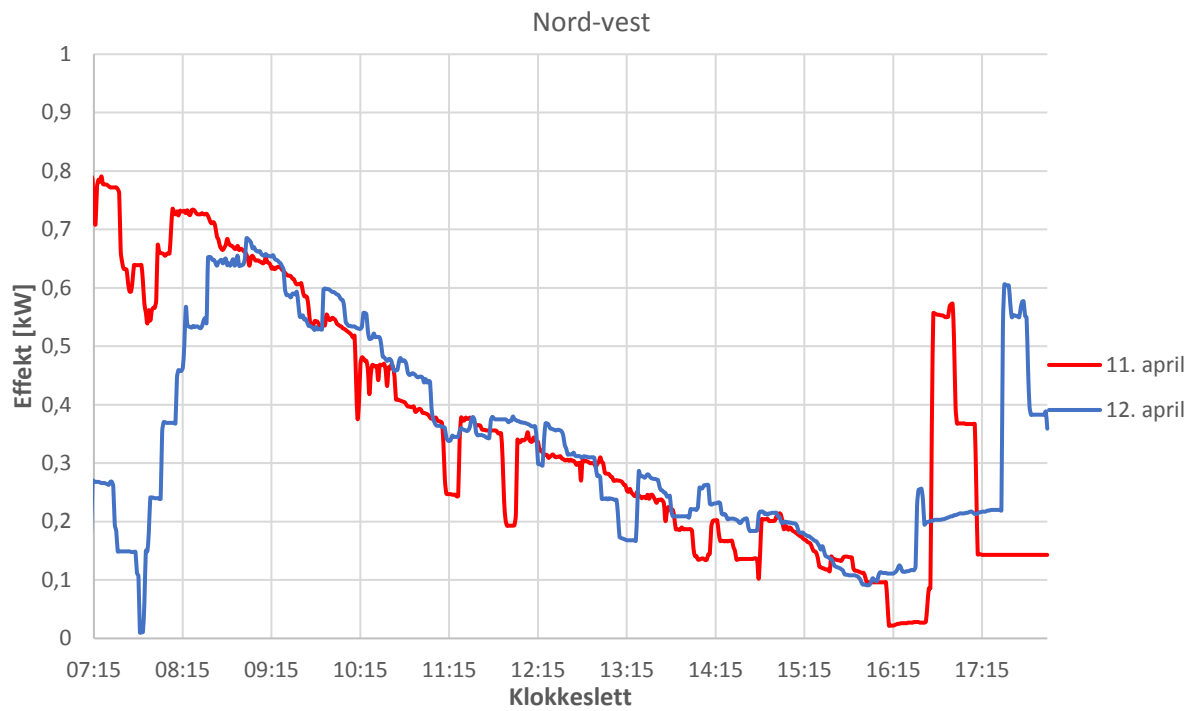
NV-kursen



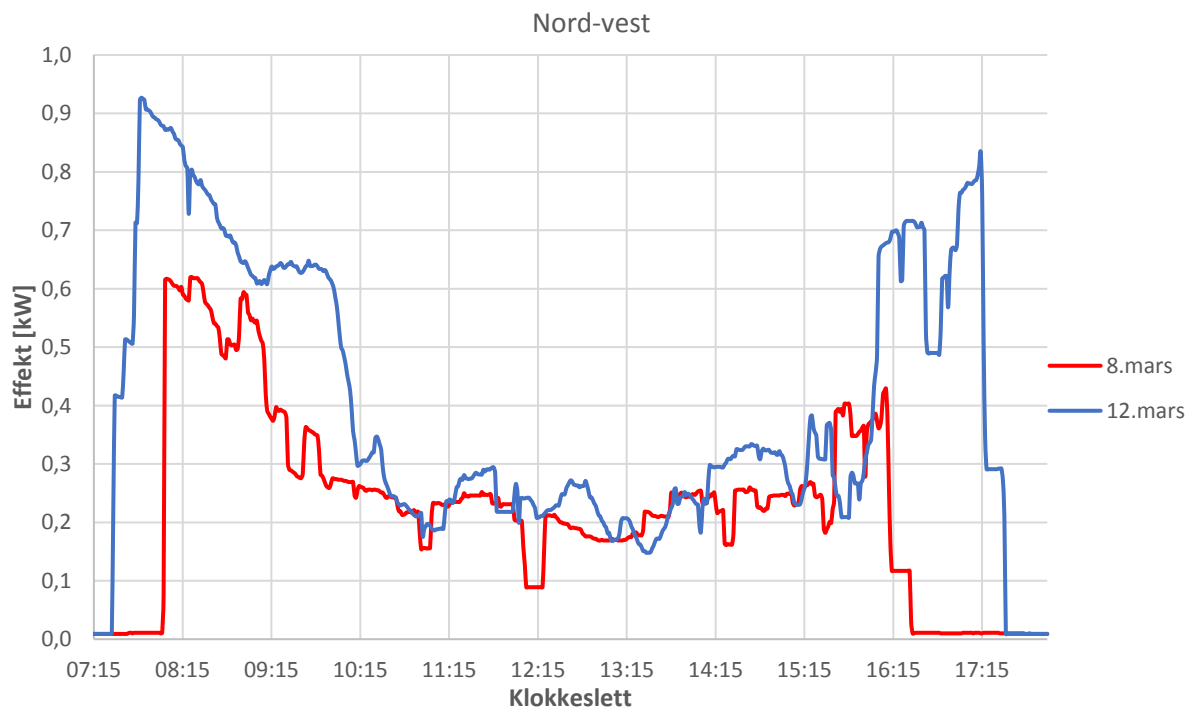
Figur 50 - Energiforbruk for NV-kursen 26. og 27. feb. 7,8 % høyere forbruk den 26.



Figur 51 - Energiforbruk for NV-kursen 15. og 16.mars. 8 % høyere forbruk den 15.



Figur 52 - Energiforbruk for NV-kursen 11. og 12.april. 1,9 % høyere forbruk den 12.



Figur 53 - Energiforbruk for NV-kursen 8. og 12. mars. 17,2 % høyere forbruk den 8.