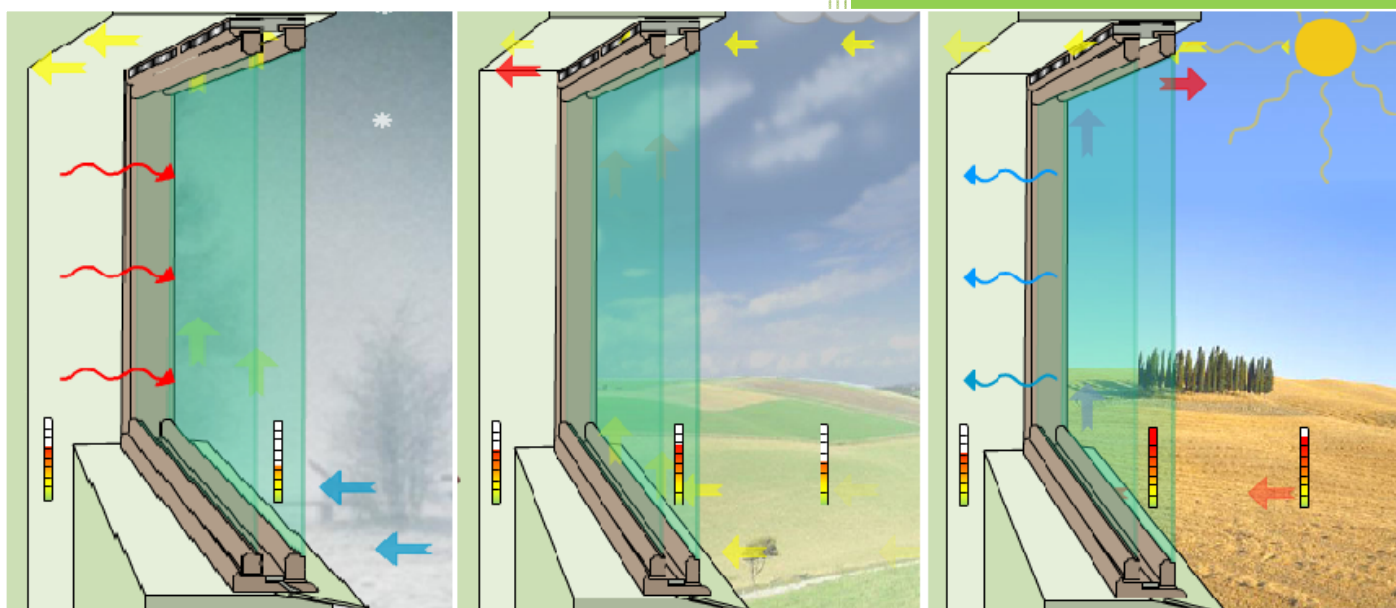


# Bruk av den dynamiske vindusmodellen i norsk klima



**Masteroppgave i energi og miljø**

**Høgskolen i Oslo i samarbeid  
med Universitetet i Aalborg**

**Vårsemesteret 2011**

30 studiepoeng

**Eirik Storvig Jacobsen**

**Espen Kildebo Jensen**



## Forord

Denne oppgaven er gjennomført våren 2011 i samarbeid med Universitetet i Aalborg. Oppgaven er den avsluttende delen av et 2-årig masterstudie i energi og miljø i bygg. Studiet har vært ett samarbeid mellom Høgskolen i Oslo og Universitetet i Aalborg.

Tittelen for masterprosjektet er "Bruk av den dynamiske vindusmodellen i norsk klima", og er skrevet av Eirik Storvig Jacobsen og Espen Kildebo Jensen. Begge forfatterne har bakgrunn som bygg ingeniører (Bachelor) før påbegynt masterstudie.

Arbeidsbelastningen og tidsforbruket for prosjektet har vært godt fordelt utover de fire månedene og har klart å følge vår oppsatte fremdriftsplan. Arbeidsfordelingen oss i mellom har fungert meget bra hvor begge har tatt ansvar og det meste har blitt utført i fellesskap.

Vi ønsker å takke vår veileder ei prosjektet Olena Kalyanova Larsen og Per Heiselberg for den nyttige veiledningen vi har fått underveis i prosjektet.

Vi ønsker også å rette en stor takk til våre familier og spesielt til Maren og Miriam for støtte og oppmuntring gjennom hele prosjektperioden.

Oslo 4. Juni 2011

---

Eirik Storvig Jacobsen

---

Espen Kildebo Jensen

## Sammendrag

”Bruk av den dynamiske vindusmodellen i norsk klima” er ett masterprosjekt som ser på muligheten for å benytte en dynamisk vindusmodell i et norsk klima. Et dynamisk vindu er i hovedsak tenkt brukt ved rehabilitering av bygg som ikke har et ventilasjonsanlegg som tilfører friskluft. Tilluften går gjennom vinduet i en luftspalte mellom det ytterste og det innerste glass laget. Tanken er at luften vil bli forvarmet ved hjelp av solstråling og varmeoverføring som kommer gjennom det innerste glasslaget fra rommet på innsiden. Siden det i Norge er kalde vintre og relativt varme sommere er spørsmålet hvordan vinduet vil respondere på det varierende klimaet.

Prosjektet er innledet med en litteraturstudie for å kartlegge grunnleggende forståelse for temaet og for å undersøke hvor langt forskningen har kommet på området. For å oppnå lavere U-verdi bør et dynamisk vindu bestå av tre eller flere glass, hvor av et glass bør være et energiglass. Turbulent strømming bør unngås ettersom dette øker varmeoverføringen i luftstrømmen, turbulent strømming er indikert å oppstå i hulrom med dybde mellom 25 og 50 mm. Dette kan det leses mer om i kapittel 2 og 3. Ettersom oppgaven er skrevet i en begrenset tidsperiode var det nødvendig å avgrense området litt.

På bakgrunn av litteraturstudiet ble det designet fire forskjellige vindusmodeller, betegnet som A, B, C og D, som skulle testes for utvalgte simuleringsdager. Simuleringsdagene valgtes etter kriteriene klar kald vinterdag, overskyet vinterdag, klar varm sommerdag og overskyet sommerdag. De forskjellige vinduskombinasjonene, simuleringsdagene sammen med to forskjellige luftmengder, ulike glasstyper og utvendige persienner for sommerdagene ble lagt inn i simuleringsprogrammet WIS Software 3.0.1. WIS er ett allsidig simuleringsverktøy som kan beregne egenskapene til vindussystemer og komponenter samt beregne temperaturforløpet gjennom vinduene. Totalt ble det utført 1032 simuleringer som danner grunnlaget for sammenlikningene hvor resultatene er hentet fra. Vinduskonstruksjoner, værdata, simuleringsdager, beregninger og simuleringer kan det leses mer om i kapittel 4.

Alle data fra simuleringene ble ført inn i regneark og grafer for å kunne sammenlikne U-verdier, g-verdier, innvendig overflatetemperaturer og tilluftstemperaturer fra den ventilerte luftspalten for alle vinduene. Simuleringsdataene bruktes også til å beregne energitilskudd/tap fra varmegjennomgang, soltilskudd og ventilasjon for å kunne se på en total energibetraktning for de forskjellige vinduene. Resultatene og sammenlikningene er presentert og beskrevet i kapittel 5.

Resultatene fra sammenlikningene viser at U-verdiene halveres ved å halvere luftmengden og at de laveste U- og g-verdiene oppnås ved å plassere energiglasset ytterst i vinduskonstruksjonen, som det er gjort i vindu A og C.

Når det gjelder temperaturene blir tilluftstemperaturen inn i rommet fra den ventilerte spalten mest påvirket av solstrålingen. Vinduene B og D er de vinduene som påvirkes raskest av solen og får de største temperatursvingningene i løpet av dagen. Vinduene B og D er også

de vinduene som gir de høyeste overflatetemperaturene, mens vindu A og C ligger litt lavere om sommeren. Den klart laveste innvendige overflatetemperaturen om vinteren er for vindu A, samtidig som dette vinduet også har den jevnt høyeste temperaturen om vinteren når det gjelder tilluftstemperaturen, og den laveste på sommeren.

Ikke uventet reduserer de utvendige persiennene g-verdien og den innvendige overflate temperaturen betraktelig, og til dels også tilluftstemperaturen. Luftmengdene når persiennene er nede har liten betydning når det gjelder påvirkning av den innvendige overflatetemperaturen, men når det gjelder lufttemperaturen inn i rommet gir halvert luftmengde større utslag for de forskjellige vinduene og simuleringsdagene.

Konklusjonen for denne rapporten er at det dynamiske vinduet vil kunne benyttes med gode resultater for det norske klimaet. Vindu A og C er de vinduene som forfatterne mener er best egnet med bakgrunn i de undersøkte kriteriene. Den største forskjellen på vindu A og C er at for vintersituasjonen vil vindu A ha en lavere innvendig overflatetemperatur enn vindu C, mens for tilluftstemperaturen vil det være motsatt. Lufthastigheten bør senkes om vinteren for å få bedre utnytte av forvarmingen, mens om sommeren bør luftmengdene være høyere. De utvendige persiennene hjelper til å redusere varmetilskuddet om sommeren betraktelig.

## Abstract

“Using the dynamic window-model in Norwegian climate” is a project which studies the possibility of using a dynamic window-model in a Norwegian climate. A dynamic window is primarily intended for use in cases of rehabilitation of buildings not equipped with HVAC systems. The description of a dynamic window is a window which has free or forced ventilation of air between the outer and inner glass surface. The idea is that the air which passes through the window will be preheated by the sun and heat transfer from the inner glass surface. Considering the long cold winters and temperate summers in Norway, the question is how the dynamic window-model will perform in these conditions.

This master thesis is initiated with a literature study to understand the basic on this type of window-model and gain knowledge on how far research has progressed in this general field. To achieve low U-values a dynamic window should consist of three glass layers or more, whereas one of the glass layers should be a low energy glass. Turbulent flow patterns should be avoided as this increases heat-transfer between glass surfaces on each side of the ventilated cavity, turbulent flow patterns is indicated to form in ventilated cavities with depths between 25 and 50 mm. These findings can be reviewed in chapter 2 and 3. Due to the time schedule given to complete this master thesis some limitations considering the width of the project had to be made.

Based on the literature study four dynamic window-models, denoted as A, B, C and D, were designed to be tested for selected simulation days. The simulation days were chosen according to the following criteria; cold clear winter day, overcast winter day, warm clear summer day and overcast summer day. The European simulation software WIS 3.0.1 was used to simulate the selected dynamic window-models and simulation days. WIS is a versatile simulation tool that is able to calculate the properties of complex window systems and components, as well as calculate the temperature development through the dynamic windows. A total of 1032 simulations form the basis for evaluating the dynamic window-models. Chapter 4 includes data on window constructions, weather data, simulation days, calculations and simulations in general.

Data acquired from the simulations were put into spreadsheets and graphs to compare U-values, g-values, inner glass surface temperatures and supply air temperatures. Simulation data were also used to calculate heat gain and -loss considering heat transfer, solar heat gain and ventilation. The results and comparisons are presented in chapter 5.

The results show that U-values are halved by halving the amount of air passing through the windows. The results also show that the lowest U- and g-values is achieved by placing the energy glass on the outer surface facing the outside, as done for window-model A and C.

The supply air temperature is affected the most by solar radiation. Window-model B and D are highly affected by solar radiation and experience the greatest temperature fluctuations during the day. Window B and D also experience the highest inner glass surface

temperatures, while the surface temperatures for windows A and C are slightly lower in summer conditions. Window-model A experiences the lowest inner surface temperatures in winter, while this window also has stable high supply air temperatures in winter and lower supply air temperatures in summer than the other window-models.

Not unexpectedly, using external blinds in summer significantly reduces the g-value and inner glass surface temperature, and in some extent the supply air temperature. Using full or halved air volumes through the windows shows only small differences in combination with use of external blinds in summer conditions considering the inner surface temperature. Considering supply air temperature, variations of air volume through the windows show greater impact on the various windows and simulation days.

The conclusion of this master thesis is that the dynamic window-model can be used in a Norwegian climate with good results. Window-model A and C are considered to be the windows best suited for use in a Norwegian climate, this is based on the results from the simulations. Window A and C show some differences in a winter situation, window A has a lower inner surface temperature than window C, while the situation is opposite considering supply air temperatures. The rate of air passing through the window should be lowered in a winter situation to better the windows preheat ability, while higher air volumes would be preferred in summer. The external blinds reduced heat gain due to solar radiation in summer considerably.

## Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	15
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	15
1.2 Metode.....	15
1.3 Avgrensninger.....	16
1.4 Problemstillinger.....	16
2. Litteraturestudie.....	17
2.1 Innledning.....	17
2.2 Ulike typer dynamiske vinduer .....	17
2.3. Ventilering, lufthastighet og dybde på hulrom.....	20
2.4 Strømningsforhold .....	22
2.5 U-verdier og plassering av lav-E belegg .....	22
2.6 Bruk av simuleringsverktøy ved studier av dynamiske vinduer .....	23
2.7 Sammenfatning av litteraturstudien.....	24
2.8 Hvordan bør et dynamisk vindu være?.....	25
3. Bakgrunn .....	26
3.1 Vinduets egenskaper og påvirkninger .....	26
3.2 Hvordan finne værdata? .....	36
3.3 WIS Software.....	36
4. Simuleringer .....	43
4.1 Oppbygning av vinduene .....	43
4.2 Behandling av værdata .....	47
4.3 Hvordan er simuleringene gjennomført? .....	53
4.4 Beregninger i regnearkene .....	56
5. Resultat og diskusjon.....	59
5.1 U-verdi.....	59
5.2 g-verdi.....	62
5.3 Temperaturer.....	64
5.4 Energibetraktninger .....	69



6. Feilkilder .....	73
6.1 Direkte og diffus stråling .....	73
6.2 Feil i beregninger med hensyn på energibetraktninger .....	73
6.3 Øvrige feilkilder.....	75
7. Konklusjon .....	76
8. Videre arbeid .....	79
9. Referanseliste .....	81
Vedlegg.....	85

	Antall sider
Vedlegg A: Værdata for simuleringsdagene	8
Vedlegg B: Eksempel på rapport fra simulering	10
Vedlegg C: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu A, B, C og D	5
Vedlegg D: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu A, a, [A], [a]	5
Vedlegg E: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu B, b, [B], [b]	5
Vedlegg F: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu C, c, [C], [c]	5
Vedlegg G: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu D, d, [D], [d]	5
Vedlegg H: Energibetraktninger	2
Vedlegg I: Lufttetthet for forskjellige lufttemperaturer	1
Vedlegg J: Feilkilder energibetraktninger	2
Vedlegg K: Simuleringsdata i "råformat" (CD)	51
Vedlegg L: Rapporter fra simuleringer (CD)	10320
Vedlegg M: Standard referanseår med beregnede gjennomsnittsverdier (CD)	268

## Figurliste

Figur forside: Dynamisk vindu ved forskjellige årstider (HORN Vinduer 2011)

Figur 1 Dynamisk vindusmodell i en oppvarmingssituasjon .....	18
Figur 2 <i>Supply air window</i> med et enkelt glass på utside og dobbel glass på inside.....	19
Figur 3 <i>Ventilated double window</i> .....	19
Figur 4 <i>Dual airflow window</i> .....	20
Figur 5 Resultater fra CFD – beregninger av laboratorium eksperiment.....	21
Figur 6 Eksempel på laminær- og turbulentstrømning .....	22
Figur 7 Temperaturfordeling gjennom en dobbeltfasade (liggende) fra BISCO .....	23
Figur 8 Oppbygning av dynamisk vindu som viser strømning gjennom hulrom.....	27
Figur 9 Funksjonsprinsipp for ledning, konveksjon og stråling .....	28
Figur 10 Prosent misfornøyde som funksjon av strålingstemperaturasymmetrien.....	29
Figur 11 Elektromagnetisk spekter.....	30
Figur 12 Direkte stråling og diffus stråling mot en horisontal flate avhengig av skydekke .....	31
Figur 13 Eksempel på refleksjon, absorpsjon og transmisjon i en solkontrollrute.....	32
Figur 14 Absorpsjons-, transmisjons- og refleksjonsfaktor for solstråling som funksjon.....	32
Figur 15 Transmisjonskurver for klart glass (A) og grått, varmeabsorberende glass (B).....	33
Figur 16 Eksempel på persiener .....	34
Figur 17 Oppbygning av lameller .....	34
Figur 18 Mekanisk avtrekksventilasjon i en enebolig .....	35
Figur 19 Viser temperaturer man kan hente ut i WIS 3. Uten solskjerming.....	37
Figur 20 Luftstrømning i hulrommet til et vindussystem.....	38
Figur 21 Spesifikasjoner for 6mm klarglass.....	43
Figur 22 Spesifikasjoner for 6mm energiglass .....	44
Figur 23 Spesifikasjoner for argon-luft blandingen.....	44
Figur 24 Spesifikasjoner for geometrien til de utvendige persiennene.....	45
Figur 25 Vindu A/a.....	45
Figur 26 Vindu B/b.....	46
Figur 27 Vindu C/c .....	46
Figur 28 Vindu D/d .....	46
Figur 29 Gjennomsnittstemperaturer for samtlige dager i vintermånedene.....	47
Figur 30 Gjennomsnittstemperaturer for samtlige dager i sommermånedene .....	48
Figur 31 Gjennomsnitt strålingsfluks for hver dag i vintermånedene .....	49
Figur 32 Gjennomsnitt strålingsfluks for hver dag i sommermånedene .....	49
Figur 33 Temperaturer i og på de forskjellige lag i forhold til solhøyde, hentet fra WIS .....	52
Figur 34 Solhøyder den 30. Januar 2010.....	53
Figur 35 Ventilasjonsinnstillinger fra WIS .....	54
Figur 36 Prinsippskisse for simuleringer .....	55
Figur 37 U-verdier for 30. januar. Vindu A, B, C og D.....	61
Figur 38 U-verdier for 22. juni. Vindu A, B, C og D.....	61

Figur 39 U- verdier for 30. januar. Vindu A og a .....	62
Figur 40 G-verdier for 30. januar. Vindu A, B, C og D.....	63
Figur 41 G-verdier for 22. juni. Vindu A og a.....	63
Figur 42 Innvendig overflatetemperatur for 3. Februar .....	64
Figur 43 Innvendig overflatetemperatur for 16.juni.....	65
Figur 44 Temperatur inn i rommet for 3.februar.....	66
Figur 45 Temperatur inn i rommet for 16. Juni.....	68
Figur 46 Varmetap/tilskudd for vinduene A, B, C og D for 30. Januar .....	69
Figur 47 Energibetraktning for 30. januar .....	70
Figur 48 Varmetap for vindu A og a for 30. Januar .....	70
Figur 49 Energibetraktninger for 16. juni.....	71
Figur 50 Totalt varmetilskudd .....	72
Figur 51 Viser hvordan solvinkler er anvendt for avlesing av temperaturer. ....	73
Figur 52 Sammenligning av totalt varmetap/tilskudd med og uten q vent og U vent .....	74
Figur 53 Dynamisk vindu for sommersituasjonen.....	80

## Tabell liste

Tabell 1 Maksimum-, minimum- og gjennomsnittstemperaturer for vintermånedene.....	50
Tabell 2 Maksimum-, minimum- og gjennomsnitt strålingsfluks for vintermånedene .....	51
Tabell 3 Maksimum-, minimum- og gjennomsnittstemperaturer for sommermånedene.....	51
Tabell 4 Maksimum- , minimum- og gjennomsnitt strålingsfluks for sommermånedene .....	52
Tabell 5 Regneark med tall fra simuleringer for vindu A den 30. januar .....	58
Tabell 6 Forklaring til betegnelse av vinduer .....	59
Tabell 7 U-verdier for vinduer med lukket hulrom .....	60
Tabell 8 Høyeste og laveste temperatur for temperaturen på lufta inn i rommet .....	67
Tabell 9 Sammenlikning av uttakstemperatur for vinduene med og uten persienner .....	68

## Formel liste

Formel 1 Temperatur i hulrommet .....	38
Formel 2 Gjennomsnittlig temperatur på flatene til lagene i og i+1 .....	39
Formel 3 Karakteristisk høyde.....	39
Formel 4 Temperatur på luften fra spalten .....	40
Formel 5 Gjennomsnittstemperatur i hulrommet.....	40
Formel 6 Varmekoeffisient for ventilerte hulrom.....	41
Formel 7 Varmekoeffisient for ventilerte hulrom.....	41
Formel 8 Temperaturdifferanse inne og ute.....	56
Formel 9 Varmetilskudd fra sola .....	56
Formel 10 Varme tap/tilskudd gjennom vinduet.....	56
Formel 11 Varme tap/tilskudd fra ventilasjonen .....	56
Formel 12 Varme tap/tilskudd totalt .....	56

## Nomenklatur

<b>Absorpsjon:</b>	(Strålingsfysikk). Absorpsjon av elektromagnetisk stråling foregår ved at strålingen gradvis blir svekket når den trenger inn i et stoff. Strålingsenergien overføres først til enkelte elektroner, som blir satt i bevegelse, og energien fordeler seg så etter hvert som en varmebevegelse i stoffet. Absorpsjonen avhenger av strålingens bølgelengde og av det absorberende stoffets egenskaper.
<b>Duggpunkts-temperatur:</b>	Den temperaturen lufta må avkjøles til før metning (duggdannelse) inntreffer.
<b>Effektiv U-verdi:</b>	U-verdien for et dynamisk vindu med et ventilert hulrom. Effektiv U-verdi vil variere for en gitt vindusmodell ettersom temperatur og vindtrykk endres.
<b>Emisjonstall:</b>	Emisjonstallet, $e$ , angir hvor stor andel energi en flate stråler ut sammenlignet med en perfekt strålingsflate, såkalt svart legeme. For et svart legeme er emisjonstallet lik 1, og mellom 0 og 1 for alle andre materialer. Jo høyere emisjonstall, desto bedre fungerer flaten som en varmestråler og varmemottager.
<b>g-verdi:</b>	(Total solfaktor) Angir andelen av solstrålingen som slipper gjennom en kombinasjon av glass og solskjermingsystemer. g-verdien oppgis som et tall mellom 0 og 1, hvor 0 betyr at ikke noe av solstrålingen slipper igjennom og 1 betyr at alt av solstråling slipper igjennom. g-verdien er ubenevnt.
<b>HVAC:</b>	Oppvarming, Ventilasjon og luftkondisjonering.  (Heating Ventilation and Air Condition).

- Kaldras:** Luftstrømningseffekt i rom skyldes avkjøling av romluft ved flater med lav overflatetemperatur, f.eks. vinduer. Den avkjølte luften er tyngre enn romluften og synker ned til gulvet og innover i rommet. Kaldras oppleves gjerne som ubehagelig trekk langs gulvet, og kan unngås ved å plassere en varmekilde under vinduet eller å skifte til vinduer med bedre varmeisolering.
- Konduksjon:** (også kjent som varmeledning) Transport av varmeenergi gjennom legemer som følge av temperatur forskjeller.
- Konveksjon:** Forflytning av stoff, varme, energi, elektrisitet osv. fra et sted til et annet ved hjelp av en strøm av væske eller gass mellom disse stedene.
- Kuldebro:** Del av varmeisolert bygningsdel som har vesentlig dårligere isolasjon enn bygningsdelen forøvrig. Kuldebroer øker bygningens totale varmetap. Kuldebroer er vanlig i overganger mellom materialer eller overganger mellom tak og vegg eller lignende.
- Laminær strømning:** Strømning i væsker og gasser uten virvler.
- Lav-E belegg:** (Lav emisjonsbelegg) Er en kvalitet ved en overflate som utstråler, eller avgir, lave nivåer av strålingsenergi.
- Refleksjon:** Tilbakekasting av lys el. lyd / avspeiling.
- Reynoldstall:** Tall som beskriver strømmingen i en væske eller en gass. Det er lik forholdet mellom væskens (gassens) kinetiske energi og det indre friksjonsarbeid, som henger sammen med viskositeten. Ved en viss verdi for Reynoldstall går strømmingen over fra å være laminær til å bli turbulent. Samtidig øker friksjonen i væsken til det mangedobbelte. Den hastighet dette inntreffer ved kalles kritisk hastighet.

- Skydekke:** Den del av himmelen som er dekket av skyer. I værobservasjoner benyttes en skala fra 0 til 8, fra helt klart (0 åttedeler) til helt overskyet (8 åttedeler).
- Skorsteinseffekt:** Bevegelse av luft inn og ut av bygninger som følge av oppdrift. Oppdriften skyldes forskjell i utvendig og innvendig lufttetthet, som igjen skyldes temperatur og fuktighets forskjeller. Ved større termisk forskjell og større høyde på konstruksjonen vil oppdriftskreftene øke som igjen vil øke skorsteinseffekten.
- Svart legeme:** Et tenkt legeme som absorberer all den lys- og varmestråling som faller på det.
- Transmisjon:** (Lystransmisjon) Angir hvor mye av lyset som slipper gjennom glasset etter at en del er reflektert fra og absorbert. Lystransmisjonen angis i prosent av lyset utendørs.
- Turbulent strømning:** De strømningene som skjer ved forholdsvis høy hastighet, store friksjonskrefter og lav viskositet. En annen måte å si det på, er at turbulens kan skje ved høye Reynoldstall. Det finnes ingen eksakt definisjon av turbulens. Turbulente strømmer er tilfeldige i den forstand at det ikke går an å forutse hvilken hastighet strømmen vil ha på et gitt sted på et gitt tidspunkt. En strømning som ikke er turbulent kalles laminær strømning.
- U-verdi:** U-verdien eller varmegjennomgangstallet angir størrelsen av varmetapet gjennom en bygningsdel. Tallet angir hvor stor effekt i watt (W) som går gjennom  $1 \text{ m}^2$  bygningsdel, når temperaturforskjellen mellom flatene er  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . U-verdien angis i  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Varmeveksler:** Innretning som muliggjør varmeoverføring mellom to væske- eller gasstrømmer med forskjellig temperatur, vanligvis slik at de ikke blandes.

## 1. Innledning

### 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Kun 2 % av bygningsmassen i Europa er nybygg bygd med et "grønt" design. Det vil si at mesteparten av bygningsmassen er eldre bygg som krever rehabilitering for å tilfredsstillende europeiske energikrav. Vindu industriens svar på problemet har bestått i forbedrede termiske egenskaper ved bruk av bedre isoleringsmaterialer i rammer og glass, samt redusering av luftlekkasjer. Dette har deretter ført til tettere bygningskropper også for eldre bygninger uten balansert ventilasjon, som kan resultere i betydelig dårligere inneklima i disse byggene. (Climawin 2010)

For å finne en løsning på dette problemet har Universitetet i Aalborg i samarbeid med andre universiteter og firmaer startet Climawin-prosjektet som har utviklet et intelligent vindu eller såkalt dynamisk vindu. Første generasjon av vinduet er allerede i produksjon hos HORN Vinduer i Danmark. (HORN Vinduer 2011)

Prosjektet titulert "*Bruk av den dynamiske vindusmodellen i norsk klima*" ønsker å evaluere hvordan den dynamiske vindusmodellen fungerer i et kaldere klima, og vil ta for seg klimaet i Oslo for dette studiet. Det tas utgangspunkt i at vinduet brukes i kombinasjon med mekanisk avtrekksventilasjon, det vil si at et undertrykk opptrer i bygget og at luften gjennom vinduet strømmer fra ute til inne.

Med et dynamisk vindu vil man kunne benytte ulike luftingsalternativer som kan utnyttes til effektiv ventilering i varme perioder og til forvarming av luft i kjølige perioder. Det norske klimaet varierer mye i løpet av året når det gjelder temperatur og soltilskudd, som er avgjørende faktorer for om et dynamisk vindu skal kunne fungere tilfredsstillende. Prosjektet ønsker derfor å undersøke hvordan den dynamiske vindusmodellen vil fungere for det norske klimaet.

Ved å bygge opp og teste ulike vindusmodeller med forskjellige luftmengder, med og uten solskjerming ønsker man å finne den beste løsningen for det norske klimaet.

### 1.2 Metode

Prosjektet er en kombinasjon av en litteraturstudie og simuleringsforsøk. I første del av prosjektet vil det bli gjennomført en litteraturstudie for å kartlegge fysikken og egenskapene til dynamiske vindusmodeller, samt kartlegge tidligere forskning på området. Andre del av oppgaven vil bestå av simuleringsforsøk og evaluering av resultatene. Simuleringsverktøyet WIS software vil bli benyttet. WIS vil bli brukt til å simulere flere typer av vindusoppbygninger i et to-dimensjonalt plan.

Simuleringene vil bli utført for 24-timers perioder for fire utvalgte dager. Værdata som brukes i simuleringene vil bli hentet fra ett standard referanse år for Oslo. De fire utvalgte simuleringsdagene vil være plukket ut etter kriteriene klar kald vinterdag, overskyet vinterdag, klar varm sommerdag og overskyet sommerdag.

I resultat og diskusjonskapitlet vil de ulike vindusmodellene evalueres opp mot hverandre ved hjelp av grafer som viser U- og g-verdier, temperaturer på innvendig flate, tilluftstemperatur og i henhold til varmetilskudd og varmetap.

### 1.3 Avgrensninger

Prosjektet "*Bruk av den dynamiske vindusmodellen i norsk klima*" er et masterprosjekt som er siste del i et masterstudium i energi og miljø i bygg ved Høgskolen i Oslo i samarbeid med Universitet i Aalborg. Dette er ett prosjekt som har en tidsramme på fire måneder og det er derfor nødvendig å gjøre noen avgrensninger for å kunne gjennomføre prosjektet på den gitte tiden.

I studiet vil det bli vurdert sommer- og vintersituasjoner for klimaet i Oslo. Videre vil det kun bli vurdert den mest solrike fasaden for de dynamiske vindusmodellene. Dette med tanke på at denne fasaden vil være den mest kritiske for vinduet om sommeren og den fasaden som vil kunne fortelle om forvarming av luft om vinteren er tilfredsstillende. Vindforhold vil ikke bli vurdert da oppgaven vil bli for stor om det skal gjøres analyser rundt strømningsforholdene i det dynamiske vinduet.

Videre er antagelsen om delvis mekanisk ventilasjon og undertrykk en forutsetning som begrenser prosjektets omfang. Ettersom vi kan anta luftstrømning fra ute til inne og ikke behøver analysere luftgjennomgangen i det dynamiske vinduet i ulike tilfeller.

### 1.4 Problemstillinger

Dette prosjektet ønsker i hovedsak å gjøre vurderinger rundt og besvare følgende problemstillinger:

- Utføre en litteraturstudie for å kartlegge omfanget av forskning på området rundt dynamiske vinduer og vinduer med lignende funksjon.
- Utarbeide et sett med vindusmodeller for evaluering gjennom simuleringer og vurdere hvilke/hvilket som har de beste egenskapene for bruk i Norge.
- Vurdere hvordan en dynamisk vindusmodell vil fungere i et kaldt norsk klima med hensyn på termisk komfort og energibetraktninger.
- Komme med anbefalinger på hvordan de dynamiske vindusmodellene bør opereres med hensyn på vær-situasjon.



## 2. Litteraturestudie

### 2.1 Innledning

En stor del av bygningsmassen i Norge og Europa er eldre bygg som ikke tilfredsstiller energikravene. Byggene må gjennom oppgraderinger og vindusindustriens svar på problemet har vært å produsere høy isolerende vinduer med tettere konstruksjoner. En konsekvens av dette er en forsegling av bygg som ikke har frisk luft tilført via ventilasjonsanlegg, og med dette har man opplevd en forverring av inneluft kvaliteten. (Climawin 2010) Vinduer er vanligvis den delen av bygningskroppen som er dårligst i henhold til termiske egenskaper. I følge Ismail og Henriquez går 10-25 % av varmetapet i bygginger gjennom vinduet ved kalde klimaforhold. (Ismail og Henriquez 2005)

En løsning på dette problemet kan være å anvende dynamiske vinduer. Andre betegnelser på denne typen vinduer er blant annet *supply air window* (McEvoy og Southall 2005) eller *ventilated double window* (Carlos, et al. 2011)

Et dynamisk vindu kjennetegnes ved at man utnytter mellomrommet mellom ytterglasset og innerglasset til å forvarme luft ved å føre uteluft inn gjennom spalter nederst i vinduet og ut i rommet gjennom spalter øverst i vinduet. (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003). Luften forvarmes ved å bruke varmen som finnes på glass mot det varme rommet og ved å utnytte solstråling slik at luften inn i rommet varmes opp og at tilluften ikke oppleves som trekk. (McEvoy og Southall 2005)

I Norge kan det være et stort potensiale for å anvende denne type vindusmodell da bygg kan rehabiliteres uten å måtte installere ventilasjonssystemer, men så vidt forfatterne har kunnet dokumentere finnes det få eller ingen referanseprosjekter eller erfaringsdata fra slike prosjekter i Norge.

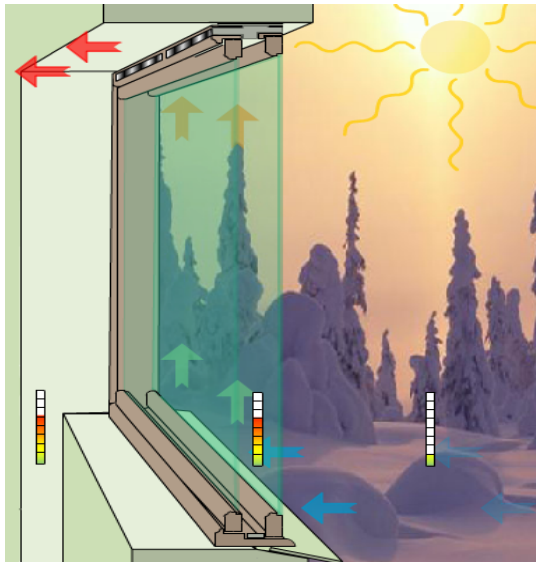
### 2.2 Ulike typer dynamiske vinduer

Sitat fra *Test cell evaluation of supply air windows to characterise their optimum performance and its verification by the use of modelling techniques* av McEvoy, Southall og Baker fra Universitet i Cambridge og Det skottske laboratoriet i Glasgow (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003):

*"The supply air window is a complex heat and mass transfer system that, when there is a difference between external and internal temperature, comprises two vertical differentially heated plates with a mixed forced and free convective flow rising between them."*

### Dynamisk vindu

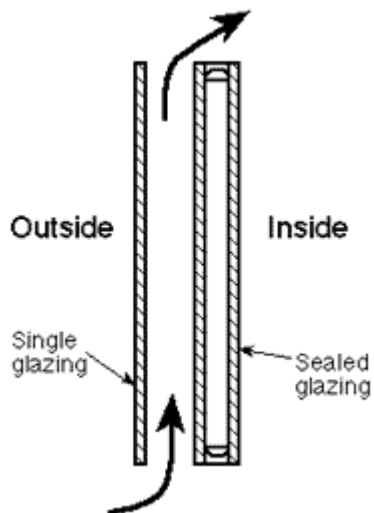
Som nevnt over er dynamiske vinduer konstruert med et ventilert hulrom mellom glassene, slik at man oppnår en oppvarming av luften ved konduksjon fra innvendig glassflate og ved solstråling. Figur 1 viser en skisse på hvordan et dynamisk vindu fungerer i en oppvarmingssituasjon.



Figur 1 Dynamisk vindusmodell i en oppvarmingssituasjon (HORN Vinduer 2011)

I følge Jennifer R. Gosselin og Qingyan Chen (Gosselin og Chen 2008) ble de første *supply air windows* utviklet så tidlig som på 1940-tallet og videre forskning på området ble utført på 70- og 80-tallet i Europa og Nord- Amerika. Teknologien er i dag på nytt interessant grunnet dagens strenge krav til helse, innemiljø og energisparing. (McEvoy og Southall 2005)

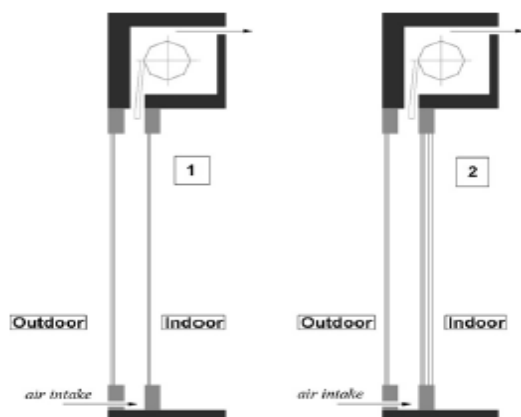
Et dynamisk vindu eller *supply air window* består ofte av to eller tre glass med et ventilert hulrom. Frisk luft entrer det ventilerte hulrommet gjennom en spalte i bunnen av vinduet og stiger i hulrommet ved skorsteinseffekt når luften varmes opp fra varmere inneflate og fra stråling fra solen når tilgjengelig. Deretter entrer den oppvarmede luften rommet gjennom en spalte på toppen av vinduet. (McEvoy og Southall 2005) Se figur 2 som viser hvordan et *supply air window* og et dynamisk vindu fungerer.



Figur 2 *Supply air window* med et enkelt glass på utside og dobbel glass på innside.  
(Elmahdy og Cornick 1990)

### ***Ventilated double window***

Carlos, Corvacho, Silva og Castro-Gomes (Carlos, Jorge S; Corvacho, Helena; Silva, Pedro D; Castro-Gomes, J P 2010) har utført studier på det de omtaler som *ventilated double window*, se figur 3.



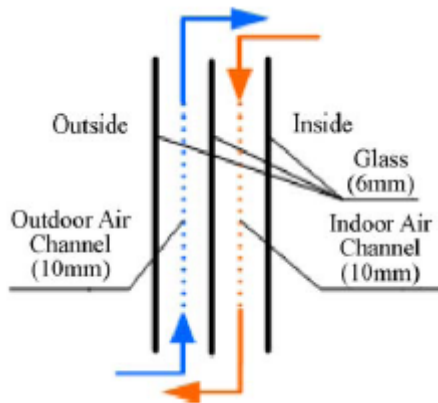
Figur 3 *Ventilated double window*  
(Carlos, Jorge S; Corvacho, Helena; Silva, Pedro D; Castro-Gomes, J P 2010)

Vindusmodellen til Carlos et. al har tilsvarende funksjon som et dynamisk vindu og *supply air window*, men har i tillegg en solskjermingsfunksjon innfelt i hulrommet. Studien konkluderte med at den oppvarmede luften som entrer rommet påvirkes av temperaturdifferansen mellom ute og inne, varme fra solstråling og lufthastigheten. (Carlos, et al. 2011). Deres studie viser fordelene med å anvende *ventilated double windows* eller tilsvarende dynamisk vindu med hensyn på redusert behov for oppvarming av bygg med tanke på ventilering.

### Dual airflow window

*Dual airflow window* er beskrevet av Gosselin og Chen i 2008 (Gosselin og Chen 2008) og Wei, Zhao og Chen i 2010 (Wei, Zhao og Chen 2010). Vindusmodellen kan sammenlignes med den dynamiske vindusmodellen.

En slik vindusmodell kan videre også sammenlignes med en varmeveksler hvor to hulrom med henholdsvis frisk luft og utkast luft utveksler varme, se figur 4.



Figur 4 *Dual airflow window*  
(Wei, Zhao og Chen 2010)

Vindusmodellen kan bidra til å spare energi når anvendt som en varmeveksler og samtidig forbedre inneluftkvaliteten. (Gosselin og Chen 2008). Gosselin og Chen skriver også at den termiske komforten vil bedres siden glassflaten inne er nærmere inneluft temperaturen enn standard vinduer.

Vifter kan anvendes for å tilføre og fjerne luft gjennom de ventilerte hulrommene slik at tvungen konveksjon dominerer. (Gosselin og Chen 2008).

## 2.3. Ventilering, lufthastighet og dybde på hulrom

### Naturlig og mekanisk ventilasjon

Ved bruk av dynamiske vinduer og lignende vindusmodeller er det vanlig å benytte naturlig ventilasjon eller mekanisk ventilasjon. Naturlig ventilasjon fungerer slik at luften i hulrommet stiger når den blir oppvarmet, dette er i henhold til skorsteinseffekten (McEvoy og Southall 2005) og vindtrykket (Carlos, Jorge S; Corvacho, Helena; Silva, Pedro D; Castro-Gomes, J P 2010). Det er også mulig å anvende vifter for å oppnå en *forced convection* effekt (Gosselin og Chen 2008), dette kan sammenlignes med mekanisk ventilasjon. Gosselin og Chen beskriver dette i sammenheng med *dual airflow windows*, fordelene med dette er at man oppnår nærmest identiske termiske egenskaper for tilluft og avtrekk siden av vinduet.

Ved bruk av mekanisk avtrekksventilasjon i bygget, eksempelvis i kjøkken og badrom, sikrer man et undertrykk i bygget slik at luft går gjennom vinduet fra ute til inne (Southall og McEvoy 2006). Ulempen med denne metoden er at den ikke kan anvendes med *dual airflow windows* siden luften kun går en retning.

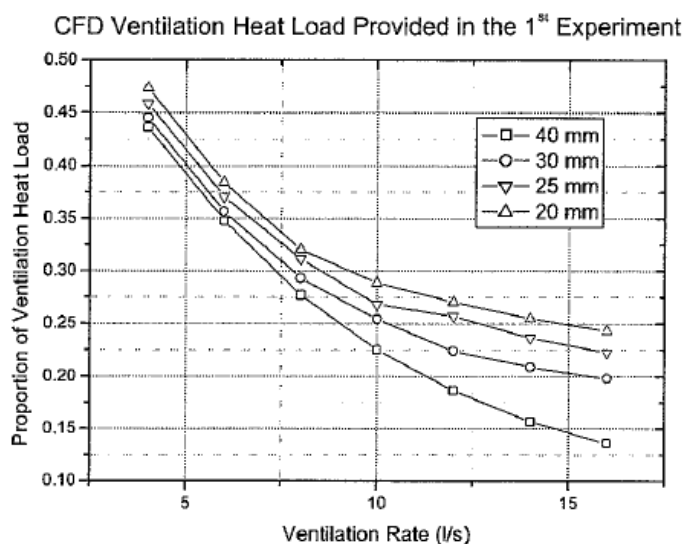
Fordi naturlig ventilasjon er drevet av oppdrift av varmere luft og vindtrykk er dette spesielt vanskelig å modellere i simuleringer, samtidige termiske- og strømningsprosesser styrer temperaturer og luftstrømninger (Carlos, et al. 2011).

### Lufthastigheter

Ved bruk av naturlig ventilasjon er lufthastigheten en funksjon av hulromsdybde, vindtrykk og oppvarming av luft, mindre hulromsdybder resulterer i høyere hastighet. Selv om større hulromsdybder har vist seg å redusere vinduets evne til å forvarme luft kan det likevel være fordelaktig å velge fordi dette reduserer følelsen av trekk med lavere hastigheter (McEvoy og Southall 2005).

Bruker man mekanisk ventilasjon, ved enten vifter i vinduet eller i bygget, kan man lettere ha kontroll over lufthastigheten og luftmengdene som går gjennom vinduet.

McEvoy og Southall testet hvordan oppvarmingsevnen til deres *supply air window* varierte i forhold til luftmengden som går gjennom vinduet, testene ble gjort i laboratorium og med CFD – beregninger (McEvoy og Southall 2005). De fant en sterk sammenheng mellom luftmengder og oppvarmingsevnen til vinduet. Figur 5 viser resultatet av CFD – beregningene, hvor det er anvendt hulromsdybder på 20, 25, 30 og 40 mm.

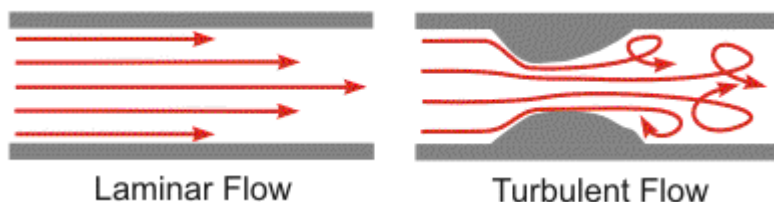


Figur 5 Resultater fra CFD – beregninger av laboratorium eksperiment (McEvoy og Southall 2005)

Studier har vist at ventilerte hulromsdybder på eller mindre enn 30 mm er interessante ved testing av dynamiske vinduer (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003)

## 2.4 Strømningsforhold

Effekten til den dynamiske vindusmodellen og tilsvarende vindusmodeller avhenger av strømningsforholdene (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003), enten laminær- eller turbulentstrømning, se figur 6.



Figur 6 Eksempel på laminær- og turbulentstrømning (Klabunde 2007)

I følge McEvoy, Southall og Baker bør turbulent strømning unngås ettersom det gir ledning av varme mellom de indre og ytre glassene. Laminær strømning derimot hindrer at varme overføres på andre måter enn stråling (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003). Videre skriver de at laminær strøm oppnås ved å optimalisere den geometriske utformingen av vinduet og hulrommet.

Studier har vist at laminær luftstrømning oppnås ved mindre hulromsdybder (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003). Ved simuleringer har man oppdaget at område for turbulent luftstrømning er hulromsdybder mellom 25 mm og 50 mm (McEvoy og Southall 2005), det ble også antydnet at oppvarmingsegenskapene til vinduet reduseres ved større hulromsdybder.

## 2.5 U-verdier og plassering av lav-E belegg

Lav U-verdi er viktig ved bruk av dynamiske vinduer i likhet med standard vinduer uten ventilering, ettersom vinduer allerede er den delen av bygningskroppen med høyest varmetap. Tidligere forskning på strømningskarakteristikken til *supply air windows* har vist at det er av viktighet å oppnå lav effektiv U-verdi (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003).

Å utvide vinduskonstruksjonen fra to til tre glass er en effektiv måte å forbedre U-verdien og oppvarmingsevnen (McEvoy og Southall 2005).

Bruk av lav-E glass i og mot hulrommet har ved tidligere studier vist seg å redusere U-verdien, samt øke oppvarmingsevnen ved ventilasjon (Southall og McEvoy 2006) og (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003). Mens andre studier av McEvoy og Southall indikerer at oppvarmingsevnen til vinduet likevel ikke forbedres betydelig ved bruk av lav-E belegg som vender mot det ventilerte hulrommet (McEvoy og Southall 2005).

## 2.6 Bruk av simuleringsverktøy ved studier av dynamiske vinduer

Simuleringsprogrammer som er laget kun for å simulere luftstrømmer i og temperaturfordeling gjennom dynamiske vinduskonstruksjoner og fasade systemer er det i følge doktoravhandlingen til Harris Poirazis kun WIS Software og BISCO som kan behandle på en tilfredsstillende måte. (Poirazis 2008)

### WIS Software

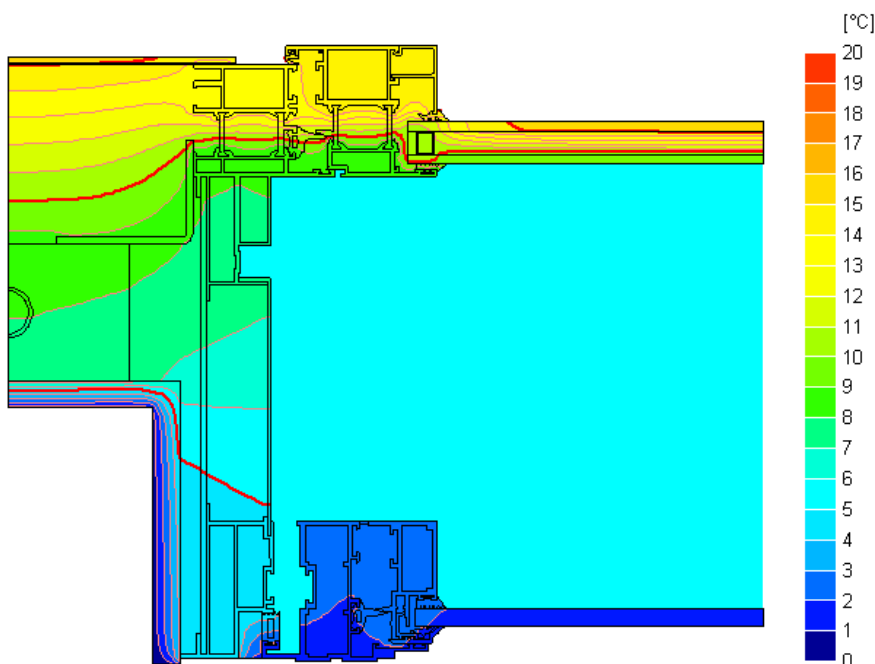
Et sitat hentet fra en rapport utarbeidet av Flamant et al. I 2004 sier følgende om WIS:

*The software WIS combines a user-friendly interface with the most advanced calculations of thermal and solar properties of window and façades. The WIS algorithms are based on international (CEN, ISO) standards, but WIS also contains advanced calculation routines for components or conditions where current standards do not apply. (Flamant, et al. 2004)*

Programmet WIS er mer omfattende omtalt i kapittel 3.4.

### BISCO

BISCO er ett program som er laget av det belgiske firmaet Physibel. Dette programmet er designet for å modellere varmetransport gjennom bygningselementer. Programmet kan beregne todimensjonal stasjonær varmetransport for alle objekter uansett form. Physibel lager også andre programmer, som kan kombineres med BISCO. TRISCO for eksempel gjør det mulig å utføre beregninger på tredimensjonale objekter og VOLTRA gjør det mulig å beregne med tidsvariasjon og ikke bare stasjonære tilfeller.



Figur 7 Temperaturfordeling gjennom en dobbeltfasade (liggende) fra BISCO (Physibel u.d.)

Det er mulig å utføre beregninger for mekanisk ventilasjon i programmene, men ikke for naturlig ventilasjon. Programmene kan også beregne varmetap og temperatur fordeling gjennom konstruksjonen, som vist i figur 7, men den mest unike funksjonen i dette programmet er at man kan foreta termiske kalkulasjoner gjennom flere objekter hvor man tar hensyn til kuldebro. (Poirazis 2008) (Physibel u.d.)

### Andre simuleringsprogrammer

Andre programmer som også kan beregne doble fasader og lignende er CAPSOL, TRNSYS, ESP-r, TAS og IDA ICE. Disse programmene er i utgangspunktet laget for å simulere hele bygningen og ikke spesifikt rettet mot en dobbel fasade eller et dynamisk vindu. (Poirazis 2008)

TRNSYS, ESP-r og TAS er kraftige energi simuleringsprogrammer som kan simulere ventilerte dobbel fasader, ventilasjons- varme- og kjøleanlegg, samt hele bygningen. Programmene er krevende for brukeren og krever erfaring og et større tidsforbruk for å mestre. CAPSOL er ett program som ikke er like omfattende som de tre nevnte, og som fra rapporten til Flamant et al. anbefales for enkelte simuleringsområder på grunn av sitt mindre krevende brukergrensesnitt. (Flamant, et al. 2004)

## 2.7 Sammenfatning av litteraturstudien

Det finnes forskning på området tilsvarende dynamiske vinduer og man kan sannsynligvis også lære mye ved å studere bruk av dobbel fasader. Ettersom denne masteroppgaven må begrenses er det i all hovedsak fokusert på forskning tilsvarende dynamiske vinduer. Funnene vil sammenfattes i dette del kapitlet.

Det ble funnet studier gjort på 3 typer vindusmodeller som kan sammenlignes med det dynamiske vinduet beskrevet i denne rapporten. De tre typene er *supply air window*, *ventilated window* og *dual air flow window*. De to første er de som ligner mest på den dynamiske vindusmodellen, mens det siste også kan sammenlignes med en varmeveksler hvor utkastluft overfører varme til innkastluften ved passering i vinduet.

I studiene som er gjennomgått er det anvendt både naturlig og mekanisk ventilasjon. Et problem med naturlig ventilasjon kan være at man har lite kontroll på hvordan luftstrømmen opptrer og om luft går inn eller ut av vinduet, ettersom dette varierer i forhold til temperatur, vindtrykk og vær-situasjonen generelt. Det er derfor særdeles komplisert å simulere for dynamiske vinduer med naturlig eller fri ventilasjon. Ved bruk av mekanisk ventilasjon kan man lettere styre luftmengdene og retning på luftstrømningene gjennom vinduet. Oppvarmingsevnen til dynamiske vinduer reduseres ettersom lufthastigheten øker.

Turbulent strømning bør unngås ettersom dette øker varmeoverføringen i luftstrømmen, turbulent strømning er indikert å oppstå i hulrom med dybde mellom 25 og 50 mm.



Unntaket kan likevel være om sommeren da man kan dra fordel av turbulent strømming for å frakte ut varme gjennom vinduet raskere. Større hulromsdybder reduserer oppvarmingsevnen til vinduet, hulromsdybder på eller mindre enn 30 mm er antatt interessante i følge Southall, McEvoy og Baker.

Studier viser at det er av viktighet å oppnå lav effektiv U-verdi ved bruk av dynamiske vinduer. Ved å utvide vinduskonstruksjonen fra to til tre glass er en effektiv måte å forbedre U-verdien og oppvarmingsevnen. Bruk av lav-E glass mot hulrommet har også vist seg å redusere U-verdien og øke oppvarmingsevnen til dynamiske vinduer, men her kan det virke som om forskingen er noe usikker ettersom McEvoy og Southall i en senere studie ikke kan konkludere med samme forbedring.

Det finnes kun et fåtall simuleringsprogrammer som kan utføre simuleringer med ventilerte hulrom slik som man finner i dynamiske vindusmodeller. I tillegg til WIS 3.0.1 kan BISCO nevnes.

## 2.8 Hvordan bør et dynamisk vindu være?

For å oppnå lavere U-verdi bør et dynamisk vindu bestå av tre eller flere glass, hvor av et glass bør være et energiglass. Mekanisk ventilasjon kan anvendes for å gjøre det enklere å styre lufthastighet og luftretning gjennom vinduet.

Hulrommet bør ha en dybde på 30 mm eller mindre, vil man oppnå laminær luftstrøm bør man ha en hulromsdybde mindre enn 25 mm. Lufthastigheten bør holdes lav for å bedre oppvarmingsevnen til vinduet, men dette må balanseres opp mot tilstrekkelige tilluftsmengder til bygget. Mindre luftmengder er særlig viktig om vinteren, slik at luften har bedre tid til å varmes opp.

En oppsummering følger:

- 3 lags glass eller mer, inkludert energiglass.
- Anvende mekanisk ventilasjon.
- Hulromsdybde mindre enn 25 mm for å oppnå laminær strømming og bedre oppvarmingsevne.
- Lave lufthastigheter, men tilstrekkelige luftmengder. Særlig om vinteren.

### 3. Bakgrunn

Dette kapitlet er ment som en orientering om de fysiske og bygningstekniske forutsetningene som ligger til grunn for det videre arbeid som er gjort i denne oppgaven. Det som er beskrevet her er generelle forutsetninger basert på det litteraturstudiet som er gjort i forkant av simuleringene, samt avgrensninger i forhold til rapporten.

#### 3.1 Vinduets egenskaper og påvirkninger

##### 3.1.1 Glasset

Hovedfunksjonen til glasset er å slippe gjennom lys, men varmeisolasjonsevnen og evnen til å slippe gjennom eller skjerme for solstråling er også viktige egenskaper. Egenskapene til glasset kan varieres blant annet med forskjellige tilsetninger i ruten og med ulike overflatebelegg. Glass leder varme forholdsvis godt. Nesten hele varmemotstanden til en rute ligger derfor i overgangsmotstanden på begge sider av ruta og varmemotstanden til hulrommene mellom glassene. (Uvsløkk 2001)

Egenskaper som brannmotstand, lydisolering og knusing vil ikke bli omtalt eller lagt vekt på ved valg av glass.

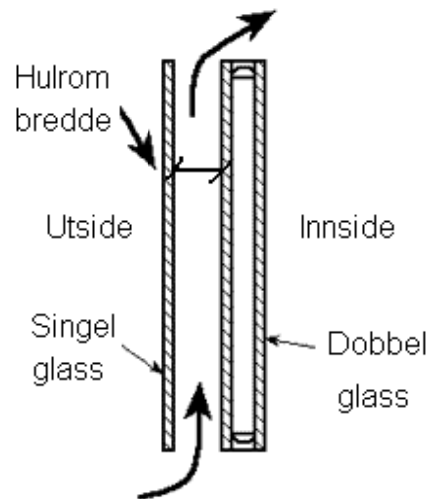
##### 3.1.2 Karmen

Vinduskarmen har oftest en dårligere U-verdi enn selve glasset. For å sette fokuset på den transparente delen av vinduet, altså glasset, er det valgt å ikke inkludere karmen i beregningene og simuleringene i denne rapporten.

##### 3.1.3 Hulrommet

Størrelsen på hulrommet i vinduet er med på å avgjøre hvor god forvarmingen av luften blir. Hvis hulrommet er for stort vil strømmingen bli turbulent og graden av forvarming vil minske på grunn av at det da vil bli mer konveksjon mellom ytre og indre glass enn om strømmingen ville vært laminær (McEvoy og Southall 2005). Figur 8 viser veien til strømmingen gjennom ett dynamisk vindu.

Climawin vinduet er produsert med 30mm hulrom i luftspalten, og siden denne rapporten skal kunne sammenliknes med de tidligere forsøk som er gjort på dette vinduet vil det også brukes denne bredden på luftspalten i vinduene i denne oppgaven.

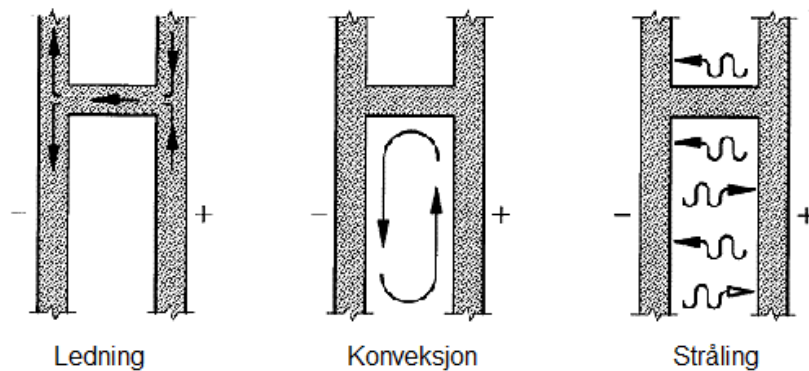


Figur 8 Oppbygning av dynamisk vindu som viser strømning gjennom hulrom (National Research Council Canada 2002)

### Konveksjon

Konveksjon, eller intern luftstrømning, skyldes at gass-sjiktet i hulrommet blir ustabil når temperaturforskjellen mellom varm og kald side kommer over en grenseverdi. Konveksjonen øker med økende hulrom tykkelse og temperaturforskjell, og vil etter hvert dominere i forhold til de øvrige transportmekanismene. Konveksjon oppstår lettere i skråstilte ruter. U-verdien for en rute er derfor høyere hvis ruta brukes i et takvindu enn om den brukes i et vindu i en vegg. Det gjelder spesielt ruter med stor hulrom tykkelse (Uvsløkk 2001). Alle simuleringer i denne rapporten vil bli utført på vertikale vinduer.

Varmetapet gjennom ett vindu foregår via ledning gjennom rammen eller gjennom luftsjiktet i form av konveksjon (1/3) og stråling (2/3), se figur 9. Varmetapet som forårsakes av stråling, kan reduseres ved å endre glassoverflatens emisjonsegenskaper. Overfor varmestråling opptrer vanlig glass nærmest som et svart legeme. Glasset absorberer ca. 85 % av varmestrålingen fra rommet og reflekterer de resterende 15 %. Man sier da at glasset har et emisjonstall på 0,85. Ved å belegge glasset med et materiale som reflekterer en større andel av varmestrålingen, kan man redusere det varmetapet som skyldes stråling. Fylles hulrommet mellom glassene med en gass som har lavere varmekonduktivitet enn luft, reduserer man varmetapet på grunn av ledning og konveksjon. (Johansen 2001)



Figur 9 Funksjonsprinsipper for ledning, konveksjon og stråling  
(Karlsson 1998)

### 3.1.4 U-verdi (varmegjennomgangskoeffisient)

U-verdien eller varmegjennomgangskoeffisienten beregnes etter standard NS-EN ISO 10077-1 (Standard Norge 2006) eller kan måles etter kravene i NS-EN ISO 12567-2 (Standard Norge 2005). U-verdien angir hvor stort varmetapet er pr.  $m^2$  av hele vinduet og pr. grad temperaturforskjell ( $W/m^2K$ ). Foruten varmetapet gjennom midtfeltet av ruta omfatter U-verdien også varmetap gjennom karm, ramme og eventuelt sprosser samt randtapet. Når man forholder seg til forskriftskrav og varmetapsberegninger, må U-verdien for hele vinduet benyttes, men i denne rapporten velges allikevel kun å se på glass delen av vinduet og senter U-verdi, som er den U-verdien som vanligvis oppgis for vindusruter. Den gjelder bare for midtfeltet av en rute, eksklusive randtap, og er derfor noe lavere enn U-verdien for et helt vindu med samme rute. Senter U-verdi beregnes etter NS-EN 673 (Standard Norge 2011) og brukes for å sammenlikne alternative ruter når det gjelder varmetap. (Uvsløkk 2001)

### 3.1.5 Termisk komfort

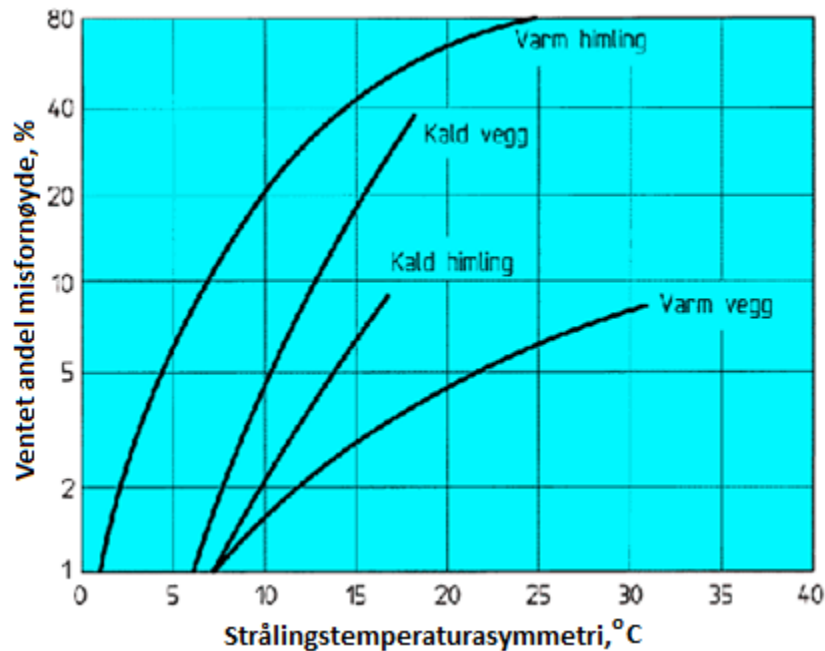
Temperaturen inne virker på mange forhold, som trivsel, komfort, arbeidslyst og arbeidsevne, arbeidshastighet (effektivitet) og arbeidsresultater fra læring til uhell, tabber og ulykker. Både for lav og for høy temperatur kan gi plager og nedsatt funksjon blant brukerne.

Termisk komfort beskriver hvordan vi mennesker opplever inn klimaet. Lufttemperaturen er ikke det eneste som beskriver termisk komfort, andre faktorer er lufthastighet, strålingstemperatur og fuktighet. (Blom, Peter 1999)

Å oppnå et akseptabelt inn klima med hensyn på energibruk er en av de vanskeligste oppgavene når man skal prosjektere et kontorbygg, særlig når fasaden består av mye glass. (Poirazis 2008)

Strålingstemperatrasymmetri er forskjellen mellom plan strålingstemperatur på de motstående sidene av en liten plan flate. Strålingstemperatrasymmetri brukes for å

karakterisere asymmetrien i den strålingen et menneske utsettes for, som for eksempel en kald vegg eller for det som er aktuelt for denne oppgaven ett kaldt vindu (Blom, Peter 1999). Figur 10 viser hvordan mennesker oppfatter strålingsasymmetri fra forskjellige flater.



Figur 10 Prosent misfornøyde som funksjon av strålingstemperaturasymmetrien. (Blom, Peter 1999)

Det å ha en tilfredsstillende temperatur på overflaten av vinduet inne i rommet samtidig som man ønsker en høyest mulig temperatur inn gjennom luftspalten er to ting som er vanskelig å kombinere. Dette prosjektet er begrenset til å ikke ta hensyn til alle parametre rundt termisk komfort og inneklima. Men ettersom simuleringene med WIS vil gi temperaturer på innsiden av glasset, vil det bli gjort vurderinger i henhold til dette. Innnetemperaturen for alle simuleringer vil være satt til 20 °C uansett årstid.

### 3.1.6 Kondens

Enkelt sagt kan kondens oppstå på en flate når denne er kaldere enn lufta omkring, og det er tilstrekkelig fuktighet tilgjengelig i lufta.

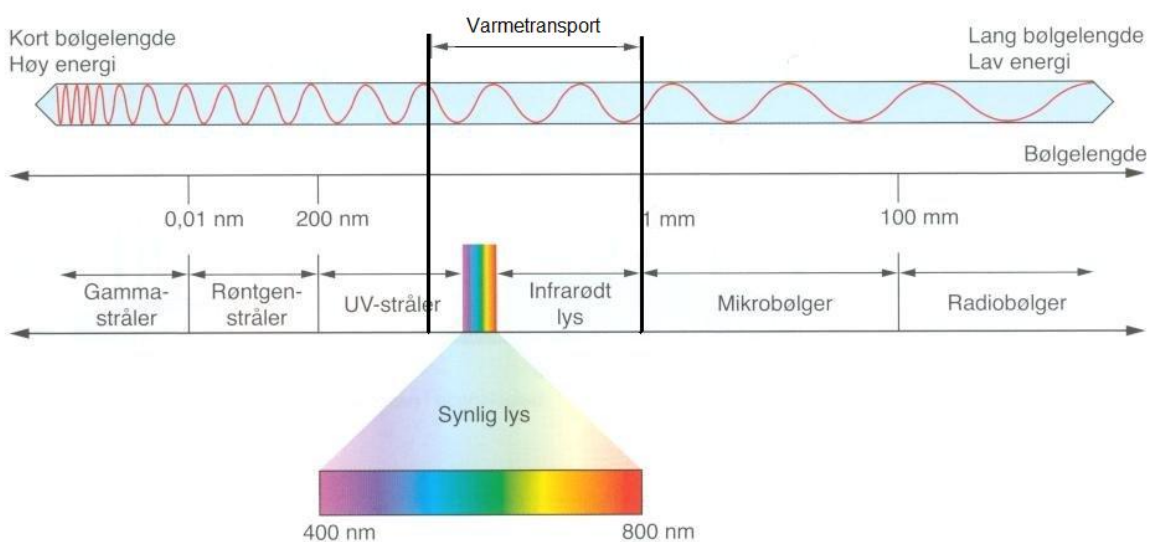
Betingelsene for kondensdannelse på utsiden av vindusruter avhenger av en kombinasjon av flere klimaforhold, blant annet uteluftens temperatur, omgivelsenes (landskap, bygninger, himmel) strålingstemperatur, relativ luftfuktighet og vindhastighet. Det er imidlertid ikke tilstrekkelig med en kald, klar og vindstille natt for at kondens skal kunne oppstå. Uteluftens relative fuktighet må i tillegg være så høy at duggpunkttemperaturen blir høyere enn den utvendige overflatetemperaturen på vindusruten. Overflatetemperaturen påvirkes på sin side av vindusrutens varmeisolasjonsevne og innnetemperatur. Konklusjonen blir da at et glass med dårlig U-verdi gir en relativt høy temperatur

utvendig i dobbelfasaden/det dynamiske vinduet, noe som bidrar til å redusere utvendig kondens. Den samme glasskvaliteten bidrar imidlertid til at innvendig temperatur blir nær utvendig temperatur. Dersom det eksisterer kritisk fuktforhold inne i dobbelfasaden/ det dynamiske vinduet, kan dette medføre innvendig kondens. (Haase og Wigenstad 2010)

Selv om kondens er et interessant og viktig område når det gjelder dynamiske vinduer blir ikke dette omtalt mer i denne rapporten på grunn av tidsrammen til prosjektet, men blir anbefalt som et videre arbeidsområde i kapittel 8.

### 3.1.7 Stråling

Elektromagnetisk stråling er energi som overføres gjennom det tomme rom eller gjennom et materielt medium i form av elektromagnetiske bølger. (Sandstad u.d.) Denne stålningen som naturlig nok stammer fra sola gir både lys og varme. Varmetransport delen av spekteret, det vil si området fra 0,1 til 100  $\mu\text{m}$  som vist på figur 11, er det som er relevant når man skal se på varmeutviklingen i vinduet som følge av solstrålingen.



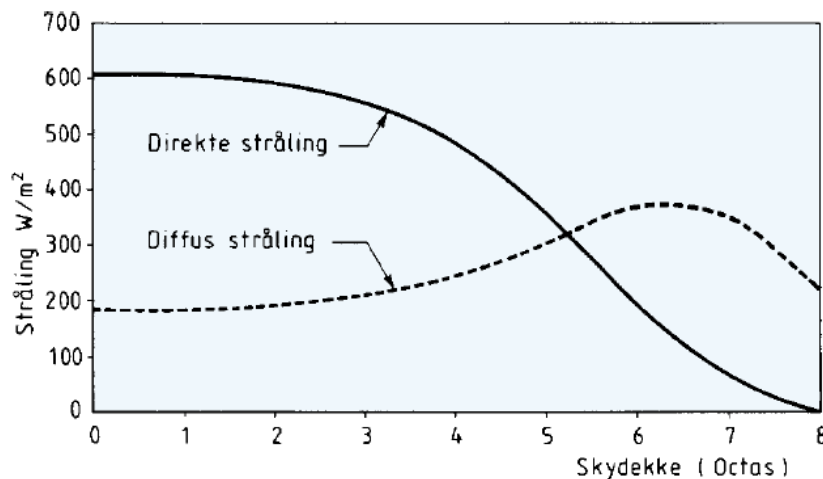
Figur 11 Elektromagnetisk spekter (NDLA u.d.)

Alle legemer sender ut og absorberer energi i form av elektromagnetisk stråling. Den termiske strålingen fra en flate varierer ved forskjellige bølgelengder, natur og temperatur. For å kunne se på hele varmeoverføringen ved stråling må man se på hele strålingsbildet. (Poirazis 2008)

Solstrålingen som treffer en bygningsflate er en kombinasjon av direkte solstråling og diffus himmelstråling som sammen kalles globalstråling. Hvis man også tar med diffus reflektert stråling fra omgivende flater kalles dette samlet for totalstråling. Den diffuse stålningen kommer av at en del av lyset blir spredd over hele himmelhvelvingen slik at himmelen blir

opplyst. Spredningen er størst for blått lys, noe som forklarer himmelens blåfarge ved klarvær. Noe av det diffuserte lyset blir reflektert tilbake ut av atmosfæren, og noe treffer jordoverflaten som diffus stråling.

(Norges Byggeforskningsinstitutt 1991)

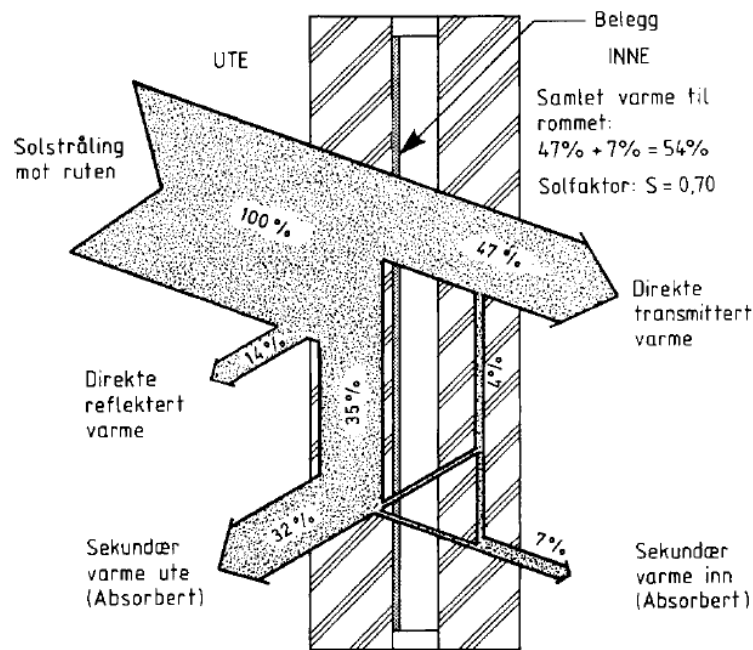


Figur 12 Direkte stråling og diffus stråling mot en horisontal flate avhengig av skydekke (skydekke 0 er helt klart vær). Kurvene er beregnet for 30.juni kl. 12 i Oslo (Norges Byggeforskningsinstitutt 1991)

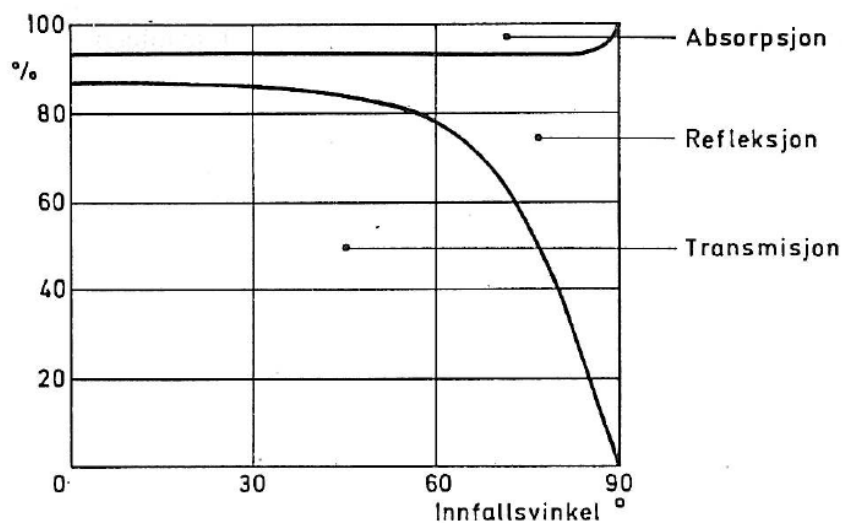
For Nord-Europa kan den diffuse strålingen utgjøre over 50 % av globalstrålingen, som figur12 viser. Til sammenligning utgjør den diffuse strålingen 25 – 30 % av globalstrålingen i ørkenområder. (Holter 2002)

### 3.1.8 Refleksjon, absorpsjon og transmisjon

Solstrålingen som treffer utsiden av en rute blir dels reflektert, dels absorbert, og dels transmittert direkte gjennom vinduet. Rutens egenskaper som glasstykkelse, antall lag og eventuelle belegg avgjør fordelingen av hva som blir reflektert, absorbert og transmittert. Figur 13 viser eksempelet på fordelingen av strålingen gjennom en rute, og at den absorberte strålingen kan avgi en form for sekundær transmisjon til innsiden. Innfallsvinkelen på strålingen er også avgjørende i forhold til fordeling av hva som blir reflektert, absorbert og transmittert. Som figur 14 viser vil nesten alt reflekteres hvis strålingen kommer vinkelrett på ruten.



Figur 13 Eksempel på refleksjon, absorpsjon og transmisjon i en solkontrollrute (Norges Byggeforskningsinstitutt 1991)



Figur 14 Absorpsjons-, transmisjons- og refleksjonsfaktor for solstråling som funksjon av innfallsvinkel (et lag 3mm glass) (Blom og Larsen 1992)

### 3.1.9 g-verdi (solfaktor)

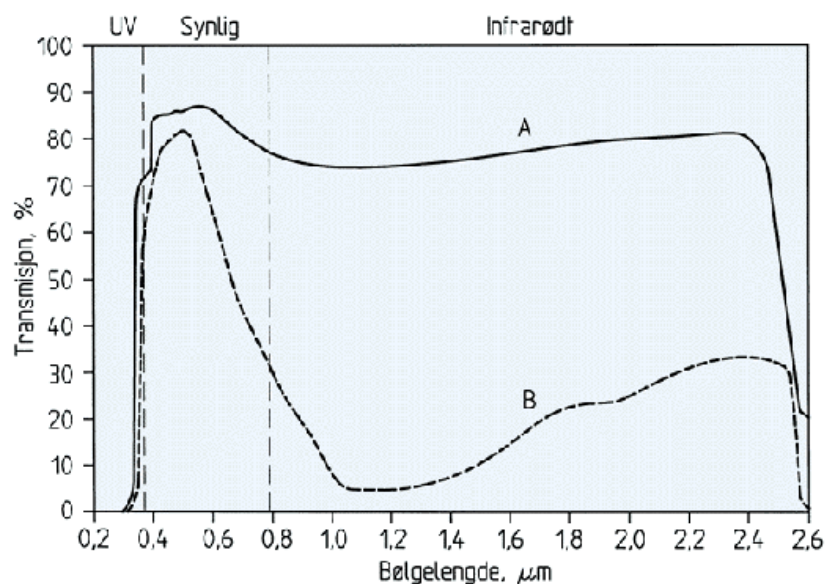
En del av solstrålingsvarmen går direkte gjennom ruta til rommet innenfor, dette kalles for direkte solenergitransmisjon. Resten av strålingsvarmen blir reflektert eller absorbert. Den absorberte solstrålingen fører gjerne til at rutas temperatur blir høyere enn romtemperaturen. Noe av strålingsvarmen som er absorbert i ruta, blir derfor overført til



rommet (sekundær solenergitransmisjon). Samlet solenergitilførsel til rommet består av direkte transmittert og sekundært transmittert solenergi.

Total solfaktor eller g-verdien er et uttrykk for hvor stor del av solstrålingsvarmen som slipper inn gjennom en rute og er definert som forholdet mellom samlet solenergitilførsel til rommet dividert med solenergien som treffer utsiden av ruta. Høy solfaktor er vanligvis ønskelig i bygninger der solenergien kan utnyttes for å redusere fyringsbehovet, som er tilfelle i de fleste boliger.

Transmisjonskurvene i figur 15 viser hvor store forskjeller det kan være for den infrarøde strålingen (kortbølget varmestråling) når det gjelder transmisjon gjennom et klart glass (A) og grått, varmeabsorberende glass (B). Transmisjonen av synlig lys er tilnærmet det samme for de forskjellige glassene. (Uvsløkk 2001)



Figur 15 Transmisjonskurver for klart glass (A) og grått, varmeabsorberende glass (B) (Uvsløkk 2001)

### 3.1.10 Skjerming

I land som ligger i områder med høy breddegrad, slik som Norge, er det vinterstid behov for oppvarming, og bygningskroppen bør derfor motta mye solinnstråling. Om sommeren derimot er det nødvendig med solskjerming for å unngå for mye solinnstråling som fører til et høyt kjølebehov (Chwieduk 2009).

Det er valgt å utføre simuleringer med utvendig solskjerming, i form av persiener, på de dynamiske vinduene for sommer periodene. Dette for at man kan se hvordan anvendelse av solskjerming på dynamiske vinduer påvirker kjølebehovet. Solskjermingen er kun simulert for sommerdagene 16. juni og 22. juni (se kapittel 4.2.3), i de timer hvor strålingsfluksen

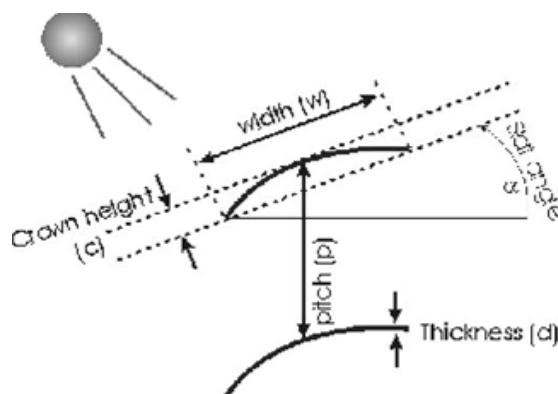
overstiger  $175 \text{ W/m}^2$ . Valgt verdi for anvendelse av solskjermingen er på bakgrunn av NS 3031. (Standard Norge 2007)

Utvendig solskjerming er valgt i forbindelse med de dynamiske vinduene, da hensikten er å stoppe solinnstrålingen før den treffer vinduet og dette dermed er den beste måten å kontrollere solinnstrålingen (Ralegaonkar og Gupta 2010). Videre er det valgt å anvende persienner som skjermingsmetode fra produsenten Hunter Douglas (Hunter Douglas Group u.d.). Figur 16 viser et eksempel på persienner.



Figur 16 Eksempel på persienner  
(Kjells Markiser u.d.)

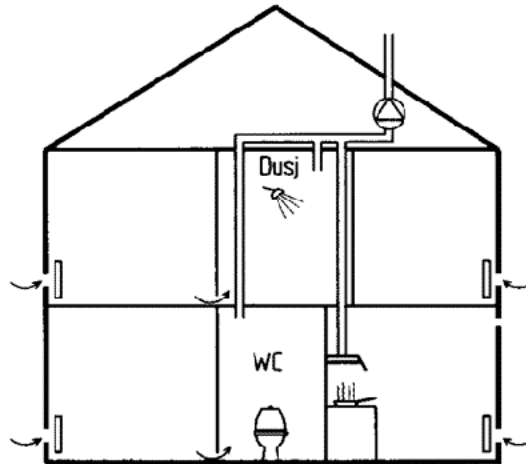
Persiennene er med lameller på 50 mm og med avstand 42,5 mm mellom disse. Vinkel på lamellene ble satt til 45 grader. Lamellene er flate, slik at *crown height* er lik null, og tykkelsen er 0,22 mm. Se figur 17.



Figur 17 Oppbygning av lameller  
(Windat 2004)

### 3.1.11 Mekanisk avtrekksventilasjon

Vifter suger avtrekksluften ut av rommene og friskluft tilføres gjennom ventiler og utettheter i bygningskonstruksjonen, som vist i figur 18. Systemet er i prinsippet det samme som ved naturlig ventilasjon, bare med den forskjell at det er vifter som er hoveddrivkraften. Ulemper med mekanisk avtrekksventilasjon er blant annet dårlig komfort (trekk), stort ventilasjonsvarmetap ved anbefalt luftmengde og støy dersom anlegget har mangelfull lyddemping. (Skåret og Blom 1994) Ved å benytte de dynamiske vinduene i stedet for tradisjonelle ventiler i vinduene håper man å kunne skape en bedre komfort.



Figur 18 Mekanisk avtrekksventilasjon i en enebolig  
(Skåret og Blom 1994)

For dette prosjektet er det tenkt at man bruker mekanisk avtrekksventilasjon. Antagelsen om mekanisk avtrekksventilasjon som gir undertrykk i bygget er en forutsetning som begrenser oppgavens omfang. Ettersom man kan anta luftstrømning fra ute til inne og ikke behøver analysere luftgjennomgangen i det dynamiske vinduet i ulike tilfeller. Det er valgt å sette det mekaniske avtrekket til 8 l/s som anses som en vanlig luftmengde gjennom ett dynamisk vindu i artikkelen til McEvoy, Southall og Baker fra 2003. (McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H 2003) I tillegg til dette vil det bli utført simuleringer med halvert luftmengde, altså 4 l/s. Dette gjøres for å se hvilken innvirkning halvering av luftmengden har på vinduets egenskaper. I tillegg til dette var forsøk i flere forskningsartikler på området utført med mindre luftmengde enn 8 l/s som gjorde at det var mer fornuftig å halvere enn og for eksempel doble luftmengden. (McEvoy og Southall 2005)

### 3.2 Hvordan finne værdata?

Lokale klimadata med timeverdier for et referanseår er utarbeidet fra oppdaterte klimadatabaser etter reglene i NS-EN ISO 15927-4 "Bygningers hygrotermiske egenskaper. Beregning og presentasjon av klimadata. Del 4: Timesdata for fastsettelse av årlig energibehov til oppvarming og kjøling." (Standard Norge 2005)

For dynamisk kontrollberegning mot offentlige krav brukes klimadata for standard referanseår med timeverdier, som består av 8760 timeverdier for følgende meteorologiske elementer:

- Temperatur [°C]
- Relativ luftfuktighet [%]
- Vindhastighet [m/s]
- Vindretning [0° - 360°]
- Direkte normal strålingsfluks [W/m<sup>2</sup>]
- Diffus horisontal strålingsfluks [W/m<sup>2</sup>]

(Standard Norge 2007)

Værdata med timeverdier for et standard referanseår med beregnede gjennomsnittsverdier for temperaturer og strålingsfluks per dag finnes i vedlegg M.

### 3.3 WIS Software

#### 3.3.1 Generelt

WIS er et allsidig europeisk software verktøy som kan bidra til å fastsette egenskapene til vindussystem (glass, ramme, solskjerming o. a) og vinduskomponentene. Verktøyet inneholder databaser med komponentegenskaper og rutiner for kalkulering. WIS verktøyet er utviklet i WIS prosjektet under perioden 2004-2006. (Windat u.d.)

Programmet inneholder funksjoner mange andre simuleringsprogrammer ikke har. Viktigst for dette prosjektet er WIS verktøyets evne til å kunne beregne dobbel fasader og dynamiske vinduer. Én av de unike egenskapene til WIS verktøyet er dets evne til å konstruere kombinasjoner av glass og skjermingsalternativer og muligheten til å simulere fri eller tvungen luftsirkulasjon mellom lagene. Dette gjør WIS i stand til å kalkulere termisk ytelse og g-verdi for komplekse vinduer. (Dijk 2003)

WIS 3 er bygd på algoritmer basert på internasjonale (CEN, ISO) standarder, som NS-ISO standard 15099. (Standard Norge 2003)

### 3.3.2 Utdata fra WIS

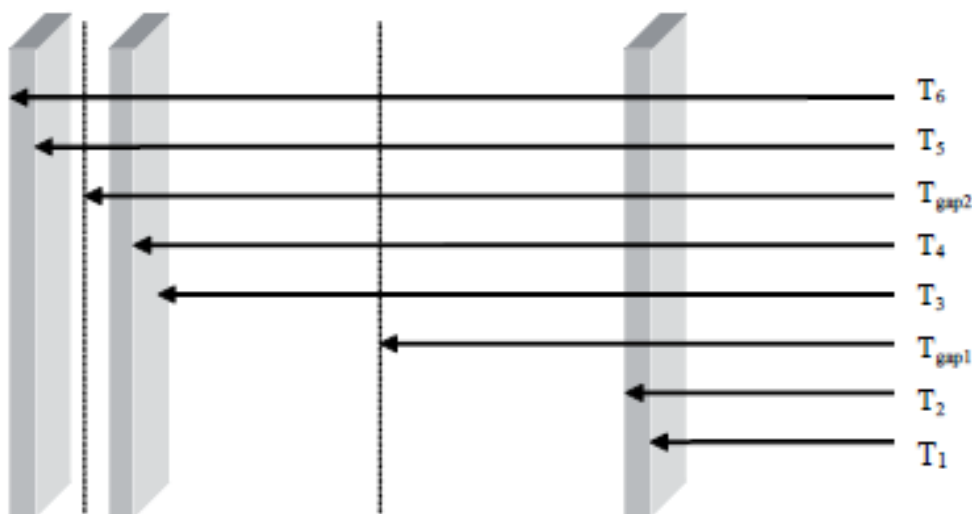
I dette prosjektet vil WIS verktøyet i all hovedsak bli benyttet til å finne følgende data:

- U-verdi
- g-verdi
- Temperatur i hulrom
- Uttakstemperatur
- Innvendig overflatetemperatur

### 3.3.3 Temperatur i ulike lag av vinduskonstruksjonen

Følgende er i all hovedsak hentet fra doktor avhandlingen til Harris Poirazis (Poirazis 2008) og ISO Standard 15099 (Standard Norge 2003). Avsnittene som følger beskriver hvordan WIS 3 kalkulerer dataen som hentes ut.

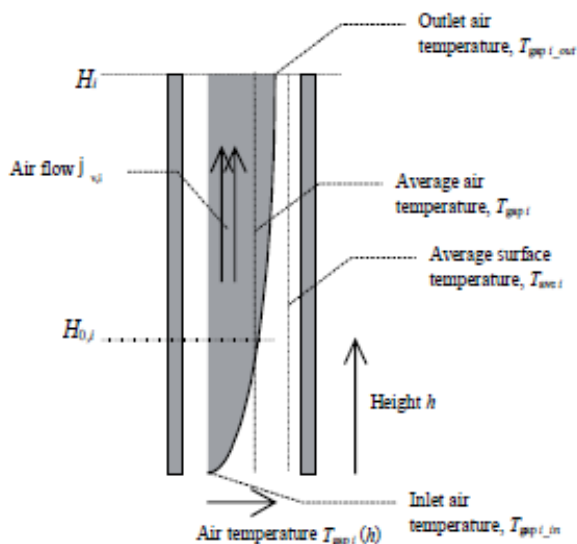
WIS 3 kalkulerer temperaturen i de ulike lagene av vinduskonstruksjonen, temperaturene er henholdsvis fra glassflater og senter hulrom mellom glassene, som vist i figur 19.



Figur 19 Viser temperaturer man kan hente ut i WIS 3. Uten solskjerming. (Poirazis 2008)

### 3.3.4 Beregning av temperaturer ved ulike i høyder i hulrommet

WIS 3 følger ISO Standard 15099 (2003) ved å anta at gjennomsnittlig luft hastighet i hulrommet er kjent, slik at temperaturprofilen og varmestrømmen kan kalkuleres. (Poirazis 2008)



Figur 20 Luftstrømning i hulrommet til et vindussystem. (Poirazis 2008)

På grunn av luftstrømmen og oppvarming fra innvendig flate og eventuell solinnstråling vil temperaturen oppover i spalten variere ved ulike høyder. (Se figur 20). (Poirazis 2008)

Temperaturprofilen i hulrommet er gitt ved:

Formel 1 Temperatur i hulrommet  
(Standard Norge 2003)

$$T_{gap,i}(x) = (T_{av,i} - T_{gap,i})e^{-x/H_{0,i}}$$

Hvor:

$T_{gap,i}(x)$  er lufttemperaturen i hulrommet i posisjon  $x$  i meter, [Kelvin]

$H_{0,i}$  er karakteristisk høyde (temperatur gjennomgangs lengde), [m]

$T_{gap,i}$  er temperaturen til luften som kommer inn i spalten, [Kelvin]

$T_{av,i}$  er gjennomsnittlig temperatur på flatene til lagene  $i$  og  $i+1$ , gitt fra følgende formel:

Formel 2 Gjennomsnittlig temperatur på flatene til lagene i og i+1  
(Standard Norge 2003)

$$T_{av,i} = \frac{(T_{b,i} + T_{f,i+1})}{2}$$

Hvor:

$T_{av,i}$  er gjennomsnittlig temperatur på flatene til lagene i og i+1, [Kelvin]

$T_{b,i}$  er temperaturen på flaten til lag (glass, film eller skjerming) i, vendt mot hulrom i, [Kelvin]

$T_{f,i+1}$  er temperaturen på flaten til lag (glass, film eller skjerming) i+1, vendt mot hulrom i, [Kelvin]

Videre er den karakteristiske høyden ( $H_{0,i}$ ) til temperaturprofilen definert slik:

Formel 3 Karakteristisk høyde  
(Standard Norge 2003)

$$H_{0,i} = \frac{\rho_i * c_p * b_i}{2h_{cvl,i}} * V_i$$

Hvor:

$H_{0,i}$  er karakteristisk høyde (temperatur gjennomgangs lengde), [m]

$\rho_i$  er tettheten til luft ved temperaturen  $T_{gap,j}$ , [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  er spesifikk varmekapasitet, [J/kg\*K]

$b_i$  er dybden til hulrommet i, [m]

$V_i$  er gjennomsnittlig hastighet av luftstrømmen i hulrommet i, [m/s]

$2h_{cvl,i}$  er varmegjennomgangskoeffisienten for ventilerte hulrom, [W/m<sup>2</sup>K]

Videre regnes temperaturen på luften fra vinduspalten inn rommet:

**Formel 4 Temperatur på luften fra spalten**  
(Standard Norge 2003)

$$T_{gap,i,out} = T_{av,i} - (T_{av,i} - T_{gap,i,inl})e^{-H_i/H_{0,i}}$$

Hvor:

$T_{gap,i,out}$  er lufttemperaturen fra spalten i vinduet, [Kelvin]

$T_{av,i}$  er gjennomsnittlig temperatur på flatene til lagene i og i+1, [Kelvin]

$T_{gap,i,inl}$  er lufttemperaturen inn i spalten i vinduet, [Kelvin]

$H_{0,i}$  er karakteristisk høyde (temperatur gjennomgangs lengde), i [m]

$H_i$  er høyden på hulrommet, i [m]

WIS 3.0.1 beregner gjennomsnittstemperaturen i hulrommet på følgende måte:

**Formel 5 Gjennomsnittstemperatur i hulrommet**  
(Standard Norge 2003)

$$T_{gap,i} = \frac{1}{H_i} \int_0^H T_{gap,i}(x) * dx = T_{av,i} - \frac{H_{0,i}}{H_i} (T_{gap,i,out} - T_{gap,i,inl})$$

Hvor:

$T_{gap,i}$  er ekvivalent gjennomsnittstemperatur i hulrommet, [Kelvin]

$T_{av,i}$  er gjennomsnittlig temperatur på flatene til lagene i og i+1, [Kelvin]

$H_{0,i}$  er karakteristisk høyde (temperatur gjennomgangs lengde), i [m]

$H_i$  er høyden på hulrommet, i [m]

$T_{gap,i,out}$  er lufttemperaturen fra spalten i vinduet, [Kelvin]

$T_{gap,i,inl}$  er lufttemperaturen inn i spalten i vinduet, [Kelvin]



### 3.3.5 Tilfeller uten skjerming i hulrom

I et ventilert hulrom, grunnet luft bevegelser, vil den konvektive varmegjennomgangskoeffisienten øke. Ved tilfeller hvor det ikke benyttes skjerming i hulrommet er  $T_{av}$  den gjennomsnittlige verdien av  $T_2$  og  $T_3$ .

Varmegjennomgangskoeffisienten kan beregnes etter følgende formeler:

Formel 6 Varmekoeffisient for ventilerte hulrom  
(Standard Norge 2003)

$$q_{cv,b,i} = h_{cdv,i} - (T_{b,i} - T_{gap,i})$$

og

$$q_{cv,f,i+1} = h_{cv,i}(T_{gap,i} - T_{f,i+1})$$

Hvor  $h_{cv,i}$  er gitt ved:

Formel 7 Varmekoeffisient for ventilerte hulrom  
(Standard Norge 2003)

$$h_{cv,i} = 2h_{cv,i} + 4V_i$$

Hvor:

$q_{cv,b,i}$  er konvektiv varmegjennomgangskoeffisient fra den ene flaten til hulrommet, i [W/m<sup>2</sup>]

$h_{cv,i}$  er flate til luft varmegjennomgangskoeffisient ved konduksjon / konveksjon for ventilerte hulrom

$q_{cv,f,i+1}$  er konvektiv varmegjennomgangskoeffisient fra hulrommet til den andre flaten, i [W/m<sup>2</sup>]

$h_{cdv,i}$  er flate til flate varmegjennomgangskoeffisient ved konduksjon / konveksjon for uventilerte hulrom

$V_i$  er gjennomsnittshastigheten til luftstrømmen i hulrommet, [m/s]

Og med (samme som for uventilert tilfelle):

$T_{gap,i}$  er ekvivalent gjennomsnittstemperatur i hulrommet, [Kelvin]

$T_{b,i}$  er temperaturen på flaten  $i$  (ytterst) vendt mot hulrommet

$T_{f,i+1}$  er temperaturen på flaten  $i + 1$  (innerst) vendt mot hulrommet

Ved lufthastighet lik null, vil beregningene for ventilert hulrom tilsvare beregningene for uventilert hulrom.

## 4. Simuleringer

### 4.1 Oppbygning av vinduene

For å finne ut hvordan det dynamiske vinduet vil fungere for norsk klima må det testes ut flere typer vinduer for å forsøke å finne den vindu sammensetningen som gir best resultat under disse forholdene. Ved å konstruere flere sammensetninger av glass, hulromsdybder og luftspalter ønsker man å vurdere hvilke kombinasjoner som egner seg best for norsk sommer- og vinterklima.

For å få ett best mulig sammenlikningsgrunnlag for de forskjellige vinduene er det valgt å bruke de samme type rutene, samme bredde på hulrommene og samme type gass i hulrommene. Dette gjør det enklere å se hvilke kombinasjoner som vil fungere best og ikke nødvendigvis bare teste materialeegenskaper opp mot hverandre. I denne rapporten er det valgt å teste fire forskjellige vindu sammensetninger med to forskjellige luftmengder gjennom den ventilerte spalten. Det er som tidligere beskrevet valgt å benytte luftmengder på 8 l/s og 4 l/s. Vinduene som har 8 l/s gjennom det ventilerte hulrommet betegnes med stor bokstav, for eksempel vindu A, mens de med halv luftmengde betegnes med liten bokstav, for eksempel vindu a.

Glassene som er brukt i de forskjellige vinduskombinasjonene er ett 6mm klarglass og ett 6mm energiglass. Se spesifikasjoner i henholdsvis figur 21 og 22. Størrelsen på vinduene er satt til CEN Standard, det vil si at de er 1,23m brede og 1,48m høye noe som gir ett areal på 1,82 m<sup>2</sup>. (CEN 2010)

**pane**

name:  ID:  **Info**

product name:

Supplier:  Acceptance:

Group:  **This data has been reviewed by the WINDAT organization**

thickness:  mm therm.conductivity:  W/(m.K)

corrected emissivity $\epsilon$ [-]		transmittance [-]	
outdoor	indoor		
ir	<input type="text" value="0,837"/>	<input type="text" value="0,837"/>	<input type="text" value="0,000"/>

	reflectance [-]		transmittance [-]	Ra
	outdoor	indoor		
solar	<input type="text" value="0,081"/>	<input type="text" value="0,081"/>	<input type="text" value="0,818"/>	<input type="text" value="99"/>
visual	<input type="text" value="0,084"/>	<input type="text" value="0,084"/>	<input type="text" value="0,896"/>	
UV	<input type="text" value="0,061"/>	<input type="text" value="0,061"/>	<input type="text" value="0,542"/>	

single layer (no coating etc)  spectral properties as input

Figur 21 Spesifikasjoner for 6mm klarglass (Windat 2004)

**pane**

name: Energy6.gvb ID: 2756 Info

product name: Thermoplus Energy

Supplier: GLAVERBEL S.A. Acceptance:

Group: WINDAT 3.1 **This data has been reviewed by the WINDAT organisation**

thickness: 6 mm therm.conductivity: 1,000 W/(m.K)

corrected emissivity  $\epsilon$  [-]

	outdoor	indoor	transmittance [-]
ir	0,837	0,037	0,000

	outdoor	indoor	transmittance [-]	Ra
solar	0,247	0,366	0,431	97
visual	0,066	0,062	0,781	
UV	0,089	0,205	0,082	

single layer (no coating etc)  spectral properties as input

UC

Figur 22 Spesifikasjoner for 6mm energiglass  
(Windat 2004)

De forseglede hulrommene i vinduene uten ventilering fylles med en gass blanding bestående av 90 % argon og 10 % luft, øvrige spesifikasjoner står i figur 23.

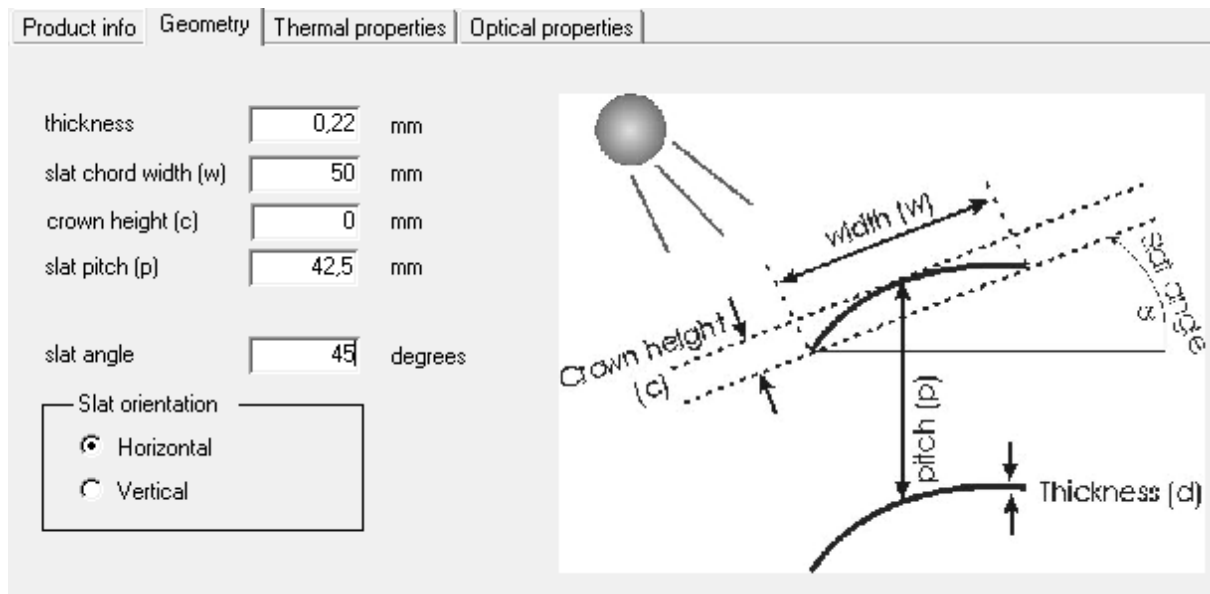
**Gas\_mix**

Gasmix\_id: 8 name: Air-Argon 10/90

	-10 oC	0 oC	10 oC	20 oC
Conduction [W/(m.K)]:	0,01659	0,01712	0,01765	0,01818
Dynamic Viscosity [kg/(m.s)]:	2,0E-05	2,1E-05	2,1E-05	2,2E-05
Density [Kg/m3]:	1,7787	1,6811	1,6523	1,5949
Cp [J/(kg.K)]:	567,9	567,9	567,9	567,9

Figur 23 Spesifikasjoner for argon-luft blandingen  
(Windat 2004)

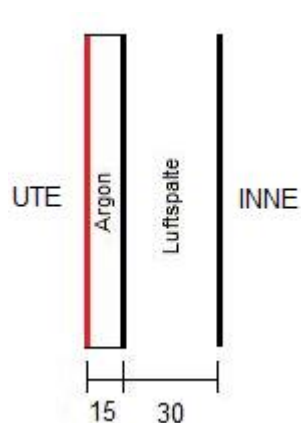
For sommerdagene er det også utført simuleringer for alle vinduene med utvendige persienner. Det er valgt å benytte persienner med 50mm horisontale lameller og en konstant vinkel på lamellene på 45 grader, som vist i figur 24. Simuleringene utført med persienner omtales med klammeparentes rundt vindusbetegnelsen. Det vil si at vindu [B] betyr simulering for vindu B med utvendige persienner ventilert med 8 l/s i hulrommet, ettersom det er betegnet med stor bokstav.



Figur 24 Spesifikasjoner for geometrien til de utvendige persiennene (Windat 2004)

U-verdiene som står oppgitt for hvert vindu er hentet fra simuleringer gjort i WIS med lukket luftspalte, det vil si at vinduet er uventilert. Simuleringene er utført for sommer og vinter i henhold til NS-ISO 15099:2003 "Termiske egenskaper til vinduer, dører og skjerming. Detaljerte beregninger" (Standard Norge 2003). For vinduene med utvendige persiener er U-verdien simulert med persiennene nede.

### Vindu A/a



Figur 25 Vindu A/a

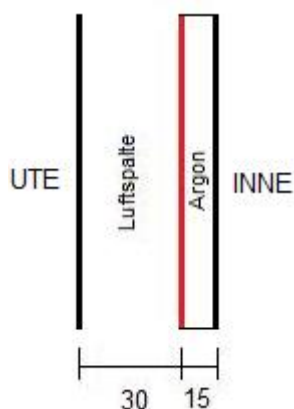
Den ytterste delen av vindu A/a (figur 25) består av ett 6mm energiglass (rød linje), det vil si ett glass med bedre isoleringsevne, og ett 6mm klarglass. Mellom disse er det ett 15mm forseglet hulrom fylt med argon gass. Luftspalten er som for alle vinduene 30mm, og innerst mot oppvarmet side er det ett lag med 6mm klar glass.

U-verdi for vindu A/a ved tett luftspalte:

Vinter:  $0,891 \text{ W/m}^2\text{K}$  Sommer:  $0,897 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-verdi for vindu [A]/[a] ved tett luftspalte og persiener:

Vinter:  $0,788 \text{ W/m}^2\text{K}$  Sommer:  $0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Vindu B/b**

Figur 26 Vindu B/b

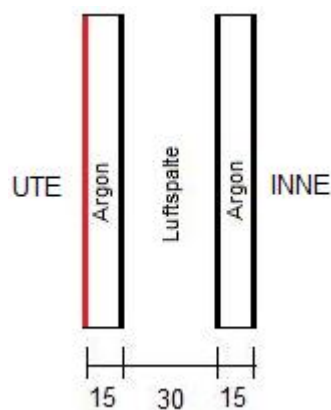
Vindu B/b (figur 26) er det tilnærmet det motsatte av vindu A/a, ytterst er det ett 6mm lag klarglass. Innerst er det ett forseglet lag med 15mm argon gass med ett 6mm energiglass inn mot den 30mm brede luftspalten på den ene siden og ett 6mm klarglass mot innsiden.

U-verdi for vindu B/b ved tett luftspalte:

Vinter: 0,885 W/m<sup>2</sup>K    Sommer: 0,899 W/m<sup>2</sup>K

U-verdi for vindu [B]/[b] ved tett luftspalte og persienner:

Vinter: 0,783 W/m<sup>2</sup>K    Sommer: 0,671 W/m<sup>2</sup>K

**Vindu C/c**

Figur 27 Vindu C/c

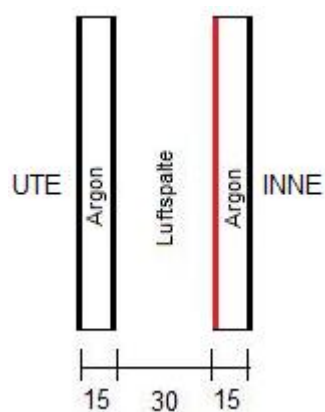
Vindu C/c (figur 27) er tilnærmet lik konstruksjonen for vindu A/a, men i tillegg til det ene 6mm laget med klarglasset innerst er det satt på ett lag til med 6mm klarglass. Det 15mm brede hulrommet mellom glassene er fylt med argon gass.

U-verdi for vindu C/c ved tett luftspalte:

Vinter: 0,751 W/m<sup>2</sup>K    Sommer: 0,769 W/m<sup>2</sup>K

U-verdi for vindu [C]/[c] ved tett luftspalte og persienner:

Vinter: 0,677 W/m<sup>2</sup>K    Sommer: 0,582 W/m<sup>2</sup>K

**Vindu D/d**

Figur 28 Vindu D/d

Vindu D/d (figur 28) er tilnærmet samme konstruksjon som vindu C/c bortsett fra at energiglasset er flyttet til den innerste delen mot hulromsiden istedenfor å stå helt ytterst. Der hvor energiglasset var plassert er det nå satt inn ett 6mm klarglass.

U-verdi for vindu D/d ved tett luftspalte:

Vinter: 0,741 W/m<sup>2</sup>K    Sommer: 0,771 W/m<sup>2</sup>K

U-verdi for vindu [D]/[d] ved tett luftspalte og persienner:

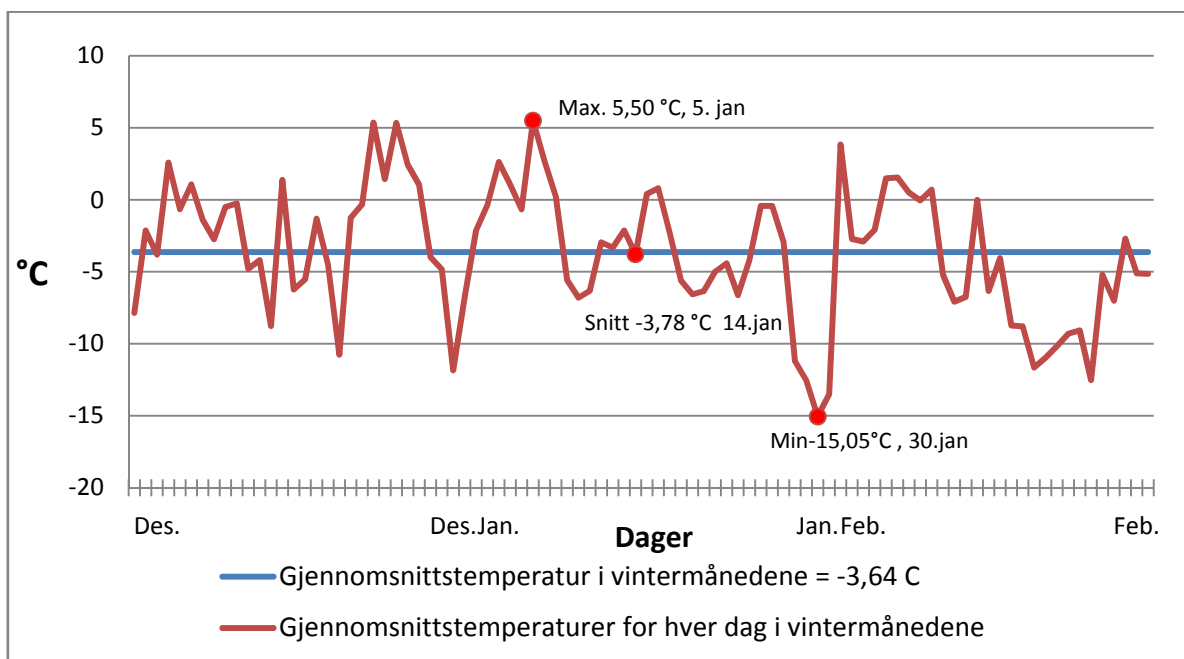
Vinter: 0,669 W/m<sup>2</sup>K    Sommer: 0,583 W/m<sup>2</sup>K

## 4.2 Behandling av værdata

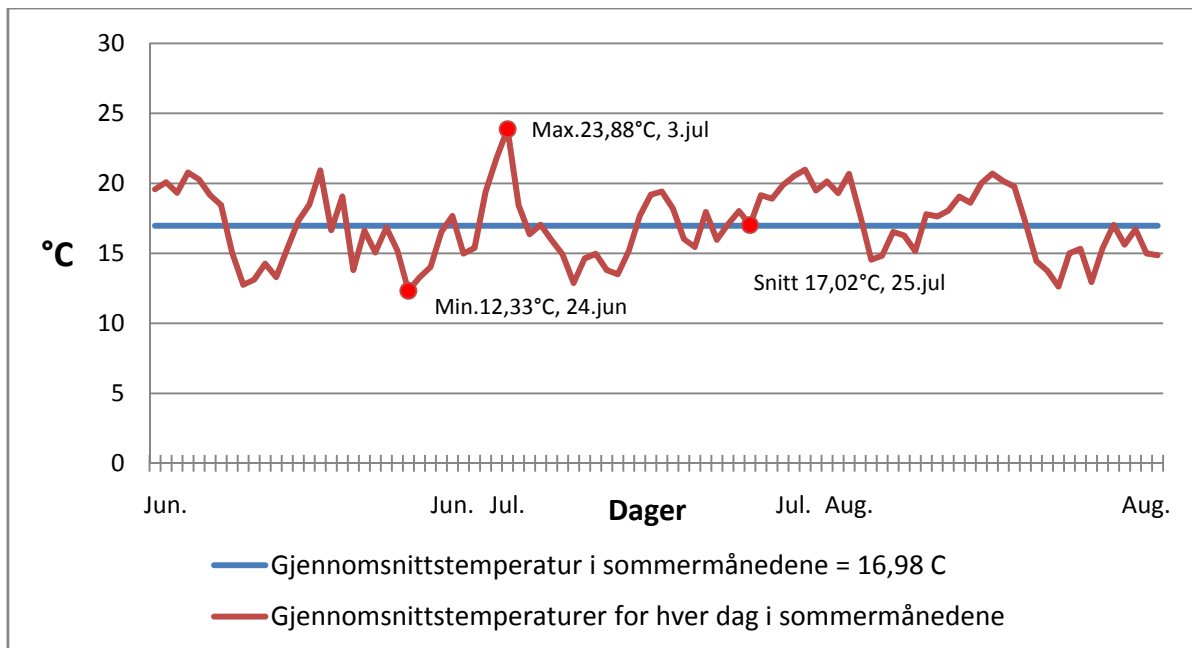
Værdataene brukt i denne rapporten er hentet fra et standard referanseår, som beskrevet i kapittel 2.4. De måledataene som er interessante for denne rapporten er temperaturen [°C], direkte normal strålingsfluks [ $\text{W/m}^2$ ] og diffus horisontal strålingsfluks [ $\text{W/m}^2$ ]. Dataene er målt for alle 8760 timene i året. For simuleringene som er utført i denne rapporten fokuseres det kun på sommer- og vintermånedene. Juni, juli og august er medregnet i sommermånedene, mens desember, januar og februar regnes som vinter måneder.

### 4.2.1 Temperatur

Første steg ved kartlegging av værdata er å beregne ut gjennomsnittstemperaturer for samtlige dager. Beregnede verdier er plottet inn i figur 29 for vintermånedene og figur 30 for sommermånedene. I figurene er det markert for gjennomsnittstemperatur for alle vinter- og sommermånedene, den dagen med høyest gjennomsnittstemperatur (Max) og dagen med lavest gjennomsnittstemperatur (Min). Den dagen som er merket med snitt i figuren markerer den dagen med temperatur som ligger nærmest gjennomsnittstemperaturen for vinter- og sommerperioden.



Figur 29 Gjennomsnittstemperaturer for samtlige dager i vintermånedene

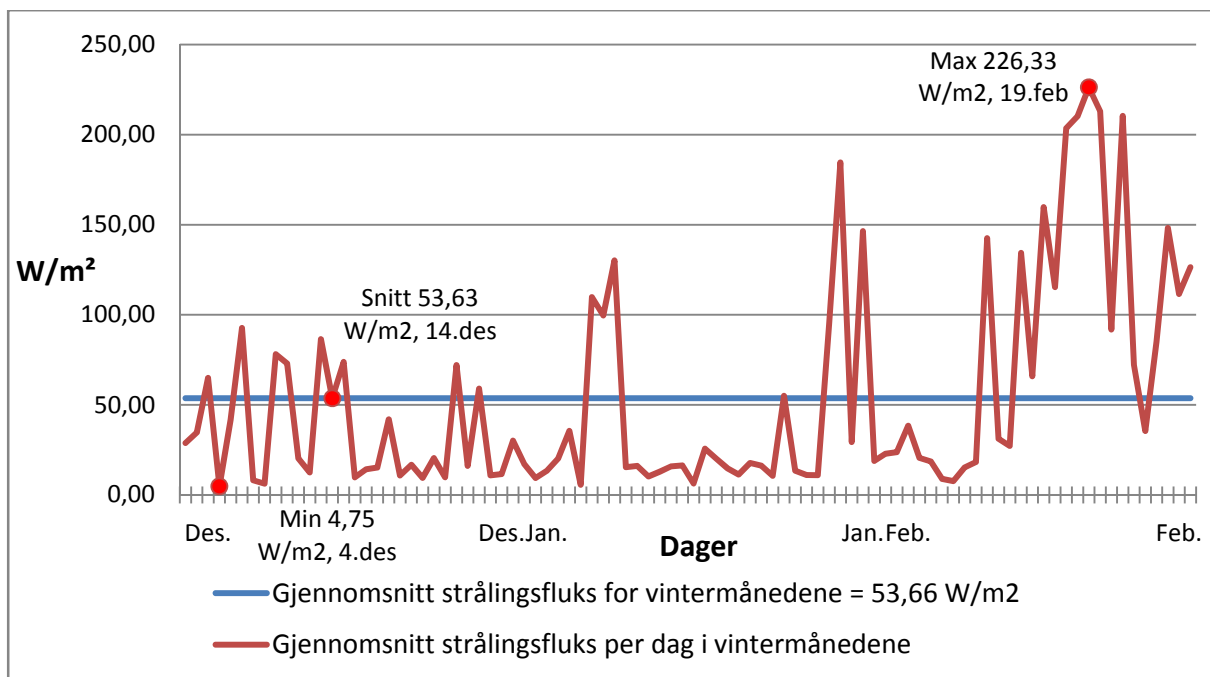


Figur 30 Gjennomsnittstemperaturer for samtlige dager i sommermånedene

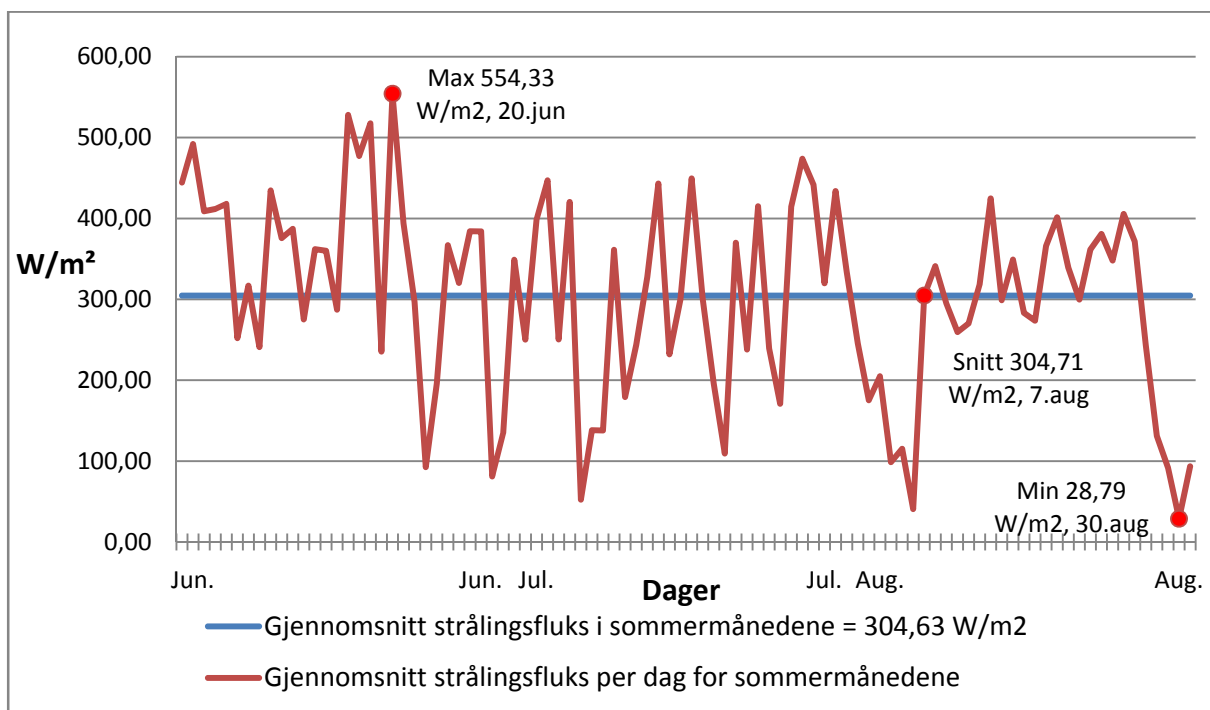
#### 4.2.2 Strålingsfluks

Som for kartleggingen av temperaturene er strålingsfluksen også systematisert ved først å se på gjennomsnittet av dagene i sommer- og vintermånedene. Det som er gjort med strålingen er at den direkte normale strålingsfluksen og den diffuse horisontale strålingsfluksen er slått sammen til en global strålingsfluks (se kommentarer i kapittel 6). Det er denne globale strålingsfluksen som det har blitt regnet gjennomsnittet av og plottet i figur 31 for vintermånedene og figur 32 for sommermånedene. I figurene er det markert for gjennomsnitt strålingsfluks for alle vinter- og sommermånedene, dagen med høyest gjennomsnitt strålingsfluks (Max) og dagen med lavest gjennomsnitt strålingsfluks (Min). Dagen som er merket med snitt i figuren markerer dagen med strålingsfluks som ligger nærmest gjennomsnitt strålingsfluksen for vinter- og sommerperioden.





Figur 31 Gjennomsnitt strålingsfluks for hver dag i vintermånedene



Figur 32 Gjennomsnitt strålingsfluks for hver dag i sommermånedene

### 4.2.3 Valg av simuleringsdager

For å finne ut om det dynamiske vinduet takler de norske værforholdene må det testes for det mest ekstreme været som er her i landet. Det vil si kaldeste og varmeste dag, for å observere hvordan vinduet oppfører seg under disse forholdene. Det som i utgangspunktet er grunnen til å velge ett dynamisk vindu fremfor ett tradisjonelt vindu er muligheten til å forvarme luften gjennom hulrommet mellom glassene. Spørsmålet er hvordan forvarmingen av luften vil fungere dersom det ikke er sol. Derfor velges også dager med delvis overskyet vær for å se hvordan vinduets egenskaper forandrer seg under slike forhold. Kriteriene for å velge ut dager som det skal utføres simuleringer for er følgende:

**Dag 1:** Kald vinterdag basert på minimum gjennomsnittstemperatur for et døgn i vinterperioden. For nordiske forhold er oftest de kaldeste dagene de dagene med klarvær.

**Dag 2:** Delvis overskyet vinterdag med gjennomsnittlig temperatur og strålingsfluks basert på gjennomsnittet for vintermånedene, og høyest mulig grad av diffus strålingsfluks.

**Dag 3:** Varm sommerdag basert på maksimum gjennomsnittstemperatur for et døgn i sommerperioden. Dette vil naturlig nok si en dag med klarvær og sol.

**Dag 4:** Delvis overskyet sommerdag med gjennomsnittlig temperatur og strålingsfluks basert på gjennomsnittet for sommermånedene, og høyest mulig grad av diffus strålingsfluks

#### **Valg av kald vinterdag (dag 1)**

For kald vinterdag velges den kaldeste dagen i vintermånedene som viser seg å være 30. januar hvor gjennomsnittstemperaturen er  $-15,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se tabell 1. Den gjennomsnittlige globale strålingsfluksen for denne dagen er  $146,46\text{ W/m}^2$ , noe som er overens med strålingsfluksen for en kald og klar dag.

Tabell 1 Maksimum-, minimum- og gjennomsnittstemperaturer for vintermånedene

Dag	Dato	Temperatur	Egentlig snitt temperatur	Strålingsfluks
		[ $^{\circ}\text{C}$ ]	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	[ $\text{W/m}^2$ ]
Max	05.jan	<b>5,50</b>		5,67
Min	30.jan	<b>-15,05</b>		146,46
Snitt	14.jan	<b>-3,78</b>	-3,64	16,42

### Valg av delvis overskyet vinterdag (dag 2)

Valget av delvis overskyet vinterdag baserer seg først og fremst på gjennomsnittstemperatur og gjennomsnitt strålingsfluks for vintermånedene, men det er ønskelig at strålingsfluksen skal bestå av høyest mulig diffus strålingsfluks. Som man ser av tabell 1 er den gjennomsnittlige temperaturen for vintermånedene  $-3,64\text{ °C}$  og den gjennomsnittlige strålingsfluksen er  $53,66\text{ W/m}^2$  (tabell 2). Det finnes mange dager som har tilnærmet disse verdiene både for temperatur og strålingsfluks, men andelen av diffus stråling er ofte for lav. Den dagen som best mulig oppfyller alle tre kriteriene er 3. februar hvor gjennomsnittstemperaturen er  $-2,9\text{ °C}$ , gjennomsnitt strålingsfluksen er  $38,46\text{ W/m}^2$  og andelen av diffus stråling er 53,3 %. Denne dagen velges derfor som simuleringsdag 2.

Tabell 2 Maksimum-, minimum- og gjennomsnitt strålingsfluks for vintermånedene

Dag	Dato	Strålingsfluks	Virkelig snitt fluks	Temperatur
		[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[°C]
Max	19.feb	<b>226,33</b>		-10,97
Min	04.des	<b>4,75</b>		2,58
Snitt	14.des	<b>53,63</b>	53,66	1,38

### Valg av varm sommerdag (dag 3)

Varm sommerdag velges i utgangspunktet som den dagen med den høyeste gjennomsnittstemperaturen, men ettersom det også er ønskelig med så høy strålingsfluks som mulig oppfyller ikke dagen med høyest temperatur dette. Dagen med høyest temperatur er 3. juli hvor gjennomsnittstemperaturen for døgnet er  $23,88\text{ °C}$ , som vist i tabell 3, men den gjennomsnittlige strålingsfluksen kun er  $398,5\text{ W/m}^2$ . Det er derfor ønskelig å finne en dag hvor både gjennomsnittstemperaturen og strålingsfluksen begge er relativt høye. Dagen som best oppfyller disse kriteriene er 16. juni hvor gjennomsnittstemperaturen er  $20,93\text{ °C}$  og den gjennomsnittlige strålingsfluksen er  $528\text{ W/m}^2$ . 16. juni velges derfor som simuleringsdag 3.

Tabell 3 Maksimum-, minimum- og gjennomsnittstemperaturer for sommermånedene

Dag	Dato	Temperatur	Virkelig snitt temperatur	Strålingsfluks
		[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]
Max	03.jul	<b>23,88</b>		398,50
Min	24.jun	<b>12,33</b>		196,08
Snitt	25.jul	<b>17,02</b>	16,98	170,83

### Valg av delvis overskyet sommerdag (dag 4)

For den delvis overskyete vinterdagen gjelder de samme kriteriene som for delvis overskyet sommerdag, men basert på gjennomsnittsverdier for sommerhalvåret. Som man ser av tabell 3 er den gjennomsnittlige temperaturen for sommermånedene 16,98 °C og den gjennomsnittlige strålingsfluksen er 304,63 W/m<sup>2</sup> (tabell 4). Den dagen som er nærmest disse verdiene og samtidig har en høy andel diffus stråling er 22. Juni. Denne dagen har en gjennomsnittlig temperatur på 16,84 °C, gjennomsnittlig strålingsfluks på 296,75 W/m<sup>2</sup> og andelen diffus stråling er 60 %. Som delvis overskyet sommerdag og simuleringsdag 4 velges derfor 22. Juni. Komplette værdata for de utvalgte simuleringsdagene finnes i vedlegg A.

Tabell 4 Maksimum-, minimum- og gjennomsnitt strålingsfluks for sommermånedene

Dag	Dato	Strålingsfluks	Virkelig snitt fluks	Temperatur
		[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[°C]
Max dag	20.jun	<b>554,33</b>		16,63
Min dag	30.aug	<b>28,79</b>		14,99
Snitt	07.aug	<b>304,71</b>	304,63	16,53

### 4.2.4 Solhøyder

Solhøydene brukes til å hente ut riktig temperaturer fra WIS simuleringene. Som vist i figur 33 beregner WIS temperaturer i forhold til innfallsvinkel (incidence angle) til sola, derfor er solhøyden i løpet av de utvalgte simuleringsdagene viktige for å finne korrekte verdier. Solhøydene er hentet fra Sun Earth Tools (SunEarthTools 2011), og er hentet ut for Oslo (Koordinater: 59°54'40"N 10°44'00"Ø). Figur 34 viser solhøydene i løpet av døgnet for 30.januar 2010. Solhøydene for de andre simuleringsdagene finnes i vedlegg A.

```

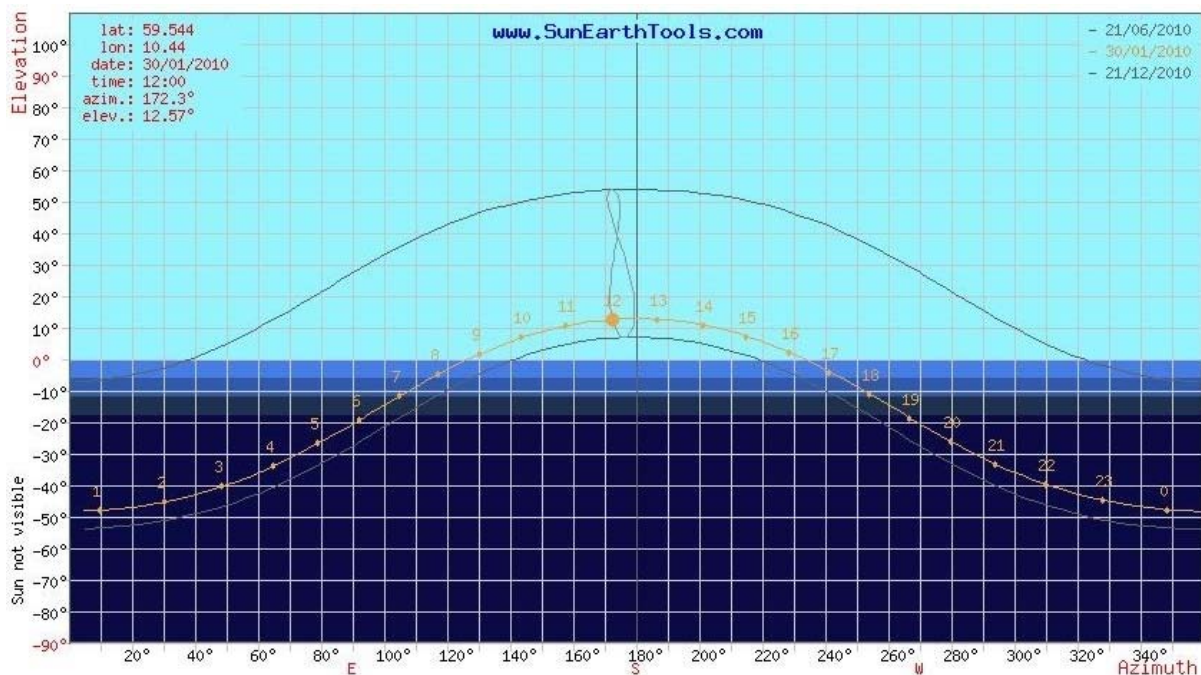
--- temperatures ---
Outdoor air temperature      : -12.5
Outdoor radiant temperature  : -12.5

incidence angle             :      0      10      20      30      40      50      60      70      80      90  diff
Outdoor surface temperature : -0.447 -0.423 -0.349 -0.224 -0.0375 0.222 0.558 0.835 0.0275 -11.9 0.145
layer (center)              1 : 0.209 0.235 0.312 0.445 0.641 0.915 1.27 1.56 0.710 -11.9 0.834
border                       : 0.215 0.240 0.317 0.450 0.646 0.919 1.27 1.57 0.718 -11.9 0.839
layer (center)              2 : 0.812 0.833 0.898 1.01 1.17 1.40 1.70 2.02 1.69 -7.62 1.36
border                       : 1.41 1.43 1.48 1.57 1.70 1.88 2.13 2.47 2.67 -3.39 1.89
layer (center)              3 : 1.42 1.43 1.48 1.57 1.70 1.88 2.14 2.47 2.68 -3.36 1.89
border                       : 1.37 1.39 1.44 1.53 1.66 1.84 2.08 2.42 2.61 -3.32 1.84
layer (center)              4 : -7.19 -7.19 -7.18 -7.17 -7.16 -7.14 -7.12 -7.10 -7.12 -7.86 -7.15
border                       : 8.43 8.44 8.47 8.51 8.56 8.63 8.70 8.76 8.69 6.21 8.59
layer (center)              5 : 8.72 8.73 8.75 8.79 8.85 8.91 8.98 9.03 8.96 6.50 8.88
Indoor surface temperature   : 8.97 8.97 9.00 9.04 9.09 9.16 9.23 9.28 9.20 6.80 9.12

Indoor air temperature      : 20.0
Indoor radiant temperature   : 20.0

```

Figur 33 Temperaturer i og på de forskjellige lag i forhold til solhøyde, hentet fra WIS (Windat 2004)



Figur 34 Solhøyder den 30. Januar 2010  
(SunEarthTools 2011)

### 4.3 Hvordan er simuleringene gjennomført?

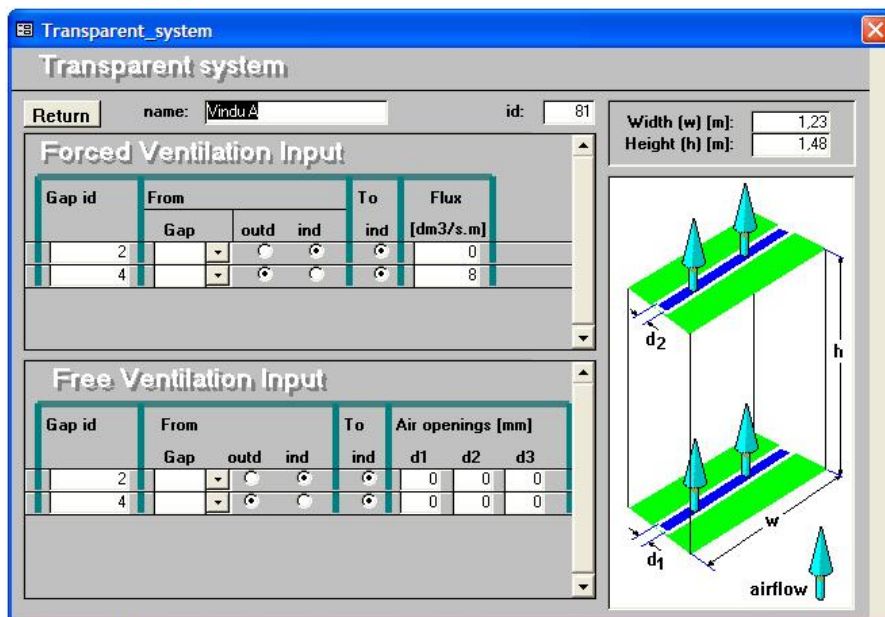
Simuleringene for de forskjellige kombinasjonene av vinduer og vær-situasjoner ble utført som vist i eksempelet under (figur 36). Den simuleringssituasjonen som er forklart og vist her er for 30. Januar (dag 1) med vindu A den første timen. Ettersom det blir veldig mange simuleringer å holde orden på har vi brukt ett system når det gjelder navn på de forskjellige simuleringssituasjonene. Det eksemplet som blir vist her har navnet 1A1. Dette er betegnelse for simuleringssdag 1, vindu A og time 1. Det er som nevnt tidligere valgt 4 forskjellige simuleringssdager, 4 vinduer, 2 forskjellige luftmengder, med persiener for sommerdagene og 24 timers simuleringssperioder for hver dag. Dette gir i alt 1032 simuleringer inkludert simuleringene for vinduene med tett luftespalte for å finne U-verdiene, som beskrevet i kapittel 4.1.

#### **Gjennomgang av simuleringen for 1A1**

Værdataene for den aktuelle timen legges inn i "Environment" (figur 36) i simuleringssprogrammet WIS. Her skal utetemperaturen og den globale strålingsfluksen legges inn. Det er antatt at strålings-temperaturen (radiant) er den samme som utetemperaturen (van Dijk og Versluis 2004). Det er valgt å bruke den globale strålingsfluksen for å få med både direkte og diffus stråling mot vinduene. Værdataene for 30. Januar time 1 forteller om en utetemperatur på  $-15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  og en global strålingsfluks på  $146,46\text{ W/m}^2$ , se vedlegg I.

Data for vinduet legges inn i "Transparent system" (figur 36) i WIS. Her bygges vinduet opp lag for lag med glass og hulrom fylt med argon eller hulrom for lufting. For vindu A vil dette si 6mm energiglass – 15mm hulrom fylt med argon – 6mm klarglass – 30mm ventilert hulrom - 6mm klarglass, henholdsvis fra utside til innside. Luftmengdene for den mekaniske avtrekksventilasjonen legges inn i ventilasjonsinnstillingene og er satt til 8 l/s. (figur 35)

Når alle dataene er lagt inn foretar man en simulering og får ut en simuleringsrapport, som for situasjon 1A1 ligger vedlagt i vedlegg B. De øvrige simuleringsrapportene finnes i vedlegg L.

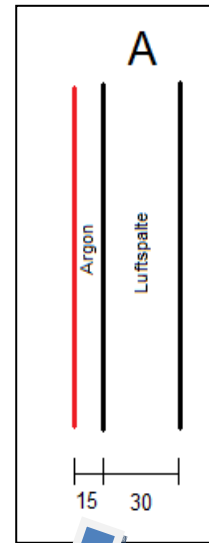


Figur 35 Ventilasjonsinnstillinger fra WIS  
(Windat 2004)

Værdata

Time	Temperatur ute	Snitt temp per dag	Direkte normal strålingsfluks	Diffus horisontal strålingsfluks	Global strålingsfluks	Snitt strålingsfluks per dag
	$T_{ute}$	$T_{dag}$	$I_{normal}$	$I_{diffus}$	$I_{global}$	$I_{dag}$
[t]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
1	-15,6	-15,05	0	0	0	146,46
2	-16,5	-15,05	0	0	0	146,46
3	-15,7	-15,05	0	0	0	146,46
4	-18	-15,05	0	0	0	146,46
5	17	15,05	0	0	0	146,46

Vinduet



environment

environment

name:  $T_e/T_i=0/20$  degrees; sun: 500 Id: 30

temperature [C]

	outdoor	indoor
air:	-15,6	20
radiant:	-15,6	20

direct solar radiation: 146,46 W/m2

convection coeff outdoor:

convection coeff indoor:

Return

Select environment:  $T_e/T_i=0/20$

Record: 1

Transparent\_system

Transparent system

name: Vindu A Results U-value: 7,32 W/(m2K)

tilt angle: 0 id: 81 solar factor (g): 0,00

environment: solar direct transmittance: 0,33

30 januar time1 light transmittance: 0,64

UV transmittance: 0,05

f-value: 0,63

col.rend.Index (Ra): 95

Calculate Details Ventilation

Layers outdoor side

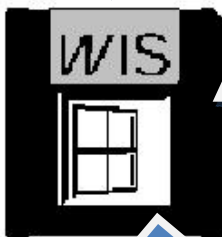
Type	Gap	width mm	Pane	width mm	code coating	flipped	Shading
Pane			Energy6.gvb	5,85	UC		
Gap	Air-Argon 10	15					
Pane			ip_klar6.ipe	6	UU		
Gap	Air	30					
Pane			ip_klar6.ipe	6	UU		
*		2					

indoor side

Return

Select transparent system: Vindu A

Record: 9 of 17



Rapport fra simulering av vær-situasjon 1 for vindu A time 1.

```

--- Report transparent system : Vindu A ---
--- Basics (key thermal and solar properties) ---
name transparent system      : Vindu A
U-value                      : 7.32 [W/(m2.K)]
solar factor (g)            : 0.000 [-] (total solar energy transmittance)
    
```

Figur 36 Prinsippskisse for simuleringer (Windat 2004)

#### 4.4 Beregninger i regnearkene

Etter at simuleringene var utført ble alle data lagt inn i regneark som vist ved eksempel i tabell 5 og resten finnes i vedlegg K. Disse rådataene er behandlet ved å fremstille grafer (se vedlegg C – G) for å kunne sammenlikne dataene og trekke konklusjoner. Formlene som er benyttet i beregningene er beskrevet under:

##### Formel 8 Temperaturdifferanse inne og ute

$$\Delta t = T_{inne} - T_{ute}$$

##### Formel 9 Varmetilskudd fra sola

$$q_{sol} = I_{global} * A * g$$

##### Formel 10 Varme tap/tilskudd gjennom vinduet

$$q_{varmestrøm} = A * U * \Delta T$$

##### Formel 11 Varme tap/tilskudd fra ventilasjonen

$$q_{vent} = Q * C_p * \Delta T * \rho$$

##### Formel 12 Varme tap/tilskudd totalt

$$q_{total} = q_{sol} \pm q_{varmestrøm} \pm q_{vent}$$

#### Hvor:

Temperatur på innsiden, $T_{inne}$ :	20 °C (Fast verdi)
Temperatur ute: $T_{ute}$ :	Hentes fra værdata for hver time (Vedlegg A)
Areal av ruten, A:	1,82 m <sup>2</sup> (1,23m x 1,48m) (se kapittel 4.1)
Luftmengde, Q:	0,008 m <sup>3</sup> /s eller 0,004m <sup>3</sup> /s (se kapittel 3.1.11)
Spesifikk varmekapasitet, $C_p$ :	1005 Ws/kg*K (Store Norske Leksikon u.d.)
Global strålingsfluks, $I_{global}$ :	Hentes fra værdata for hver time (Vedlegg A)
g-verdi, g:	Beregnes fra WIS for hver time
U-verdi (total), U:	Beregnes fra WIS for hver time
Tetthet til lufta, $\rho$ :	Hentes fra vedlegg I, og er oppgitt for hver nærmeste halve grad i forhold til temperaturen i spalten.



**Andre verdier i regnearkene:**

Solhøyden	Hentes fra vedlegg A. (S.E.T. = Sun Earth Tools)
Temperatur i senter av spalten, $T_{\text{spalte}}$ :	Beregnes fra WIS for hver time
Temperatur inn i rommet, $T_{\text{inn}}$ :	Beregnes fra WIS for hver time

**MERK: Alle verdier oppgitt i Watt er oppgitt per areal, som er  $1,82\text{m}^2$ .**

Tabell 5 Regneark med tall fra simuleringer for vindu A den 30. januar

Time	U-verdi	g-verdi	Solhøyde	Temperatur i senter av spalten	Temperatur overflate innvendig	Temperatur inn i rommet	Temperatur differanse inne - ute	Tetthet til lufta	Varme tilskudd fra sola	Varme tap gjennom vinduet	Varme tap fra ventilasjon	Varme tap totalt
	U	g		T <sub>senter</sub>	T <sub>overflate</sub>	T <sub>inn</sub>	Δt	ρ	q <sub>sol</sub>	q <sub>varmestrøm</sub>	q <sub>vent</sub>	q <sub>total</sub>
[t]	[W/m <sup>2</sup> K]	-	[°]	[°C]	[°C]	[°C]	[K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W]	[W]	[W]	[W]
	WIS	WIS	S.E.T.	WIS	WIS	WIS	(T <sub>inne</sub> -T <sub>ute</sub> )	I forhold til T <sub>senter</sub>	I <sub>global</sub> * A * g	A * U * Δt	Q * Cp * Δt * ρ	q <sub>s</sub> + q <sub>vs</sub> + q <sub>v</sub>
1	7,32	0	-	-8,46	7,04	-3,86	35,6	1,334	0,00	-474,38	-381,82	-856,20
2	7,34	0	-	-9,17	6,67	-4,27	36,5	1,336	0,00	-487,70	-392,06	-879,77
3	7,32	0	-	-8,54	7,00	-3,74	35,7	1,334	0,00	-475,71	-382,90	-858,61
4	7,36	0	-	-10,4	6,05	-5,26	38	1,344	0,00	-509,13	-410,62	-919,75
5	7,34	0	-	-9,57	6,47	-4,6	37	1,341	0,00	-494,38	-398,92	-893,30
6	7,4	0	-	-12,5	4,92	-7,05	40,7	1,354	0,00	-548,27	-443,07	-991,33
7	7,38	0	-	-11,3	5,55	-6,05	39,2	1,349	0,00	-526,63	-425,16	-951,80
8	7,34	0	-	-9,33	6,59	-4,4	36,7	1,339	0,00	-490,38	-395,10	-885,47
9	7,42	0,4	3	-13,1	5,21	-7,07	42	1,357	138,35	-567,31	-458,23	-887,19
10	7,33	0,398	8	-8,78	7,10	-3,77	36,2	1,336	49,99	-483,04	-388,84	-821,88
11	7,3	0,393	11	-6,04	10,20	-0,379	34	1,321	422,81	-451,82	-361,11	-390,12
12	7,28	0,393	14	-4,76	11,10	0,818	32,5	1,317	475,04	-430,71	-344,13	-299,80
13	7,27	0,392	13	-3,59	12,10	1,97	31,2	1,309	548,76	-412,91	-328,36	-192,51
14	7,26	0,392	11	-3,81	11,20	1,35	31	1,312	386,06	-409,70	-327,00	-350,65
15	7,25	0,392	8	-2,97	11,30	1,85	29,7	1,307	319,69	-391,98	-312,10	-384,38
16	7,26	0,392	3	-3,74	10,20	0,782	30,2	1,312	173,40	-399,13	-318,56	-544,29
17	7,27	0	-	-5,64	8,50	-1,32	32	1,319	0,00	-423,50	-339,35	-762,85
18	7,28	0	-	-6,26	8,18	-1,84	32,8	1,324	0,00	-434,68	-349,15	-783,84
19	7,29	0	-	-6,89	7,86	-2,36	33,6	1,326	0,00	-445,90	-358,21	-804,11
20	7,29	0	-	-6,97	7,82	-2,42	33,7	1,326	0,00	-447,22	-359,28	-806,50
21	7,3	0	-	-7,44	7,58	-2,82	34,3	1,329	0,00	-455,81	-366,50	-822,31
22	7,32	0	-	-8,15	7,21	-3,41	35,2	1,331	0,00	-469,05	-376,68	-845,74
23	7,33	0	-	-8,78	6,88	-3,94	36	1,336	0,00	-480,37	-386,69	-867,06
24	7,35	0	-	-9,96	6,26	-4,93	37,5	1,341	0,00	-501,75	-404,31	-906,06

## 5. Resultat og diskusjon

Dette kapitlet vil presentere og evaluere resultatene utarbeidet ved bruk av simuleringverktøyet WIS 3.0.1 (Windat 2004)

Resultatene fra simuleringene vil bli fremstilt og diskutert med hensyn på U-verdier, g-verdier, temperaturer på innvendig overflate og temperaturen inn i rommet fra ventileringspalten plassert i toppen av vinduet. Disse resultatene vil bli drøftet med hensyn på termisk komfort og det dynamiske vinduets egenskaper i bruk ved reelle vær-situasjoner om vinteren og sommeren.

Videre vil også resultatene fra WIS 3.0.1 som forteller om varmetap og varmetilskudd bli presentert og drøftet med hensyn på energibruk.

I teksten vil de ulike dynamiske vinduene bli presentert i en gitt bokstavinnstilling som forteller om det er anvendt hel eller halv luftmengde i simuleringene og om det er anvendt solskjerming. Tabell 6 viser hvordan vinduene vil bli fremstilt i teksten gitt ved en bokstavinnstilling.

Tabell 6 Forklaring til betegnelse av vinduer

Vindu A	Ventilering 8 l/s
Vindu a	Ventilering 4 l/s
Vindu [A]	Ventilering 8 l/s med solskjerming
Vindu [a]	Ventilering 4 l/s med solskjerming

### 5.1 U-verdi

#### *U-verdier uten ventilering*

Ved oppstart av simuleringene ble det valgt å utføre en simulering for de ulike hovedtypene av dynamiske vinduer uten ventilering, samt med og uten solskjerming, hovedtypene vil da være vindu A, B, C og D. Siden det ventilerte hulrommet vil være lukket er vindu A det samme som vindu a, og tilsvarende for de andre vinduene. Simuleringene ble utført for at U-verdier og g-verdier på vindusoppsettene kunne drøftes opp mot standard vinduer og krav gitt i det norske lovverket. Likeledes ville det da være mulig å vurdere vindusmodellene i dette prosjektet opp mot hverandre.

Tabell 7 U-verdier for vinduer med lukket hulrom

Årstid	Persiener	Vindu			
		A	B	C	D
Vinter	Uten	0,891	0,885	0,751	0,741
	Med	0,788	0,783	0,677	0,669
Sommer	Uten	0,897	0,899	0,769	0,771
	Med	0,67	0,671	0,582	0,583

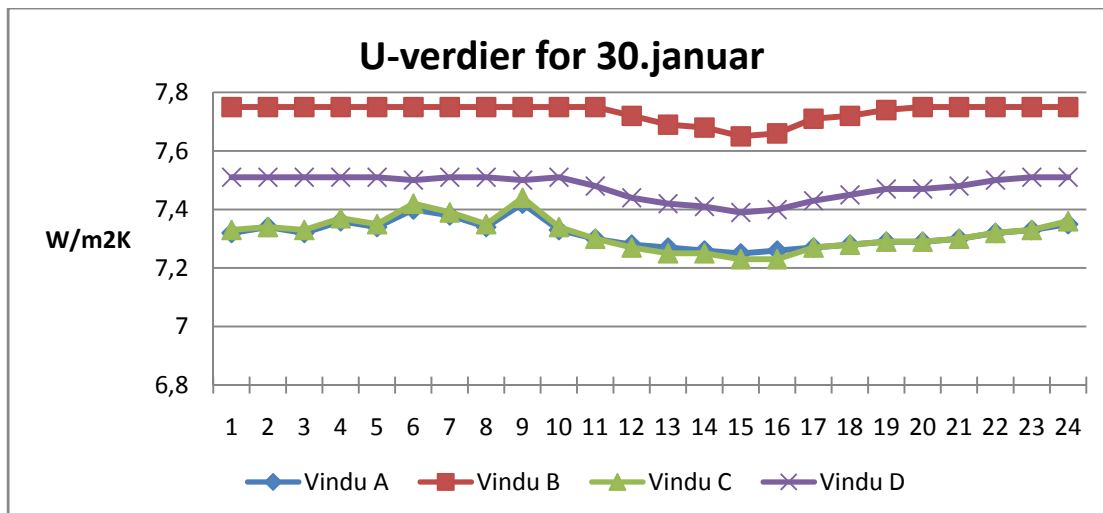
Tabell 7 viser at vindu D har den beste U-verdien for vinteren og vindu C den beste U-verdien for sommeren. Hvis man sammenlikner det samme vinduet med og uten persiener vil U-verdien for samtlige vinduer være ca. 0,1 lavere med persiener om vinteren og ca. 0,2 lavere om sommeren. Variasjonen mellom det beste og det dårligste vinduet for en årstid er ca. 0,1 hvis man sammenligner alle vinduene opp mot hverandre enten med eller uten persiener.

### Effektive U-verdier

Når de dynamiske vinduene er ventilert i simuleringene med enten 4 eller 8 l/s kalles U-verdien for effektiv U-verdi. Det vil si U-verdiene som fremkommer ved reelle vær-situasjoner.

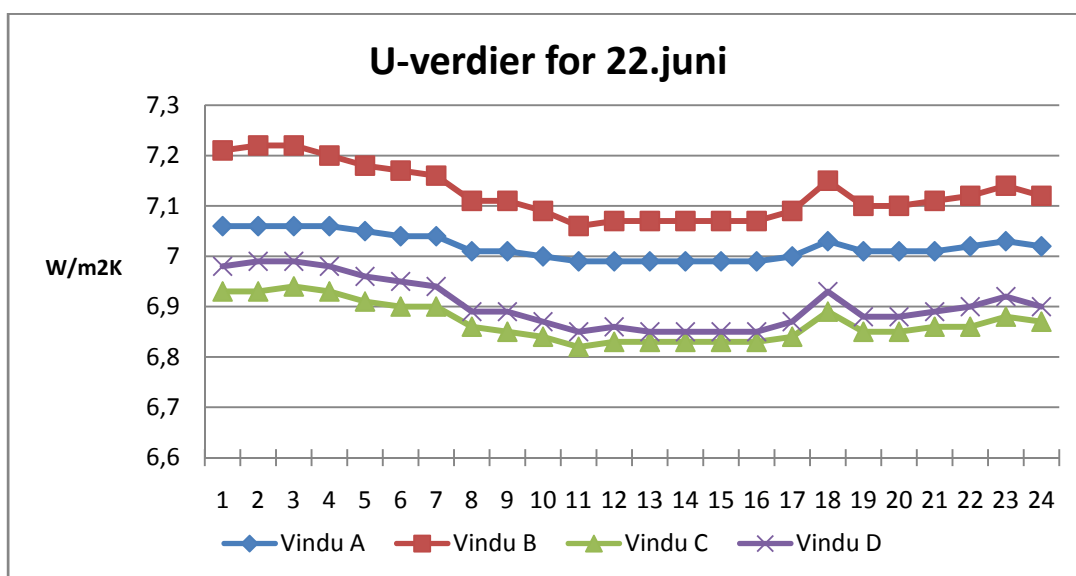
I figur 37 er U-verdi forløpet til vindu A, B, C og D (de fire hovedtypene) presentert ved simulering for 30. januar. Simuleringene viser at vindu B hadde den høyeste U-verdien av de dynamiske vinduskonstruksjonene, mens vindu A og C hadde de laveste verdiene og var tilnærmet like for datoen 30. januar. Vindu D med fire glass hadde en U-verdi lavere enn vindu B, men høyere verdi enn vindu A og C. Simuleringene for 3. februar viser den samme trenden med den forskjellen at vindu C er noe bedre enn vindu A, mens vindu B fortsatt har de høyeste verdiene (se vedlegg C, figur 2).

Til påminnelse kan det nevnes at vindu A og C har energiglasset plassert ytterst vendt utover, mens vindu B og D har energiglasset plassert nest innerst vendt mot det ventilerte hulrommet. Resultatene fra simuleringene utført for datoene 30. januar og 3. februar kan tolkes således at ved plassering av energiglasset ytterst vil dette gi lavere U-verdi enn ved å plassere energiglasset lengre inn i konstruksjonen.



Figur 37 U-verdier for 30. januar. Vindu A, B, C og D

Simuleringene for 16. juni og 22. juni viser noen forskjeller i forhold til vintersimuleringene, se figur 38. Vindu C er fortsatt den konstruksjonen som har lavest U-verdi og likeledes som for vintersimuleringene har fortsatt vindu B de høyeste verdiene. Forskjellen er at vindu D om sommeren har lavere U-verdi enn vindu A. Dette skyldes sannsynligvis at vindu D har et lag ekstra med glass i forhold til vindu A. Det kan virke som at antall glass har større påvirkning enn plasseringen av energiglass for en sommersituasjon.

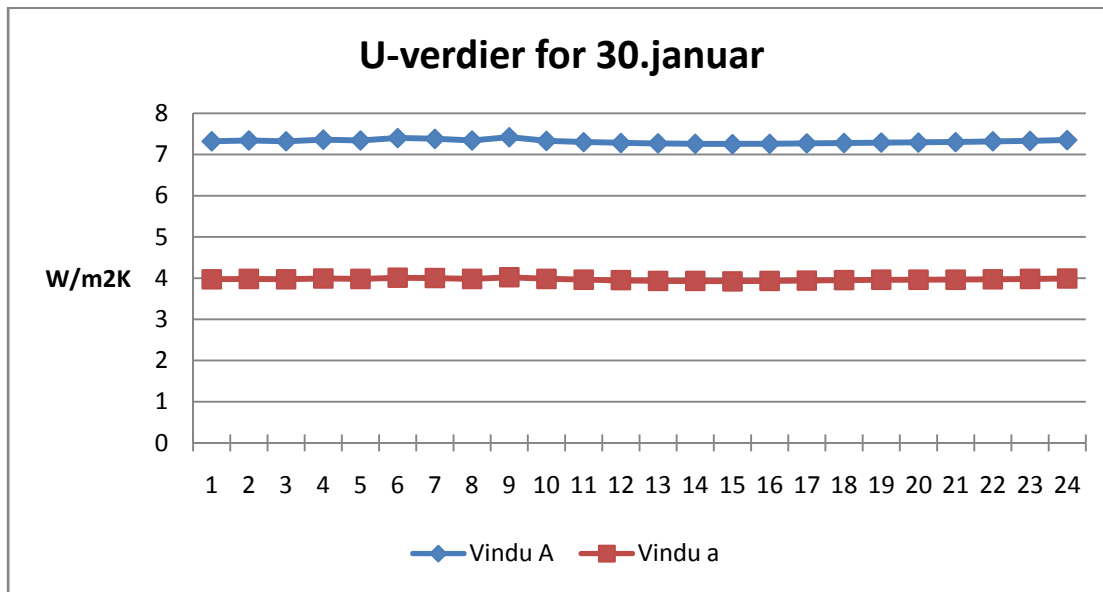


Figur 38 U-verdier for 22. juni. Vindu A, B, C og D

Likevel vil vindu A være et bedre valg med hensyn på U-verdi enn vindu D da den lavere U-verdien i en vintersituasjon må antas å vekte mer. Fra figur 38 kan det anslås at vindu B har 4-6 % høyere U-verdi enn vindu C.

Videre har simuleringene også gitt data på hvordan en halvering av luftmengden påvirker U-verdien. Figur 39 viser hvordan U-verdien forandres ved halvering av luftmengden ved simulering av 30. januar og tendensen er lik for alle datoene.

Resultatene viser at en halvering av luftmengdene fra 8 l/s til 4 l/s vil gi en nær halvering av U-verdiene for alle vinduskonstruksjonene.

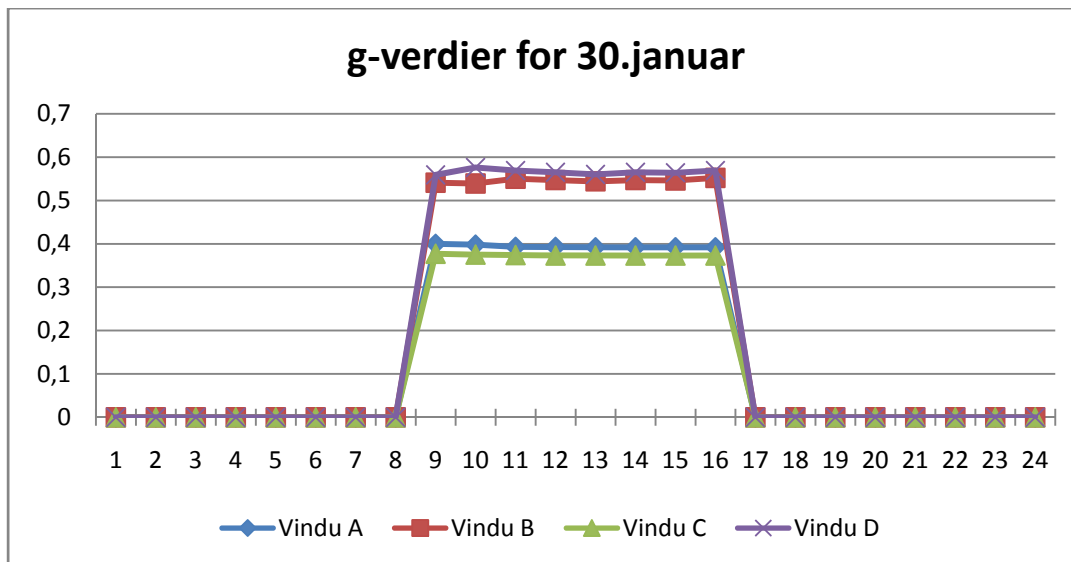


Figur 39 U- verdier for 30. januar. Vindu A og a

## 5.2 g-verdi

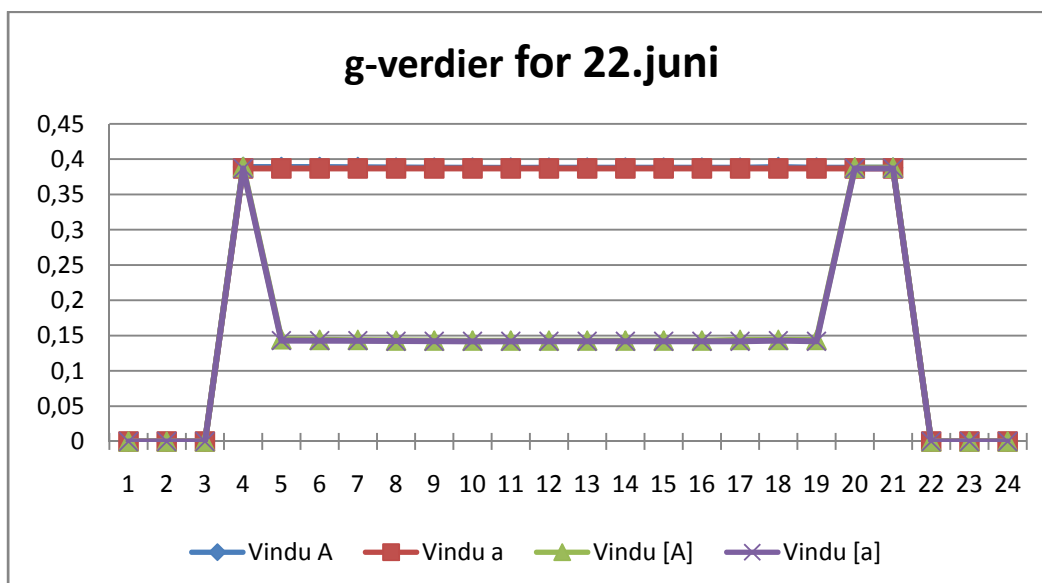
Figur 40 viser g-verdiene fra simuleringene for vinduene A, B, C og D for datoen 30. januar. Resultatene viser at vindu A og C har lavest g-verdi, hvor vindu C har noe lavere g-verdier enn vindu A. Vindu B og D har de høyeste g-verdiene, dette gjelder for alle simuleringdatoene.

Ettersom vindu A og C, begge med energiglass ytterst og tilnærmet lik g-verdi, ligger relativt mye lavere enn vindu B og D. Dette kan det igjen indikere på at plassering av energiglasset har betydning for g-verdien.



Figur 40 G-verdier for 30. januar. Vindu A, B, C og D

Halvering av luftmengdene har liten eller ingen betydning for g-verdien. Ikke overraskende viser simuleringresultatene at ved anvendelse av solskjerming på de dynamiske vinduene reduseres g-verdien betydelig, som vist i figur 41.



Figur 41 G-verdier for 22. juni. Vindu A og a

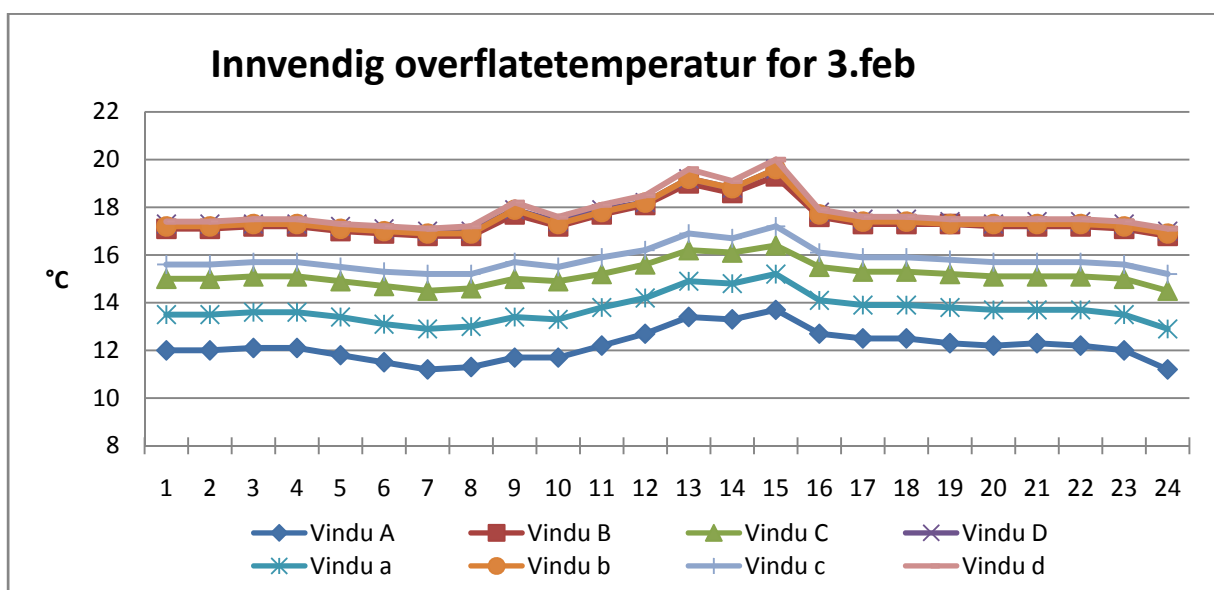
### 5.3 Temperaturer

Overflatetemperaturen på innsiden av vinduet og temperaturen på luften som kommer inn gjennom luftspalten i vinduet er viktig for den termiske komforten. Lave temperaturer i forhold til inne-temperaturen vil skape ett kaldras ned langs vinduet og veggen om vinteren. Dette kan oppfattes som trekk, og kan skape ubehag for de som oppholder seg i rommet. Hvis overflatetemperaturen på vinduet er mye høyere enn temperaturen i rommet vil det oppfattes som ubehagelig stråling for de som oppholder seg i nærheten av vinduet. Det er derfor ønskelig å ha en jevn temperatur som er nærmest mulig innetemperaturen både sommer og vinter på vindusoverflaten og på luften som kommer inn i rommet for å skape ett best mulig innemiljø.

Det som bestemmer både overflatetemperaturen innvendig og temperaturen på luften som kommer inn i rommet er utetemperaturen, strålingsfluksen og temperaturen inne. Ute- og innetemperaturen, som tidligere nevnt er satt til 20 °C hele året, kan ikke styres mot de temperaturene man ønsker. Det man kan gjøre noe med er hvor mye solstråling som slippes gjennom vinduet. Det er derfor valgt å benytte utvendige persiener om sommeren som aktiviseres når strålingsfluksen overstiger 175 W/m<sup>2</sup>. Dette er gjort i et forsøk på å forhindre at det skal bli for varmt inne i rommet om sommeren. Vinterstid ønsker man å slippe inn alt av solstråling for å utnytte mest mulig av den gratis varmen som dette gir.

#### 5.3.1 Innvendig overflatetemperatur

Vinduene B, b, D og d gir de høyeste temperaturene for alle simuleringsdagene, som vist ved eksempel i figur 42. Temperaturene for de nevnte vinduene ved vintersimuleringene er tilnærmet det samme. For sommersimuleringene vil temperaturene kun variere med 1 – 2 °C hvis man sammenlikner de samme vinduene med hel- og halvluftmengde.

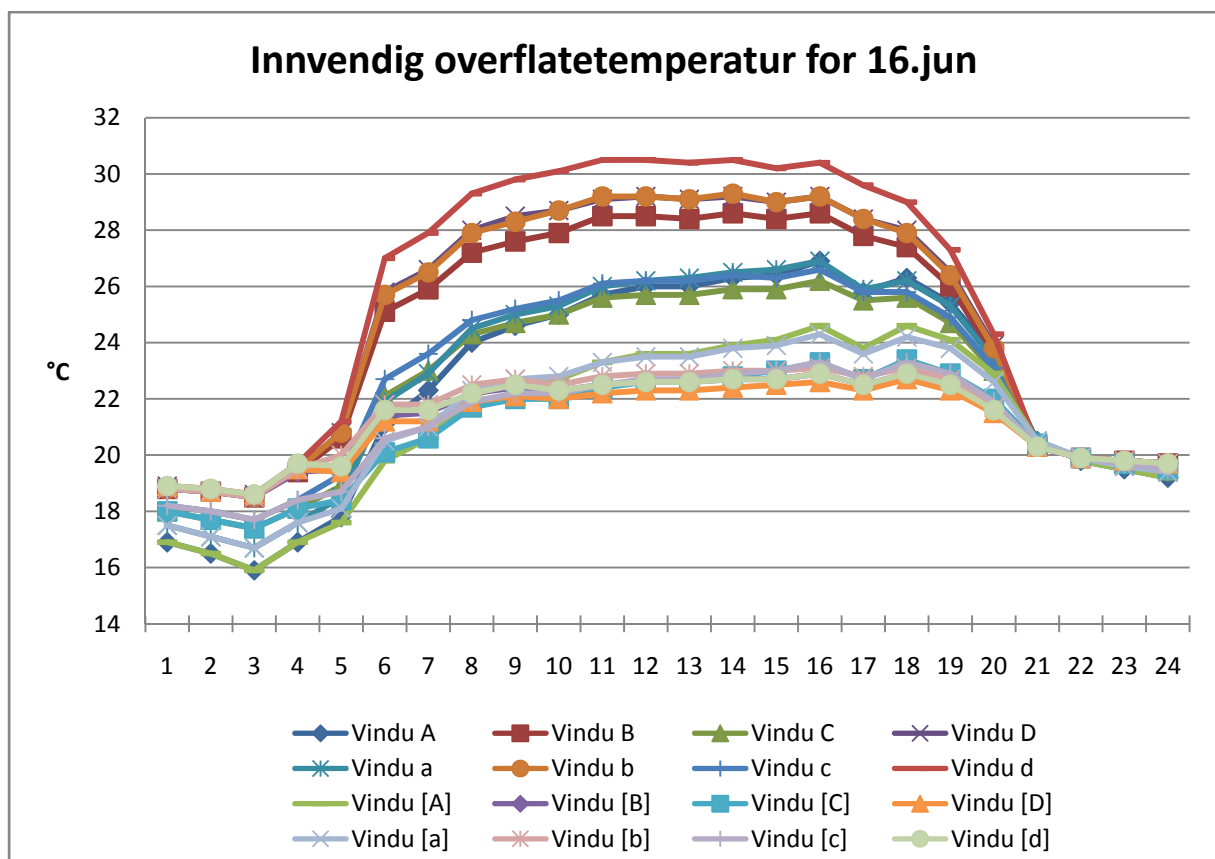


Figur 42 Innvendig overflatetemperatur for 3. Februar



Vindu A gir lavest innvendig overflatetemperaturer for begge vinterdagene, også vist ved eksempel i figur 42. Dette kan skyldes konstruksjonen til vindu A som bare har ett lag med glass på innsiden av luftspalten som gjør at den kalde luften som kommer inn i luftspalten er i direkte kontakt med utsiden av det innerste glasset.

Vindu d gir den høyeste innvendige overflatetemperaturen uansett årstid. Det er ønskelig med en høy innvendig overflatetemperatur på vinteren, men om sommeren vil dette gi en såpass høy temperatur som gjør at man kan føle det ubehagelig. På det meste vil den innvendige overflatetemperaturen ligge over 30 °C i over 7 timer den 16.juni, som vist i figur 43. Som man også kan se ut fra figuren er grafene delt i tre grupperinger. Vinduene B, d, D og d gir som tidligere beskrevet de høyeste temperaturene. Dette er de vinduene hvor et av glassene på innsiden av luftspalten er energiglass. Temperaturene for vinduene A, a, C og c ligger samlet midt i grafen mens alle vinduene med de utvendige persiennene har tilnærmet samme temperatur og er samlet nederst i grafen, med ca. 7 °C lavere temperatur enn de fire øverste og ca. 3 °C lavere enn de fire vinduene i midten.



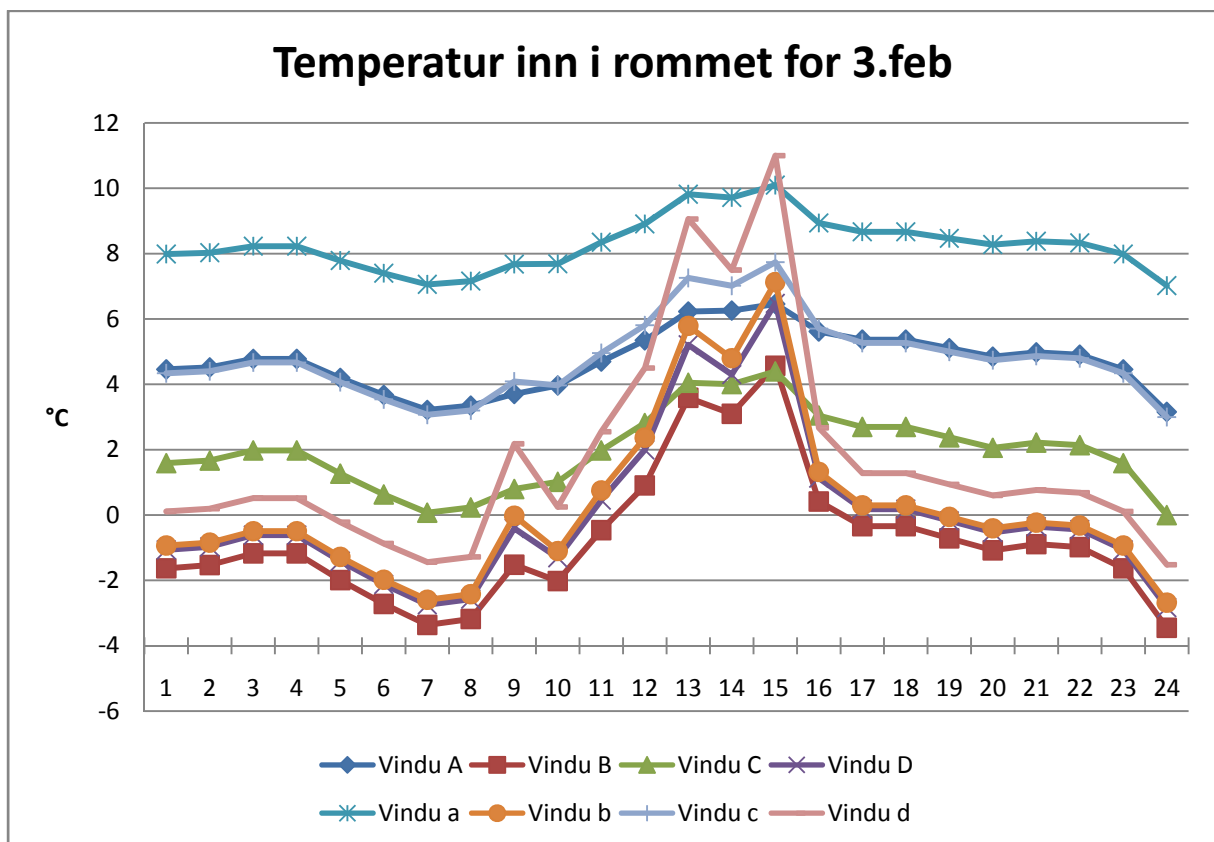
Figur 43 Innvendig overflatetemperatur for 16.juni

Luftmengdene viser seg å ha liten innvirkning på overflatetemperaturene, man får kun en litt høyere temperatur ved å halvere luftmengdene. For vinterdagene vil temperaturen kun øke med ca. 2 °C for vindu A, ca. 1 °C for vindu C, mens for vindu B og D vil temperaturen være tilnærmet det samme uansett luftmengde. Forandringen i lufttemperaturene for sommerdagene er på ett vis motsatt av for vinterdagene. Her er det vinduene A og C som har tilnærmet samme temperatur uansett luftmengde og det er vindu B som vil øke med ca. 1 °C i solperioden ved å halvere luftmengden. Vindu D vil øke med ca. 2 °C.

For sommer simuleringene vil vinduene med persienner ha tilnærmet samme innvendige overflatetemperatur med en luftmengde på 4 l/s og 8 l/s. Vinduene B og D vil kun få en temperaturøkning på 1-2 °C ved halvert luftmengde og for vindu A og C vil temperaturen øke med ca. 1 °C. Dette er vist ved eksempel i figur 43. For ytterligere informasjon om den innvendige overflatetemperaturen for vinduene (se vedlegg D – G figur 9 – 12).

### 5.3.2 Temperatur på luften inn i rommet fra den ventilerte luftspalten

Vindu a gir jevnt høye temperaturer på luften inn i rommet fra den ventilerte luftspalten, men vindu d har topper i solperioden som overstiger lufttemperaturen for vindu a, som vist i figur 44. Vindu d er også det vindu som gir de klart høyeste lufttemperaturene inn i rommet på sommeren, som vist i figur 45.



Figur 44 Temperatur inn i rommet for 3.februar

Vinduene B, b, D og d påvirkes raskest av solstrålingen og får de største utslagene i form av høye og lave temperaturer. Som man ser ut av figur 44 øker temperaturene for de fire nevnte vinduene raskt når solen kommer på vinduet sammenliknet med vinduene A, a, C og c. Den 3. Februar kommer solen på vinduet klokka 9. Like før dette, i time 8, er temperaturen inn i rommet for vindu d – 1,28 °C. I løpet av fem timer med relativt lavt soltilskudd, i gjennomsnitt 109 W per time per vindusareal, øker temperaturen til 9,06 °C. Til sammenlikning øker temperaturen for vindu a i samme periode fra 7,16 °C til 9,82 °C.

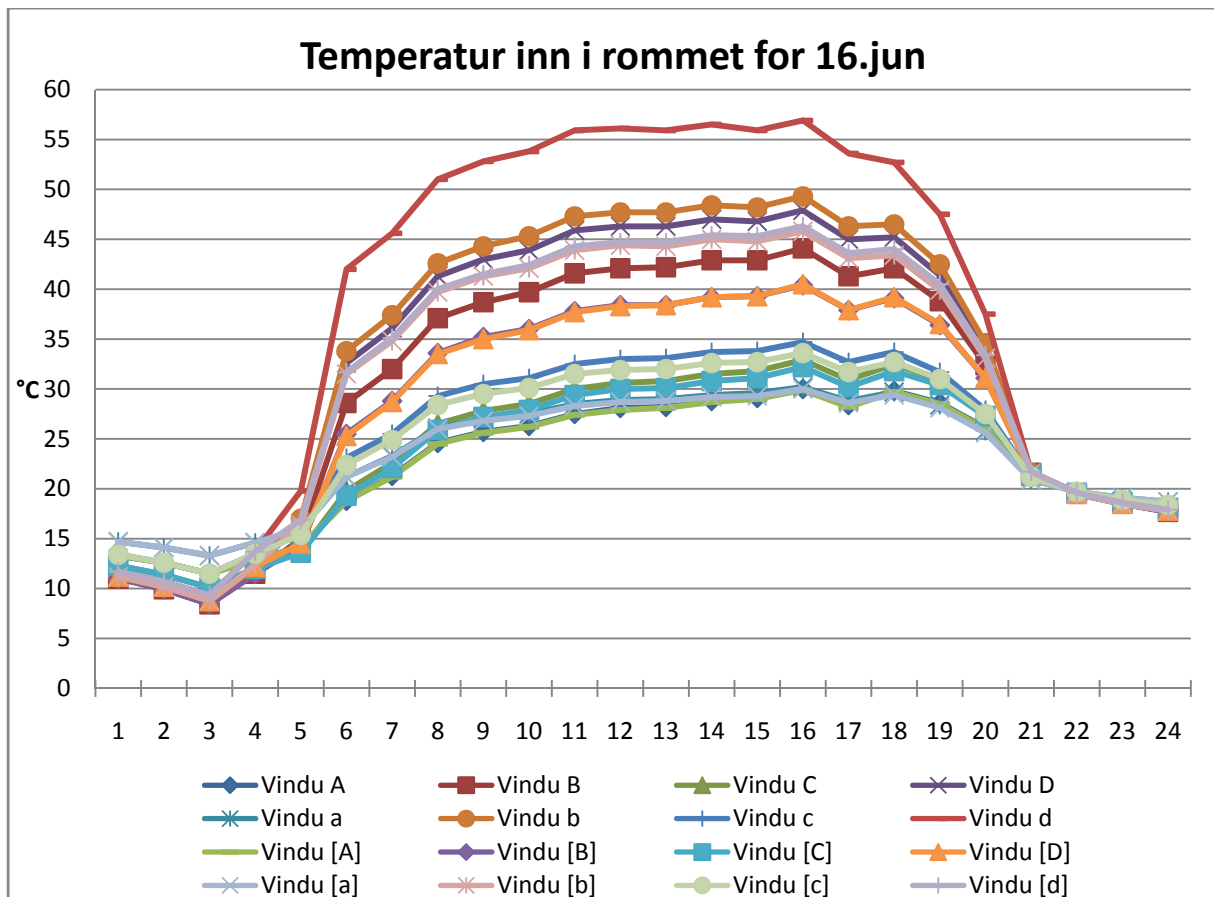
Som tidligere sagt er vindu a det vinduet som gir stabilt de høyeste temperaturene i løpet av vinterdagene. Ett eksempel på dette er om man registrerer høyeste og laveste temperatur i løpet av døgnet for de forskjellige vinduene vil det se slik ut for 30.januar:

Tabell 8 Høyeste og laveste temperatur for temperaturen på lufta inn i rommet den 30. januar

Vindu	A	B	C	D	a	b	c	d
Høyeste temperatur	1,97	5,88	-0,33	11,3	7,86	12,2	5,88	22,9
Laveste temperatur	-7,07	-17,5	-12,5	-16,1	-0,8	-16,1	-7,6	-14
<b>Differanse</b>	<b>9,04</b>	<b>23,38</b>	<b>12,83</b>	<b>27,4</b>	<b>8,66</b>	<b>28,3</b>	<b>13,48</b>	<b>36,9</b>

Som man kan se fra tabell 8 er differansen mellom høyeste og laveste temperatur for vindu a 8,66 °C, og det samme vinduet med hel luftmengde gir 9,04 °C i temperaturdifferanse. Vinduene B, b, D og d gir alle store variasjoner i lufttemperaturen i løpet av døgnet, og dårligst av disse er vindu d som har en temperaturdifferanse på 36,9 °C i løpet av den 30.januar. Tabellen viser også at vindu a nesten klarer å levere en lufttemperatur på over 0 °C hele døgnet, som er mye bedre enn det nest beste vinduet som har en laveste temperatur på -7,07 °C.

For vindu A og C har luftmengdene på vintertid stor innvirkning på temperaturen inn i rommet. Ved å halvere luftmengden vil for eksempel vindu a ha en temperatur som ligger 3-7 °C høyere enn vindu A. For vinduene B og D vil økningen i temperatur som følge av halverte luftmengder bare være ca. 1 °C i periodene det ikke er sol og opp til 4 °C ved det største soltilskuddet. (se figur 45)



Figur 45 Temperatur inn i rommet for 16. Juni

Ved å halvere luftmengdene for vindu B, b, D og d både med og uten persienner vil dette gi en lavere temperatur inn i rommet på 5-10 °C for begge de simulerte sommerdagene. For vinduene A og C både med og uten solskjerming vil en halvering av luftmengden kun senke temperaturen inn i rommet fra den ventilerte luftspalten med 2-4 °C. Se vedlegg D – G figurene 13 – 16 for fullstendig oversikt over alle data for temperaturen til luften inn i rommet eller vedlegg I for rådataene.

Tabell 9 Sammenlikning av temperaturene inn i rommet for de forskjellige vinduene med og uten persienner

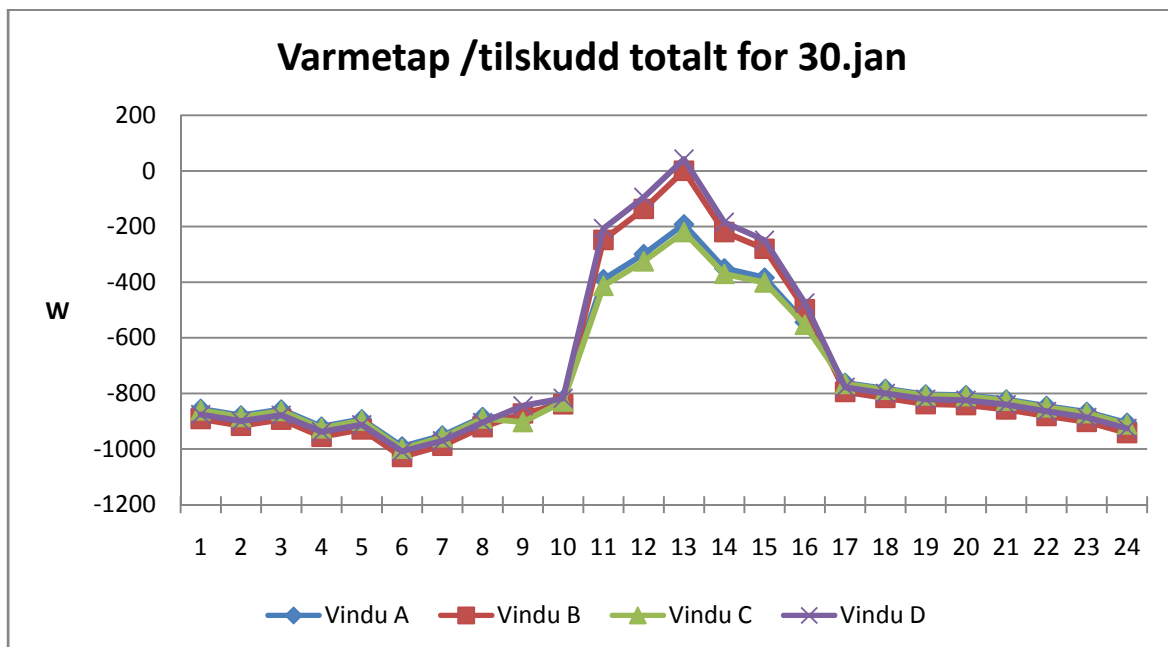
Vindu	A	B	C	D	a	b	c	d
Temperatur	27,5	42,1	30,6	46,3	28,9	47,7	33	56,1
Vindu	[A]	[B]	[C]	[D]	[a]	[b]	[c]	[d]
Temperatur	27,9	38,4	30	38,3	28,7	44,4	31,9	44,7
<b>Differanse</b>	<b>-0,4</b>	<b>3,7</b>	<b>0,6</b>	<b>8</b>	<b>0,2</b>	<b>3,3</b>	<b>1,1</b>	<b>11,4</b>

Tabell 9 viser en sammenlikning av temperaturene for luften inn fra luftespalten for vinduene med og uten persienner for time 12 den 16. Juni. De resultatene som er mest bemerkelsesverdige er for vindu A og d. For vindu A viser det seg at temperaturen faktisk stiger med 0,4 °C når persiennene er aktivert, og for vindu d synker temperaturen med 11,4 °C med persiennene nede.

## 5.4 Energibetraktninger

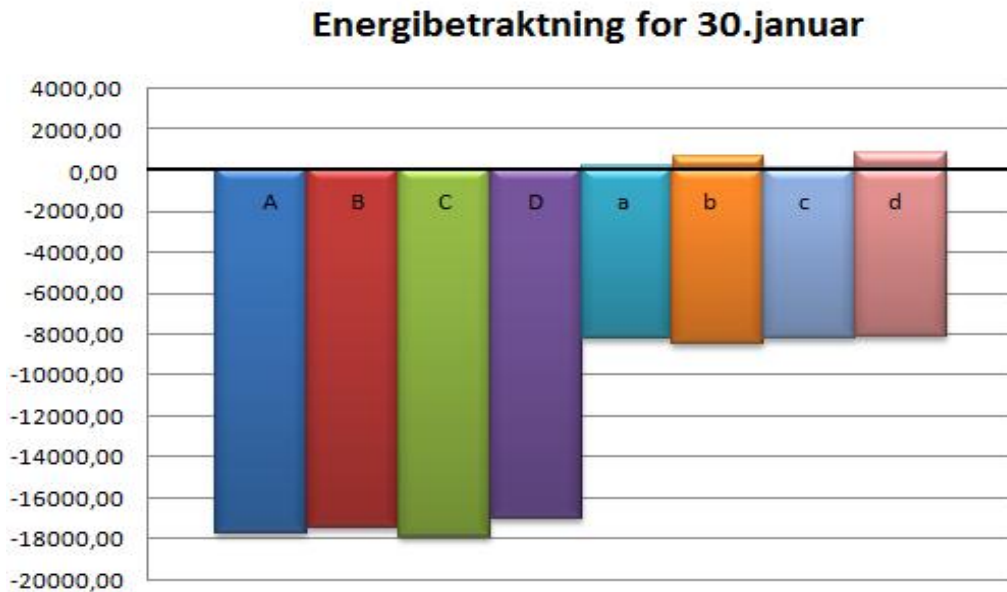
En viktig del av å bedømme hvordan dynamiske vinduer vil kunne fungere i et kaldt norsk klima er å gjøre vurderinger med hensyn på varmetilskudd og varmetap. I dette del kapitlet vil resultatene fra WIS 3.0.1 med hensyn på varmetilskudd og varmetap bli presentert.

Figur 46 viser hvordan de dynamiske vinduene A, B, C og D presterer med hensyn på varmetap og varmetilskudd for 30. januar. Man kan observere at vindu B og D reagerer kraftigere når solstråling faller på vindusflatene enn vindu A og C, slik at varmetapet blir mindre for de timene i døgnet med solstråling. Dette har formodentlig sammenheng med at vindu B og D har høyest  $g$ -verdi. Trenden viser seg også for de andre simuleringsdatoene, slik at vindu B og D også har høyest varmetilskudd om sommeren.



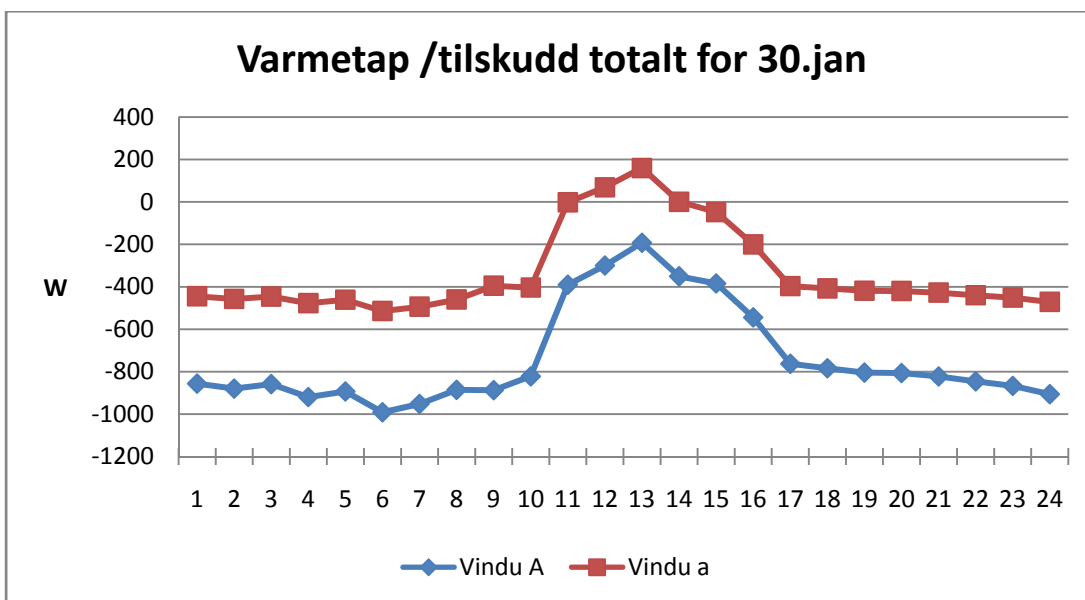
Figur 46 Varmetap/tilskudd for vinduene A, B, C og D for 30. Januar

Figur 47 viser det totale varmetapet og varmetilskuddet gjennom dagen 30. januar for alle vinduene med hel- og halvluftmengde.



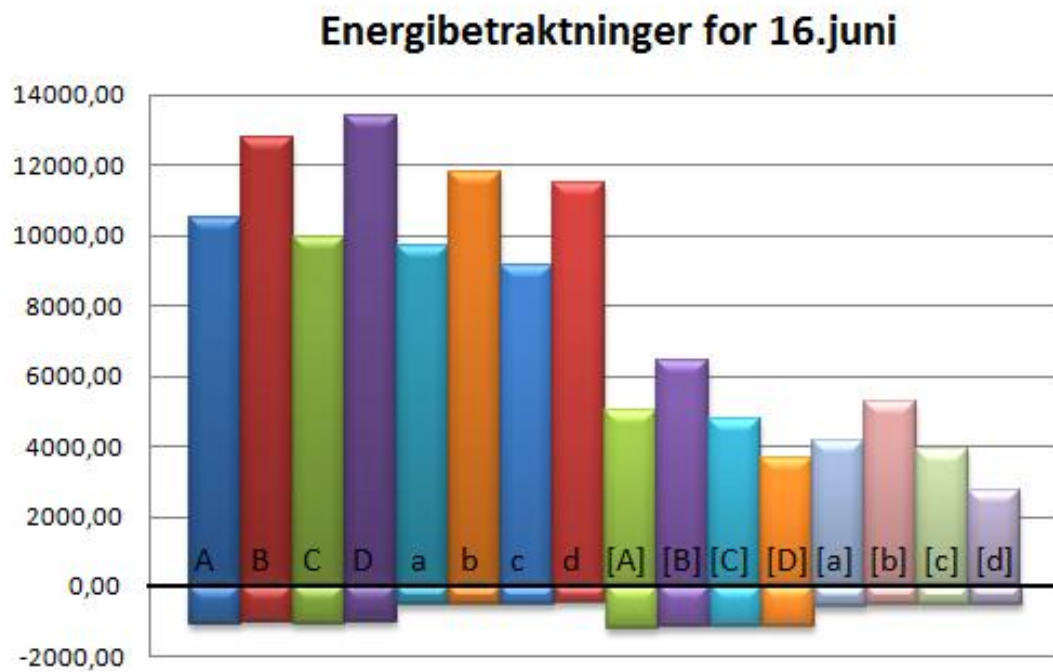
Figur 47 Energibetraktning for 30. januar

Med halvering av luftmengdene viser simuleringene ikke overraskende at varmetapet blir betydelig redusert, slik som vist på figur 48.



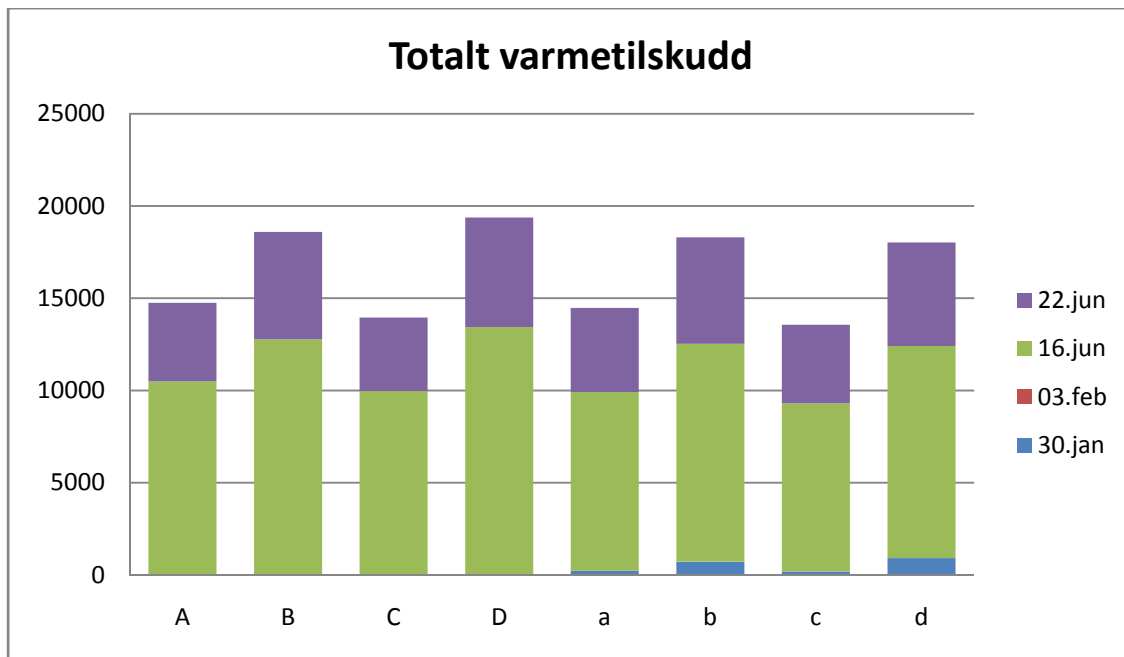
Figur 48 Varmetap for vindu A og a for 30. Januar

Ved sommersimuleringene er det som tidligere beskrevet anvendt solskjerming ved soltimene som overstiger  $175 \text{ W/m}^2$  strålingsfluks. Figur 49 viser at solskjermingen reduserer varmetilskuddet betraktelig på varme sommerdager med mye solinnstråling.



Figur 49 Energibetraktninger for 16. juni

Grafen over tilsier igjen også at vindusmodell D, d, B og b påvirkes mest av solen og solskjermingen, siden disse vinduene har de høyeste varmetilskuddene når det ikke er anvendt solskjerming. Det som er overraskende med resultatene presentert i ovenstående graf er at vindusmodell D og d, som viser de høyeste varmetilskuddene uten solskjerming, med solskjerming om sommeren blir de vindusmodellene med lavest varmetilskudd på varme sommerdager. Energibetraktningen for datoen 22. juni viser den samme trenden. (se vedlegg H)



Figur 50 Totalt varmetilskudd

Ettersom vindu B, b, D og d har lavest varmetap, men også høyest varmetilskudd er det gjort en sammenstilling av totalt varmetilskudd for alle vindusmodellene. Figur 50 viser forholdet mellom varmetilskuddet om vinteren som fører til mindre oppvarming og varmetilskuddet om sommeren som fører til økt kjølebehov, slik at man lettere kan vurdere hvilken vindusmodell som bør velges for de beste egenskaper for alle simuleringssituasjonene.

Figuren viser at varmetilskuddet man oppnår i soltimene om vinteren ved bruk av vindu B, b, D og d er relativt lite i forhold til det kjølebehovet som er simulert om sommeren. På bakgrunn av det betydelig lavere varmetilskuddet om sommeren bør man muligens velge vindu A, a, C og c, dersom man ikke benytter solskjerming om sommeren.

Benytter man derimot solskjerming om sommeren utpeker vindu d om vinteren og [d] om sommeren seg som den mest optimale vindusmodellen. Det er likevel særdeles viktig å merke seg at dette kun er med hensyn på energibetraktningene, ettersom vindusmodell [d] leverer særdeles høye innluft temperaturer om sommeren. (Se avsnitt 5.3.2 Temperatur på luften inn i rommet fra den ventilerte spalten.)



## 6. Feilkilder

Resultatene i denne masteroppgaven bygger i all hovedsak på de data som er hentet fra simuleringene utført i WIS 3.0.1, videre er simuleringene i stor grad basert på værdata fra et standard referanseår for Oslo. Derfor ønskes det med dette kapitlet å kartlegge og forklare de feilkilder som kan ligge i simuleringene og dermed også resultatene.

### 6.1 Direkte og diffus stråling

Fra værdata er det som tidligere nevnt hentet informasjon om temperaturer, direkte normal strålingsfluks og diffus horisontal stråling, hvor stråling er lagt sammen til det man kaller global stråling (direkte + diffus).

Direkte og diffus stråling er som nevnt over lagt sammen til global stråling, men en feilkilde i forbindelse med dette er at disse verdiene er målt på forskjellige måter og forholdet varierer med solvinkelen. Det antas at feilen er liten når det gjelder direkte normal stråling, ettersom det å lese av i henhold til solvinkler mot en horisontal vindusflate (figur 51) samsvarer med hvordan målingsflaten følger solbanen. WIS gir dermed resultater som tilnærmet samsvarer med realiteten. Diffus stråling er derimot målt mot en horisontal flate og ikke en vertikal, slik som vindusflaten er. Derfor mener forfatterne at mengden mot en vertikal vindusflate er overestimert, da særlig om vinteren hvor solvinklene er lave. Med andre ord menes det at feilkildene ved avlesing av direkte solstråling er tilnærmet riktig, mens overestimering av diffus stråling øker ved lavere solvinkler.

```

--- temperatures ---
Outdoor air temperature      : -12.5
Outdoor radiant temperature  : -12.5

incidence angle             :      0      10      20      30      40      50      60      70      80      90  diff
Outdoor surface temperature : -0.447 -0.423 -0.349 -0.224 -0.0375 0.222 0.558 0.835 0.0275 -11.9 0.145
layer (center) 1           : 0.209 0.235 0.312 0.445 0.641 0.915 1.27 1.56 0.710 -11.9 0.834
border           1           : 0.215 0.240 0.317 0.450 0.646 0.919 1.27 1.57 0.718 -11.9 0.839
layer (center) 2           : 0.812 0.833 0.898 1.01 1.17 1.40 1.70 2.02 1.69 -7.62 1.36
border           2           : 1.41 1.43 1.48 1.57 1.70 1.88 2.13 2.47 2.67 -3.39 1.89
layer (center) 3           : 1.42 1.43 1.48 1.57 1.70 1.88 2.14 2.47 2.68 -3.36 1.89
border           3           : 1.37 1.39 1.44 1.53 1.66 1.84 2.08 2.42 2.61 -3.32 1.84
layer (center) 4           : -7.19 -7.19 -7.18 -7.17 -7.16 -7.14 -7.12 -7.10 -7.12 -7.86 -7.15
border           4           : 8.43 8.44 8.47 8.51 8.56 8.63 8.70 8.76 8.69 6.21 8.59
layer (center) 5           : 8.72 8.73 8.75 8.79 8.85 8.91 8.98 9.03 8.96 6.50 8.88
Indoor surface temperature  : 8.97 8.97 9.00 9.04 9.09 9.16 9.23 9.28 9.20 6.80 9.12

Indoor air temperature      : 20.0
Indoor radiant temperature  : 20.0

```

Figur 51 Viser hvordan solvinkler er anvendt for avlesing av temperaturer. (Windat u.d.)

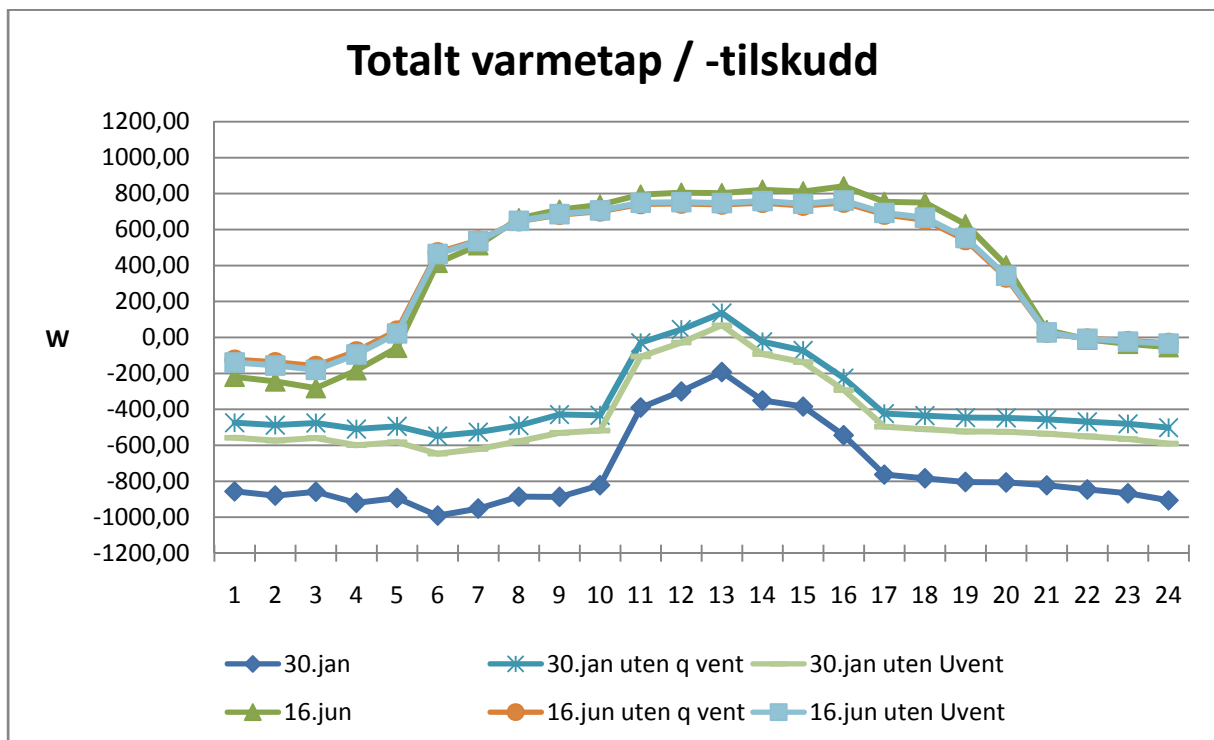
Vurderinger før simuleringene ble utført var at det ville være bedre å ta med diffus stråling og dermed ha en feilkilde med tanke på overestimering, enn og ikke inkludere diffus stråling og likevel vurdere denne underestimeringen som en feilkilde.

### 6.2 Feil i beregninger med hensyn på energibetraktninger

I avsluttende del av prosjektperioden ble det oppdaget en feil i beregningene med hensyn på energibetraktningene. Feilen ligger i hvordan U-verdien er brukt i formlene som beregner varmetilskudd og – tap (se avsnitt 4.4). Det er anvendt en U-verdi fra WIS 3.0.1 som

betegnes som  $U_{\text{total}}$ , hvor denne verdien er summen av  $U_{\text{sol}} + U_{\text{varmestrøm}} + U_{\text{vent}}$  (se eksempel rapport vedlegg B). Alle verdiene påvirkes av luftmengdene som simuleres gjennom den ventilerte luftspalten i de ulike vindusmodellene. I beregning av  $q_{\text{vent}}$  (en delsum av  $q_{\text{total}}$ ) brukes luftmengdene gjennom spalten på nytt, dette vil si at luftmengdene med hensyn på ventilasjon anvendes to ganger (første gang i WIS og andre gang i beregning av  $q_{\text{vent}}$ ).

Dette kunne bli løst enten ved og ikke inkludere delsummen  $q_{\text{vent}}$  i beregningen av  $q_{\text{total}}$ . Den andre muligheten er å anvende  $U_{\text{total}} - U_{\text{vent}}$  i beregningen av  $q_{\text{total}}$ .



Figur 52 Sammenligning av totalt varmetap/tilskudd med og uten  $q_{\text{vent}}$  og  $U_{\text{vent}}$  for vindu A 30. jan og 16. jun

Figur 52 viser hvordan resultatene forandres ved å korrigere beregningene som nevnt ovenfor. Forskjellen er tydelig for vintersimuleringene, mens verdiene for sommersimuleringene er tilnærmet det samme slik at feilen gjelder i hovedsak energibetraktningene om vinteren. Man kan også se at resultatet av de to nevnte løsningene er relativt like.

Fra vedlegg J kan man også se at grafene for alle vindusmodellene har samme form som tidligere og at forholdet mellom de ulike vindusmodellene er som før.

## 6.3 Øvrige feilkilder

### Feil fra WIS

WIS antar gjennomsnittlig lufthastighet i hulrommet i henhold til ISO Standard 15099 (Standard Norge 2003) for å kunne beregne temperaturprofilen og varmestrømmen. Dette er en feilkilde, men det er en nødvendig tilnærming for å kunne utføre beregningene.

Programmet beregner ikke U-verdier og uttakstemperaturen for forskjellige solhøyder. Det betyr at den avleste verdien for disse parameterne fra simuleringsrapporten er et gjennomsnitt av alle solhøydene.

### Forenklinger

Temperaturen for innvendig overflatetemperatur og temperaturen i spalten er avlest for hver tiende innfallsvinkel for sola (figur 51). Det betyr at solhøydene fra værdata er avrundet til nærmeste hele tiende grad og avlest for denne. Temperaturen i spalten bestemmer lufttettheten som er brukt til å beregne varmetap eller varmetilskudd i forhold til ventilasjon. Denne lufttettheten er manuelt avlest for hver halve grad på bakgrunn av temperaturen i spalten. Dette gjør at lufttettheten kan være maksimalt 0,001 for høy eller for lav i forhold til den virkelige verdien. Begge disse forenklingene anses å være så minimale at det ikke vil få noen betydelig innvirkning på resultatet.

### Manuelle feil

Som nevnt tidligere i rapporten er det utført over 1000 simuleringer, som gir like mange simuleringsrapporter. Ut fra disse simuleringsrapportene er det manuelt hentet U- og g-verdier og de forskjellige temperaturene for forskjellig solhøyde, noe som til sammen blir ca 6 000 tall som manuelt er ført i regneark. Det er en sannsynlighet for at verdier kan være lest av feil eller ført inn feil i regnearkene. I regnearkene er det gjort en rekke beregninger, og laget mange grafer og tabeller som det er en mulighet for at det kan være koblet til feil tall. Det er under hele prosjektet gjennomført kontroller av hverandres arbeid når det gjelder beregninger, simuleringer og det som er blitt skrevet for i størst mulig grad å forhindre slike feil.

## 7. Konklusjon

Følgende kapittel vil presentere konklusjonene som er trukket ut fra foregående resultat- og diskusjonskapittel. Konklusjonene er et resultat av simuleringene som er utført og de vurderinger forfatterne har gjort.

### ***U-verdier og g-verdier***

Det mest interessante resultatet fra simuleringene med hensyn på U-verdi og g-verdi er betydningen av plasseringen av energiglasset i vinduskonstruksjonen. Resultantene viser at man oppnår de laveste U-verdiene og g-verdiene ved plassering av energiglasset ytterst i konstruksjonen slik som vindu A og C. Dette gjelder både for vinter- og sommersimuleringene. Av vindu A og C var det vindu C som hadde de laveste U-verdiene og g-verdiene. Det må derfor konkluderes med at vindusmodellen C bør velges med hensyn på U- og g-verdier.

Ved halvering av luftmengdene kan man observere at U-verdiene nær halveres for samtlige vindusmodeller. Med tanke på g-verdi har halvering av luftmengdene fra 8 l/s til 4 l/s liten eller ingen betydning.

Ikke overraskende viser simuleringsresultatene at anvendelse av solskjerming reduserer g-verdien betraktelig.

### ***Temperaturer***

Den innvendige overflatetemperaturen for de forskjellige vindusmodellene forandrer seg tilnærmet likt i forhold til hverandre hele året. Vinduene B og D gir hele tiden høyest overflatetemperaturer, noe som skyldes at det er to lag glass, hvor et av glassene er ett energiglass, mellom det ventilerte hulrommet og innsiden. Dette gir bedre isolasjon, noe som også forklarer hvorfor disse vinduene har de laveste tilluftstemperaturene om vinteren siden varmen fra innsiden ikke kommer ut i hulrommet og "hjelper" sola å varme opp tilluften.

Solstrålingen påvirker tilluftstemperaturen inn i rommet i langt større grad enn den innvendige overflatetemperaturen. Vinduene B og D er de vinduene som påvirkes raskest av solen og får de største temperaturendringene i løpet av dagen om vinteren, mens de har de klart høyeste temperaturene hele sommeren. Vindu A gir lave innvendige overflatetemperaturer om vinteren. Dette kan skyldes konstruksjonen med kun ett lag glass mellom hulrom og innside, som igjen gir utslag på temperaturen på luften inn i rommet som er relativt jevnt høy hele vinteren i forhold til de andre vinduskonstruksjonene.

Vindu C legger seg hele tiden som en mellomting mellom vinduene A og vinduene B og C. For vinterdagene ligger vindu C nesten midt mellom de andre vindusmodellene både når det gjelder overflatetemperatur og tilluftstemperatur, mens den for sommeren er tilnærmet lik vindu A.

Halvering av luftmengdene gir i gjennomsnitt kun 1-3 °C høyere innvendig overflatetemperatur for de forskjellige vinduene. Påvirkningen av halvert luftmengde er mer varierende for de forskjellige vinduene og dagene når det gjelder lufttemperaturen inn i rommet. Vindu A som gir det største utslaget på vinteren gir i gjennomsnitt en økning på 5,6 °C den 30. Januar, men bare 0,8 °C den 16. Juni. 5,7 °C er den gjennomsnittlige økningen for vindu D den 16. Juni, noe som er den største økingen på sommeren, og for 30. Januar er temperaturøkningen på 4 °C.

De utvendige persiennene er kun testet for sommerdagene da det er ønskelig å benytte alt av solenergi til oppvarming på vinteren. Simuleringene viser at når persiennene er nede blir den innvendige overflatetemperaturen tilnærmet det samme om man bruker 4 eller 8 l/s luftmengde gjennom spalten. Påvirkningen av at persiennene er nede gir varierende utslag på den innvendige overflate temperaturen for de ulike vinduene. Vindu A vil få en temperaturreduksjon på ca. 3 °C i gjennomsnitt i sol perioden om sommeren. Til sammenlikning vil temperaturen for vindu B synke med ca. 6 °C, vindu C med 3 °C og vindu D med ca. 7 °C. For vindu A og C er det liten forskjell på lufttemperaturene inn i rommet med og uten persienner, som man kan se av tabell 9 i kapittel 5.3.2. Vinduet som har størst differanse mellom lufttemperaturen inn i rommet med og uten persienner er vindu D, som på det meste får en temperaturreduksjon med persiennene nede på over 11 °C.

### **Energibetraktninger**

Som et resultat av at vindu B og D har høyere g-verdi enn vindu A og C vil påvirkning av solinnstrålingen være større, og man kan observere at varmetapet blir mindre i soltimene med hensyn på vintersimuleringene. Tilsvarende er varmetilskuddet om sommeren høyere for vindu B og D.

En halvering av luftmengdene senker varmetapet betraktelig om vinteren for samtlige vindusmodeller. Om sommeren gir halvering av luftmengdene noe lavere tilskudd for datoen 16. juni, datoen med mye solstråling, mens varmetilskuddet er tilnærmet lik for datoen 22. juni.

Ved anvendelse av solskjerming reduseres varmetilskuddet betraktelig i soltimene, se figur 49 som viser energibetraktningene for 16. juni. Man kan også observere at kombinasjonen av solskjerming og halverte luftmengder gir de laveste varmetilskuddene ved solrike dager. Videre ser man at vindusmodellen [D] og [d] oppnår lavere varmetilskudd med solskjerming enn vindu [A], [a], [C] og [c] tross for at varmetilskuddet for vindusmodellen D og d er betydelig høyere enn vindu A, a, C og c.

På bakgrunn av det betydelig lavere varmetilskuddet og temperatur betraktningene om sommeren bør man likevel velge vindu A, a, C og c med hensyn på de energibetraktninger som er gjort.

### ***Sammenstilte konklusjoner***

- Energiglasset bør plasseres ytterst i vinduskonstruksjonen, slik som vindu A og C, for å oppnå de laveste U- og g-verdiene.
- Ved å halvere luftmengdene fra 8 l/s til 4 l/s viser resultatene at man oppnår en nær halvering av U-verdiene.
- Vinduene B og D gir hele tiden høyest overflatetemperaturer, mens vindu A og C ligger litt lavere om sommeren. Vindu A skiller seg ut på vinteren ved å ha den klart laveste innvendige overflatetemperaturen.
- Solstrålingen gjør store utslag på tilluftstemperaturen inn i rommet fra den ventilerte spalten. Vinduene B og D er de vinduene som påvirkes raskest av solen og får de største temperatursvingningene i løpet av dagen om vinteren, mens de har de klart høyeste temperaturene hele sommeren. Vindu A har den jevnt høyeste temperaturen på vinteren når det gjelder tilluftstemperaturen, og den laveste på sommeren.
- Halvering av luftmengdene gir liten innvirkning på den innvendige overflatetemperaturen, men større utslag for de forskjellige vinduene og dagene når det gjelder lufttemperaturen inn i rommet.
- De utvendige persiennene reduserer g-verdien og den innvendige overflate temperaturen betraktelig, og til dels vil også tilluftstemperaturen reduseres.
- For å redusere varmetapet bør man anvende mindre luftmengder, særlig med tanke på en vintersituasjon. Anvendelse av solskjerming i soltimene om sommeren reduserer varmetilskuddet ytterligere.

På bakgrunn av disse punktene er den endelige konklusjonen at det dynamiske vinduet vil kunne benyttes med gode resultater for det norske klimaet. Vindu A og C er de vinduene som forfatterne mener er best egnet med bakgrunn i de undersøkte kriteriene. Forskjellen på vindu A og C er at for vintersituasjonen vil vindu A ha en lavere innvendig overflatetemperatur enn vindu C, mens for tilluftstemperaturen vil det være motsatt. Lufthastigheten bør senkes om vinteren for å få bedre utnytte av forvarmingen, mens luftmengdene om sommeren bør luftmengdene være høyere. De utvendige persiennene hjelper til å redusere varmetilskuddet om sommeren betraktelig.

## 8. Videre arbeid

Rapporten er som tidligere nevnt utført som en masteroppgave med en tidsramme på fire måneder. Det var derfor nødvendig å gjøre noen forenklinger og velge bort noen områder som det ville være interessant og fordype seg mer i. Noen av de temaene som det ikke har blitt tid til å undersøke underveis, eller områder som det kan være interessant å arbeides videre med i etterkant av denne rapporten er listet opp under.

### ***Naturlig ventilasjon***

Utføre simuleringer for det dynamiske vinduet med naturlig ventilasjon for å kunne sammenlikne resultatene opp mot vinduet med mekanisk avtrekksventilasjon. Dette betyr at man må ta hensyn til vindkrefter og temperaturer inne og ute i større grad siden luften gjennom vinduet ikke nødvendigvis vil gå fra ute til inne. Vindkreftene reduserer varmeovergangsmotstanden som igjen påvirker varmetapet, det vil også være interessant å se hvordan dette slår ut på energibetraktningene i forhold til de betraktninger som er gjort i denne rapporten.

### ***Luftmengder***

I denne rapporten er det testet med 8 og 4 l/s luftmengder styrt med ett mekanisk avtrekksventilasjons anlegg. Det er ikke vurdert om disse luftmengdene er tilstrekkelige i forhold til krav for inneklimatesting, testing i forhold til forskriftskrav for luftmengder ville derfor vært interessant.

Det ville også vært nyttig å kartlegge hvilke luftmengder som ville vært optimale både i forhold til inneklimatesting og i forhold til oppvarming/kjøling med det dynamiske vinduet for forskjellige årstider.

### ***Fasader***

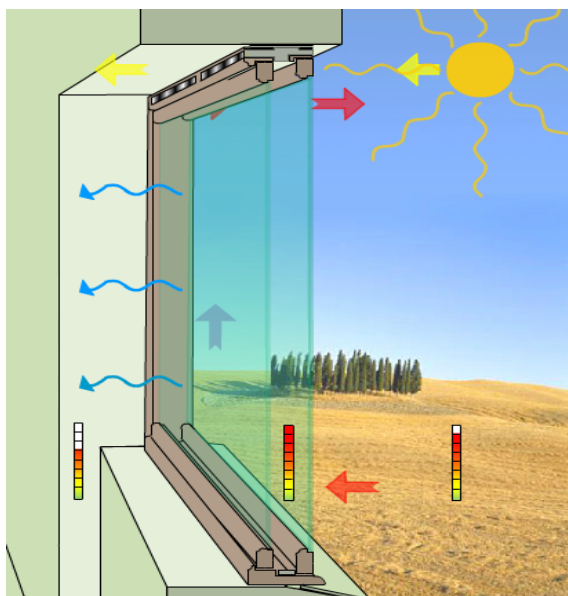
Simuleringene i denne rapporten er utført for den mest solutsatte fasaden. Det ville derfor vært nyttig å for eksempel undersøke hvor mye vil det dynamiske vinduet kunne klare å løfte lufttemperaturen gjennom spalten i ett vindu plassert på nordsiden av ett bygg. På bakgrunn av slike undersøkelser vil man kunne finne ut om det er fornuftig og eventuelt benytte dynamiske vinduer på alle fasader.

### ***Bruk av utvendige persiener om natten***

Ved å trekke ned persiennene om natten vil man kunne redusere varmetapet fra vinduene, henholdsvis om vinteren. Dette varmetapet skyldes at mesteparten av den infrarøde strålingen fra jorda sendes ut i verdensrommet om natten, og da forsvinner mye av varmen fra jordoverflaten. Ved å ha persiennene nede vil dette fungere som en skjerm, og hindre det meste av strålingen fra vinduene. Hvor mye dette eventuelt vil hjelpe er interessant å undersøke. (Atmosphere u.d.)

### **Simuleringer for varme sommerdager**

Sommer dagene i denne rapporten er simulert på samme måte som for vinter dagene. Dette er nødvendigvis ikke slik det ville vært i virkeligheten. På de varmeste dagene om sommeren ønsker man ikke å ta den luften som har gått gjennom den ventilerte luftspalten inn i rommet. Denne luften vil være ekstra varm, og slippes derfor bare ut igjen på toppen av vinduet, som vist i figur 53. På disse dagene vil man heller åpne en ventil øverst i vinduet slik at man tar uteluften rett inn i stedet for gjennom vinduet, som man gjør ved lufting med tradisjonelle vinduer. Simuleringer for sommerdagene hvor man benytter dette prinsippet vil derfor være interessante.



Figur 53 Dynamisk vindu for sommersituasjonen  
(HORN Vinduer 2011)

### **Kondens**

I ett dynamisk vindu hvor luften går mellom rutene vil det hele tiden være forandringer på overflate temperaturene for de forskjellige rutene som følge av temperatur- og sol forandringer. Alle vinduer vil være mer eller mindre kondensutsatte, men vil det dynamiske vinduet være mer utsatt enn andre vinduer på grunn av den ventilerte spalten? Dette er et nyttig område å kartlegge, og eventuelt komme med løsninger som vil forhindre eller minske farene for både innvendig, utvendig og mellomliggende kondens for dynamiske vinduer.

### **Energibetraktninger**

De energibetraktningene som er utført i denne rapporten tar kun for seg varmetransport gjennom glasset i vinduet og varmetransport i luften som går igjennom luftspalten i vinduet. Det ville derfor vært spennende og kartlegge hvordan energibalansen ville sett ut hvis man satte vinduet med karm og ramme inn i ett rom eller ett helt bygg.



## 9. Referanseliste

- Atmosphere. *Atmosphere*. [http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3\\_\\_Sol\\_og\\_skyer/\\_Skyenes\\_virkning\\_p\\_\\_klimaet\\_49q](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3__Sol_og_skyer/_Skyenes_virkning_p__klimaet_49q). (funnet Mai 22, 2011).
- Blom, Peter. *421.501 Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort*. Datablad, Oslo: Sintef Byggforsk, 1999.
- Blom, Peter, og Bjørn Tore Larsen. *Prosjektrapport 95 - Solinnstråling gjennom vinduer på klare, halvt overskyede og helt overskyede dager*. Byggforskblad, Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt, 1992.
- Carlos, Jorge S, Helena Corvacho, Pedro D Silva, og J.P Castro-Gomes. «Modelling and simulation of a ventilated double window.» *Applied Thermal Engineering* 31, 2011: 93-102.
- Carlos, Jorge S; Corvacho, Helena; Silva, Pedro D; Castro-Gomes, J P. «Real climate experimental study of two double window systems with preheating of ventilation air.» *Energy and Buildings* 42, 2010: 928-934.
- CEN . *Windows and doors - Product standard, performance characteristics* . Standard, Brussel: CEN, 2010.
- Chwieduk, Dorota A. «Recommendation on modelling of solar energy incident on a building envelope.» *Renewable Energy* 34, 2009: 736-741.
- Climawin. *Climawin*. 2010. <http://www.climawin.aau.dk/About+CLIMAWIN/> (funnet Mars 26, 2011).
- Dijk, Dick van. «WIS version 2.0.1 User Guide - Examples of windows as input for WIS.» *WinDat document N4.02 - Public*. WinDat Thematic Network, November 2003.
- Elmahdy, A H, og S M Cornick. *National Research Council Canada*. Januar 1990. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cp/win1.html> (funnet Mai 1, 2011).
- Flamant, G, N Heijmans, E Guiot, E Gratia, og E Bruyer. «Ventilated Double Facades. Determination of the energy performances of ventilated double facades by the use of simulation integrating the control aspects - Modeling aspects and assessment of the applicability of several simulation software.» *Forskningsrapport*, 2004.
- Gosselin, Jennifer R, og Qingyan Chen. «A dual airflow window for indoor air quality improvement and energy conservation in buildings.» *HVAC & R Research - Volume 14, Number 3*, Mai 2008.

Haase, Matthias, og Tore Wigenstad. *Prosjektrapport 57 - Evaluering av bruk av dobbel fasade som konsept ved oppgradering av eksisterende fasade*. Forkningsrapport, Oslo: SINTEF Byggforsk, 2010.

Holter, Øyvin. *Universitetet i Oslo*. 29 Mai 2002.  
<http://www.fys.uio.no/studier/kurs/fys240/ebok/ch3/ch3/node12.html> (funnet Mars 15, 2011).

HORN Vinduer. *HORN Vinduer*. 2011. <http://www.hornvinduer.dk/00009/00014/00024/> (funnet Mars 27, 2011).

Hunter Douglas Group . *Hunter Douglas Group*.  
<http://www.hunterdouglasgroup.com/products/windowcoverings.jsp> (funnet Mai 7, 2011).

Ismail, K A R, og J R Henriquez. «Two-dimensional model for the double glass naturally ventilated window.» *International Journal of Heat and Mass Transfer* 48, 2005: 461-475.

Johansen, Tor Steinar. *571.953 Isolerruter. Typer og konstruksjoner* . Forskningsrapport, Oslo: Sintef Byggforsk, 2001.

Karlsson, Nan. *471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*. Datablader, Oslo: Sintef Byggforsk, 1998.

Kjells Markiser. *kjellsmarkiser.no*. <http://www.kjellsmarkiser.no/c-51-50mm.aspx#deta#> (funnet Mai 7, 2011).

Klabunde, Richard E. *Cardiovascular Physiology Concepts*. 4 Oktober 2007.  
<http://www.cvphysiology.com/Hemodynamics/H007.htm> (funnet Mai 2, 2011).

McEvoy, M E, og R Southall. *Derivation of a theoretical model to explain the functioning of a window as a pre-heat ventilation device and its verification using physical models*. Forsknings artikkel, Cambridge, UK: International Journal of Ventilation, 2005.

McEvoy, M E; Southall, R G; Baker, P H. *Test cell evolution of supply air windows to characterise their optimum performance and its verification by the use of modelling techniques*. Forskningsrapport, Cambridge, Glasgow: Elsevier, 2003.

National Research Council Canada. *National Research Council Canada*. 25 Januar 2002.  
[www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cp/win1.html](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cp/win1.html) (funnet April 11, 2011).

NDLA. *Nasjonal Digital Læringsarena*.  
[http://ndla.no/sites/default/files/images/R4\\_36%20Elektromagnetisk%20spekter.jpg](http://ndla.no/sites/default/files/images/R4_36%20Elektromagnetisk%20spekter.jpg) (funnet Mars 15, 2011).

Norges Byggforskningsinstitutt. *472.411 - Solstrålingsdata for energi- og effektberegninger*. Byggforskblad, Oslo: Sintef Byggforsk, 1991.

- Physibel. *Physibel*. [http://www.physibel.be/bisco\\_ex.htm](http://www.physibel.be/bisco_ex.htm) (funnet Mai 16, 2011).
- Poirazis, Harris. *Single and Double Skin Glazed Office Buildings*. Doktoravhandling, Lund: Lund University Faculty of Engineering LTH, 2008.
- Ralegaonkar, Rahul V, og Rajiv Gupta. «Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach.» *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2010: 2238-2242.
- Sandstad, Jakob. *Store Norske Leksikon*.  
[http://www.snl.no/elektromagnetisk\\_str%C3%A5ling](http://www.snl.no/elektromagnetisk_str%C3%A5ling) (funnet Mars 15, 2011).
- Skåret, Eimund, og Peter Blom. *552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov*. Datablad, Oslo: Sintef Byggforsk, 1994.
- Southall, R G, og M E McEvoy. «Investigations into the functioning of a supply air window in relation to solar energy as determined by experiment and simulation.» *Solar Energy* 80, 2006: 512-523.
- Standard Norge. *NS 3031 - Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*. Standard, Oslo: Standard Norge, 2007.
- Standard Norge. *NS-EN 673 Bygningsglass - Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) - Beregningsmetode*. Standard, Oslo: Standard Norge, 2011.
- Standard Norge. *NS-EN ISO 10077-1 Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder - Beregning av varmegjennomgangskoeffisient - Del 1: Generelt*. Standard, Oslo: Standard Norge, 2006.
- Standard Norge. *NS-EN ISO 12567-2 Dørers og vinduers termiske egenskaper - Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient ved varmestrømapparatmetode - Del 2: Takvinduer og andre fremspringende vinduer*. Standard, Oslo: Standard Norge, 2005.
- Standard Norge. *NS-EN ISO 15927-4 Bygningers hygrotermiske egenskaper - Beregning og presentasjon av klimadata - Del 4: Timesdata for fastsettelse av årlig energibehov til oppvarming og kjøling*. Standard, Oslo: Standard Norge, 2005.
- Standard Norge. *NS-ISO 15099 Termiske egenskaper til vinduer, dører og skjerming - Detaljerte beregninger*. Standard, Oslo: Standard Norge, 2003.
- Store Norske Leksikon. *Store Norske Leksikon*. <http://www.snl.no/varmekapasitet> (funnet Mai 1, 2011).
- SunEarthTools. *SunEarthTools*. 13 April 2011.  
[http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php) (funnet April 13, 2011).

Uvsløkk, Sivert. 571.954 - *Isolerruter. Lys- og varmetekniske egenskaper* . Forskningsrapport, Oslo: Sintef Byggforsk, 2001.

van Dijk, Dick, og Richard Versluis. *Definitions of U- and g-value in case of double skin facades or vented windows*. WinDat document , WinDat Thematic Network, 2004.

Wei, Jingshu, Jianing Zhao, og Qingyan Chen. «Energy performance of a dual airflow window under different climates.» *Energy and Buildings* 42, 2010: 111-122.

Windat. *Windat*. <http://www.windat.org/wis/html/index.html> (funnet Mars 28, 2011).

Windat. *WIS Software*. Delft, Nederland, 2004.

## Vedlegg

	<b>Antall sider</b>
Vedlegg A: Værdata for simuleringsdagene	8
Vedlegg B: Eksempel på rapport fra simulering	10
Vedlegg C: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu A, B, C og D	5
Vedlegg D: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu A, a, [A], [a]	5
Vedlegg E: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu B, b, [B], [b]	5
Vedlegg F: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu C, c, [C], [c]	5
Vedlegg G: Grafer fremstilt av simuleringsdata for vindu D, d, [D], [d]	5
Vedlegg H: Energibetraktninger	2
Vedlegg I: Lufttetthet for forskjellige lufttemperaturer	1
Vedlegg J: Feilkilder energibetraktninger	2
Vedlegg K: Simuleringsdata i "råformat" (CD)	51
Vedlegg L: Rapporter fra simuleringer (CD)	10320
Vedlegg M: Standard referanseår med beregnede gjennomsnittsverdier (CD)	268

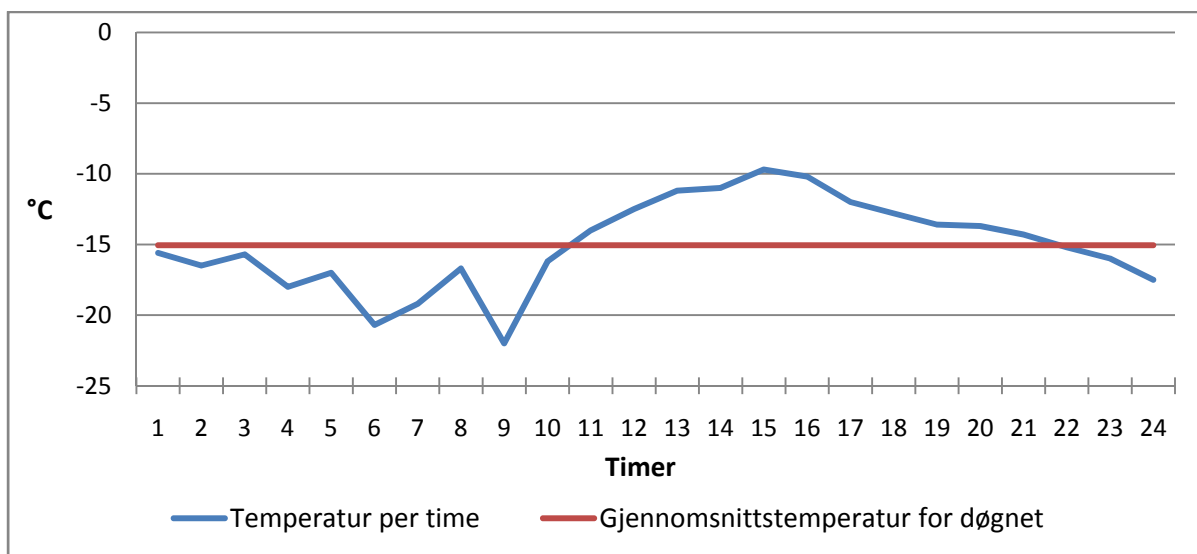


## Vedlegg A: Værdata for simuleringsdagene

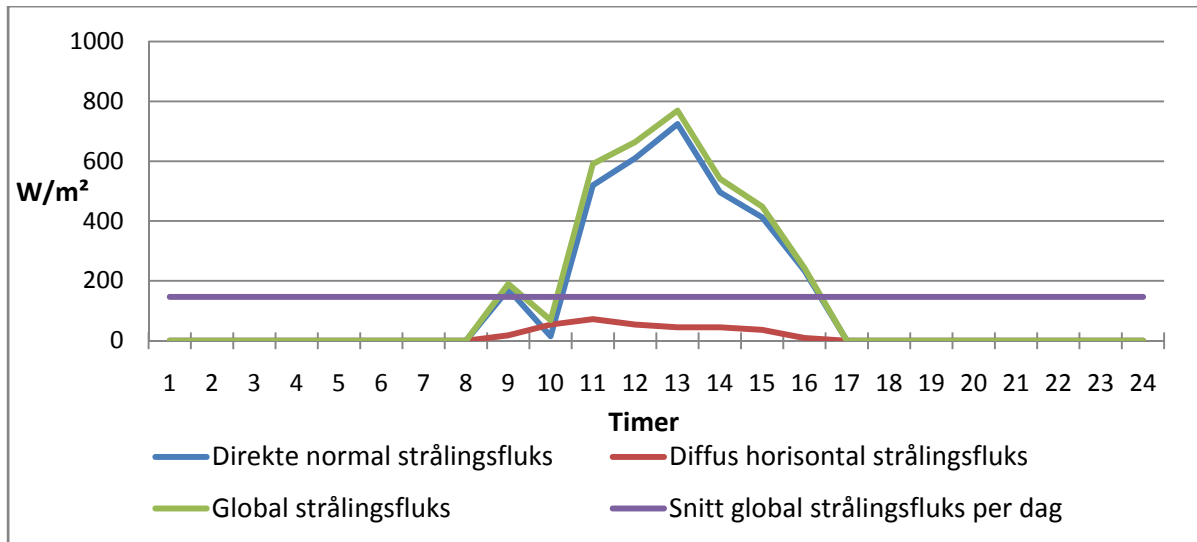
### Simuleringsdag 1: Kald vinterdag, 30. januar

Tabell 1 Værdata for 30.januar

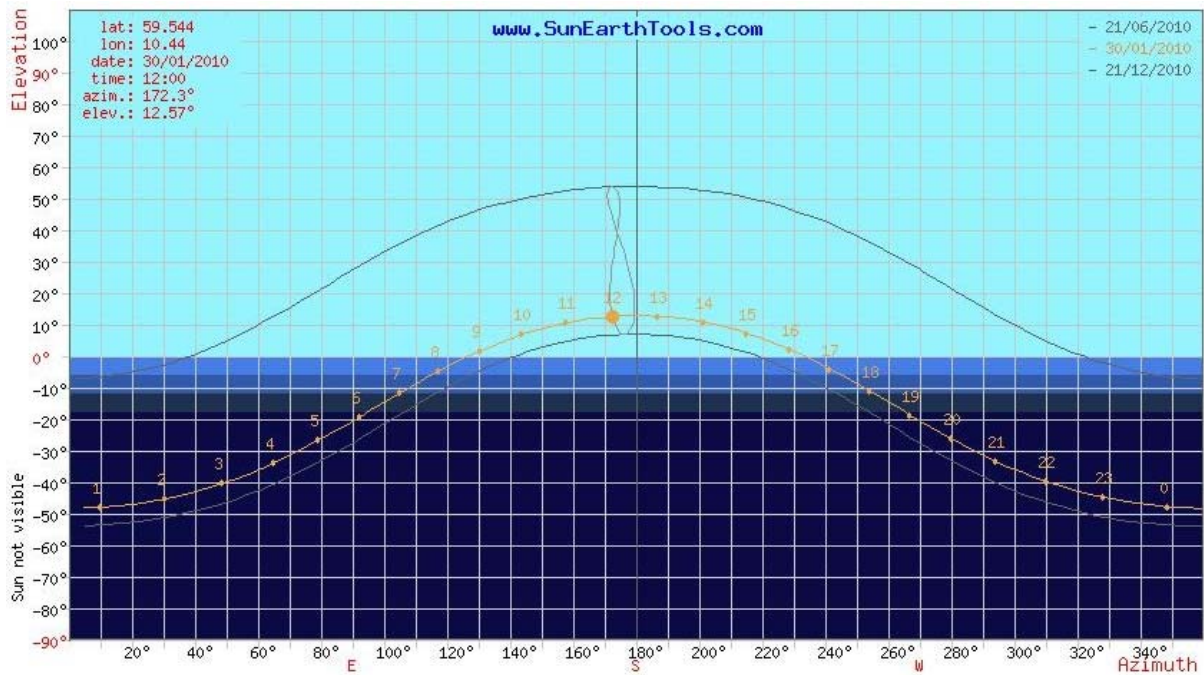
Måned	Dag	Time	Temperatur per time	Snitt temp per dag	Direkte normal strålingsfluks	Diffus horisontal strålingsfluks	Global strålingsfluks	Snitt strålingsfluks per dag	Andel diffus stråling
		[t]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[%]
1	30	1	-15,6	-15,05	0	0	0	146,46	9,47
1	30	2	-16,5		0	0	0		
1	30	3	-15,7		0	0	0		
1	30	4	-18		0	0	0		
1	30	5	-17		0	0	0		
1	30	6	-20,7		0	0	0		
1	30	7	-19,2		0	0	0		
1	30	8	-16,7		0	0	0		
1	30	9	-22		172	18	190		
1	30	10	-16,2		15	54	69		
1	30	11	-14		519	72	591		
1	30	12	-12,5		610	54	664		
1	30	13	-11,2		724	45	769		
1	30	14	-11		496	45	541		
1	30	15	-9,7		412	36	448		
1	30	16	-10,2		234	9	243		
1	30	17	-12		0	0	0		
1	30	18	-12,8		0	0	0		
1	30	19	-13,6		0	0	0		
1	30	20	-13,7		0	0	0		
1	30	21	-14,3		0	0	0		
1	30	22	-15,2		0	0	0		
1	30	23	-16		0	0	0		
1	30	24	-17,5		0	0	0		



Figur 1 Temperaturforløp den 30. januar



Figur 2 Strålingsfluks den 30. januar

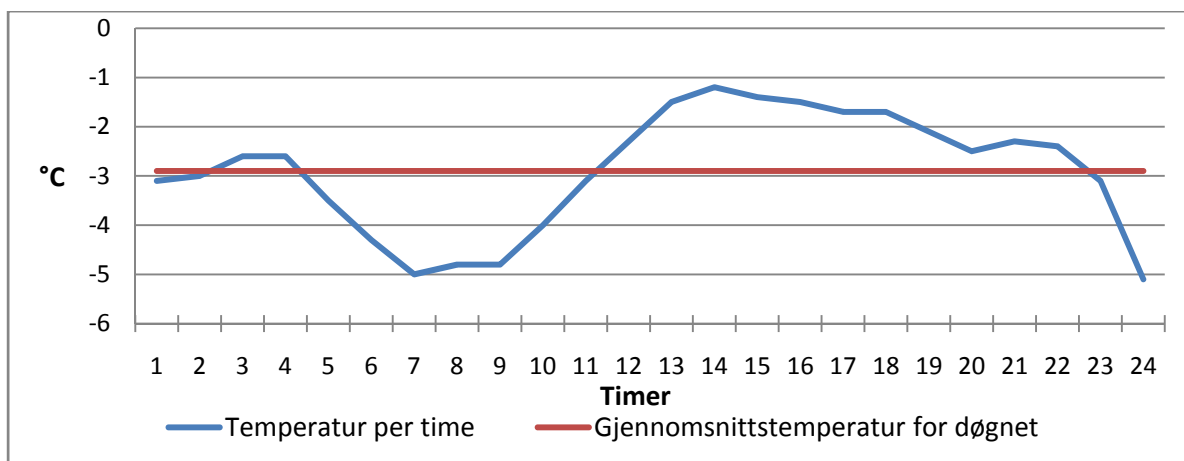
Figur 3 Solhøyder den 30. januar 2010  
(SunEarthTools 2011)



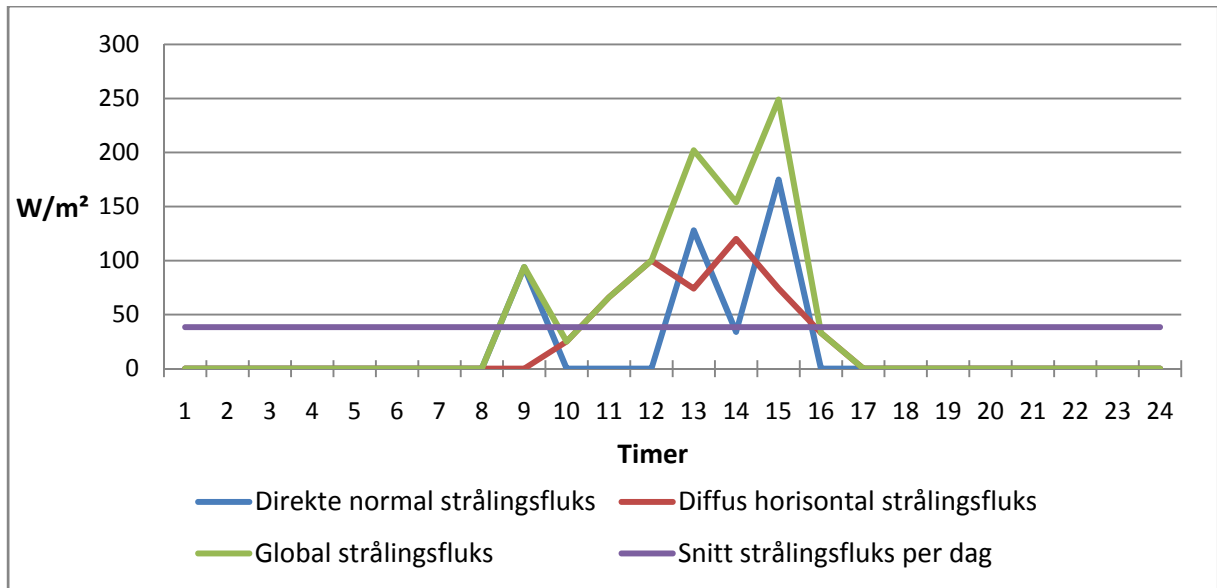
**Simuleringsdag 2: Delvis overskyet vinterdag, 3. Februar**

Tabell 2 Værdata for 3. februar

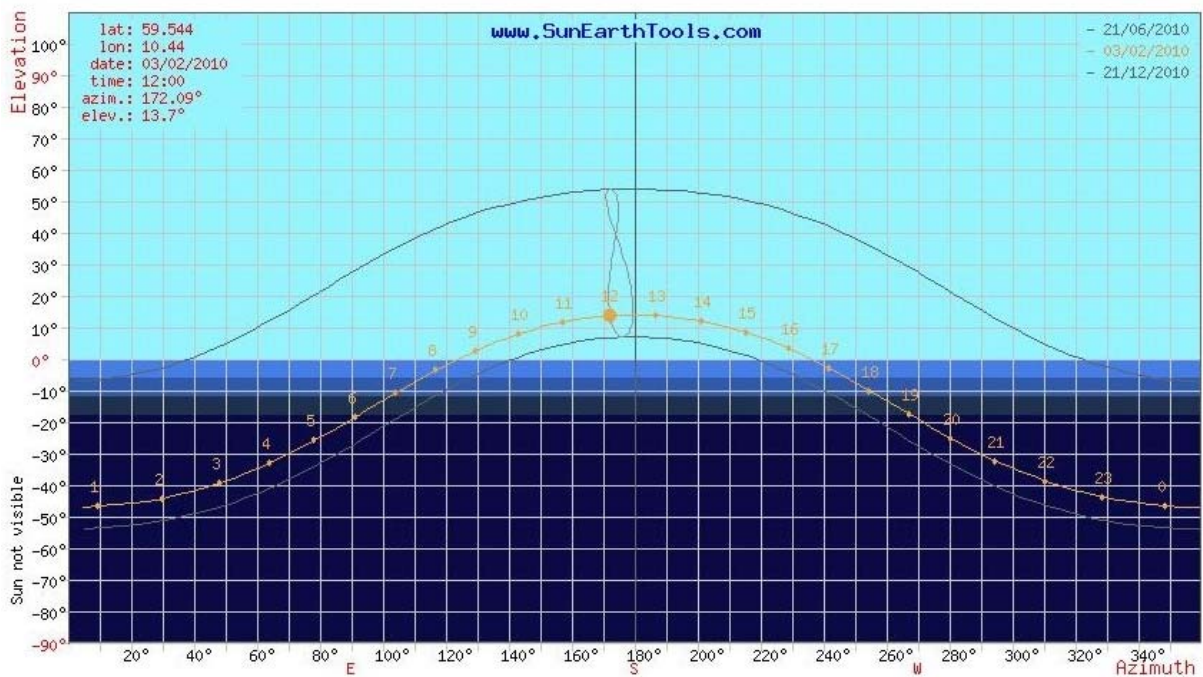
Måned	Dag	Time	Temperatur per time	Snitt temp per dag	Direkte normal strålingsfluks	Diffus horisontal strålingsfluks	Global strålingsfluks	Snitt strålingsfluks per dag	Andel diffus stråling
		[t]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[%]
2	3	1	-3,1	-2,90	0	0	0	38,46	53,30
2	3	2	-3		0	0	0		
2	3	3	-2,6		0	0	0		
2	3	4	-2,6		0	0	0		
2	3	5	-3,5		0	0	0		
2	3	6	-4,3		0	0	0		
2	3	7	-5		0	0	0		
2	3	8	-4,8		0	0	0		
2	3	9	-4,8		94	0	94		
2	3	10	-4		0	25	25		
2	3	11	-3,1		0	66	66		
2	3	12	-2,3		0	100	100		
2	3	13	-1,5		128	74	202		
2	3	14	-1,2		34	120	154		
2	3	15	-1,4		175	74	249		
2	3	16	-1,5		0	33	33		
2	3	17	-1,7		0	0	0		
2	3	18	-1,7		0	0	0		
2	3	19	-2,1		0	0	0		
2	3	20	-2,5		0	0	0		
2	3	21	-2,3		0	0	0		
2	3	22	-2,4		0	0	0		
2	3	23	-3,1		0	0	0		
2	3	24	-5,1		0	0	0		



Figur 4 Temperaturforløp den 3. februar



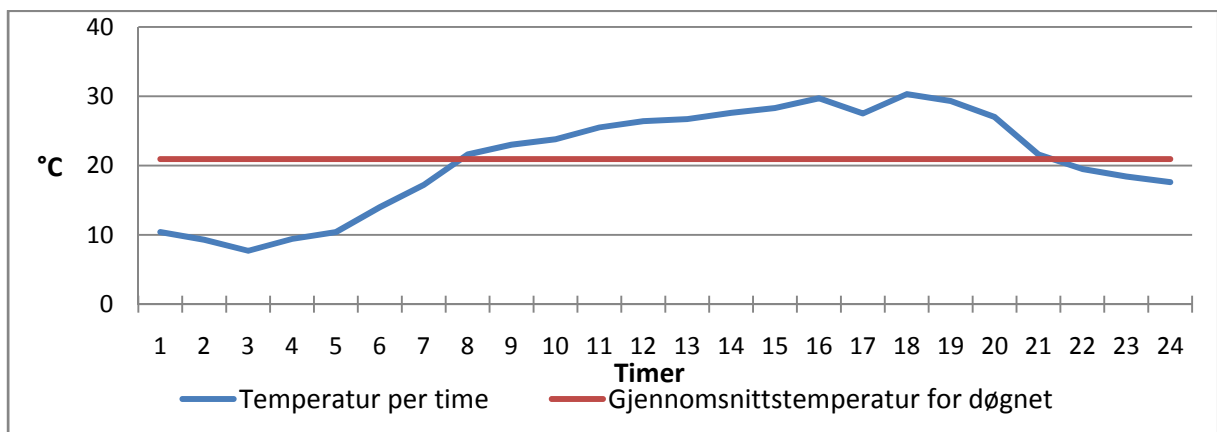
Figur 5 Strålingsfluks den 3. februar

Figur 6 Solhøyder den 3. februar 2010  
(SunEarthTools 2011)

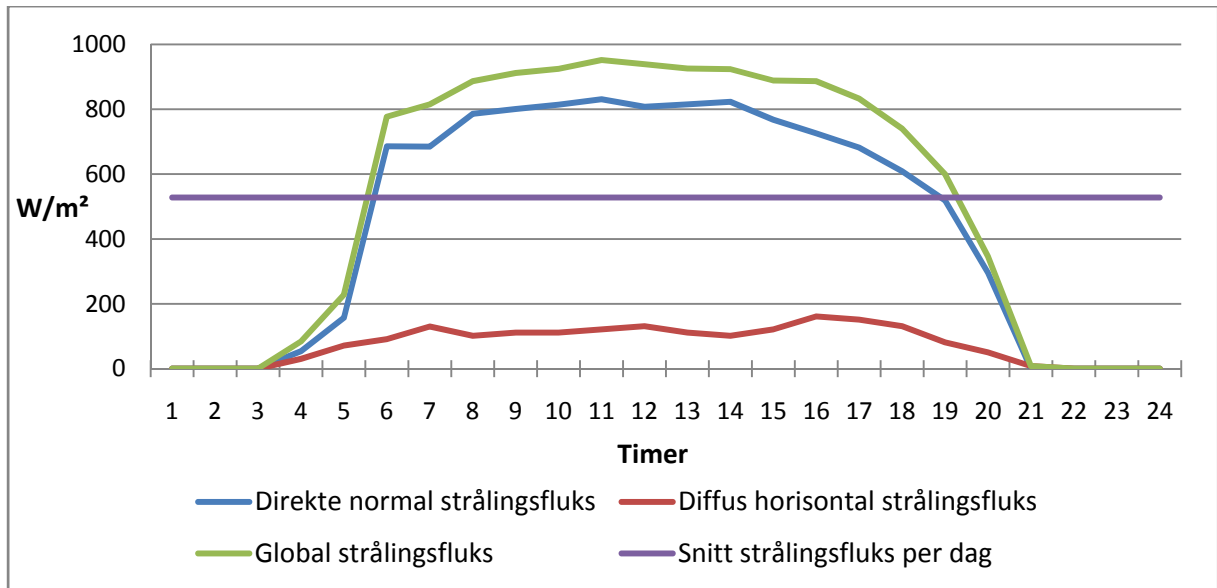
**Simuleringsdag 3: Varm sommerdag, 16. juni**

Tabell 3 Værdata for 16.juni

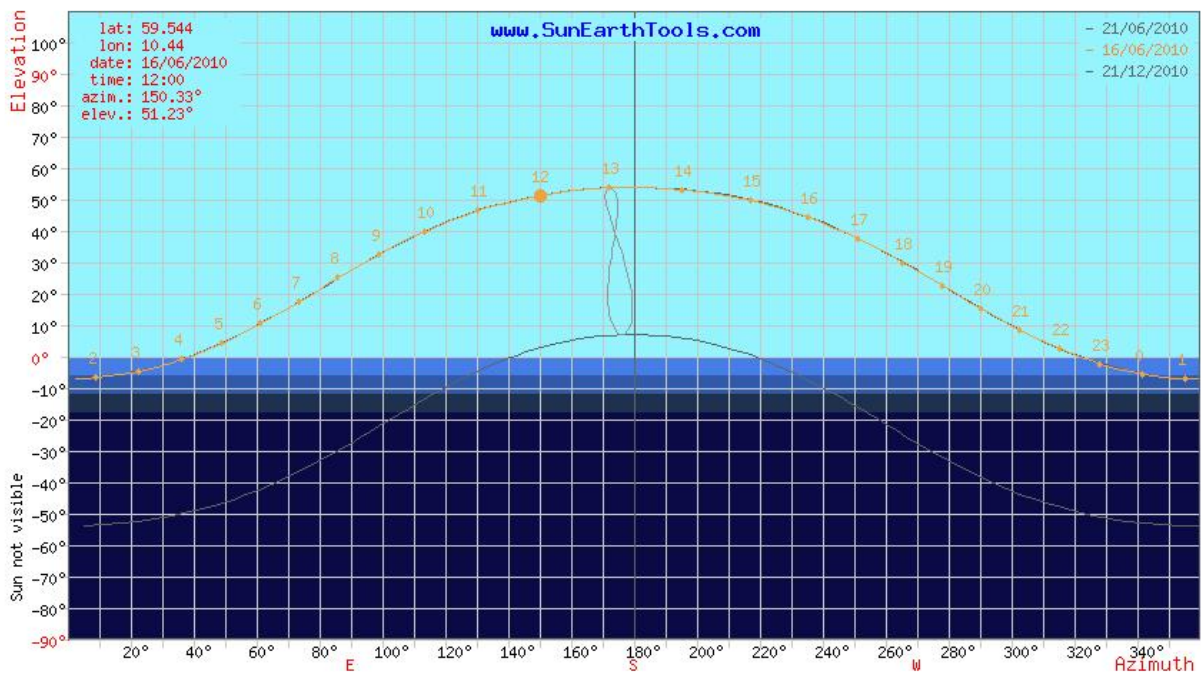
Måned	Dag	Time	Temperatur per time	Snitt temp per dag	Direkte normal strålingsfluks	Diffus horisontal strålingsfluks	Global strålingsfluks	Snitt strålingsfluks per dag	Andel diffus stråling
		[t]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[%]
6	16	1	10,4	20,93	0	0	0	528,00	14,30
6	16	2	9,3		0	0	0		
6	16	3	7,7		0	0	0		
6	16	4	9,4		54	30	84		
6	16	5	10,4		157	71	228		
6	16	6	14		686	91	777		
6	16	7	17,2		685	130	815		
6	16	8	21,6		786	101	887		
6	16	9	23		801	111	912		
6	16	10	23,8		814	111	925		
6	16	11	25,5		831	121	952		
6	16	12	26,4		808	131	939		
6	16	13	26,7		815	111	926		
6	16	14	27,6		823	101	924		
6	16	15	28,3		768	121	889		
6	16	16	29,7		726	161	887		
6	16	17	27,5		682	151	833		
6	16	18	30,3		609	131	740		
6	16	19	29,3		519	81	600		
6	16	20	27		296	50	346		
6	16	21	21,6		0	8	8		
6	16	22	19,5		0	0	0		
6	16	23	18,4		0	0	0		
6	16	24	17,6		0	0	0		



Figur 7 Temperaturforløp den 16. juni



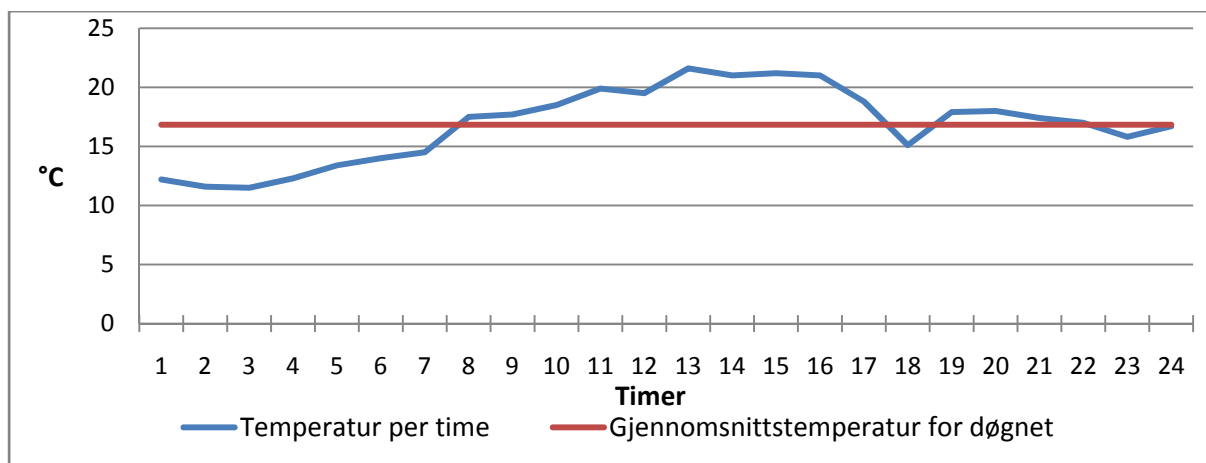
Figur 8 Strålingsfluks den 16. juni

Figur 9 Solhøyder den 16. juni 2010  
(SunEarthTools 2011)

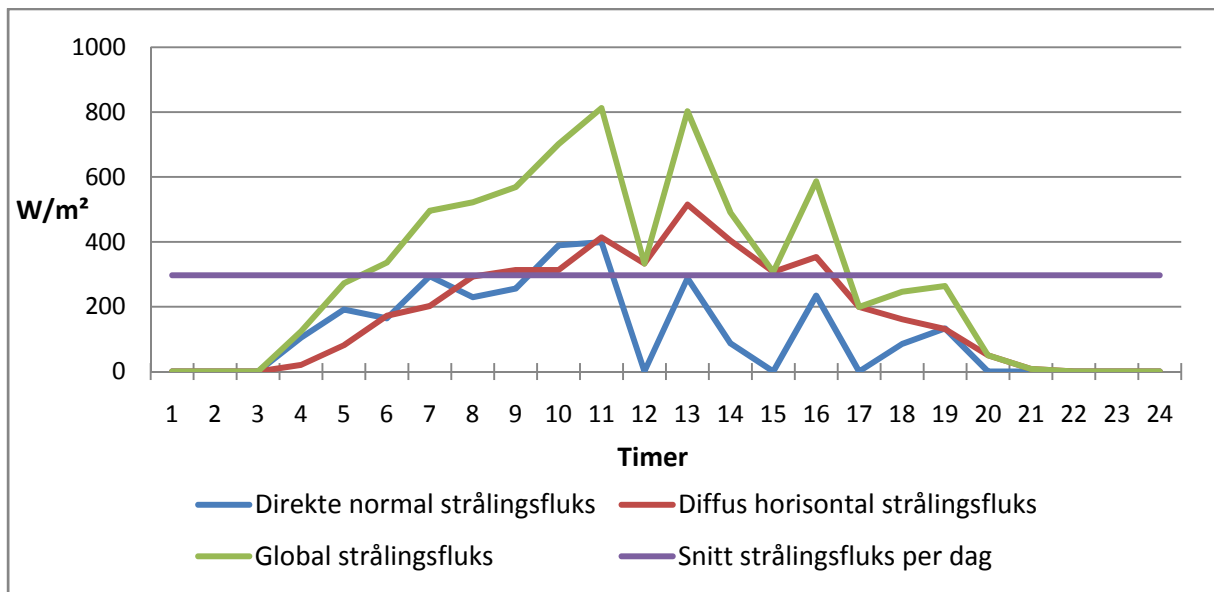
**Simuleringsdag 4: Delvis overskyet sommerdag, 22. Juni**

Tabell 4 Værdata for 22.juni

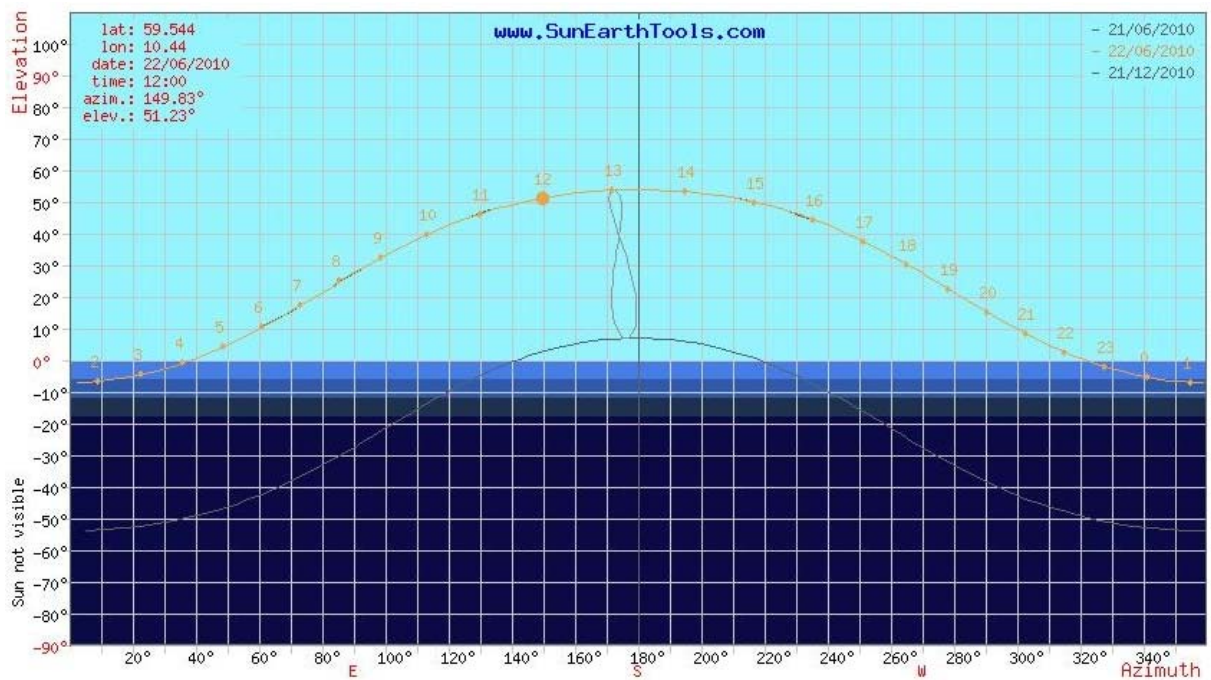
Måned	Dag	Time	Temperatur per time	Snitt temp per dag	Direkte normal strålingsfluks	Diffus horisontal strålingsfluks	Global strålingsfluks	Snitt strålingsfluks per dag	Andel diffus stråling
		[t]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[%]
6	22	1	12,2	16,84	0	0	0	296,75	59,94
6	22	2	11,6		0	0	0		
6	22	3	11,5		0	0	0		
6	22	4	12,3		104	20	124		
6	22	5	13,4		191	81	272		
6	22	6	14		164	172	336		
6	22	7	14,5		294	202	496		
6	22	8	17,5		229	293	522		
6	22	9	17,7		256	313	569		
6	22	10	18,5		389	313	702		
6	22	11	19,9		399	414	813		
6	22	12	19,5		0	333	333		
6	22	13	21,6		288	515	803		
6	22	14	21		87	404	491		
6	22	15	21,2		0	307	307		
6	22	16	21		234	353	587		
6	22	17	18,8		0	199	199		
6	22	18	15,1		85	161	246		
6	22	19	17,9		133	131	264		
6	22	20	18		0	50	50		
6	22	21	17,4		0	8	8		
6	22	22	17		0	0	0		
6	22	23	15,8		0	0	0		
6	22	24	16,7		0	0	0		



Figur 10 Temperaturforløp den 22. juni



Figur 11 Strålingsfluks den 22.juni

Figur 12 Solhøyder den 22. juni  
(SunEarthTools 2011)

## Vedlegg B: Eksempel på rapport fra simulering

### Utført for vær-situasjon 1(30.januar) for vindu A time 1 (1A1)

Resten av simuleringsrapportene ligger i vedlegg L (CD).

--- Report transparent system : Vindu A ---

--- Basics (key thermal and solar properties) ---

name transparent system : Vindu A  
U-value : 7.32 [W/(m<sup>2</sup>.K)]  
solar factor (g) : 0.000 [-] (total solar energy transmittance)

The g-value includes the effect of all changes in the situation with sun and situation without sun.

Consequently, the g-value in case of free (thermally driven) ventilation in one of the gaps is also influenced by the increase in the air flow with sun compared to the situation without sun. This air flow may be cold or warm. This may lead to g-values higher than 1 (one) or lower than 0 (zero).

See the Help file for more information.

solar direct transmittance : 0.335 [-]  
solar direct reflectance outdoor : 0.289 [-]  
solar direct reflectance indoor : 0.287 [-]  
light transmittance : 0.639 [-]  
light reflectance outdoor : 0.160 [-]  
light reflectance indoor : 0.193 [-]  
UV transmittance : 0.0528 [-]  
UV reflectance outdoor : 0.0906 [-]  
UV reflectance indoor : 0.141 [-]  
general colour rendering index (Ra) : 95.0 [-]

--- Split U-value ---

Uconv : 1.09 [W/m<sup>2</sup>.K]  
Uir : 1.63 [W/m<sup>2</sup>.K]  
Uvent : 4.60 [W/m<sup>2</sup>.K]  
----- +  
Utotal : 7.32 [W/m<sup>2</sup>.K]

--- Split all 'dark' heat flow coefficients into fractions (h-values) ---

h_conv,indoor	:	1.09	[W/m2.K]
h_ir,indoor	:	1.63	[W/m2.K]
h_conv,outdoor	:	0.328	[W/m2.K]
h_ir,outdoor	:	0.0712	[W/m2.K]
h_vent	:	2.32	[W/m2.K]
		-----	+
checksum (expected value = h_indoor - h_outdoor - h_vent = 0)	:	0.000	[W/m2.K]

--- Split solar factor (g) into fractions ---

solar direct transmittance	:	0.335	[-]
solar factor convective	:	0.000	[-]
solar factor thermal radiative ir	:	0.000	[-]
solar factor ventilation	:	0.000	[-]
		-----	+
solar factor (g)	:	0.000	[-]

--- Split solar gain coefficients to outdoor side into fractions ---

solar fraction reflected to outdoor	:	0.289	[-]
solar fraction convected to outdoor	:	0.000	[-]
solar fraction th. radiated to outdoor	:	0.000	[-]
solar fraction ventilated to outdoor	:	0.000	[-]
		-----	+
solar fraction to outdoor	:	0.289	[-]

--- Split all solar fractions, optical part ---

solar direct transmittance	:	0.335	[-]
solar direct reflectance	:	0.289	[-]
solar absorption fraction layer 1	:	0.335	[-]
solar absorption fraction layer 2	:	0.000	[-]
solar absorption fraction layer 3	:	0.0231	[-]
solar absorption fraction layer 4	:	0.000	[-]
solar absorption fraction layer 5	:	0.0181	[-]
		-----	+
checksum (expected value = 1)	:	1.00	[-]

--- Split all solar fractions, thermal part (a-values) ---

solar absorbed	:	0.376	[-]
conv indoor	:	0.000	[-]
ir indoor	:	0.000	[-]
conv outdoor	:	0.000	[-]
ir outdoor	:	0.000	[-]
gap vent	:	0.000	[-]
		-----	+
checksum (abs-others. expected value = 0)	:	0.376	[-]



--- Short description conditions used for calculations ---

Calculated using setting: No restrictions (expert level)

Therefore results are calculated using user selected methods and settings

For solar calculations in the total solar range, spectral properties are used

For solar calculations in the visual range, spectral properties are used

For solar calculations in the uv range, spectral properties are used

The solar spectrum of EN 410 is used with air mass 1

--- Short system description --- (from outdoor to indoor)

layer 1 is a Pane named : Energy6.gvb with pane in original position.

layer 2 is a Gap named : Air-Argon 10/90

layer 3 is a Pane named : ip\_klar6.ipe with pane in original position.

layer 4 is a Gap named : Air which is forced ventilated !

layer 5 is a Pane named : ip\_klar6.ipe with pane in original position.

--- Detailed Thermal Solar Properties ---

abs x : absorption fraction for each layer (layer = pane, gap, solar shading ...)

t\_sol : solar direct transmittance

r\_sol\_o : solar direct reflectance on the outdoor side

r\_sol\_i : solar direct reflectance on the indoor side

t\_vis : light transmittance

r\_vis\_o : light reflectance outdoor side

r\_vis\_i : light reflectance indoor side

t\_uv : UV transmittance

r\_uv\_o : UV reflectance outdoor side

r\_uv\_i : UV reflectance indoor side

g\_val : solar factor (total solar energy transmittance g)

diff : diffuse (transmittance / reflectance)

prop		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	diff
abs	1	0.335	0.336	0.338	0.342	0.347	0.355	0.364	0.372	0.347	0.000	0.352
abs	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
abs	3	0.0231	0.0232	0.0235	0.0241	0.0250	0.0262	0.0281	0.0311	0.0354	0.000	0.0266
abs	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
abs	5	0.0181	0.0182	0.0184	0.0187	0.0191	0.0192	0.0188	0.0172	0.0135	0.000	0.0182
t_sol		0.335	0.334	0.331	0.326	0.315	0.292	0.248	0.172	0.0710	0.000	0.260
r_sol_o		0.289	0.289	0.289	0.289	0.294	0.307	0.341	0.407	0.533	1.00	0.343
r_sol_i		0.287	0.286	0.285	0.284	0.289	0.309	0.362	0.472	0.659	1.00	0.362
t_vis		0.639	0.638	0.634	0.625	0.605	0.561	0.473	0.322	0.129	0.000	0.494
r_vis_o		0.160	0.159	0.159	0.162	0.172	0.203	0.274	0.408	0.607	1.00	0.271
r_vis_i		0.193	0.193	0.194	0.198	0.214	0.254	0.346	0.515	0.744	1.00	0.335
t_uv		0.0528	0.0526	0.0519	0.0505	0.0482	0.0444	0.0376	0.0258	0.00923	0.000	0.0399
r_uv_o		0.0906	0.0906	0.0908	0.0921	0.0967	0.109	0.141	0.220	0.420	1.00	0.142
r_uv_i		0.141	0.141	0.140	0.140	0.145	0.160	0.202	0.301	0.508	1.00	0.206
g_val		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(Solar absorption assumed in center of layers)

--- temperatures ---

Outdoor air temperature : -15.6

Outdoor radiant temperature : -15.6

incidence angle	:	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	diff
outdoor surface temperature	:	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8
layer (center)	1 :	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8
border	:	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7
layer (center)	2 :	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25	-9.25
border	:	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77	-3.77
layer (center)	3 :	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73	-3.73
border	:	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69	-3.69
layer (center)	4 :	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46
border	:	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46
layer (center)	5 :	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75
Indoor surface temperature	:	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04

Indoor air temperature : 20.0

Indoor radiant temperature : 20.0

--- Network ---

Layer and node properties from outdoor side to indoor side

-- solar absorption fractions for layers [0-1]:

Solar absorption fraction of layer 1 : 0.335

Solar absorption fraction of layer 2 : 0.000

Solar absorption fraction of layer 3 : 0.0231

Solar absorption fraction of layer 4 : 0.000

Solar absorption fraction of layer 5 : 0.0181

-- conduction / convection heat transfer coefficients for layers:

IR and ventilation not included !

Heat transfer coeff of layer 1 : 171.

Heat transfer coeff of layer 2 : 1.14

Heat transfer coeff of layer 3 : 167.

Heat transfer coeff of layer 4 : 1.56

Heat transfer coeff of layer 5 : 167.

Network of thermal coefficients (h) for perpendicular incidence angle

-- Total Network:

hs are given between all nodes

nodes are from outdoor to indoor

all layers (including gaps) have 3 nodes of which 2 are joined with neighboring layers

1 : node 1 (node at outdoor surface)

2 : node 2 (center node of outdoor side layer) ...

o\_air : outdoor air node

o\_rad : outdoor radiant node

i : indoor node

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	o_air	o_rad	i
1	0.000	342.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.0	3.25	0.000
2	342.	0.000	342.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	342.	0.000	2.29	0.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	2.29	0.000	2.29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.153	2.29	0.000	333.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	333.	0.000	333.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	333.	0.000	4.19	3.37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.19	0.000	4.19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.37	4.19	0.000	333.	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	333.	0.000	333.	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	333.	0.000	0.000	0.000	7.47
o_air	15.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
o_rad	3.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
i	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.47	0.000	0.000	0.000

-- gap properties conduction/convection/ventilation :

Layer : 2 is a gap with the following calculated properties :

Nusselt\_number : 1.03

Prandtl\_number : 0.685

Grashof\_number ; 1.07e+004

layer : 4 is a ventilated gap with the following calculated ventilation properties :

h between bordering layers (h\_gap) [W/(m2.K)] : 2.09

h between incoming air and air in layer (h\_between) [W/(m2.K)] : 11.6

air speed [m/s] : 0.267

air temperature at center[oC] : -8.46

air temperature at exit [oC] : -3.68

--- System description ---

(from outdoor to indoor for perpendicular incidence angle)

-- layer : 1 is a : Pane --

name : Energy6.gvb  
id : 2756  
thickness : 5.85 [mm]  
thermal conductance : 1.00 [W/(m.K)]

coating code : UC [-]

IR transmittance : 0.000 [-]

IR emissivity outdoor : 0.837 [-]

IR emissivity indoor : 0.0370 [-]

solar direct transmittance : 0.431 [-]

solar direct reflectance outdoor : 0.247 [-]

solar direct reflectance indoor : 0.366 [-]

light transmittance : 0.781 [-]

light reflectance outdoor : 0.0658 [-]

light reflectance indoor : 0.0623 [-]

UV transmittance : 0.0817 [-]

UV reflectance outdoor : 0.0889 [-]

UV reflectance indoor : 0.205 [-]

General colour rendering index (Ra) : 97.0 [-] (0-100)

component information

Type: Coated Appearance:

-- layer : 2 is a : Gap --

name	:	Air-Argon 10/90			
gap width	:	15.0 [mm]			
		-10 oC	0 oC	10 oC	20 oC
conduction	:	0.0166	0.0171	0.0177	0.0182
dynamic viscosity	:	2.00e-005	2.06e-005	2.12e-005	2.19e-005
density	:	1.78	1.68	1.65	1.59
CP	:	568.	568.	568.	568.

-- layer : 3 is a : Pane --

name	:	ip_klar6.ipe
id	:	2643
thickness	:	6.00 [mm]
thermal conductance	:	1.00 [W/(m.K)]

coating code	:	UU [-]
--------------	---	--------

IR transmittance	:	0.000 [-]
IR emissivity outdoor	:	0.837 [-]
IR emissivity indoor	:	0.837 [-]

solar direct transmittance	:	0.818 [-]
solar direct reflectance outdoor	:	0.0812 [-]
solar direct reflectance indoor	:	0.0812 [-]

light transmittance	:	0.896 [-]
light reflectance outdoor	:	0.0841 [-]
light reflectance indoor	:	0.0841 [-]

UV transmittance	:	0.542 [-]
UV reflectance outdoor	:	0.0607 [-]
UV reflectance indoor	:	0.0607 [-]

General colour rendering index (Ra) : 99.0 [-] (0-100)

component information

Type: Monolithic Appearance: Clear

-- layer : 4 is a : Gap --

name	:	Air			
gap width	:	30.0 [mm]			
		-10 oC	0 oC	10 oC	20 oC
conduction	:	0.0234	0.0242	0.0250	0.0258
dynamic viscosity	:	1.66e-005	1.71e-005	1.76e-005	1.81e-005
density	:	1.33	1.28	1.23	1.19
CP	:	1.01e+003	1.01e+003	1.01e+003	1.01e+003

This is a forced ventilated layer

air is coming from outdoors

air is going to indoors

h between bordering layers (h_gap) [W/(m2.K)]	:	2.09
h between incoming air and air in layer (h_between) [W/(m2.K)]	:	11.6
air speed in gap [m/s]	:	0.267
air flux [dm3/s] per m width	:	8.00
air temperature at center [oC]	:	-8.46
air temperature at exit [oC]	:	-3.68

-- layer : 5 is a : Pane --

name	:	ip_klar6.ipe
id	:	2643
thickness	:	6.00 [mm]
thermal conductance	:	1.00 [W/(m.K)]

coating code	:	UU [-]
--------------	---	--------

IR transmittance	:	0.000 [-]
IR emissivity outdoor	:	0.837 [-]
IR emissivity indoor	:	0.837 [-]

solar direct transmittance	:	0.818 [-]
solar direct reflectance outdoor	:	0.0812 [-]
solar direct reflectance indoor	:	0.0812 [-]

light transmittance : 0.896 [-]  
light reflectance outdoor : 0.0841 [-]  
light reflectance indoor : 0.0841 [-]

UV transmittance : 0.542 [-]  
UV reflectance outdoor : 0.0607 [-]  
UV reflectance indoor : 0.0607 [-]

General colour rendering index (Ra) : 99.0 [-] (0-100)

component information

Type: Monolithic Appearance: Clear

--- Environment ---

name : 30 januar time1  
id : 38

radiant temperature outdoor : -15.6 [oC]  
air temperature outdoor : -15.6 [oC]  
radiant temperature indoor : 20.0 [oC]  
air temperature indoor : 20.0 [oC]

Solar radiation : 0.000 [W/m2]  
Convection coeff. outdoor : 15.0 [W/(m2.K)]  
Convection coeff. indoor : 3.00 [W/(m2.K)]

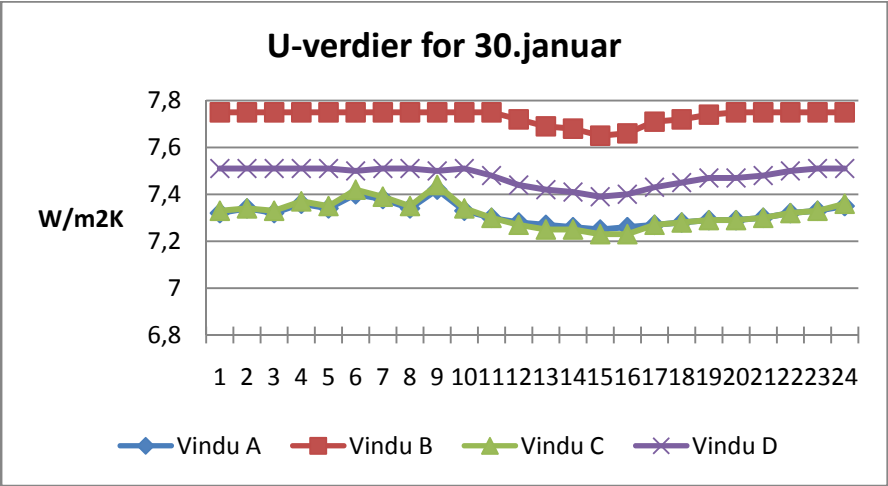
--- Disclaimer ---

The WIS Consortium makes no warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information obtained with the WIS Software.

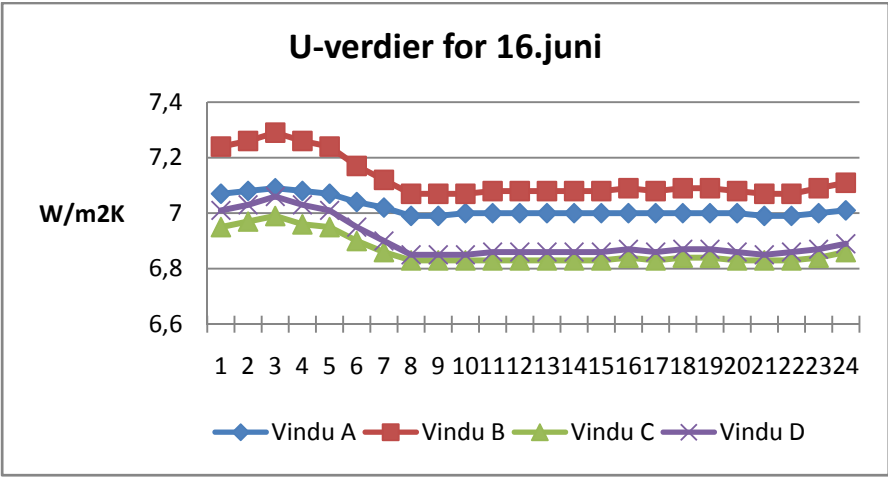
The user has agreed to be bound by the terms of the License that accompanied the WIS Software package.



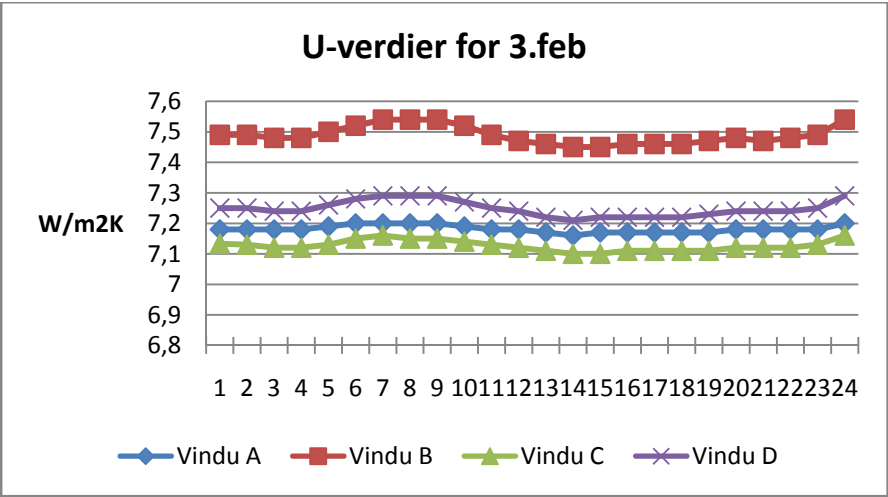
### Vedlegg C: Simuleringsdata for vindu A, B, C og D



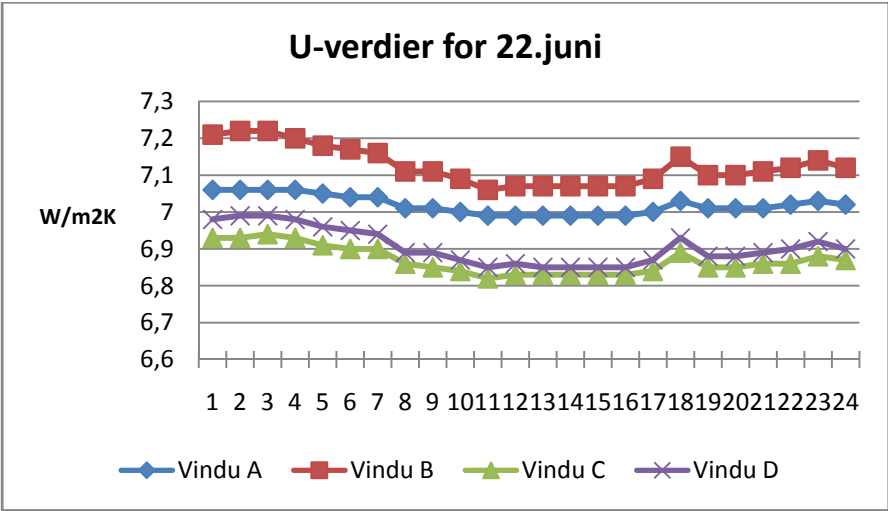
Figur 1 U-verdier for 30. januar



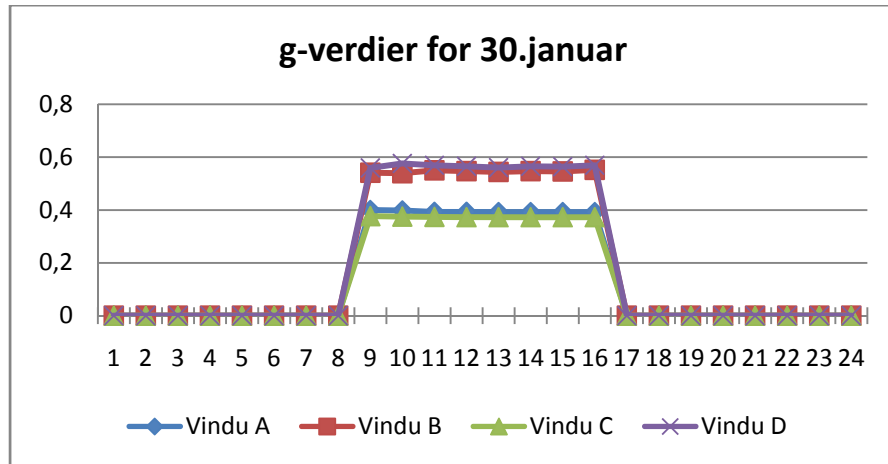
Figur 3 U-verdier for 16. juni



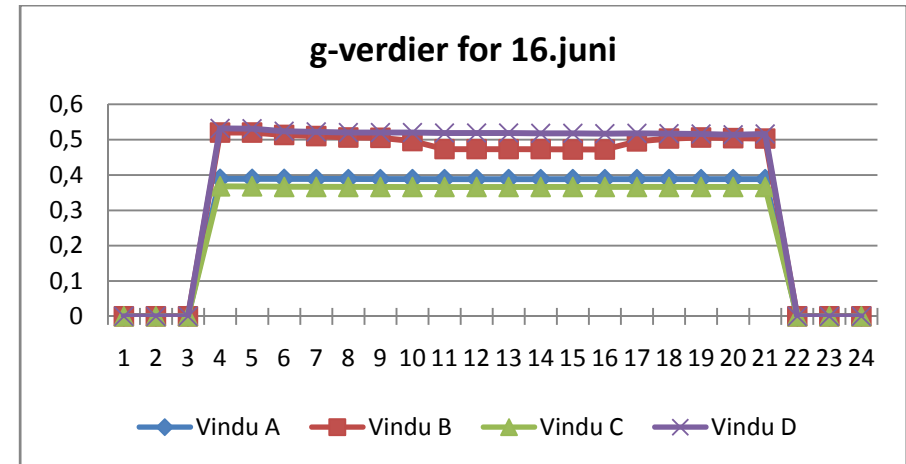
Figur 2 U-verdier for 3. februar



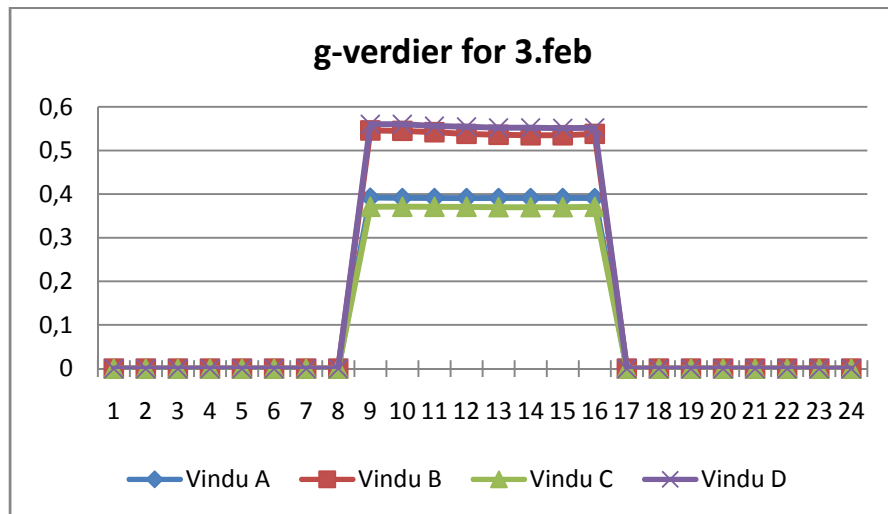
Figur 4 U-verdier for 22. Juni



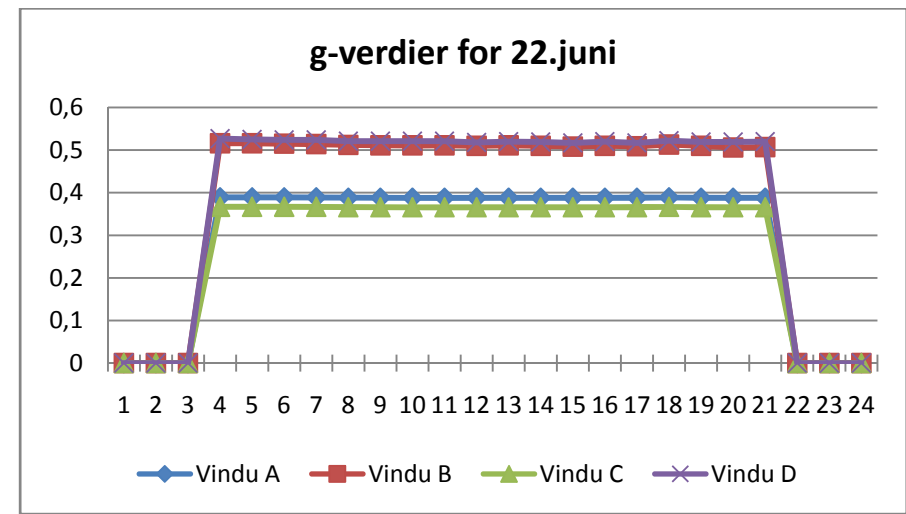
Figur 5 g-verdier for 30. Januar



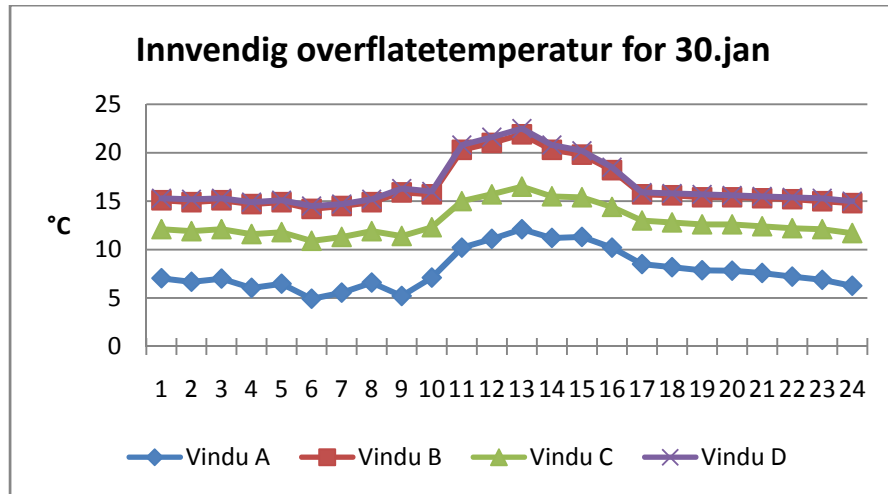
Figur 7 g-verdier for 16.juni



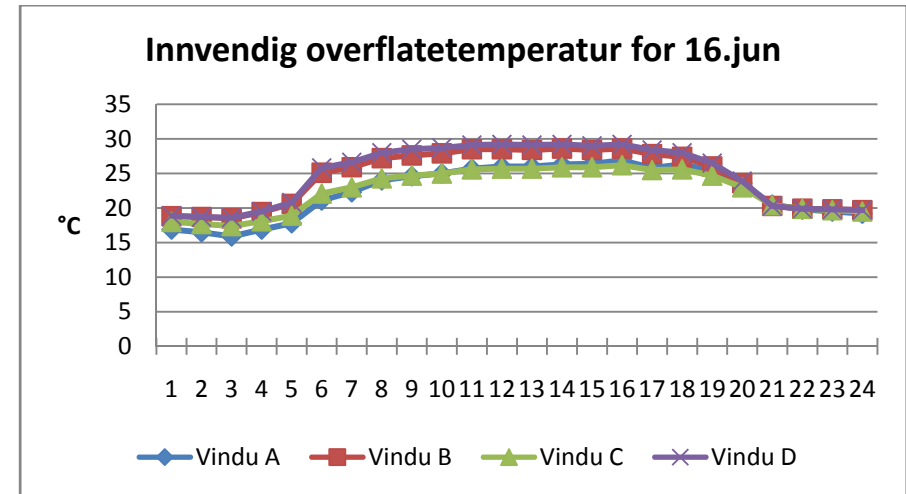
Figur 6 g-verdier for 3. Februar



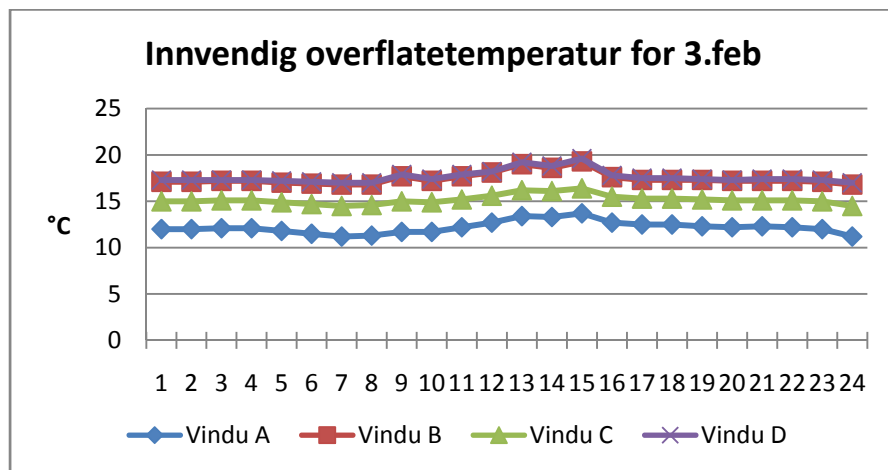
Figur 8 g-verdier for 22. Juni



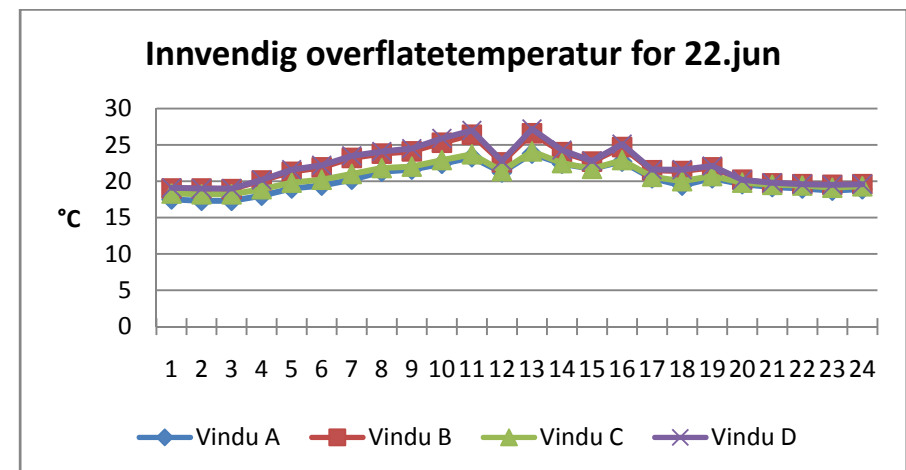
Figur 9 Innvendig overflate temperatur for 30. januar



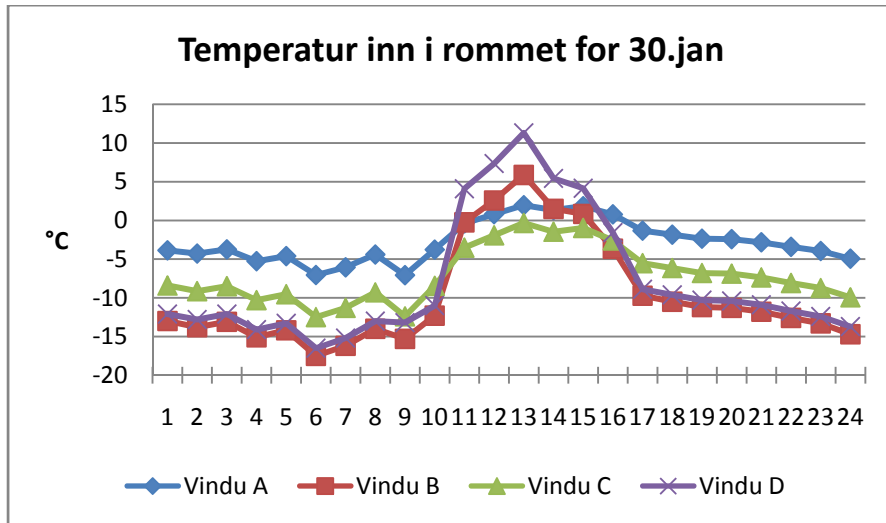
Figur 11 Innvendig overflate temperatur for 16. Juni



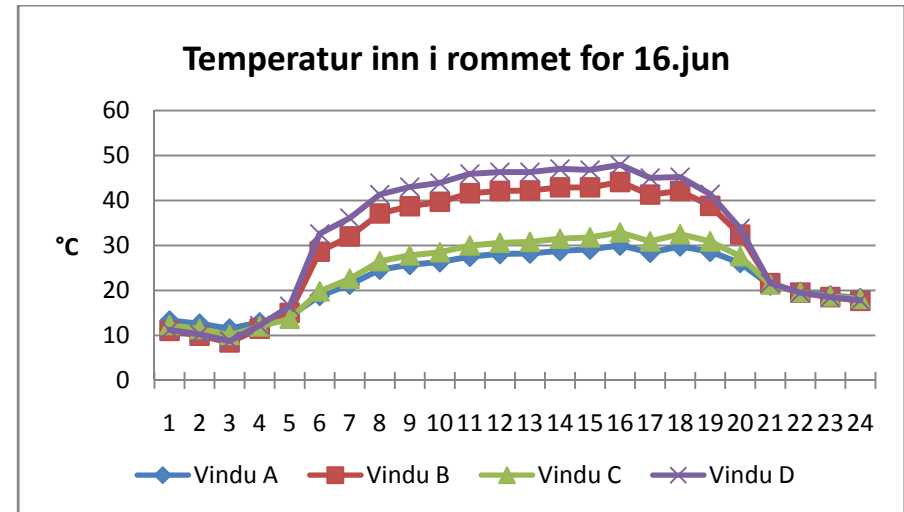
Figur 10 Innvendig overflate temperatur for 3. februar



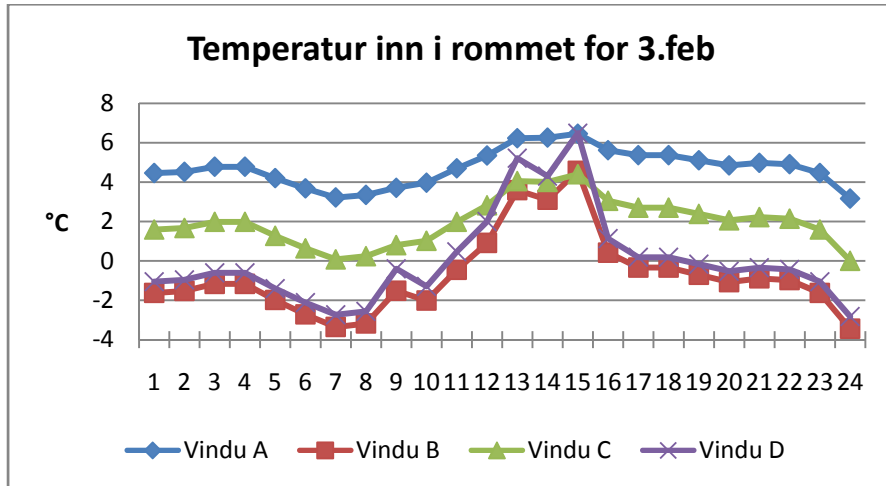
Figur 12 Innvendig overflate temperatur for 22. Juni



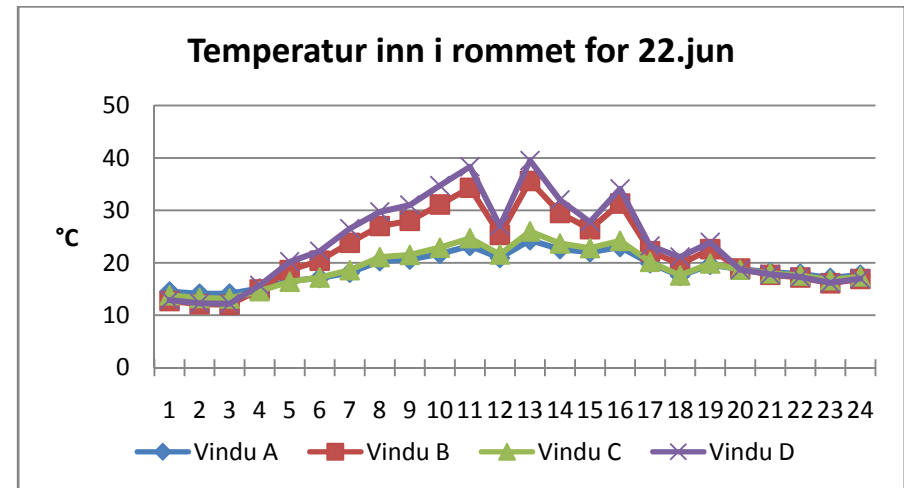
Figur 13 Temperatur inn i rommet for 30. Januar



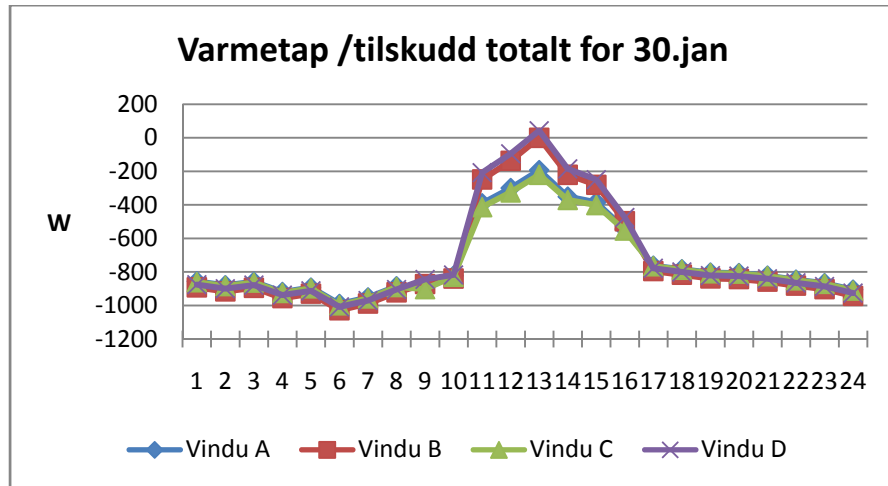
Figur 15 Temperatur inn i rommet for 16. Juni



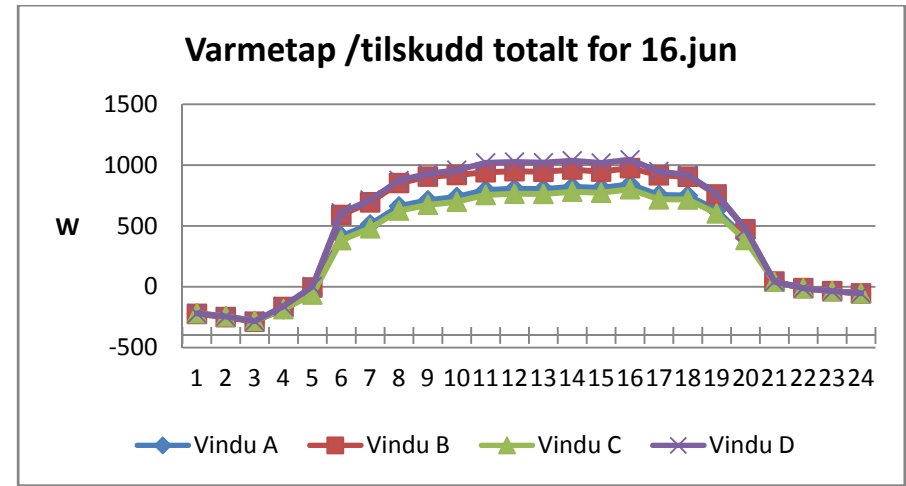
Figur 14 Temperatur inn i rommet for 3. Februar



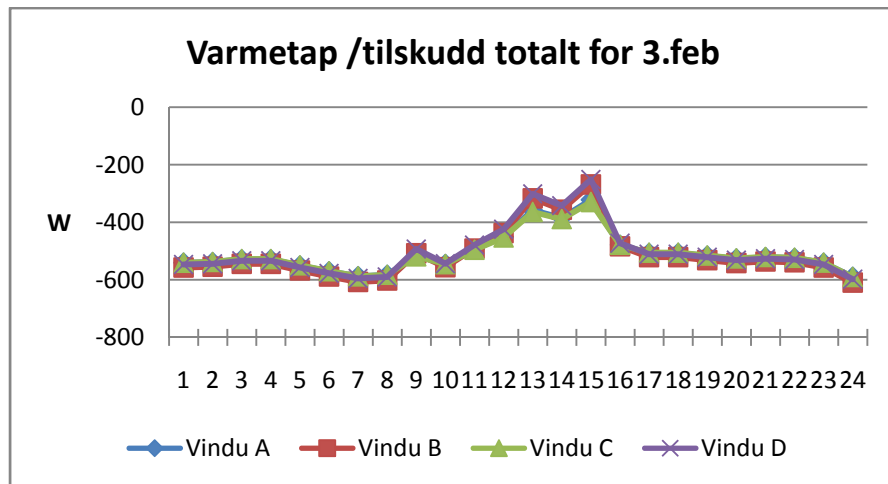
Figur 16 Temperatur inn i rommet for 22. Juni



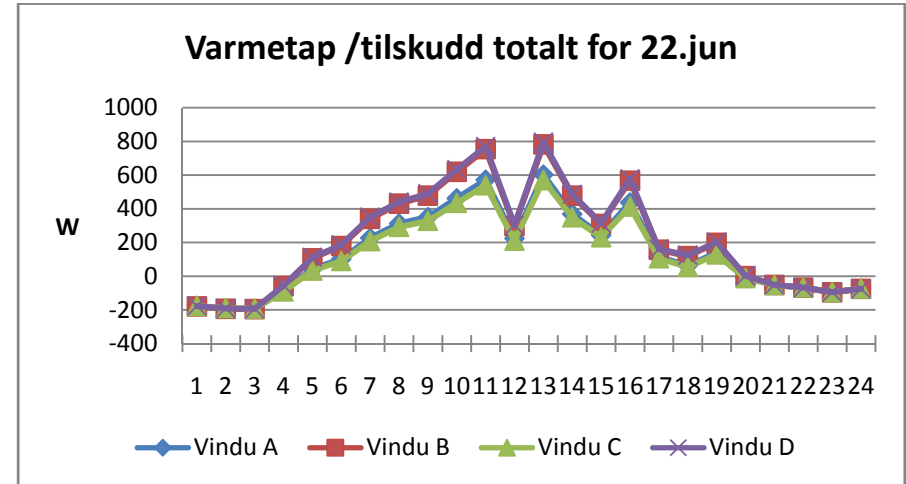
Figur 17 Varmetap/tilskudd totalt for 30. Januar



Figur 19 Varmetap/tilskudd totalt for 16. Juni



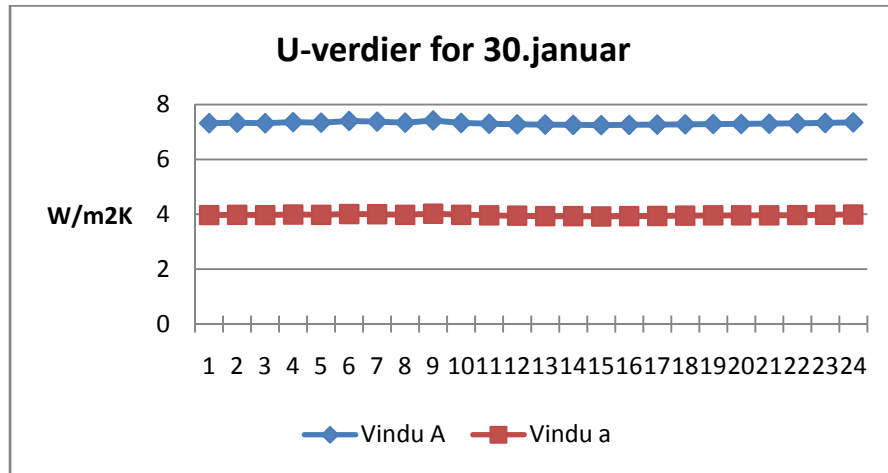
Figur 18 Varmetap/tilskudd totalt for 3. Februar



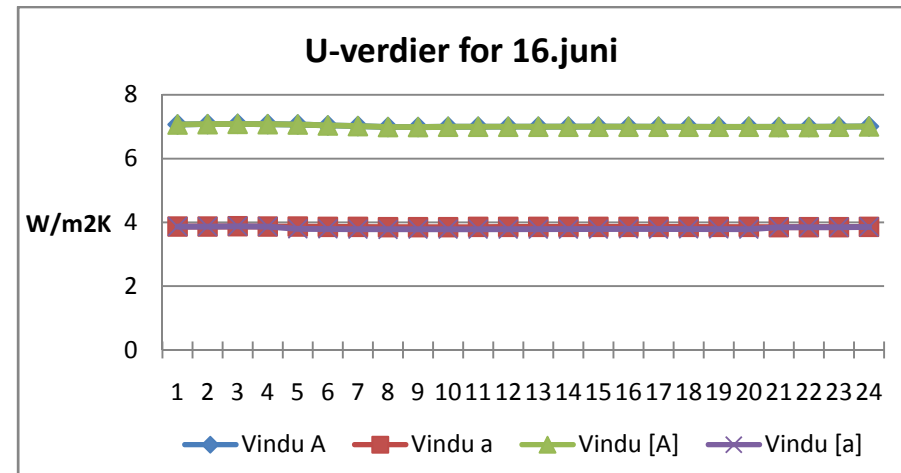
Figur 20 Varmetap/tilskudd totalt for 22. juni



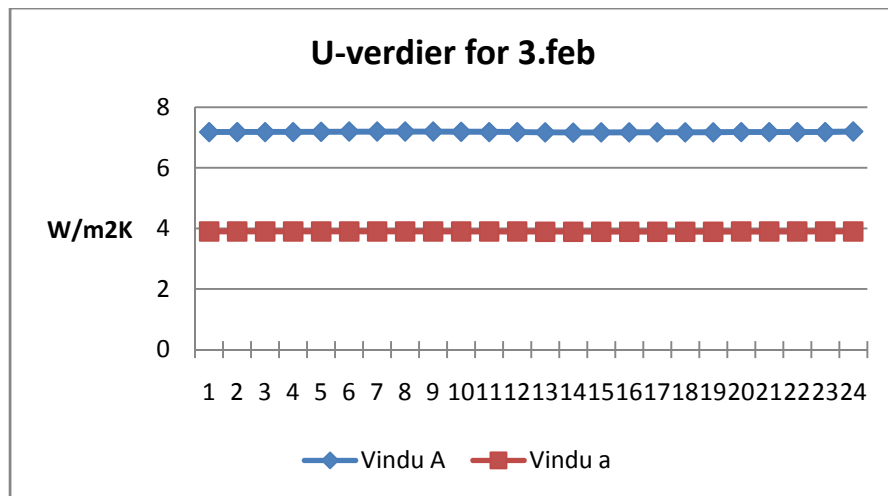
## Vedlegg D: Simuleringsdata for vindu A, a, [A] og [a]



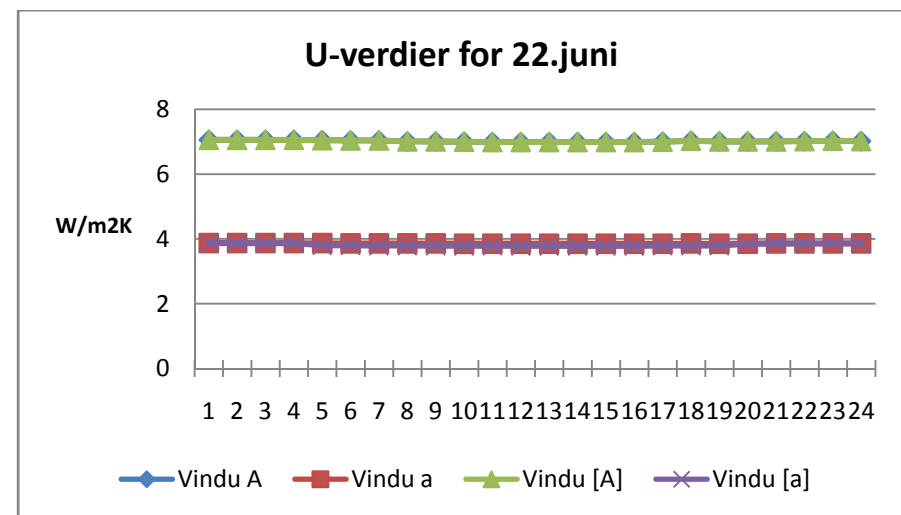
Figur 1 U-verdier for 30. januar



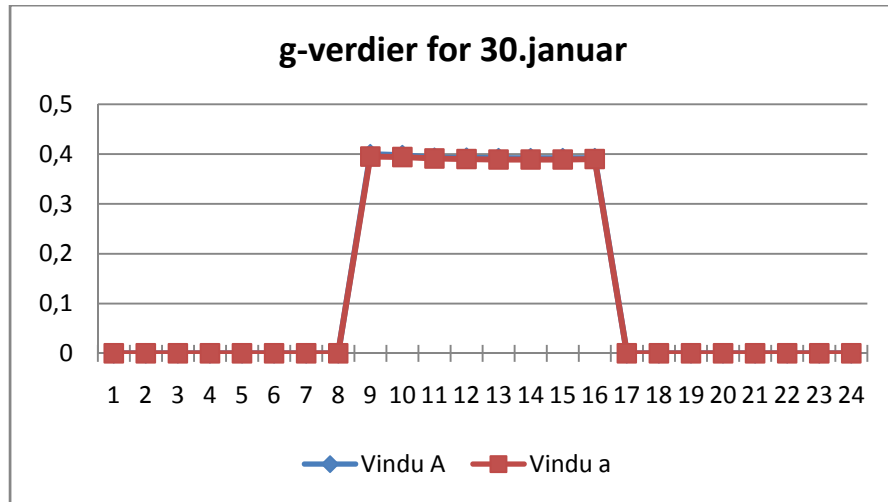
Figur 3 U-verdier for 16. juni



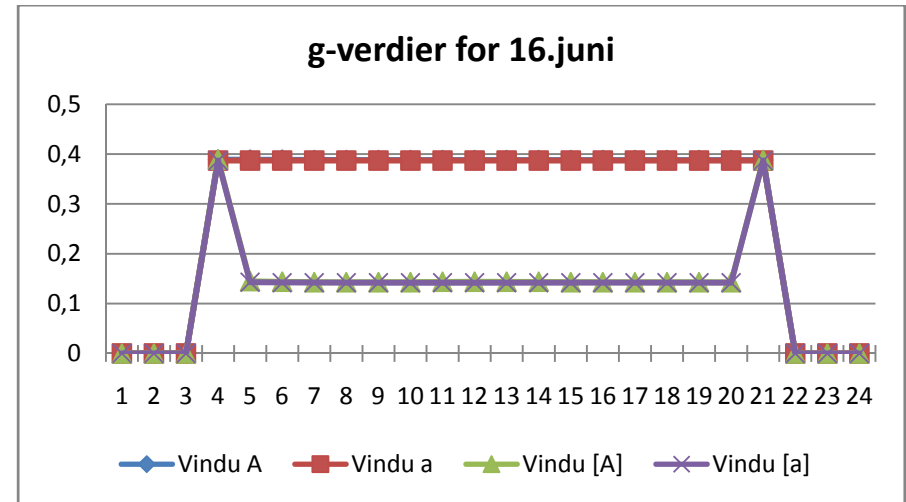
Figur 2 U-verdier for 3. februar



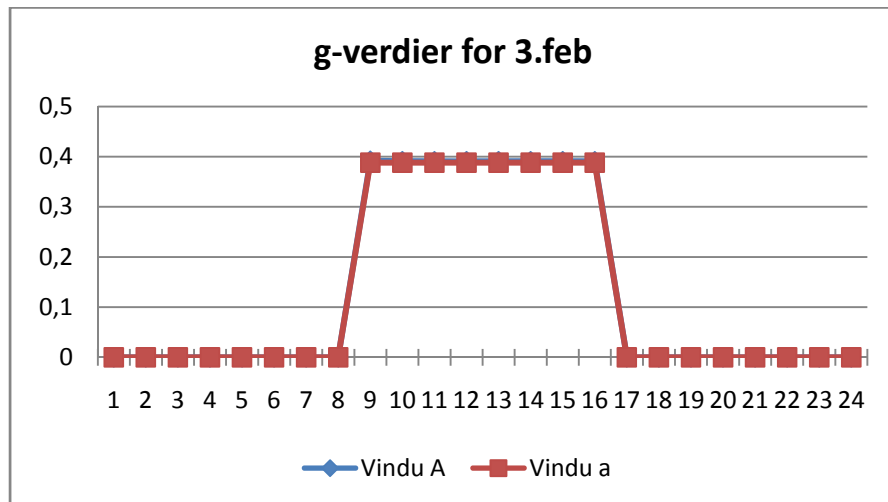
Figur 4 U-verdier for 22. Juni



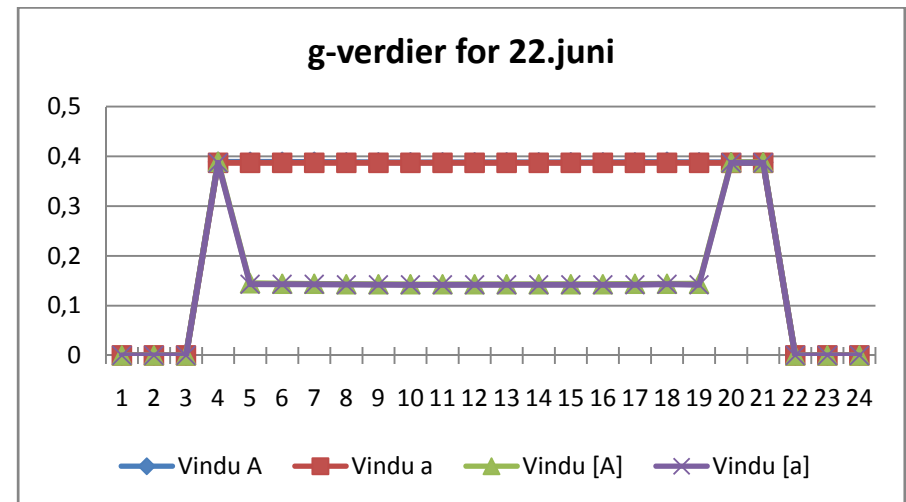
Figur 5 g-verdier for 30. Januar



Figur 7 g-verdier for 16.juni

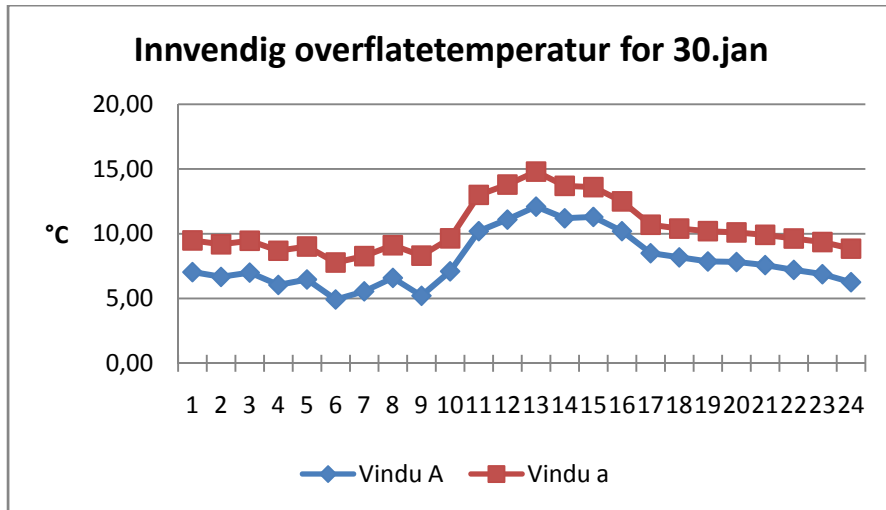


Figur 6 g-verdier for 3. Februar

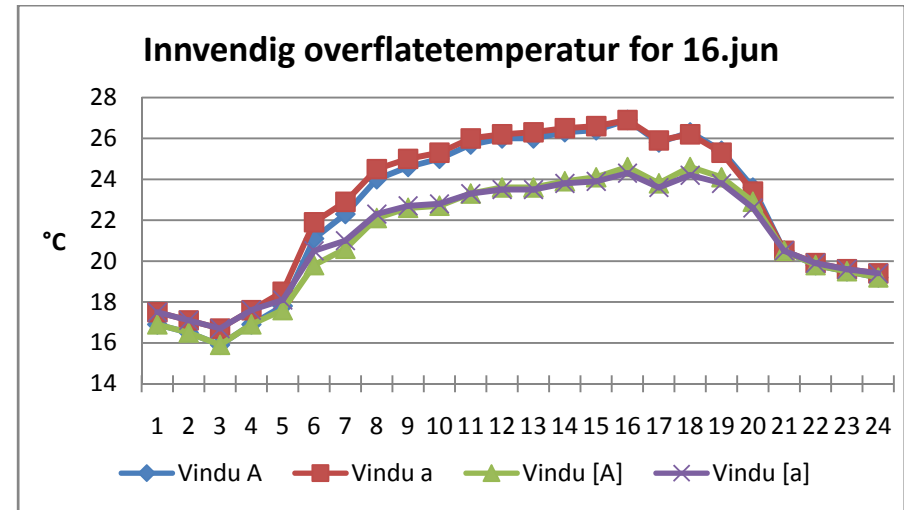


Figur 8 g-verdier for 22. Juni

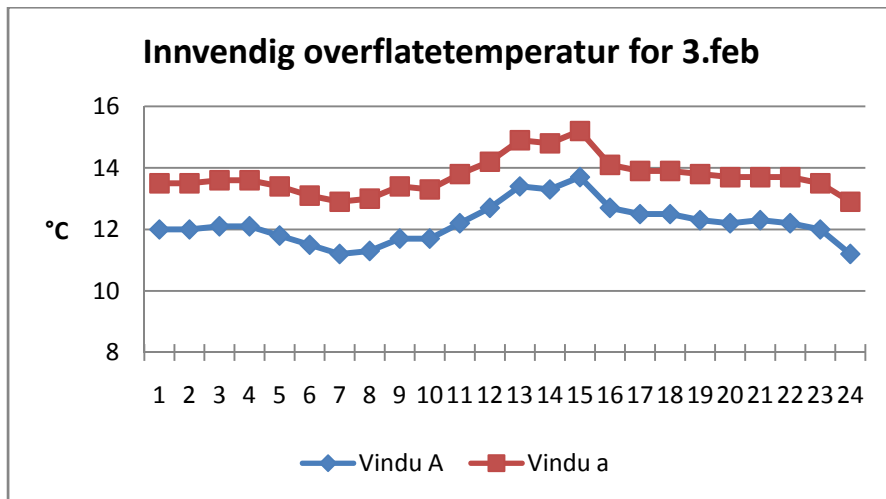




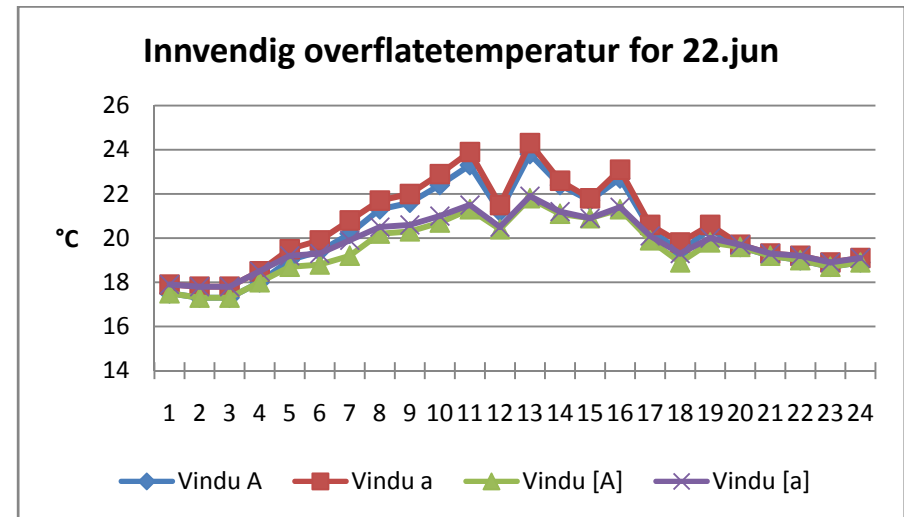
Figur 9 Innvendig overflate temperatur for 30. januar



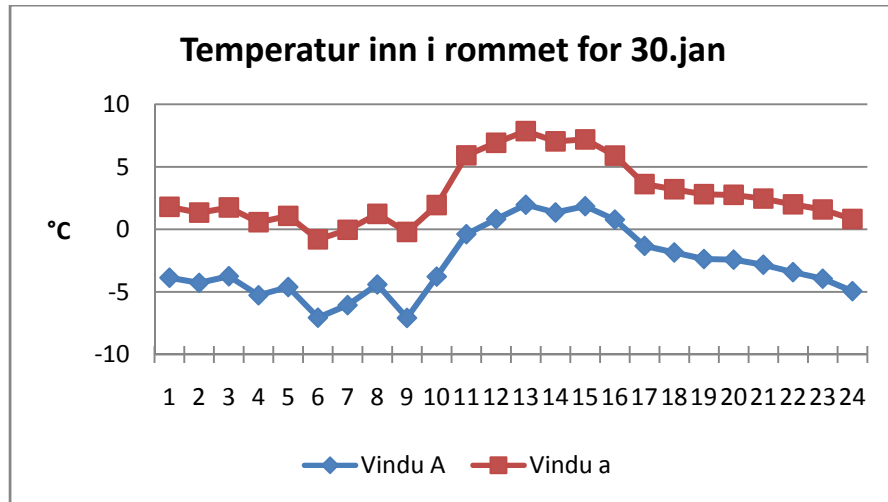
Figur 11 Innvendig overflate temperatur for 16. Juni



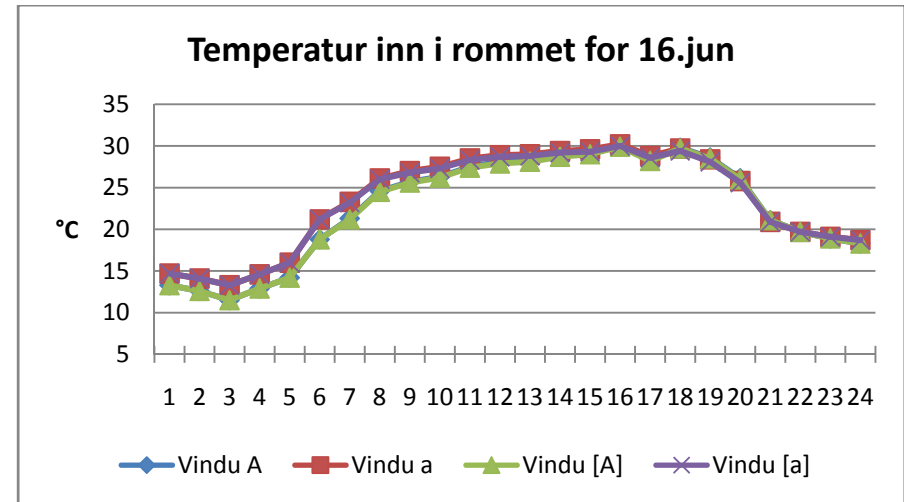
Figur 10 Innvendig overflate temperatur for 3. februar



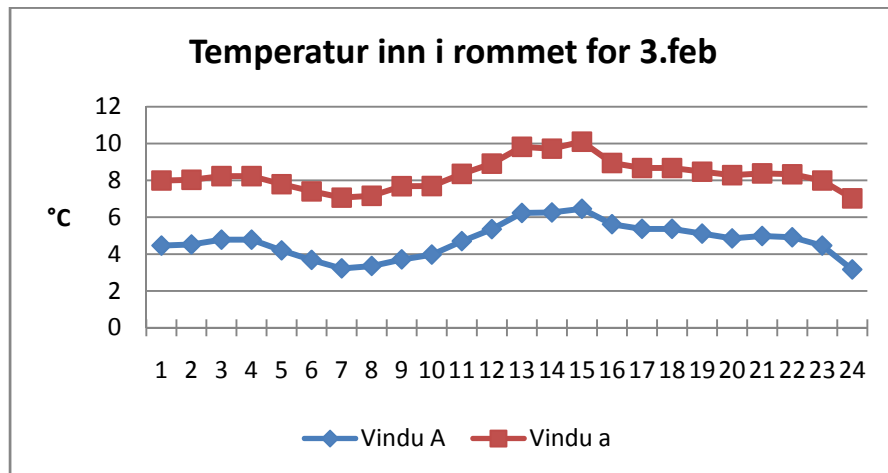
Figur 12 Innvendig overflate temperatur for 22. Juni



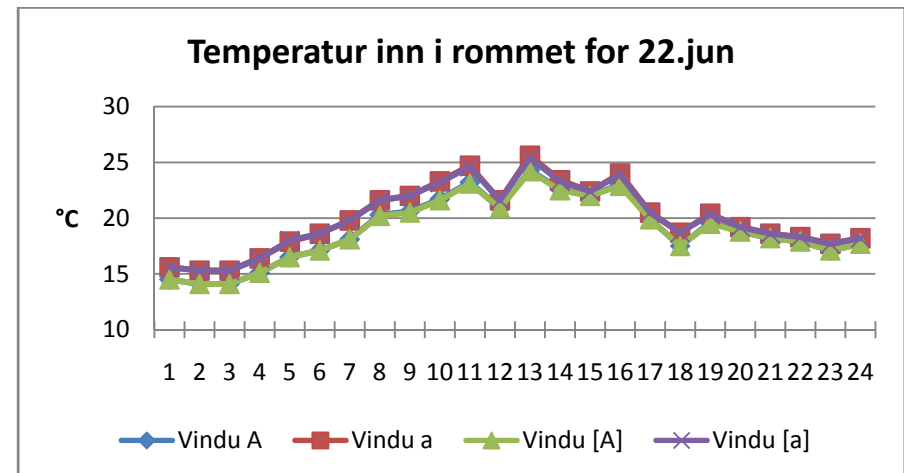
Figur 13 Temperatur inn i rommet for 30. Januar



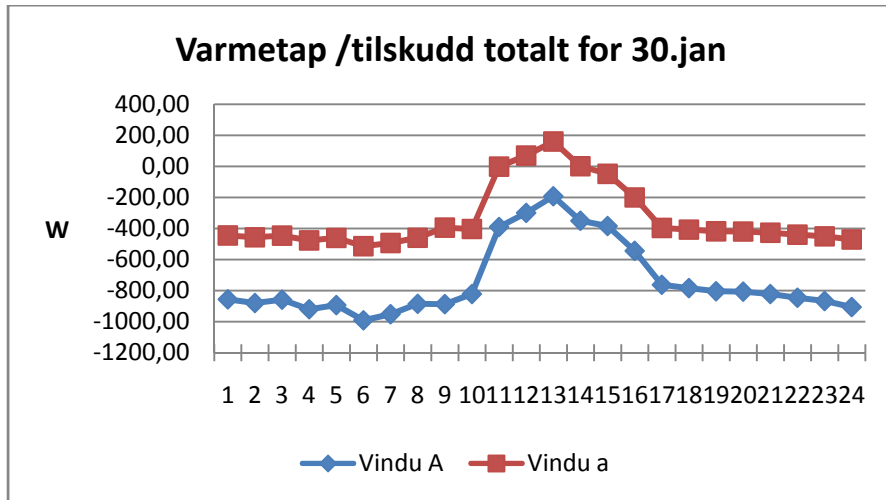
Figur 15 Temperatur inn i rommet for 16. Juni



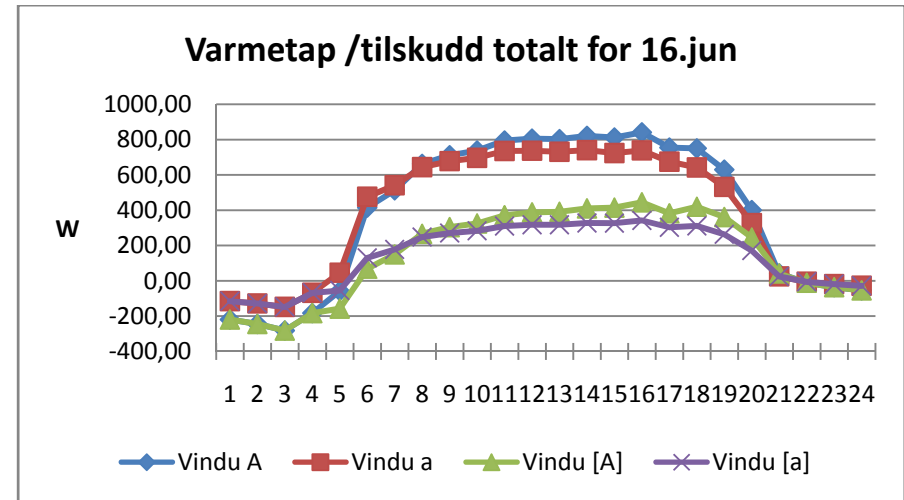
Figur 14 Temperatur inn i rommet for 3. Februar



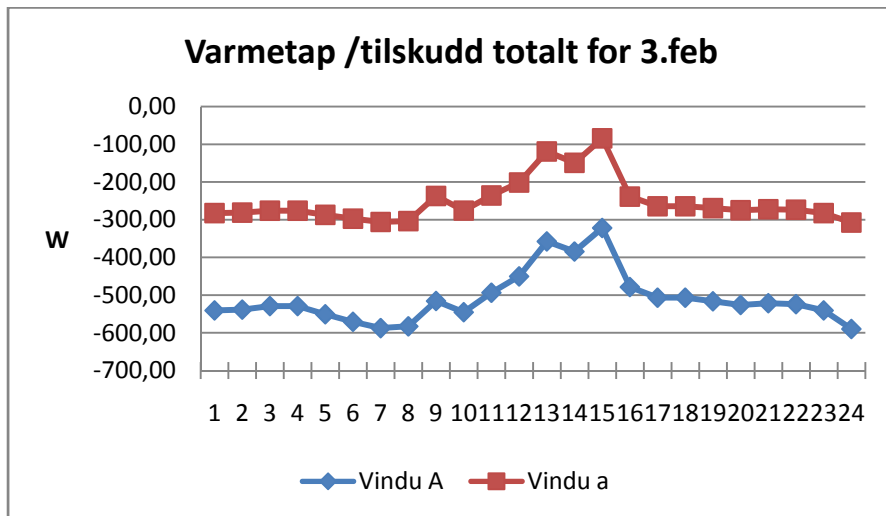
Figur 16 Temperatur inn i rommet for 22. Juni



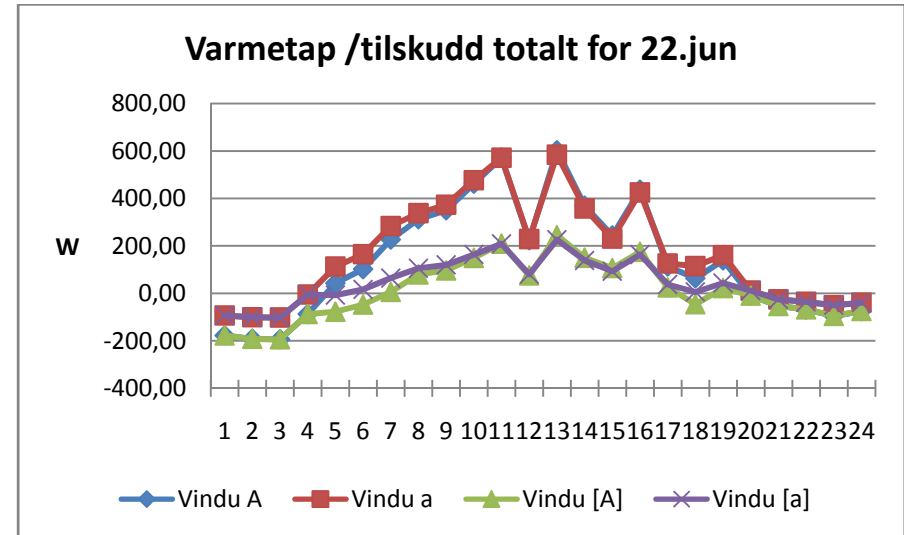
Figur 17 Varmetap/tilskudd totalt for 30. Januar



Figur 19 Varmetap/tilskudd totalt for 16. Juni



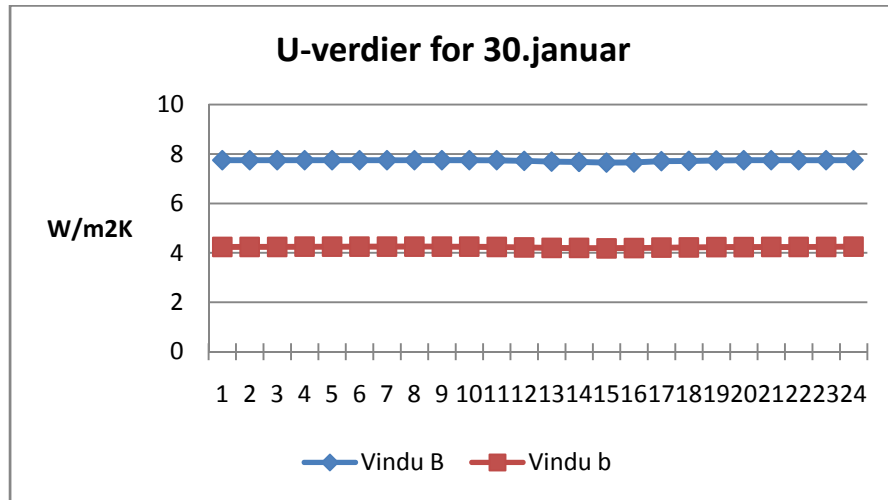
Figur 18 Varmetap/tilskudd totalt for 3. Februar



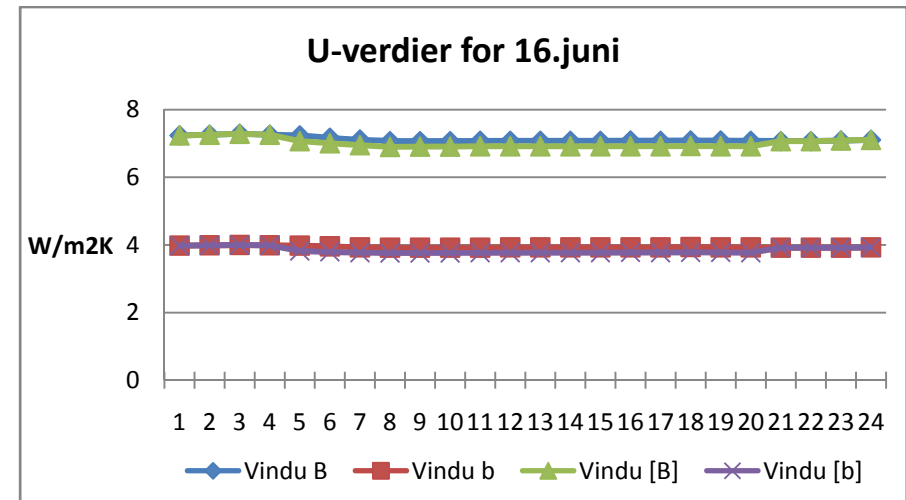
Figur 20 Varmetap/tilskudd totalt for 22. juni



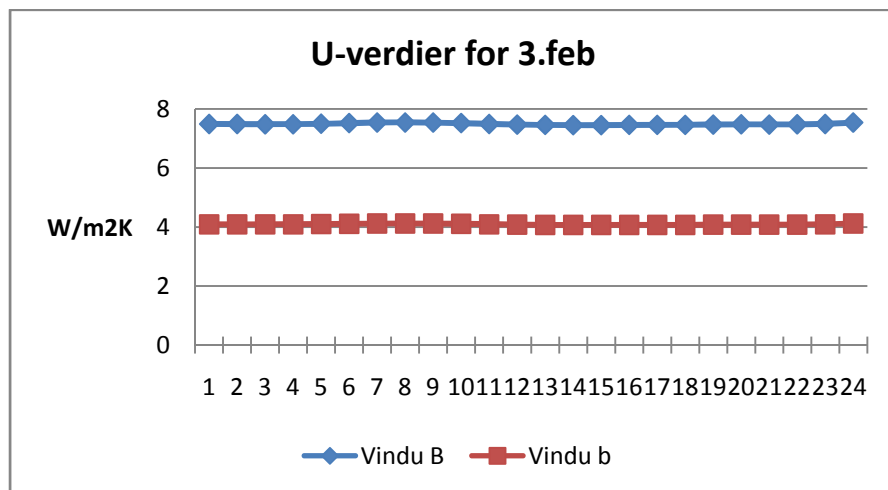
## Vedlegg E: Simuleringsdata for vindu B, b, [B] og [b]



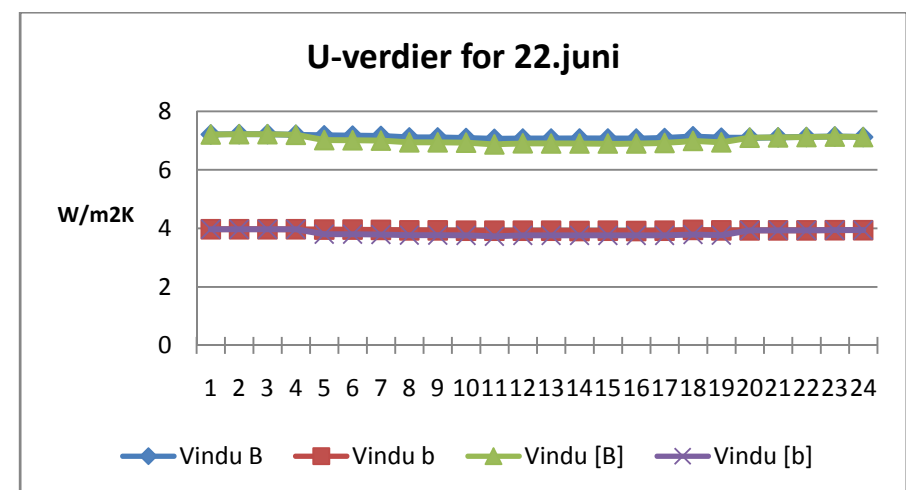
Figur 1 U-verdier for 30. januar



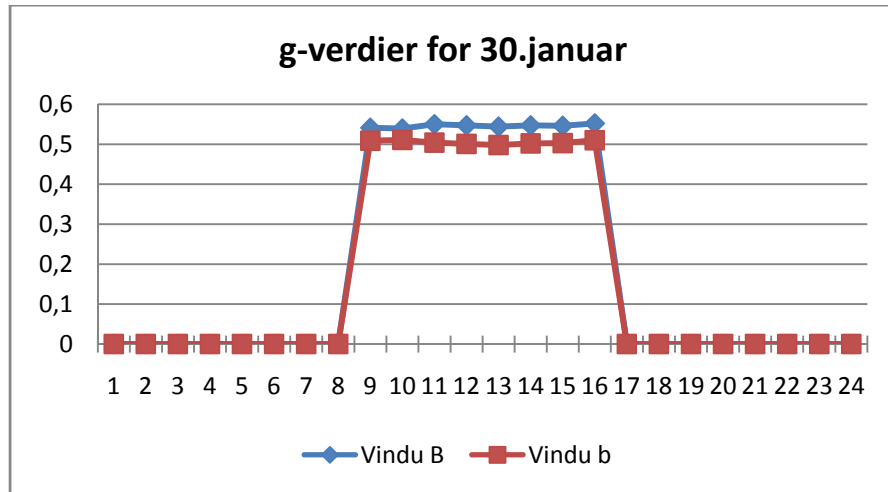
Figur 3 U-verdier for 16. juni



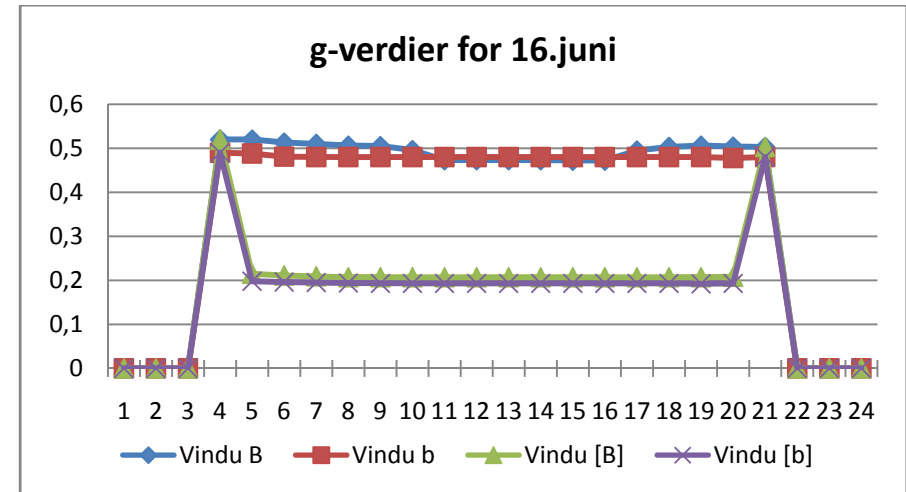
Figur 2 U-verdier for 3. februar



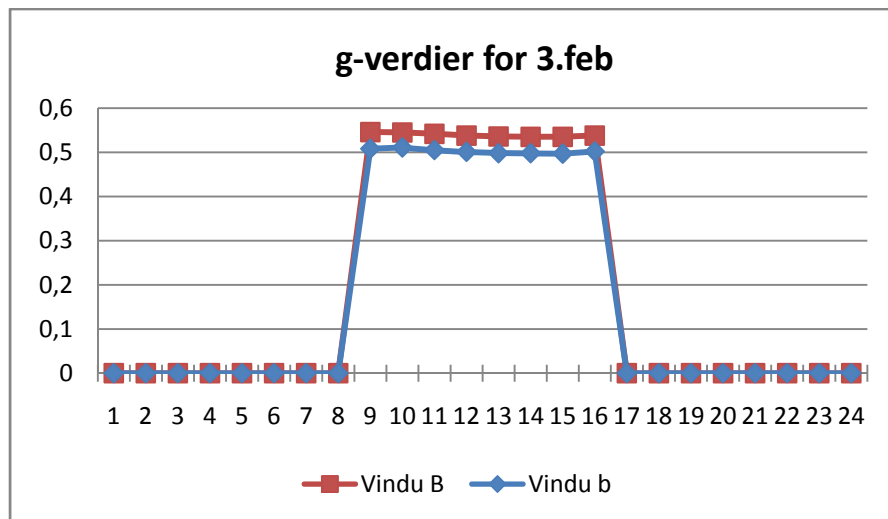
Figur 4 U-verdier for 22. Juni



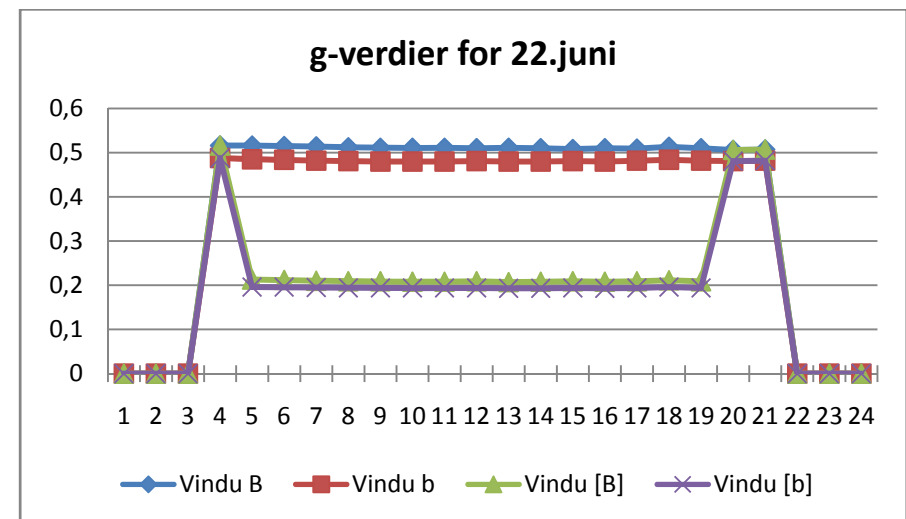
Figur 5 g-verdier for 30. Januar



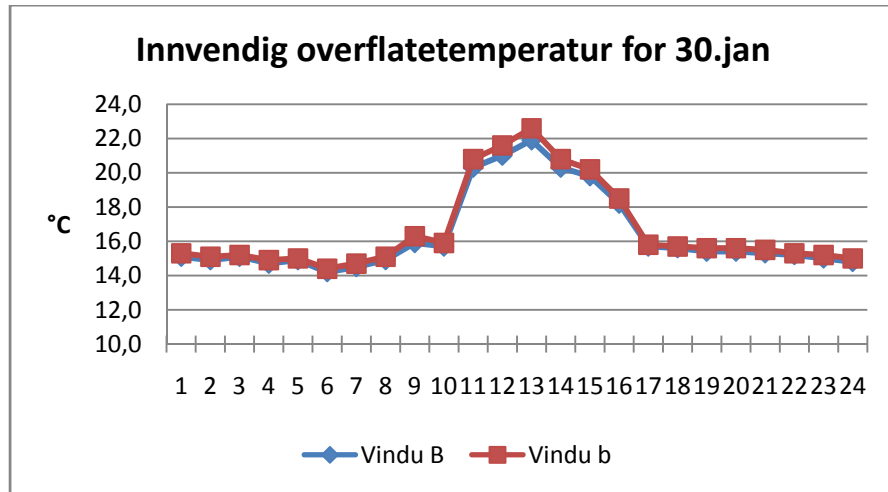
Figur 7 g-verdier for 16.juni



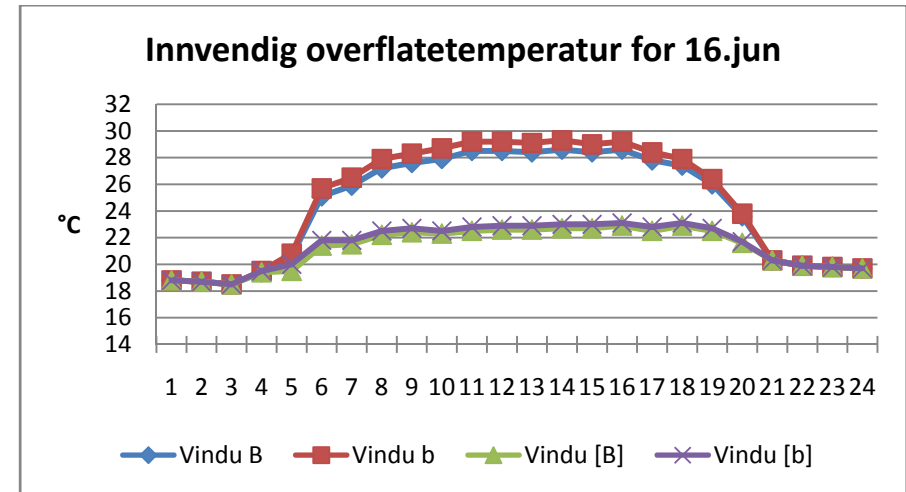
Figur 6 g-verdier for 3. Februar



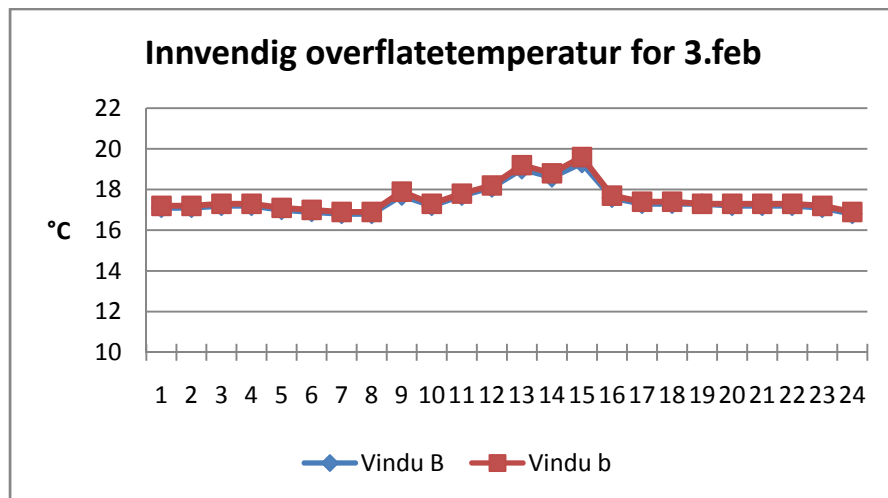
Figur 8 g-verdier for 22. Juni



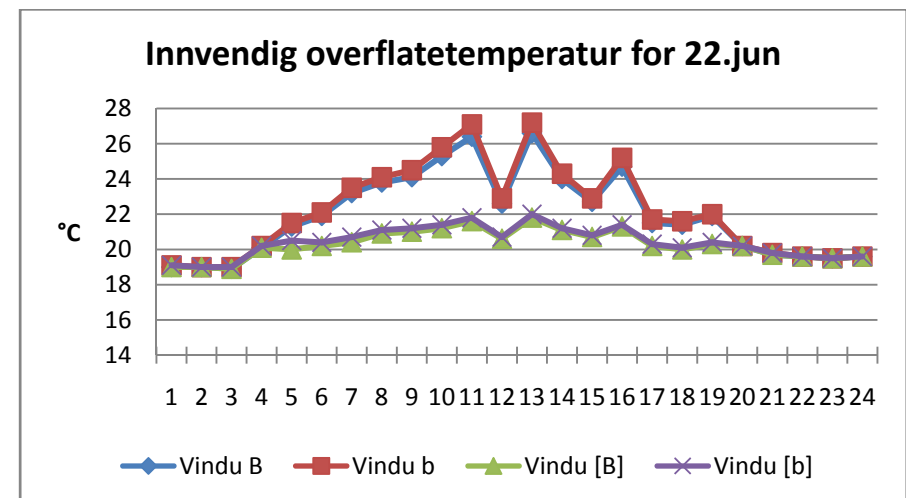
Figur 9 Innvendig overflate temperatur for 30. januar



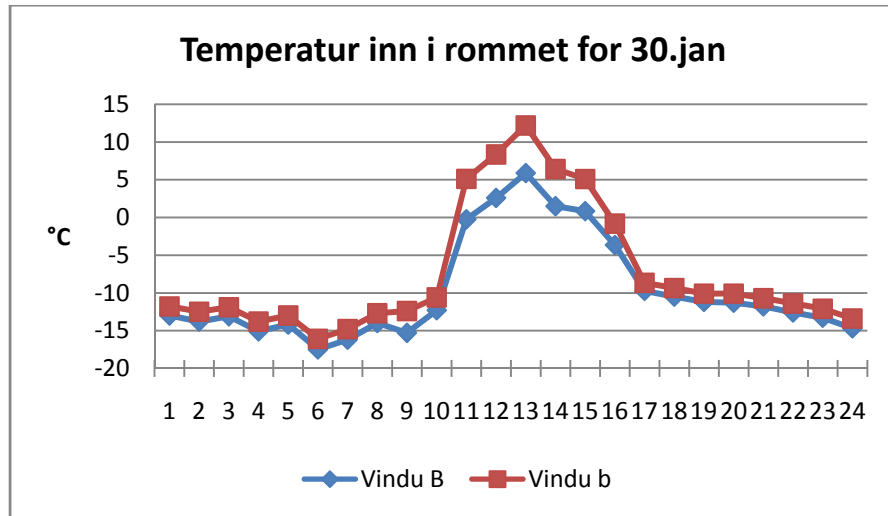
Figur 11 Innvendig overflate temperatur for 16. Juni



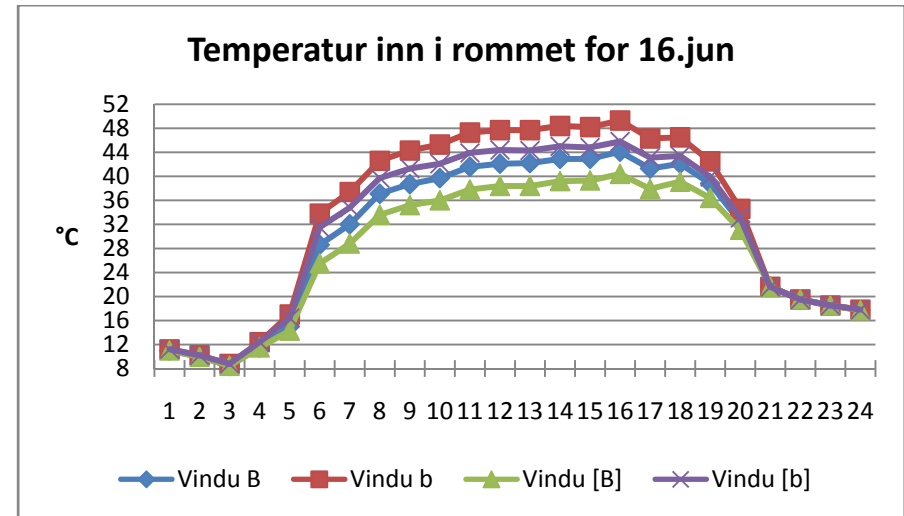
Figur 10 Innvendig overflate temperatur for 3. februar



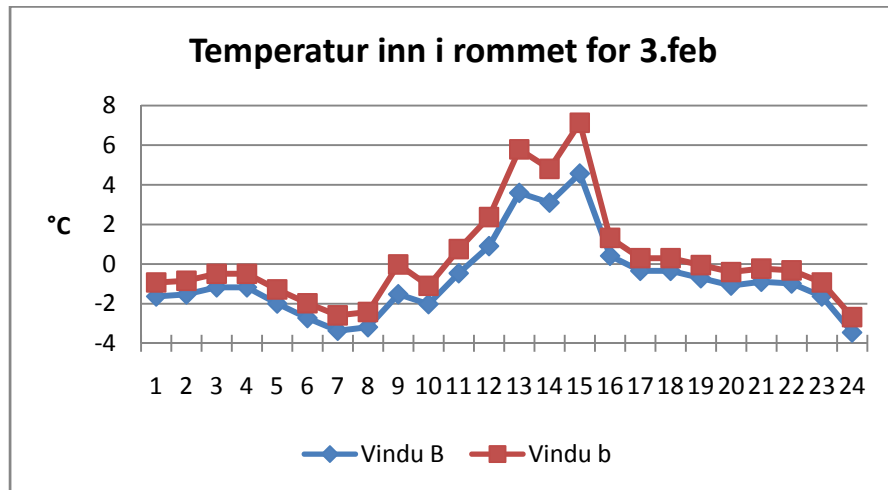
Figur 12 Innvendig overflate temperatur for 22. Juni



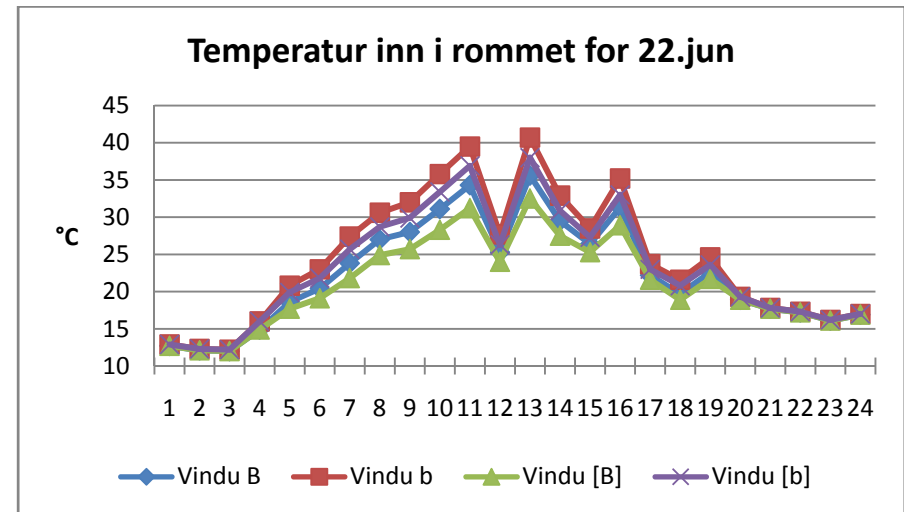
Figur 13 Temperatur inn i rommet for 30. Januar



Figur 15 Temperatur inn i rommet for 16. Juni

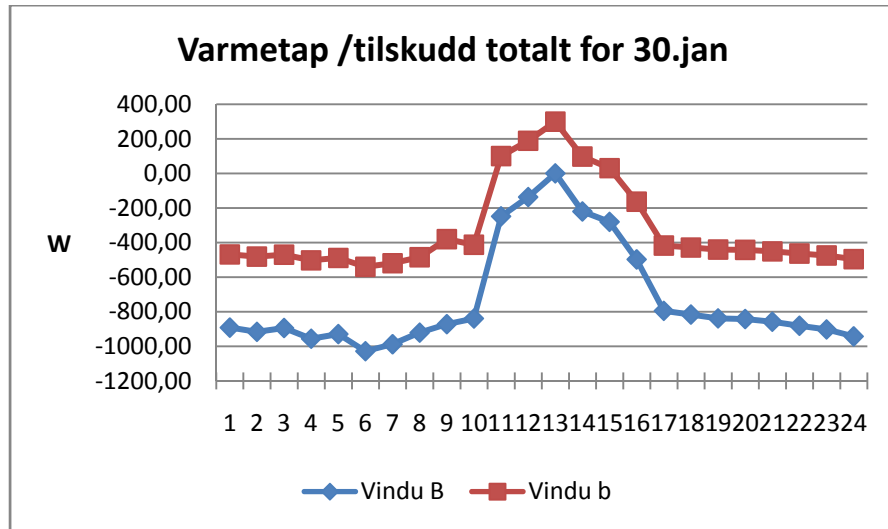


Figur 14 Temperatur inn i rommet for 3. Februar

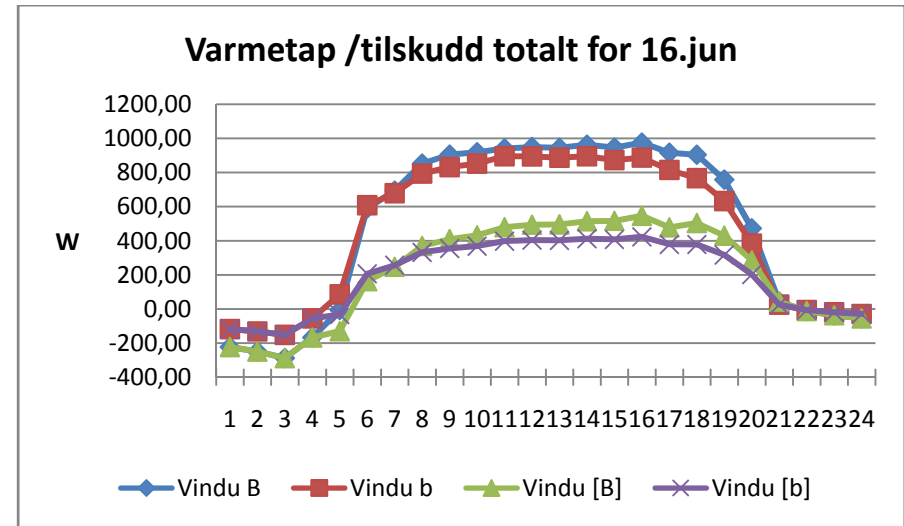


Figur 16 Temperatur inn i rommet for 22. Juni

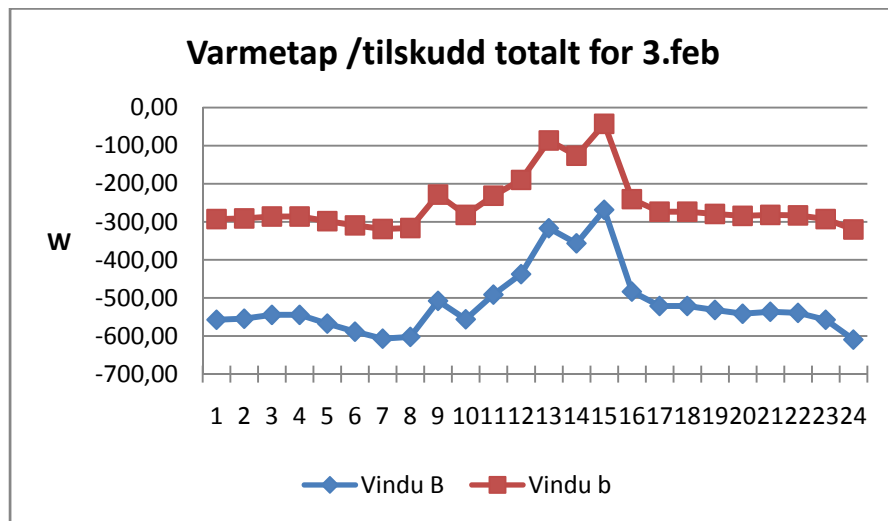




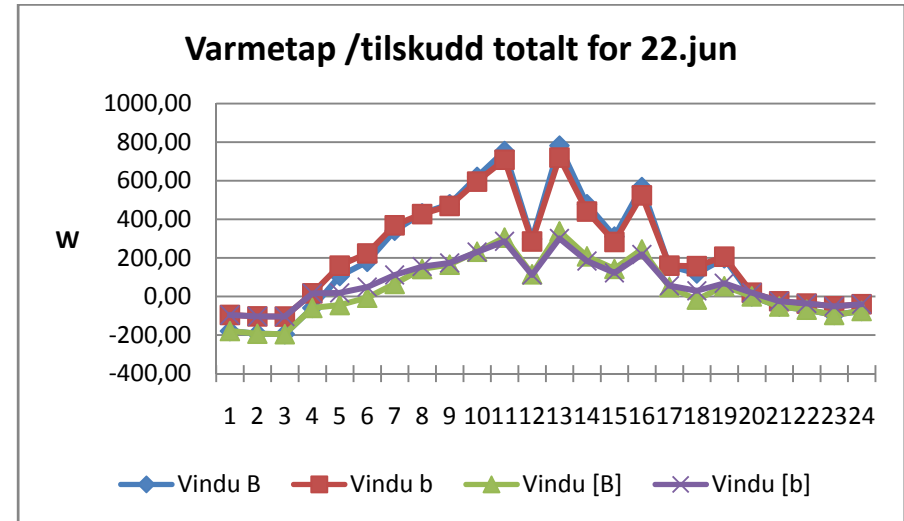
Figur 17 Varmetap/tilskudd totalt for 30. Januar



Figur 19 Varmetap/tilskudd totalt for 16. Juni



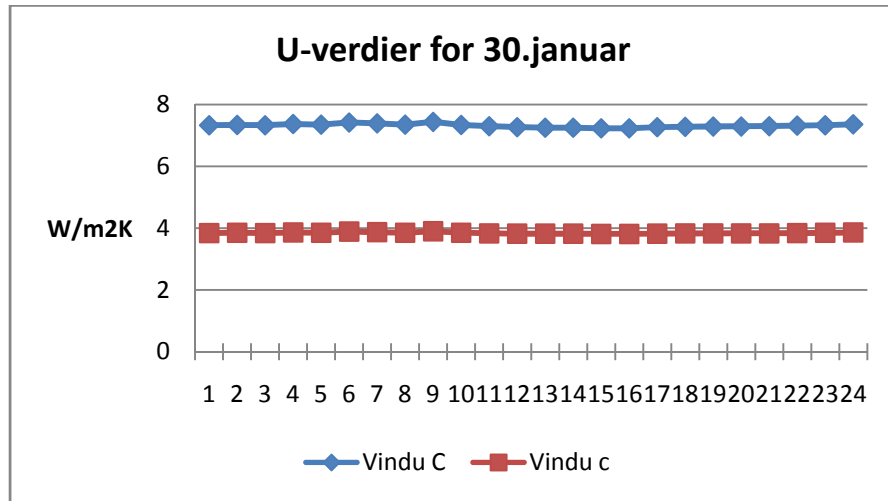
Figur 18 Varmetap/tilskudd totalt for 3. Februar



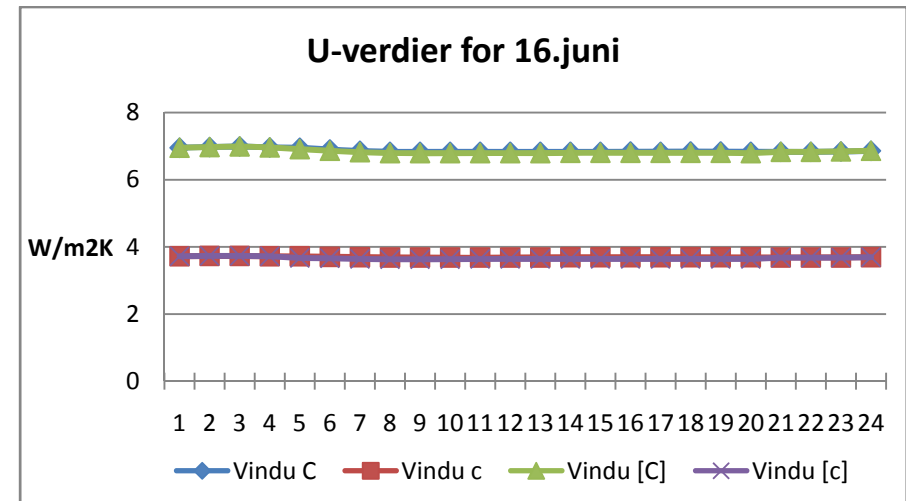
Figur 20 Varmetap/tilskudd totalt for 22. juni



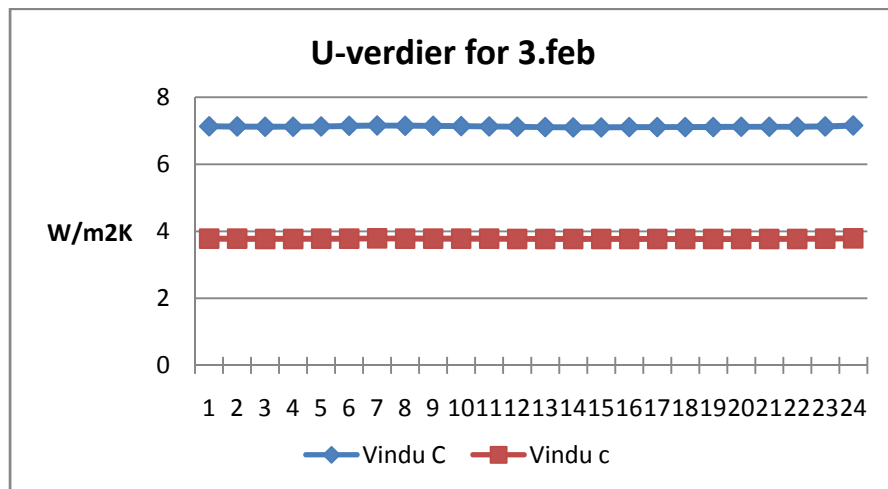
## Vedlegg F: Simuleringsdata for vindu C, c, [C] og [c]



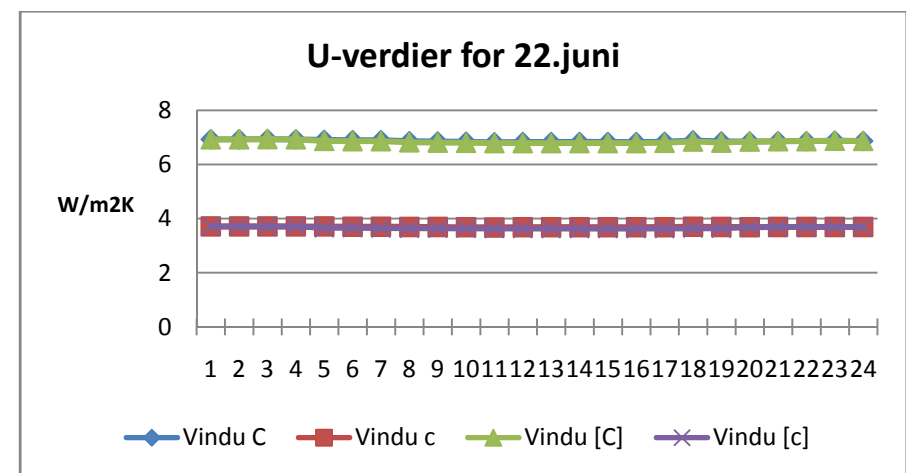
Figur 1 U-verdier for 30. januar



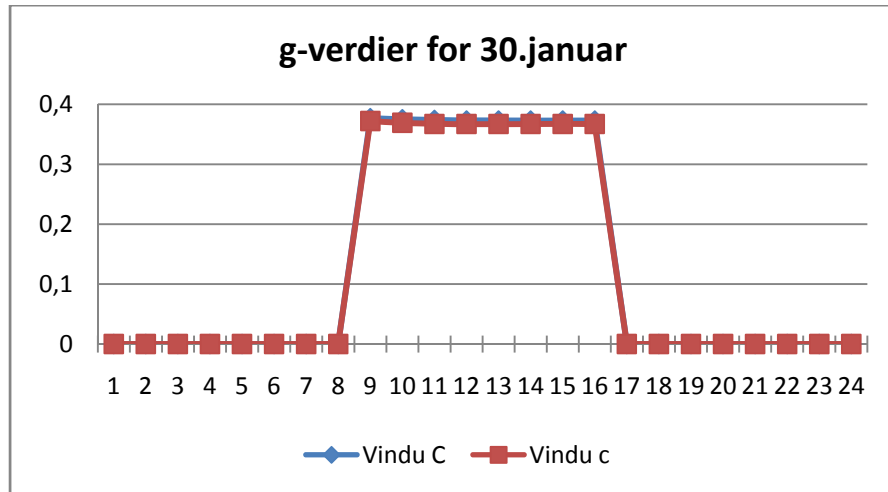
Figur 3 U-verdier for 16. juni



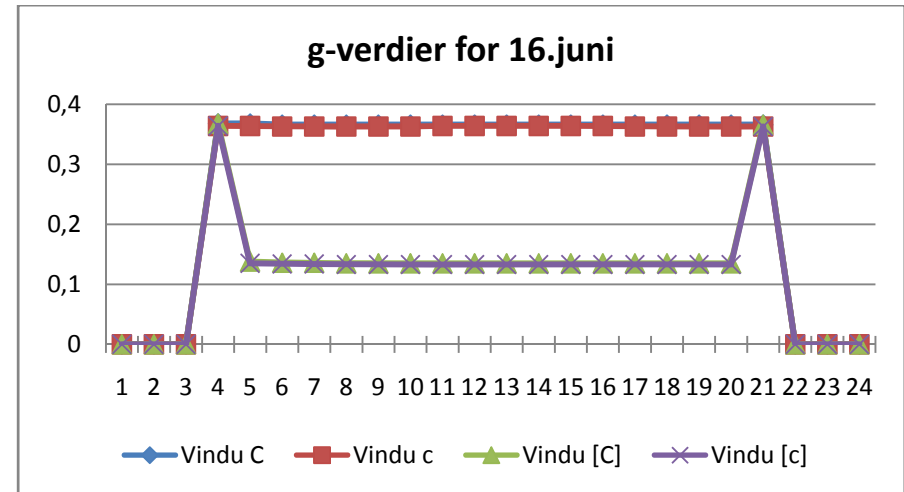
Figur 2 U-verdier for 3. februar



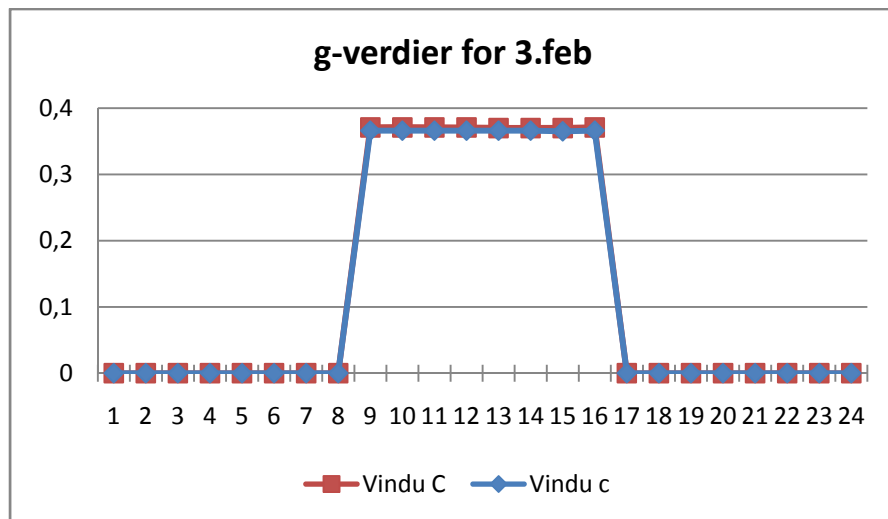
Figur 4 U-verdier for 22. Juni



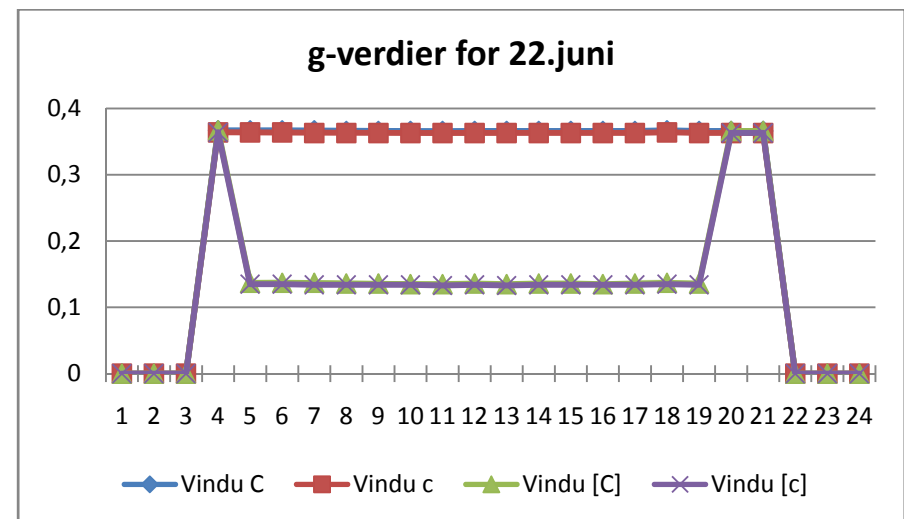
Figur 5 g-verdier for 30. Januar



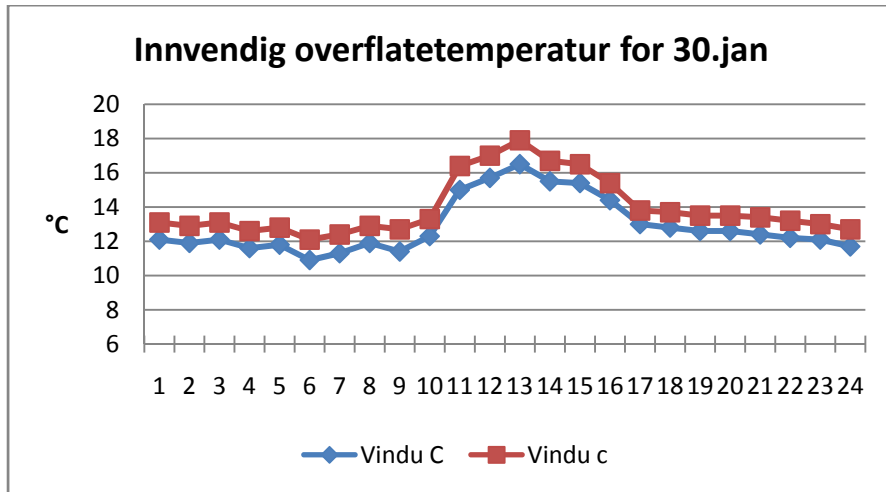
Figur 7 g-verdier for 16.juni



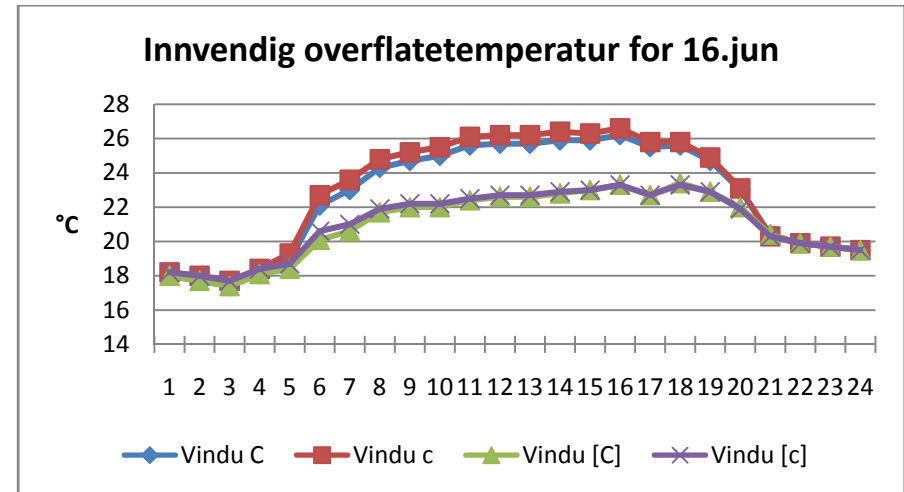
Figur 6 g-verdier for 3. Februar



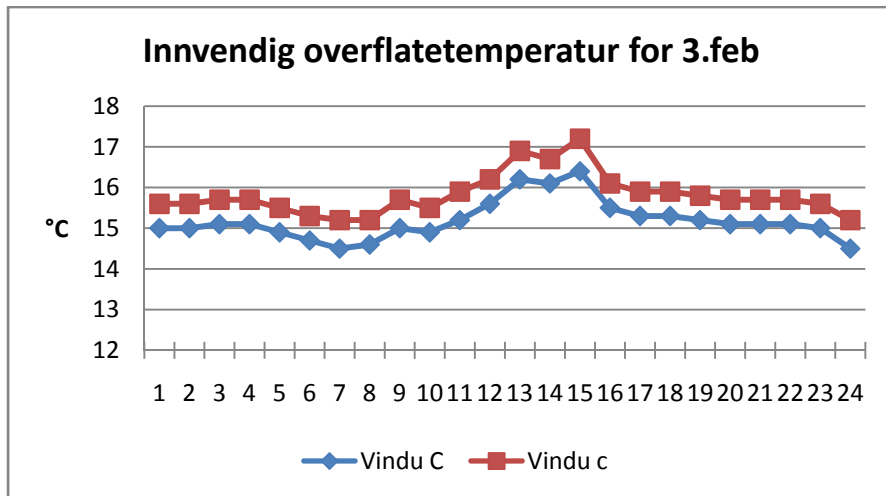
Figur 8 g-verdier for 22. Juni



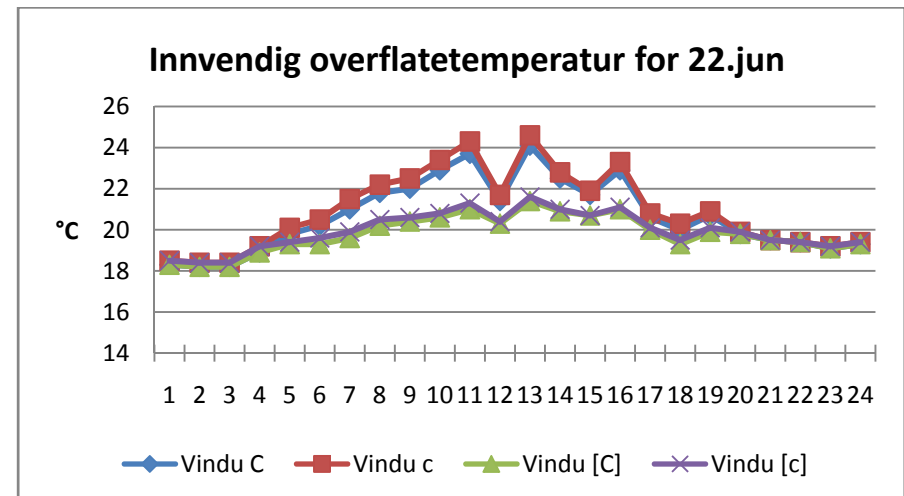
Figur 9 Innvendig overflate temperatur for 30. januar



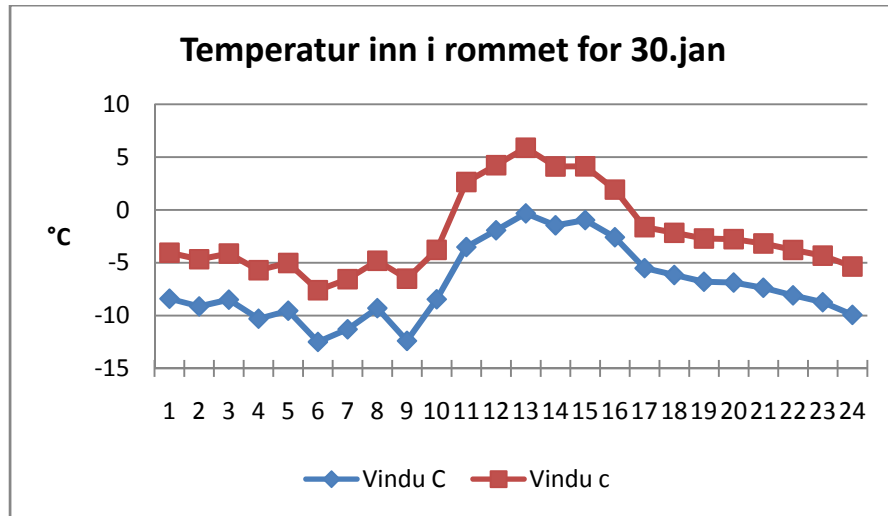
Figur 11 Innvendig overflate temperatur for 16. Juni



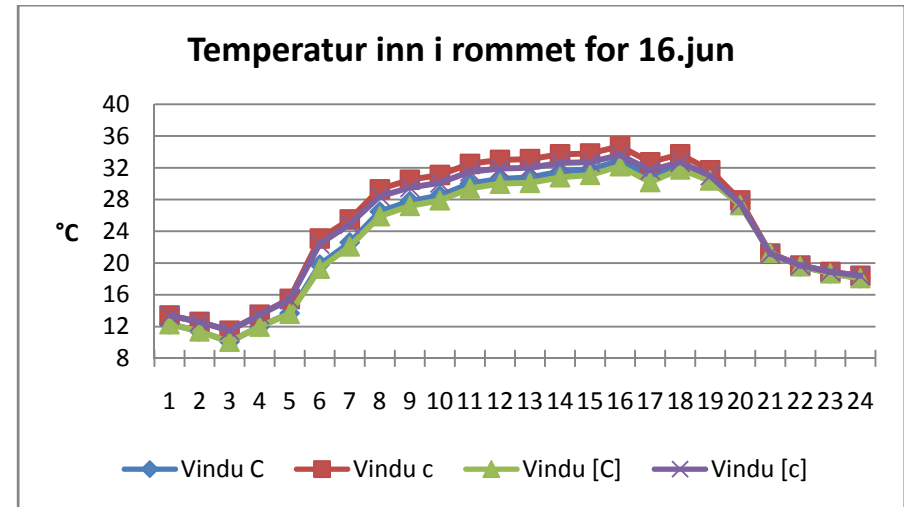
Figur 10 Innvendig overflate temperatur for 3. februar



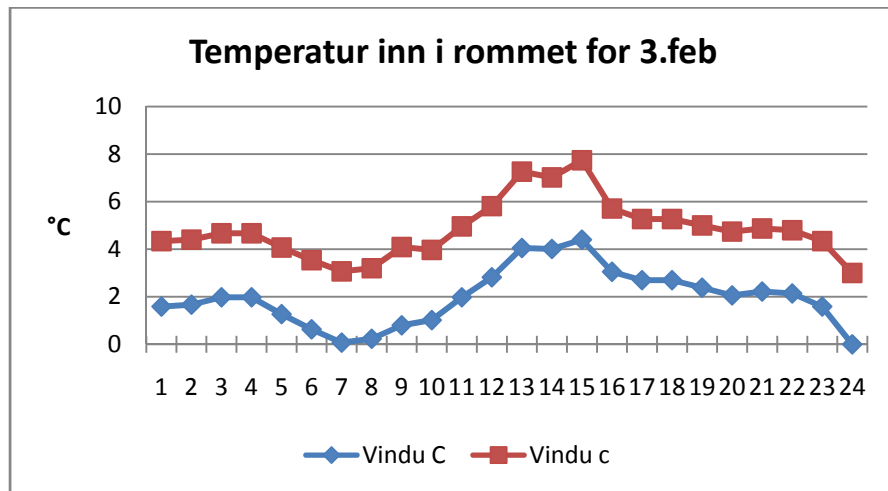
Figur 12 Innvendig overflate temperatur for 22. Juni



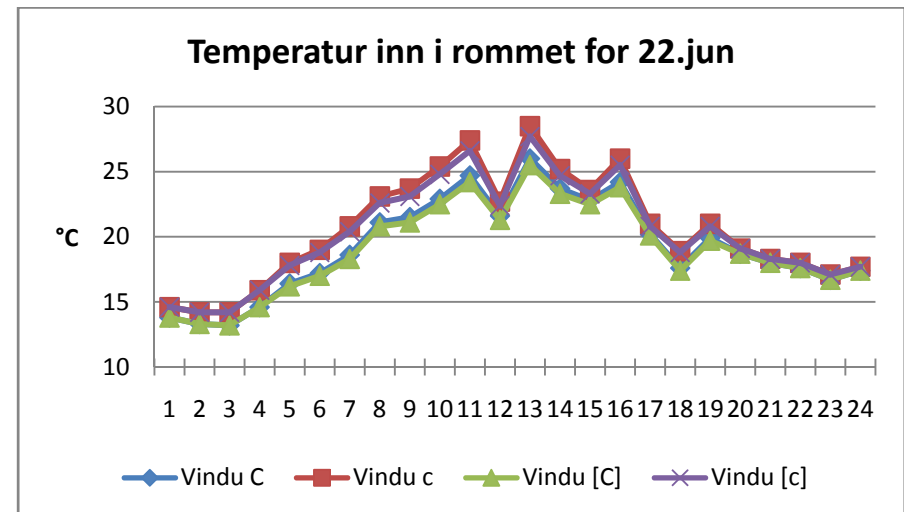
Figur 13 Temperatur inn i rommet for 30. Januar



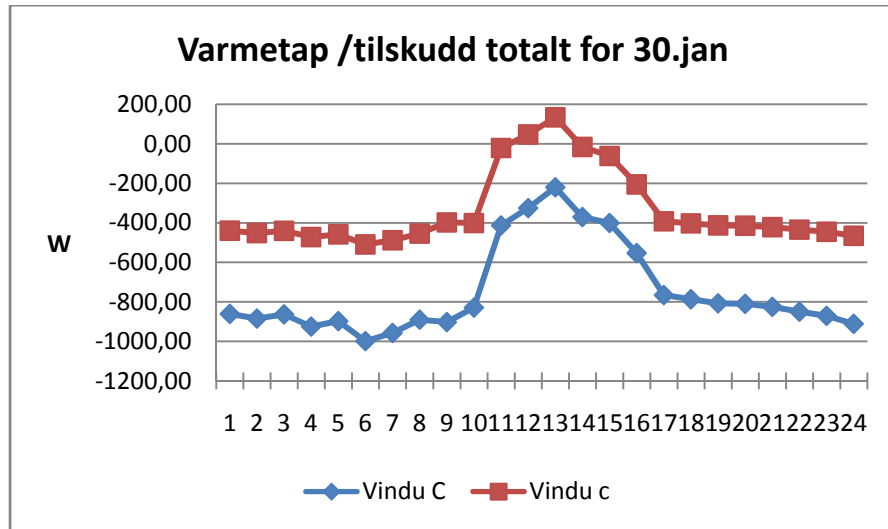
Figur 15 Temperatur inn i rommet for 16. Juni



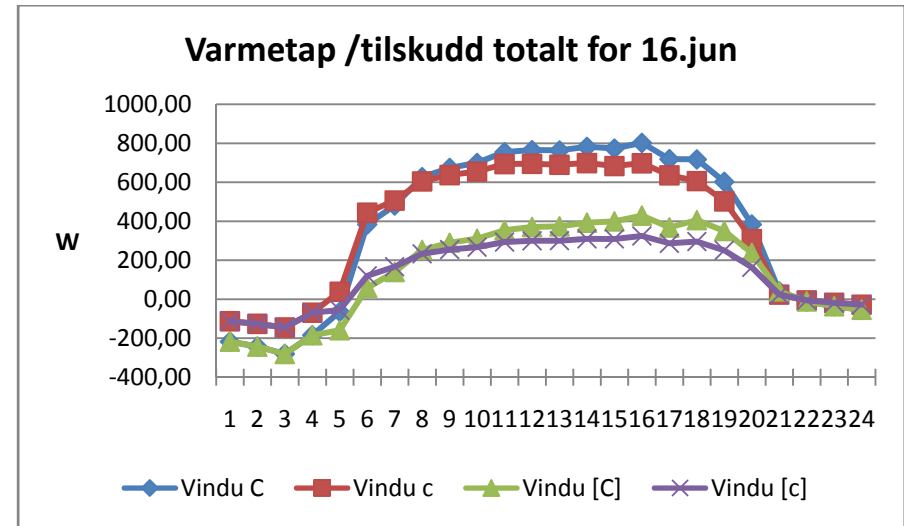
Figur 14 Temperatur inn i rommet for 3. Februar



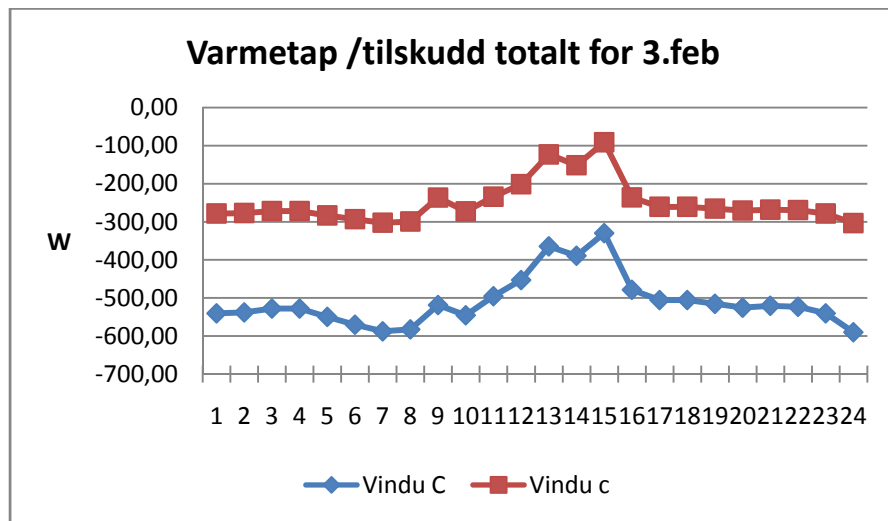
Figur 16 Temperatur inn i rommet for 22. Juni



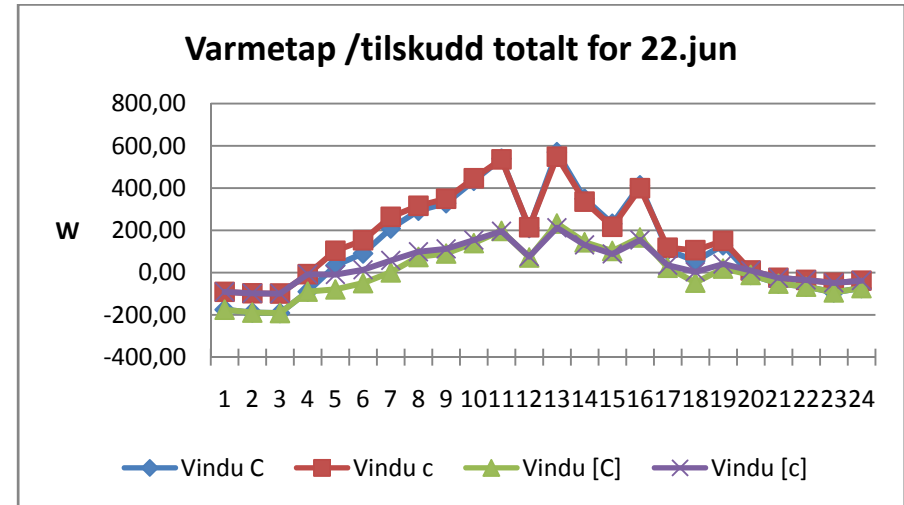
Figur 17 Varmetap/tilskudd totalt for 30. Januar



Figur 19 Varmetap/tilskudd totalt for 16. Juni



Figur 18 Varmetap/tilskudd totalt for 3. Februar

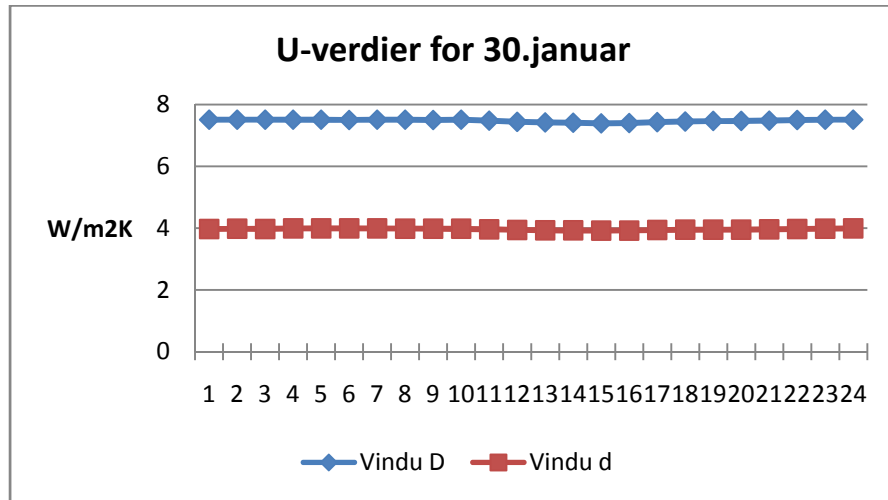


Figur 20 Varmetap/tilskudd totalt for 22. juni

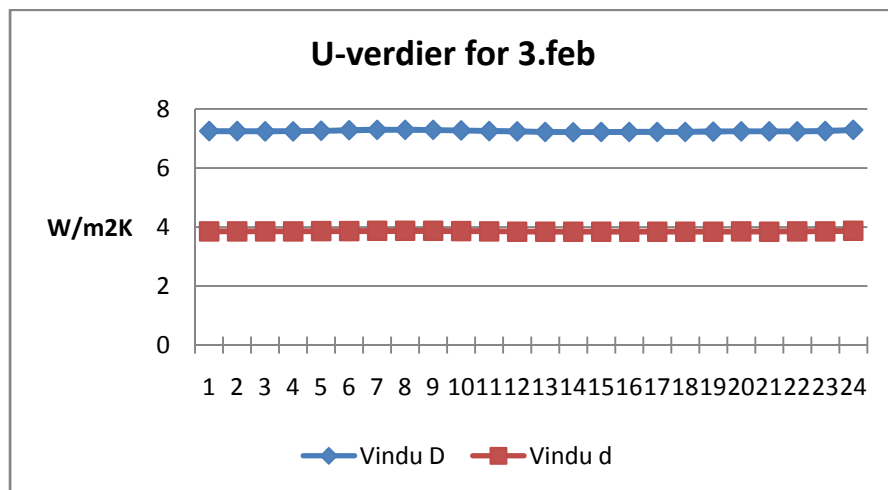




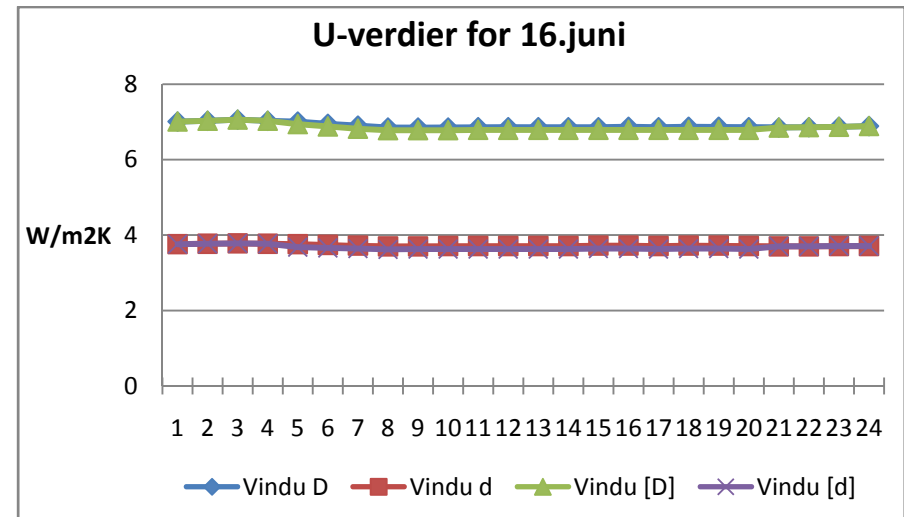
## Vedlegg G: Simuleringsdata for vindu D, d, [D] og [d]



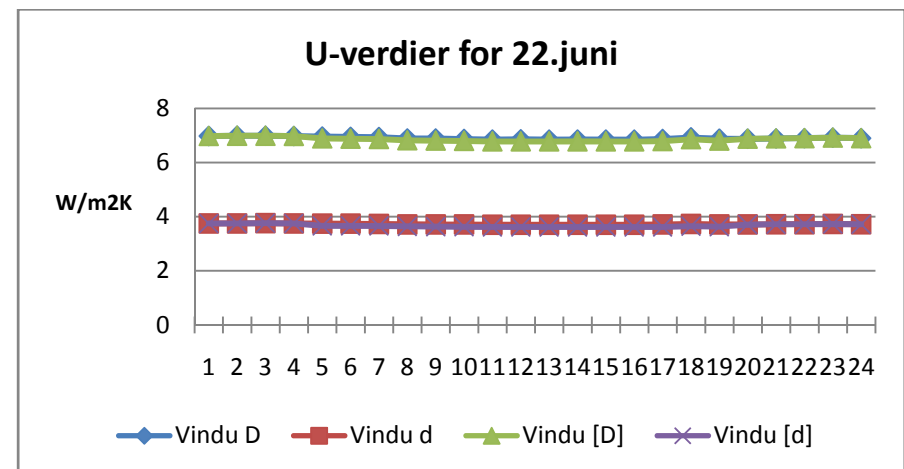
Figur 1 U-verdier for 30. januar



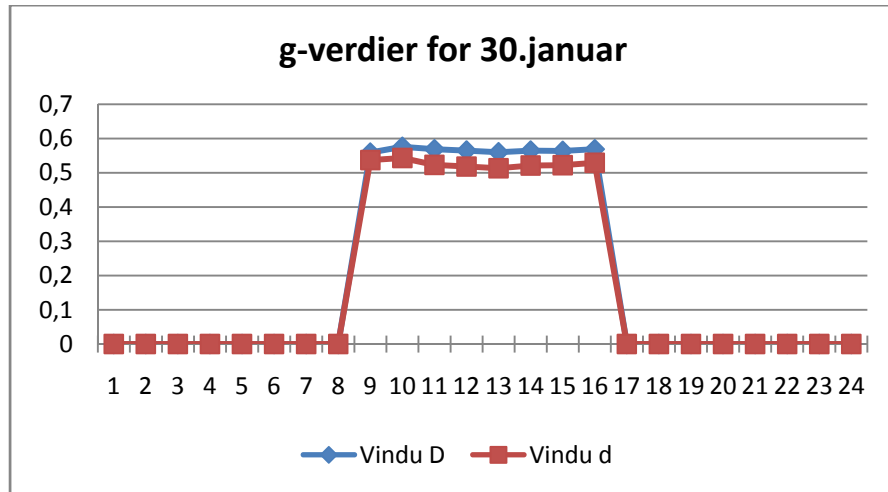
Figur 2 U-verdier for 3. februar



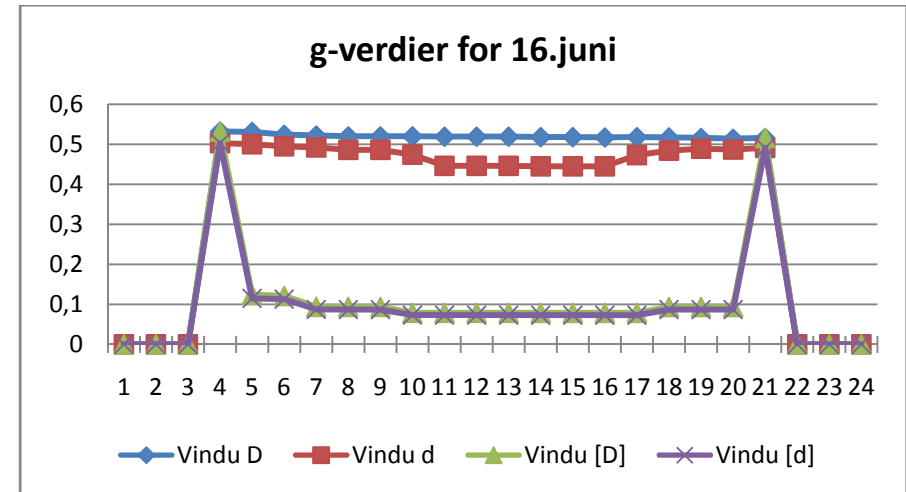
Figur 3 U-verdier for 16. juni



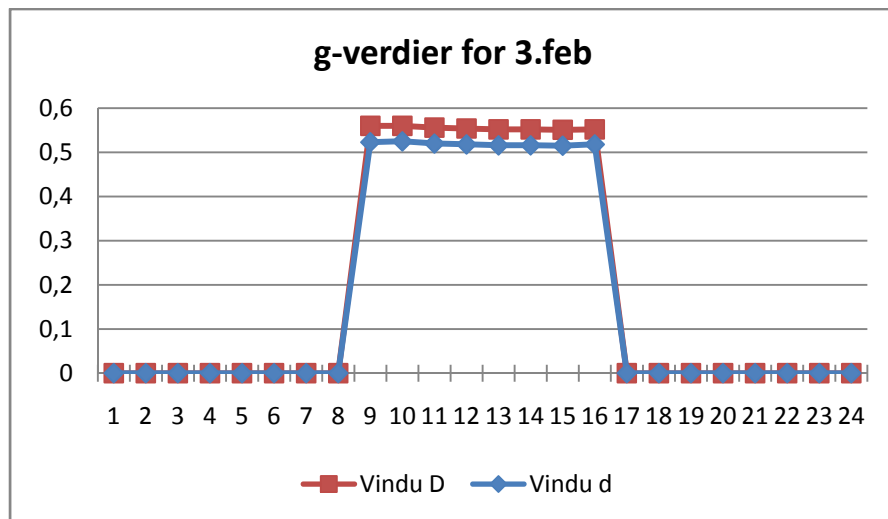
Figur 4 U-verdier for 22. Juni



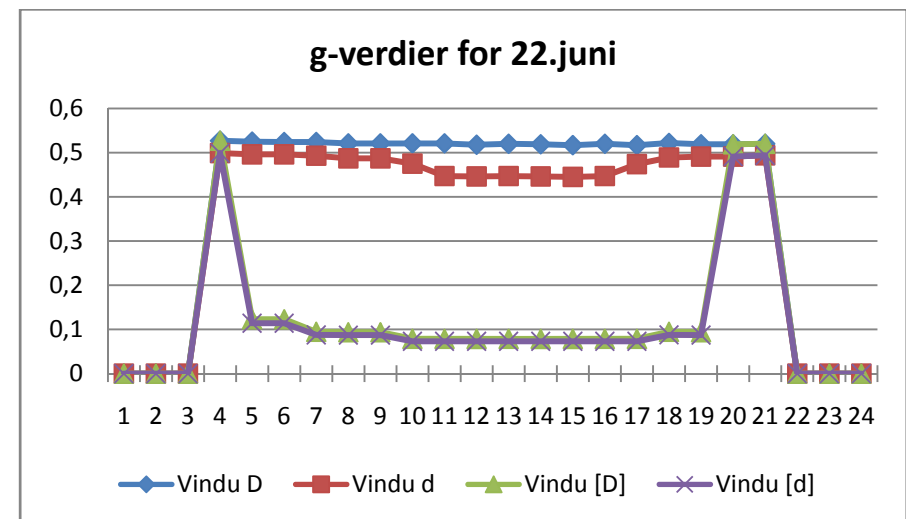
Figur 5 g-verdier for 30. Januar



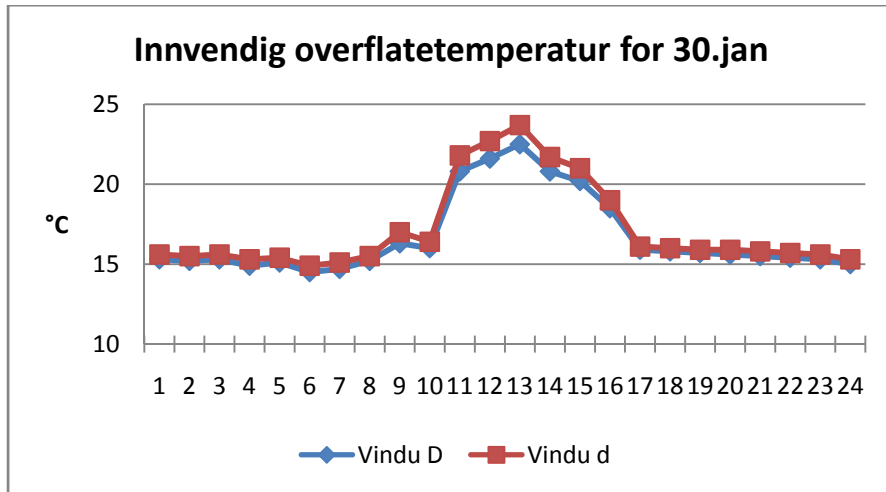
Figur 7 g-verdier for 16.juni



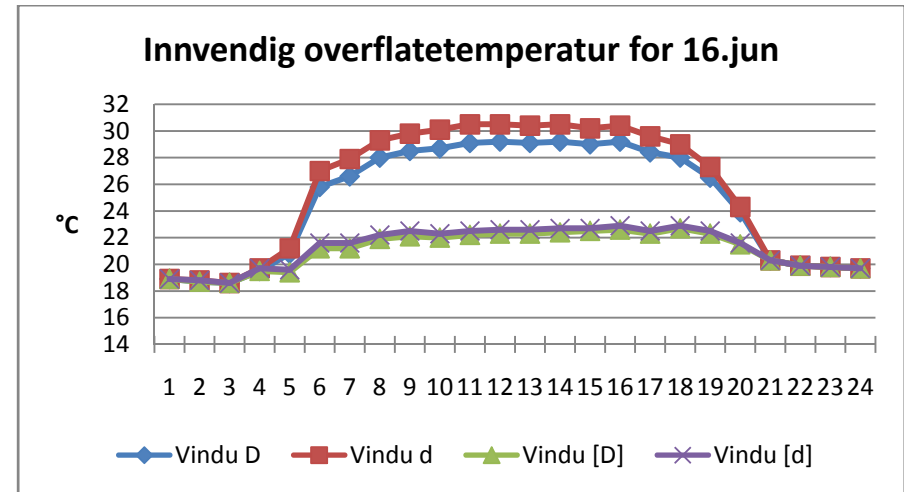
Figur 6 g-verdier for 3. Februar



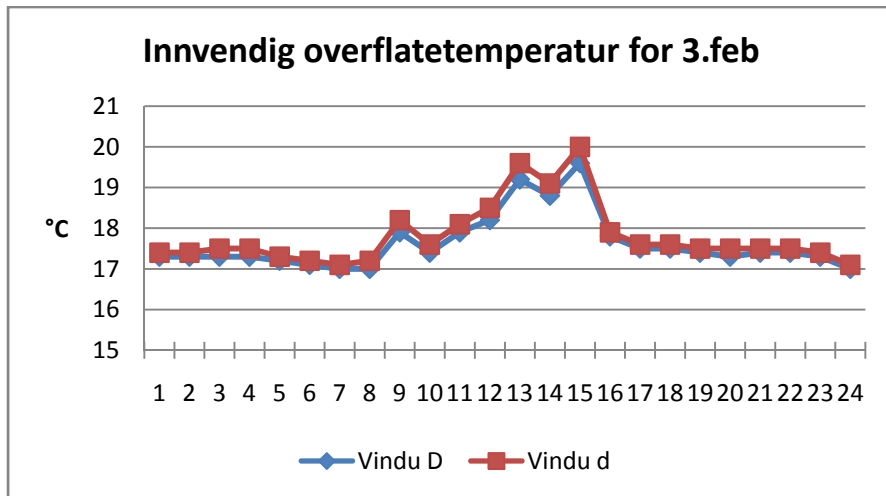
Figur 8 g-verdier for 22. Juni



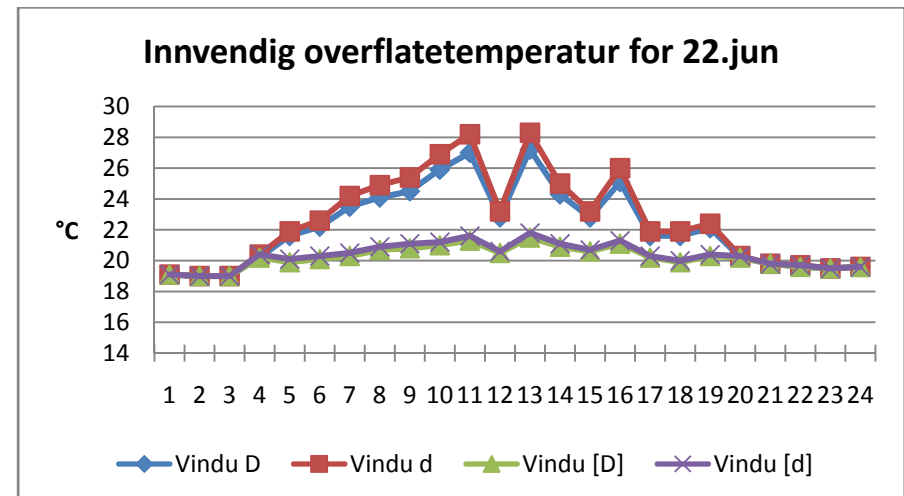
Figur 9 Innvendig overflate temperatur for 30. januar



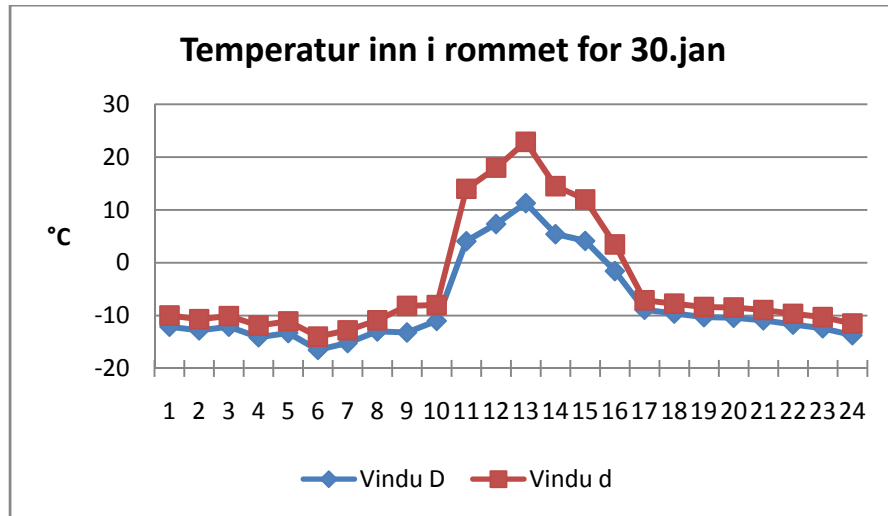
Figur 11 Innvendig overflate temperatur for 16. Juni



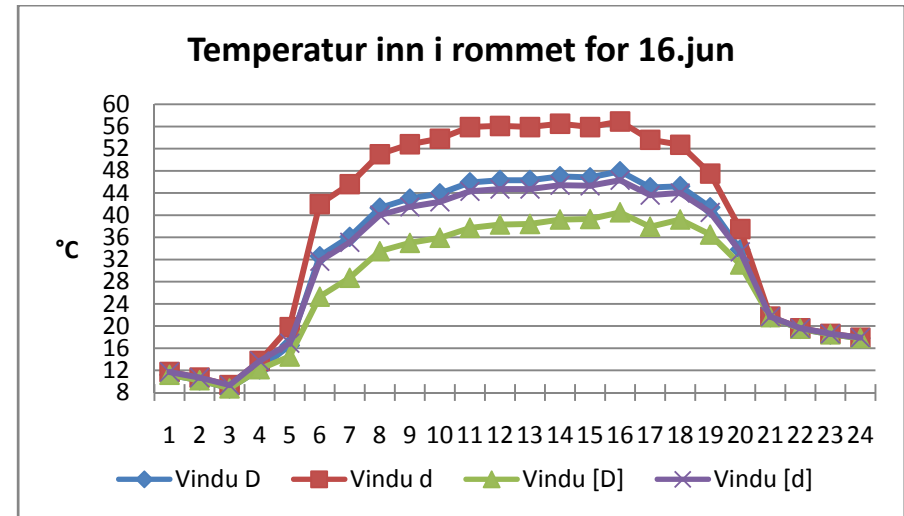
Figur 10 Innvendig overflate temperatur for 3. februar



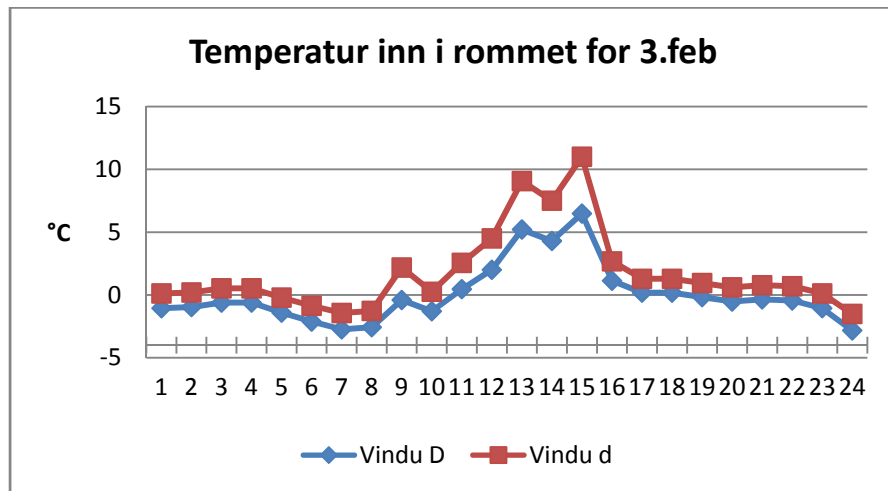
Figur 12 Innvendig overflate temperatur for 22. Juni



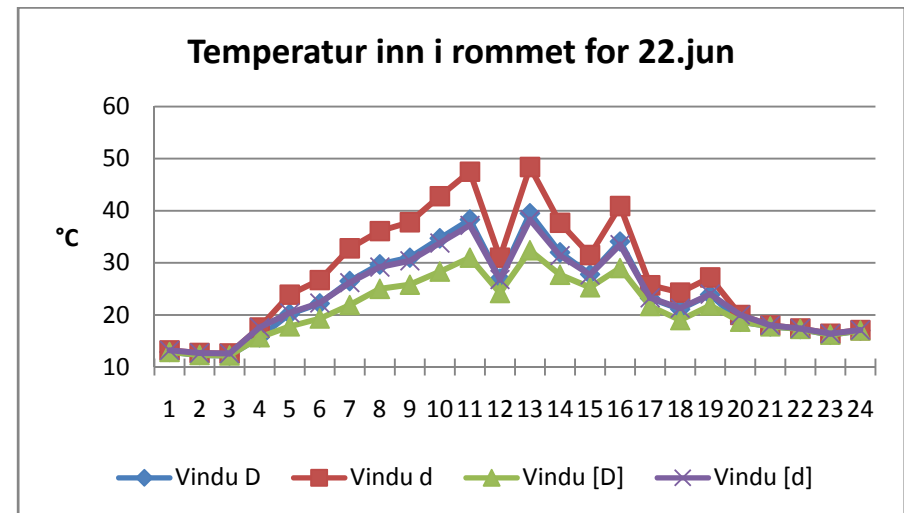
Figur 13 Temperatur inn i rommet for 30. Januar



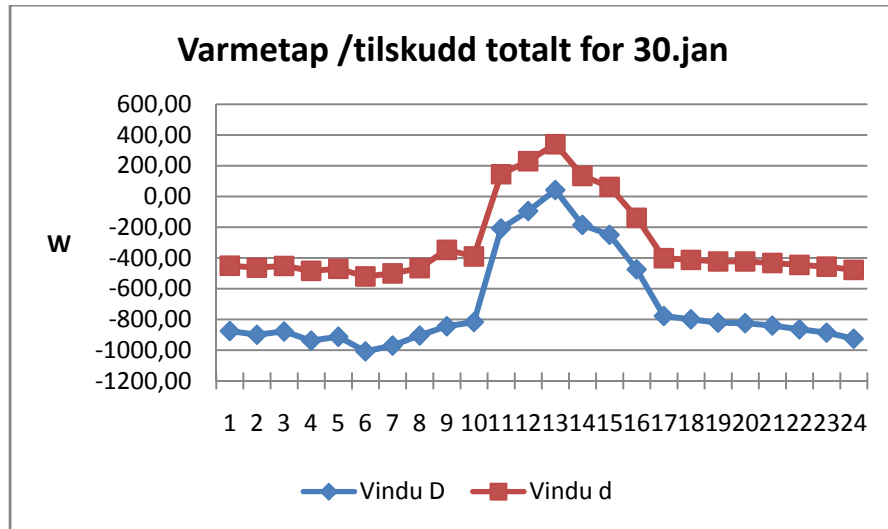
Figur 15 Temperatur inn i rommet for 16. Juni



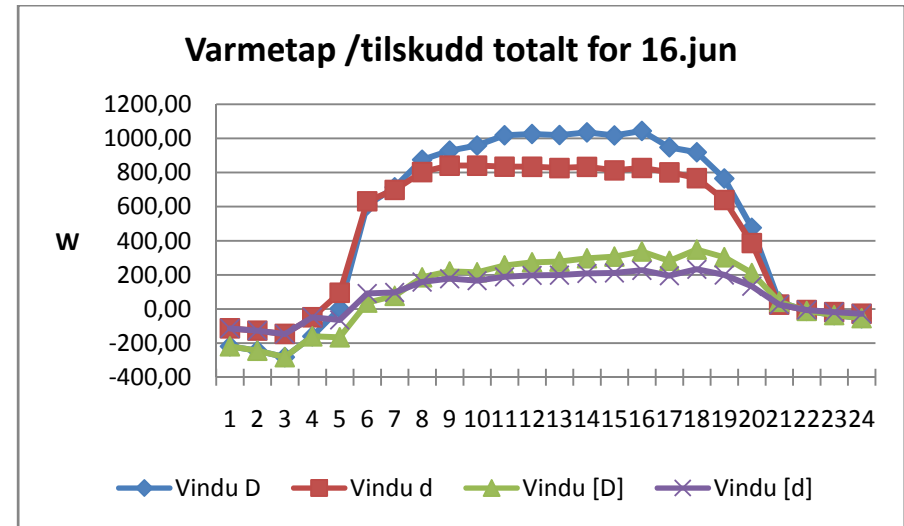
Figur 14 Temperatur inn i rommet for 3. Februar



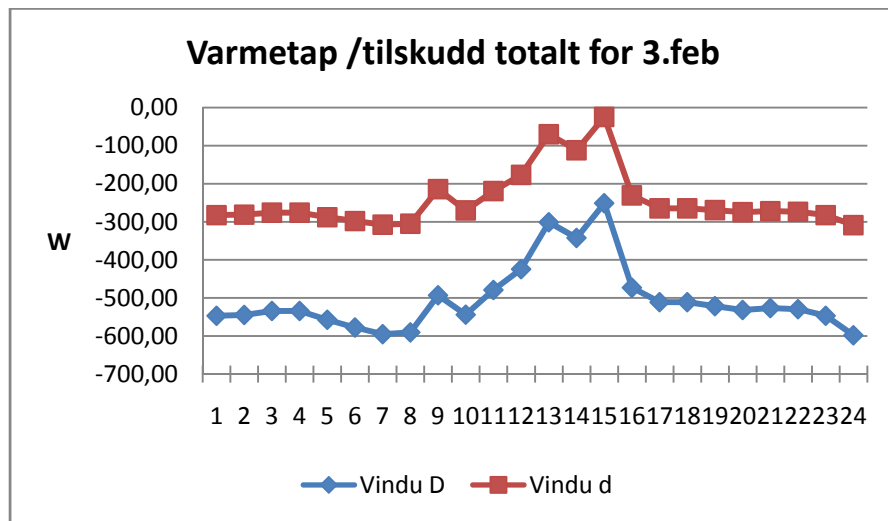
Figur 16 Temperatur inn i rommet for 22. Juni



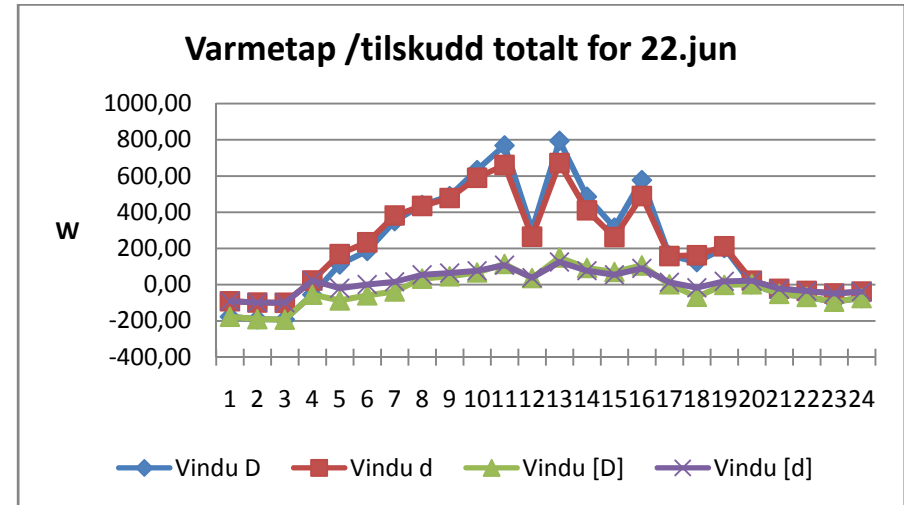
Figur 17 Varmetap/tilskudd totalt for 30. Januar



Figur 19 Varmetap/tilskudd totalt for 16. Juni



Figur 18 Varmetap/tilskudd totalt for 3. Februar

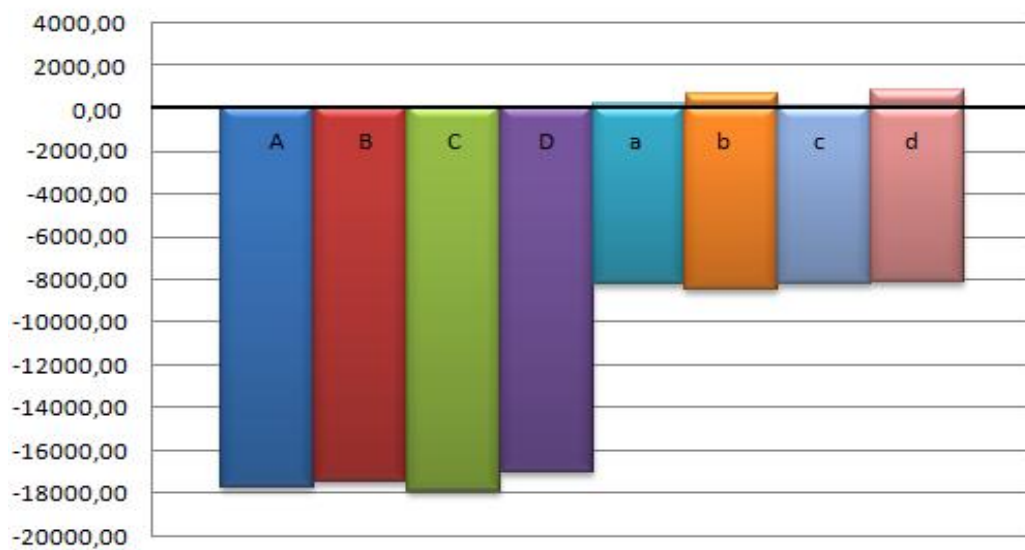


Figur 20 Varmetap/tilskudd totalt for 22. juni



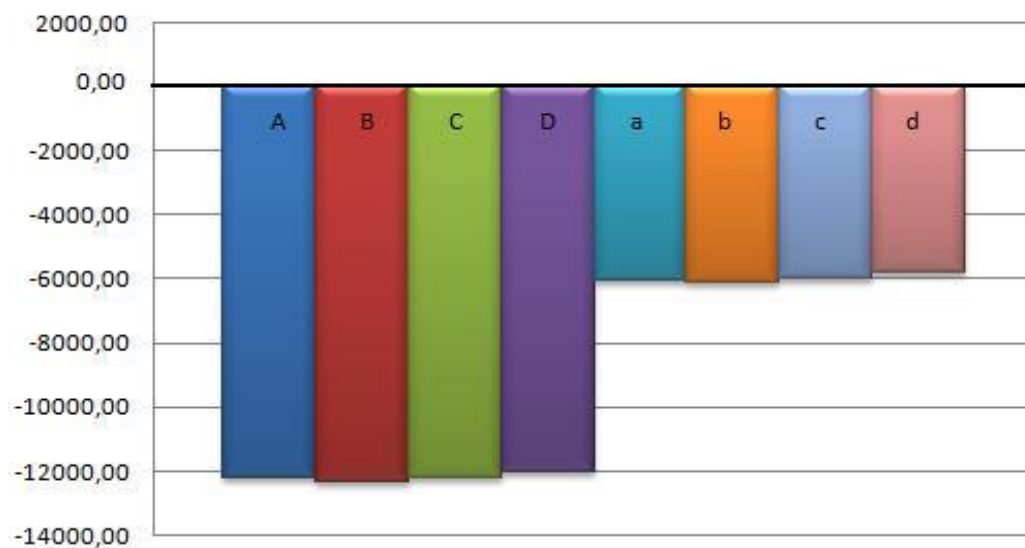
## Vedlegg H: Energibetraktninger

### Energibetraktning for 30.januar

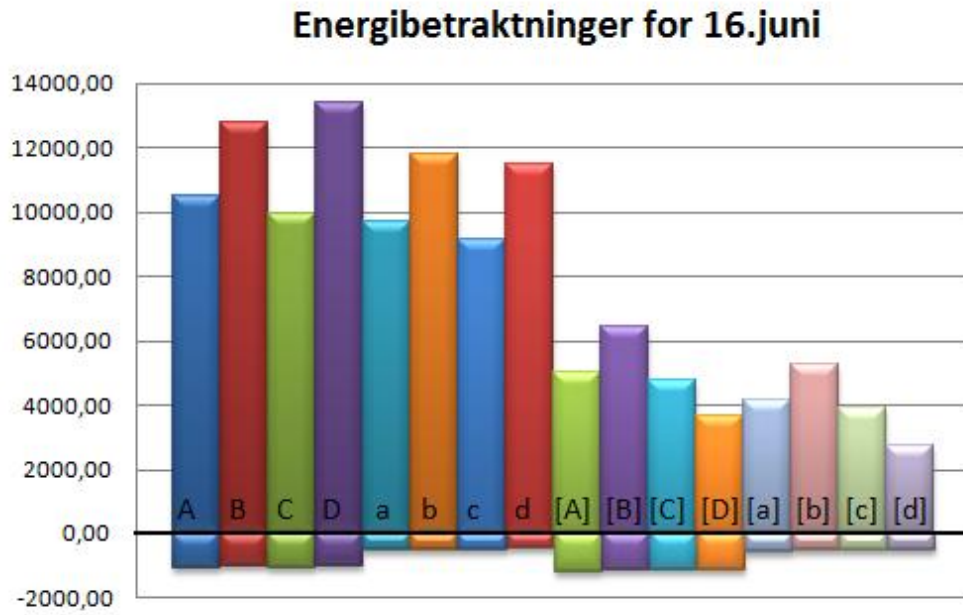


Figur 1 Energibetraktning for 30. januar

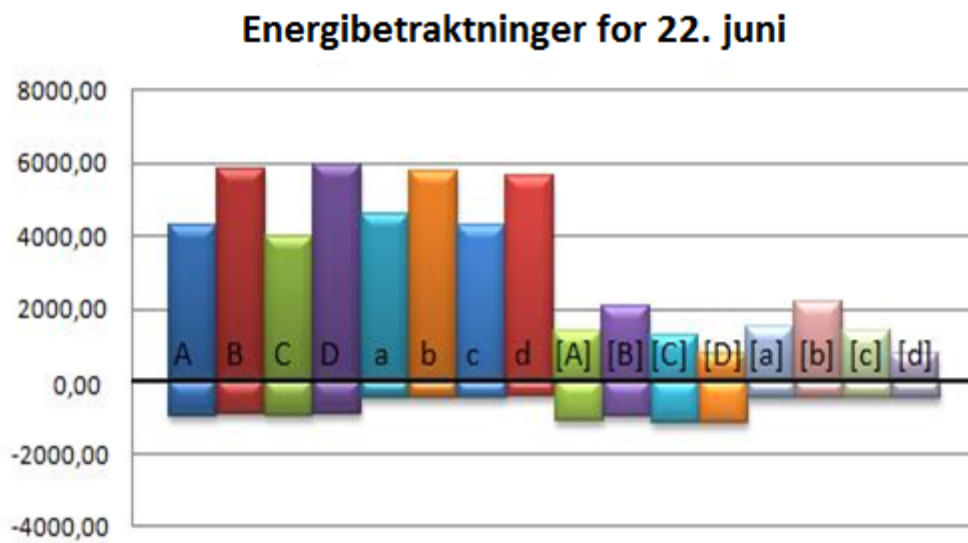
### Energibetraktninger for 3.februar



Figur 2 Energibetraktning for 3. februar



Figur 3 Energibetraktning for 16. juni



Figur 4 Energibetraktning for 22. juni



## Vedlegg I: Lufttetthet ved forskjellige temperaturer

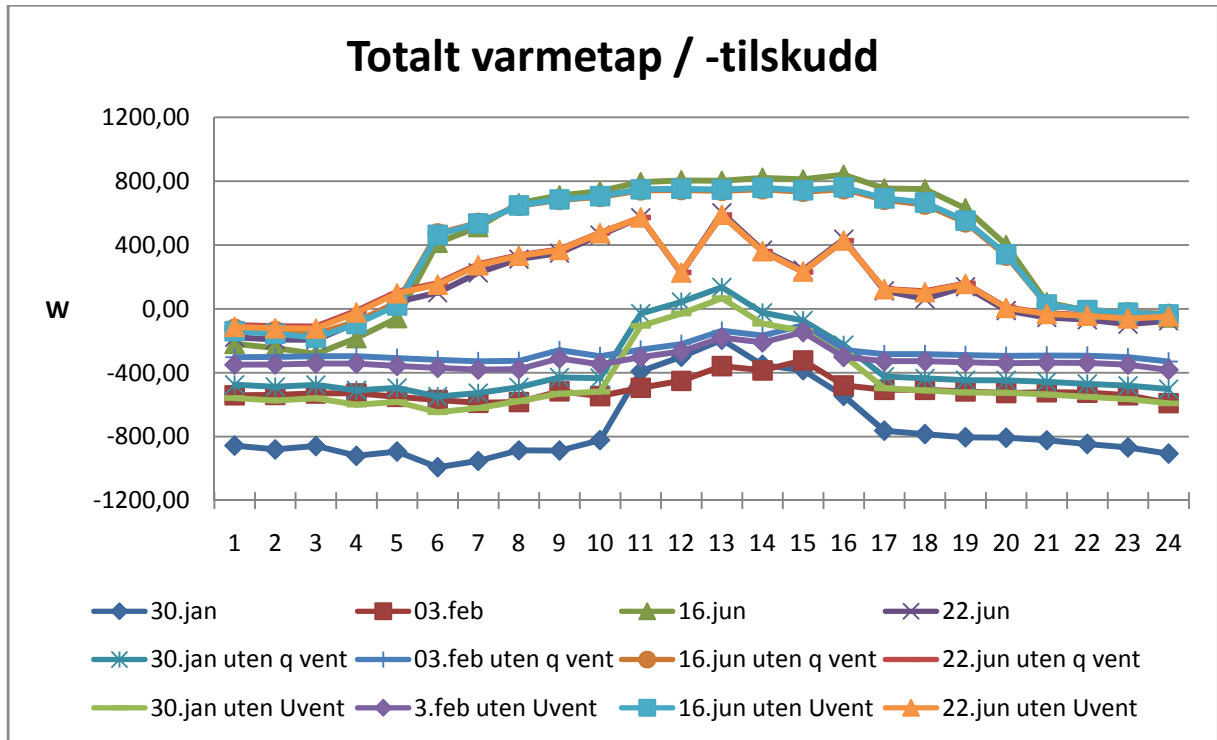
T <sub>spalte</sub> [°C]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
-20	1,394
-19,5	1,391
-19	1,389
-18,5	1,386
-18	1,383
-17,5	1,381
-17	1,378
-16,5	1,375
-16	1,373
-15,5	1,370
-15	1,368
-14,5	1,365
-14	1,362
-13,5	1,360
-13	1,357
-12,5	1,354
-12	1,352
-11,5	1,349
-11	1,346
-10,5	1,344
-10	1,341
-9,5	1,339
-9	1,336
-8,5	1,334
-8	1,331
-7,5	1,329
-7	1,326
-6,5	1,324
-6	1,321
-5,5	1,319
-5	1,317
-4,5	1,314
-4	1,312
-3,5	1,309
-3	1,307
-2,5	1,304
-2	1,302
-1,5	1,299
-1	1,297
-0,5	1,294
0	1,292

T <sub>spalte</sub> [°C]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
0	1,292
0,5	1,290
1	1,287
1,5	1,285
2	1,283
2,5	1,281
3	1,278
3,5	1,276
4	1,274
4,5	1,271
5	1,269
5,5	1,267
6	1,264
6,5	1,262
7	1,260
7,5	1,258
8	1,255
8,5	1,253
9	1,251
9,5	1,248
10	1,246
10,5	1,244
11	1,242
11,5	1,240
12	1,238
12,5	1,236
13	1,233
13,5	1,231
14	1,229
14,5	1,227
15	1,225
15,5	1,223
16	1,221
16,5	1,219
17	1,217
17,5	1,215
18	1,212
18,5	1,210
19	1,208
19,5	1,206
20	1,204

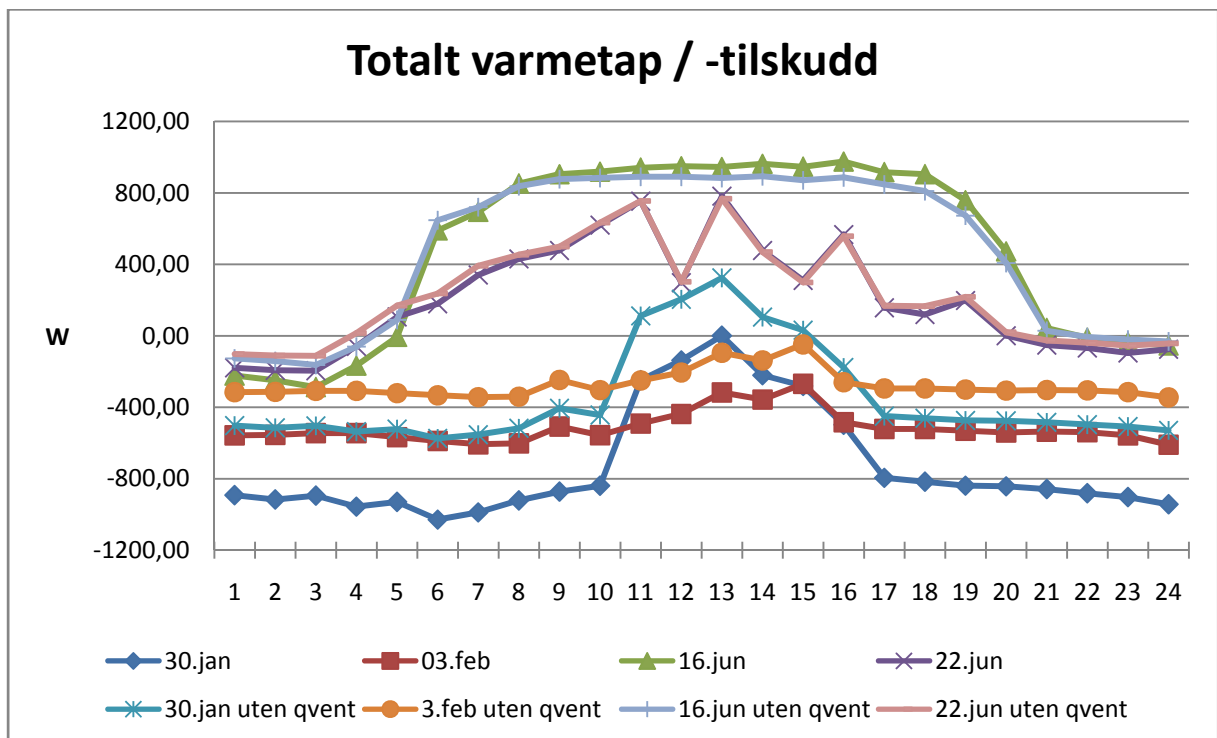
T <sub>spalte</sub> [°C]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
20	1,204
20,5	1,202
21	1,200
21,5	1,198
22	1,196
22,5	1,194
23	1,192
23,5	1,190
24	1,188
24,5	1,186
25	1,184
25,5	1,182
26	1,180
26,5	1,178
27	1,176
27,5	1,174
28	1,172
28,5	1,170
29	1,168
29,5	1,166
30	1,164
30,5	1,162
31	1,160
31,5	1,158
32	1,157
32,5	1,155
33	1,153
33,5	1,151
34	1,149
34,5	1,147
35	1,146
35,5	1,144
36	1,142
36,5	1,140
37	1,138
37,5	1,136
38	1,134
38,5	1,133
39	1,131
39,5	1,129
40	1,127



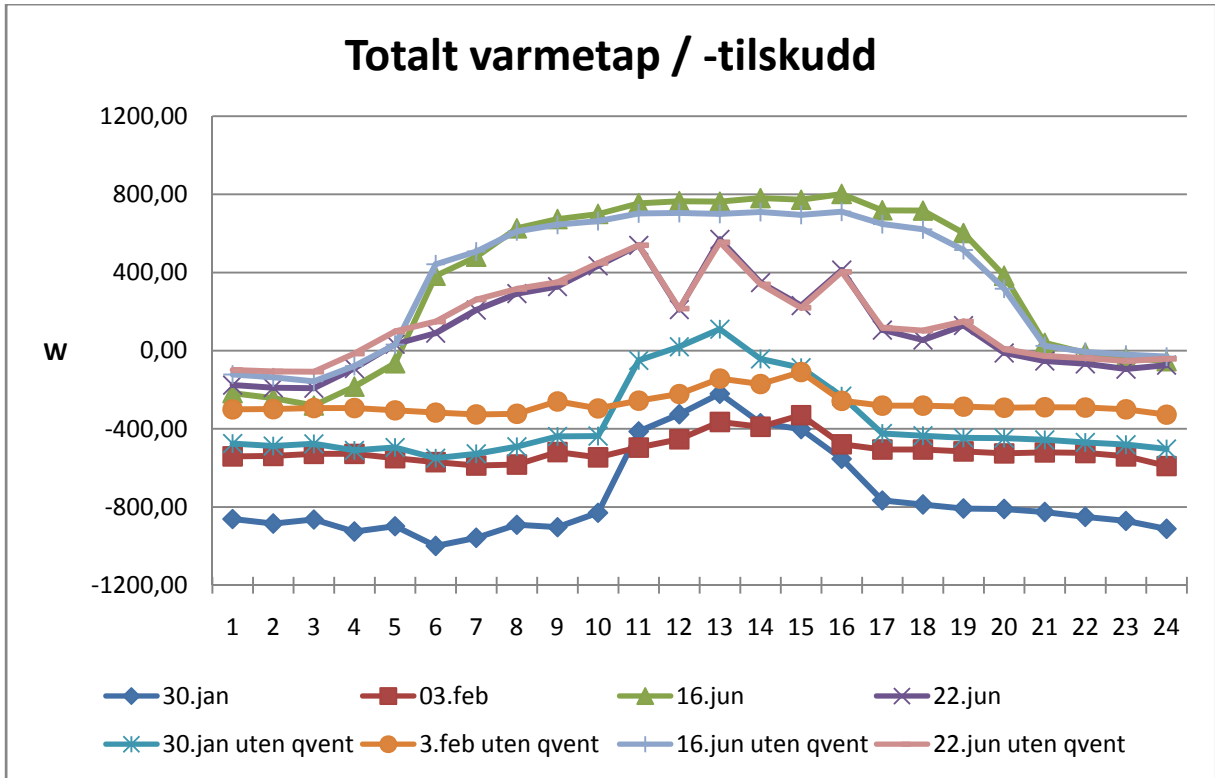
## Vedlegg J: Feilkilder energibetraktninger



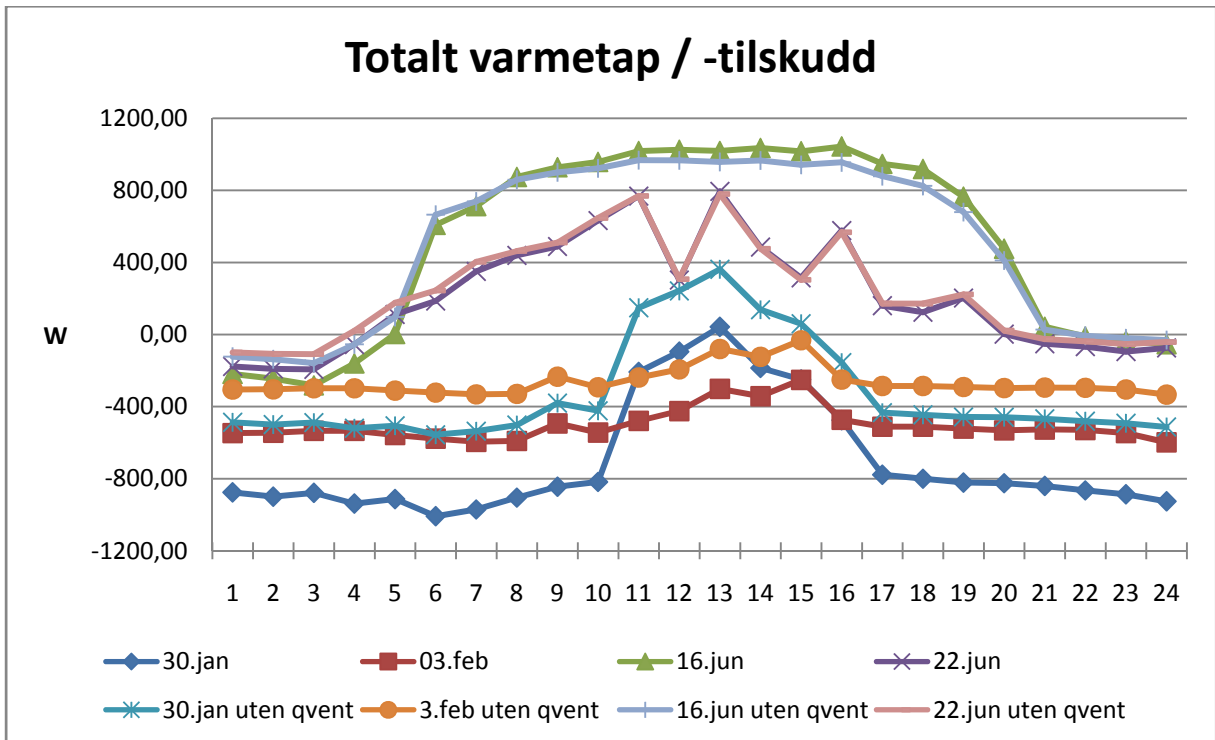
Figur 1 Sammenligning av totalt varmetap/tilskudd med og uten q vent og U vent for vindu A



Figur 2 Sammenligning av totalt varmetap/tilskudd med og uten q vent for vindu B



Figur 3 Sammenligning av totalt varmetap/tilskudd med og uten q vent for vindu C



Figur 4 Sammenligning av totalt varmetap/tilskudd med og uten q vent for vindu D