

MATTHIAS HAASE OG TORE WIGENSTAD

Evaluering av bruk av dobbel fasade som konsept ved oppgradering av eksisterende fasade

Case: AØF Kongressenter Folket Hus, Trondheim

Prosjektrapport 57

2010



SINTEF Byggforsk

Matthias Haase og Tore Wigenstad

Evaluering av bruk av dobbel fasade som konsept ved oppgradering av eksisterende fasade

Case: AØF Kongressenter Folket Hus, Trondheim

Prosjektrapport 57 – 2010

Prosjektrapport nr. 57

Matthias Haase og Tore Wigenstad

Evaluering av bruk av dobbel fasade som konsept ved oppgradering av eksisterende fasade

Case: AØF Kongressenter Folket Hus, Trondheim

Emneord:

Dobbelfasade, energibruk, kontorbygg

Illustrasjon, omslag: Situasjonsplan for bygningskomplekset

(rød markering: fasaden som er vurdert i prosjektet). Kilde: Gulesider.no

Prosjektnr.: 3B009900

ISSN 1504-6958

ISBN ISBN: 978-82-536-1155-6 (pdf)

ISBN 978-82-536-1156-3 (trykt)

50 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2010

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



INNHALDSFORTEGNELSE

1	Sammendrag og konklusjon.....	4
2	Innledning	8
2.1	Hva er dobbelfasade?	8
2.2	Type dobbelfasader	8
2.3	Beskrivelse av bygningen.....	9
2.4	Værdata	10
3	Problemstilling og vurderingsrekkefølge	11
3.1	Skisse av de ulike scenariene	11
3.2	Evaluerer av behovet for vifter i tillegg til den termiske luftstrømmen som oppstår ..	12
3.3	Valg av glasstype og andre spesifikasjoner for simulering.....	12
4	Resultater	14
4.1	Beregningscase m/ forskjellig lufttetthet og styringsstrategier	15
4.1.1	Overflatetemperaturer på innvendig glassoverflate	16
4.1.2	Romtemperaturer.....	18
4.1.3	Energibruk.....	20
4.1.4	Termisk komfort.....	22
4.2	Beregningscase m/ forskjellig plassering av solavskjerming.....	24
4.2.1	Overflatetemperaturer på innvendig glassoverflate. Med solavskjerming.....	25
4.2.2	Romtemperaturer. Med solavskjerming.....	26
4.2.3	Energibruk. Med solavskjerming	29
4.2.4	Termisk komfort. Med solavskjerming.....	31
5	Kondens	33
5.1	Utvendig kondens.....	33
5.1.1	Praktiske forsøk.....	34
5.1.2	Tidligere beregninger	34
5.1.3	Beregninger via TRNSYS.....	36
5.2	Innvendig kondens	39
5.3	Avskjerming som tiltak mot utvendig kondens.....	41
6	Referanser	43

Vedlegg A

Vedlegg B

Vedlegg C

1 Sammenheng og konklusjon

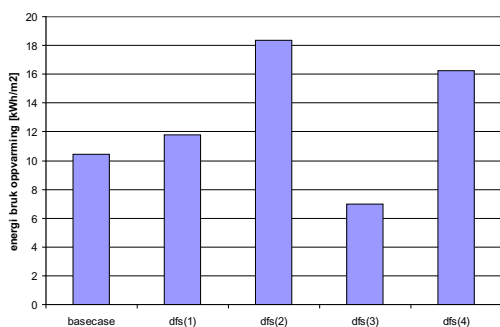
Bruk av dobbelfasade er lite utbredt i Norge. Så vidt SINTEF Byggforsk kjenner til finnes det pr. dato 10-12 bygninger hvor dette er benyttet. Av disse prosjektene er det bare et par hvor dobbelfasade er benyttet i forbindelse med rehabilitering av fasade. Brukt på denne måten kan store arbeider på eksisterende fasade reduseres, i tillegg til at bygningens energi-, og effektytelse kan bedres. Bruk av dobbelfasade må imidlertid gjøres riktig, og problemstillinger går vidt utenfor energiaspektet ved at forhold vedrørende brann, rømning, lyd, drift og sikkerhet av systemet også må tas med i utforming av løsning. Omfang av kondens er også en problemstilling som må vurderes. Innenfor alle disse områdene mangler det ennå en del kunnskap, beregningsverktøy samt ikke minst erfaring og tilbakemelding fra gjennomførte prosjekter.

Denne rapporten omhandler termisk inneklima, energi og kondensutfordringer for en planlagt dobbelfasade ved AØF Kongressenter i Trondheim.

For beregninger er simuleringsprogrammet TRNSYS i kombinasjon med TRNSFLOW benyttet. Når det gjelder kondens har vi i tillegg støttet oss på tidligere arbeider gjennom SINTEF Byggforsk rapporten; "Utvendig kondens på vindusruter", Thyholt, M., 2006.

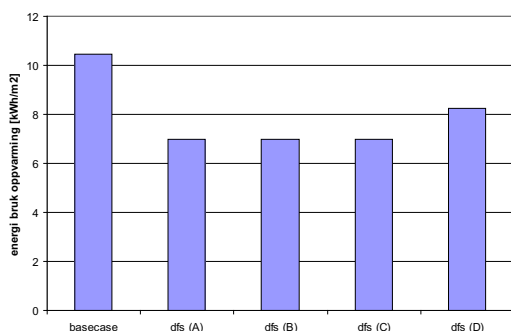
Resultatene fra beregningene og konklusjonene vil nødvendigvis være spesifikke for det gjennomregnede tilfellet AØF Kongressenter i Trondheim.

Konklusjoner



Energibruk

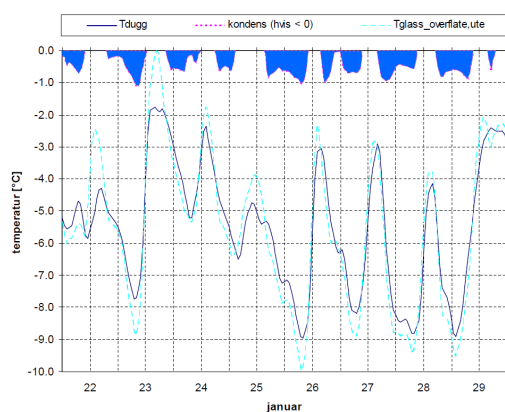
Ved bruk av 2-lags glass viser beregningene at sannsynligheten for *energibruk* er minst.



Solavskjerming

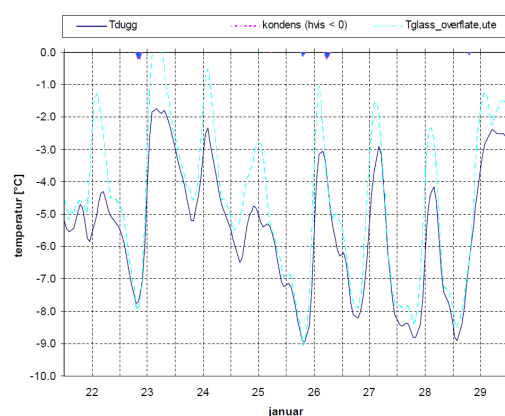
Bruk av persienner i dobbelfasaden viser redusert energibruk til oppvarming på ca. 40 %. I tillegg gir tiltaket god forbedring av termisk komfort om sommeren.

Posisjonen for solavskjermingen i mellomrommet i dobbelfasaden har ingen betydning for energibruken om vinteren eller termisk komfort om sommeren.

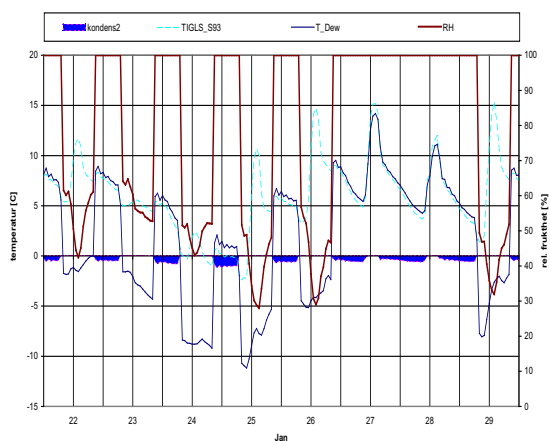


Utvendig kondens

Ved bruk av 2-lags glass viser beregningene imidlertid at sannsynligheten for *utvendig* kondens er stor, både når vi regner antall timer, og kondensert mengde.

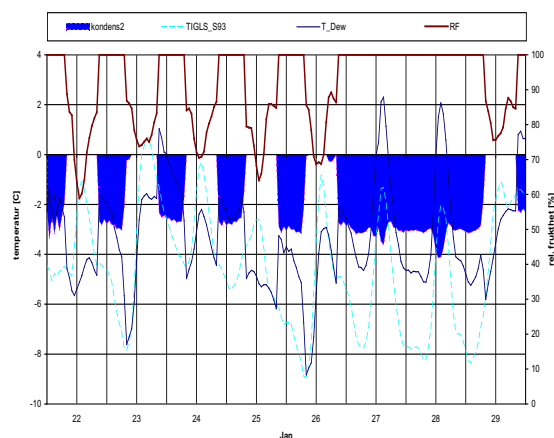


Ved bruk av 1-lags glass viser beregningene at *utvendig* kondens er nær fraværende.

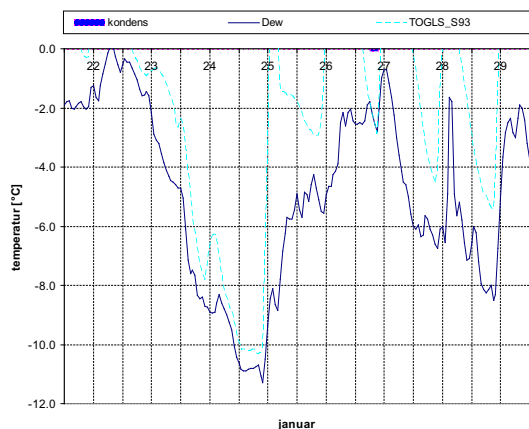


Innvendig kondens

Ved bruk av 2-lags glass viser beregningene at sannsynligheten for *innvendig* kondens er stor når det gjelder antall timer, men ikke i mengde.

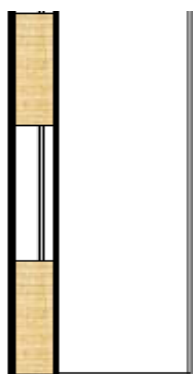


Ved bruk av 1-lags glass viser beregningene at *innvendig* kondens er svært sannsynlig både når det gjelder antall timer og mengde. Ventilering av hulrommet vil bedre forholdene betraktelig men konsekvensen er stort energibruk.



Avskjerming mot himmelstråling

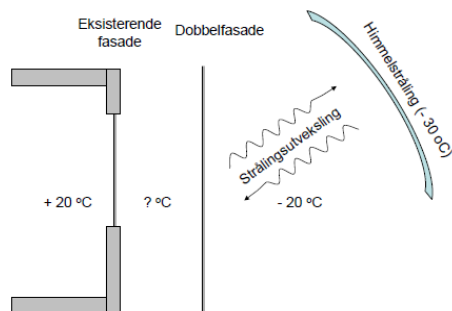
Dersom bygget påmonteres avskjerming (dybde 2 m), vil dette ha stor innvirkning for omfanget av utvendig kondensering for 2-lags glasset. Simuleringer viser at kondensering reduseres til nær 0. Tiltaket anbefales.



Øvrig

Case: AØF Kongressenter Folkets Hus, Trondheim

Vi anbefaler at etasjene 2 og 3 tettes iht. ”Evalueringsrapport av bruk av dobbelfasade som konsept ved oppgradering av eksisterende fasade.



Beregnet temperatur i hulrom i dobbelfasaden

Simuleringer viser at temperaturen vil gå ned til under frysepunktet i dobbelfasaden ved bruk av begge glasstypene. Installasjoner (sanitær og sprinkler) som *eventuelt* plasseres her må derfor gis høyde for dette forholdet.

Konklusjon

På bakgrunn av de simuleringene vi har foretatt vil vi anbefale at det benyttes 2-lags glass med U-verdi lik $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Videre at det benyttes lavemisjonsbelegg vendt utover på det ytre glasset. Denne løsningen kombineres med horisontal skjerming (dybde 2 meter) plassert ved gesims over øverste etasje.

Elementer ved dobbelfasade som ikke er vurdert i denne rapporten

- Kan gi redusert dagslysnivå inne i rommet, pga flere lag glass og eventuelle horisontale skott.
- Kan gi større lydoverføring mellom naborom
- Kan gi større fare for brann- og røykspredning

2 Innledning

SINTEF Byggforsk har vært engasjert av AØF Kongressenter Folket Hus, for å gjennomføre et detaljert studium av energi- og ventilasjonskonsept ved bruk av dobbelfasade i et eksisterende bygningskompleks i Krambuveita, Trondheim. Eksisterende fasade har $U\text{-verdi} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vinduer består av 2 lags isolerglass med $U\text{-verdi} = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.1 Hva er dobbelfasade?

En dobbelfasade består av en ytterfasade i glass som er lagt utenpå den opprinnelige fasaden. Mellomrommet er vanligvis ca. 50 cm dypt, og rommer vanligvis en solavskjerming, samt eventuelt andre tekniske installasjoner som ventilasjonskanaler, kjøleinstallasjoner eller dagslys-systemer.

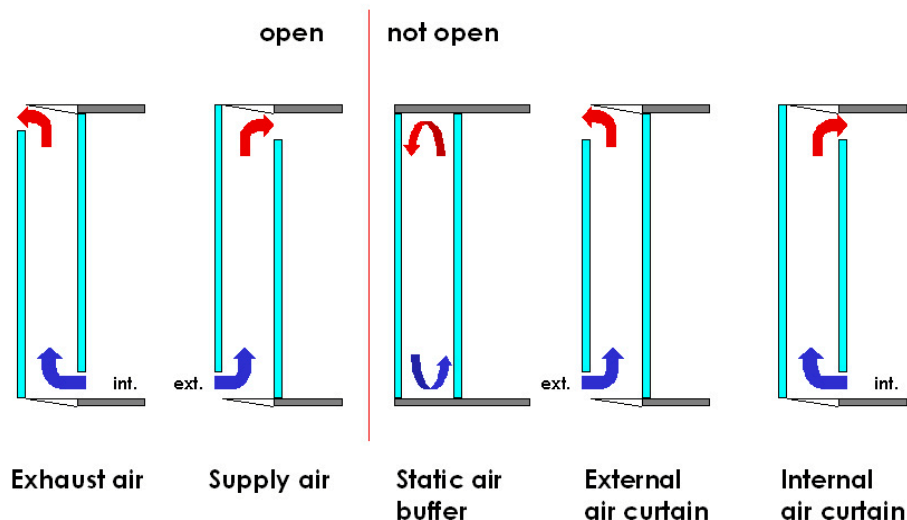
Den innvendige fasaden kan i nybygg derved gjøres enklere, eller ved rehabilitering; beholdes eller utbedres med enkle midler. Dobbelfasader kategoriseres ofte etter hva slags ventilasjonsprinsipp de er utformet med. Ventilasjonsløsningen er viktig, fordi denne i stor grad påvirker energiforbruket til oppvarming, ventilasjon og kjøling, komfort, luftkvalitet, lydisolasjon og brannsikkerhet (Oesterle et al., 2001).

2.2 Type dobbelfasader

Det er vanlig å dele inn i fem ulike kategorier:

- fraluftsfasade
- tilluftsfasade
- lukket buffer
- åpen buffer til ute
- åpen buffer til inne

I tillegg finnes det ulike kombinasjoner av disse.



Figur 2.1 Enkelt ventilasjonsprinsipp i dobbelfasader (Haase et al., 2007)

Lukket buffer

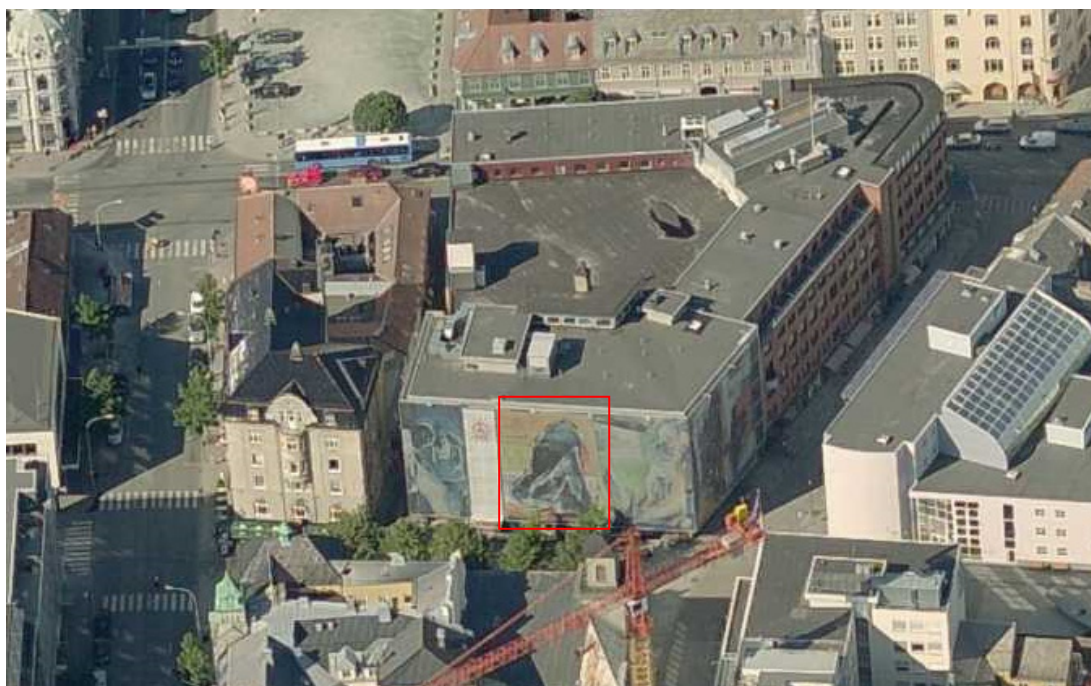
For denne typen dobbelfasadeløsning er det ingen luftutveksling mellom oppholdssonen og mellomrommet i dobbelfasaden. Ytterfasaden kan imidlertid ha permanente eller kontrollerbare åpninger. Dobbelfasaden fungerer her som en termisk buffer, og vil redusere oppvarmingsbehovet i forhold til en enkeltfasade. Man vil også få bedre lydisolasjon mot uteomgivelsene. Ventilasjon av oppholdssonen og ventilasjon i dobbelfasaden er i dette tilfellet to uavhengige systemer.

Åpen buffer

Ved dette konseptet kan vinduene i ytterfasaden åpnes for utlufting eller for å utnytte mellomrommet til forvarming av ventilasjonsluft. Hvis den frie høyden av dobbelfasaden er stor, dvs. mer enn 3-4 etasjer, kan lufttemperaturen i mellomrommet bli ukomfortabel høy. Den frie høyden på dobbelfasaden kan også begrenses av krav til lydisolasjon mellom etasjer, samt av brannkrav. Derfor har de fleste realiserte prosjekter med denne typen fasade horisontale skott mellom etasjene. I dette prosjektet var det viktig å finne ut hvor høye temperaturene blir i mellomrommet som fører til problemer med termisk komfort i de øverste etasjene.

2.3 Beskrivelse av bygningen

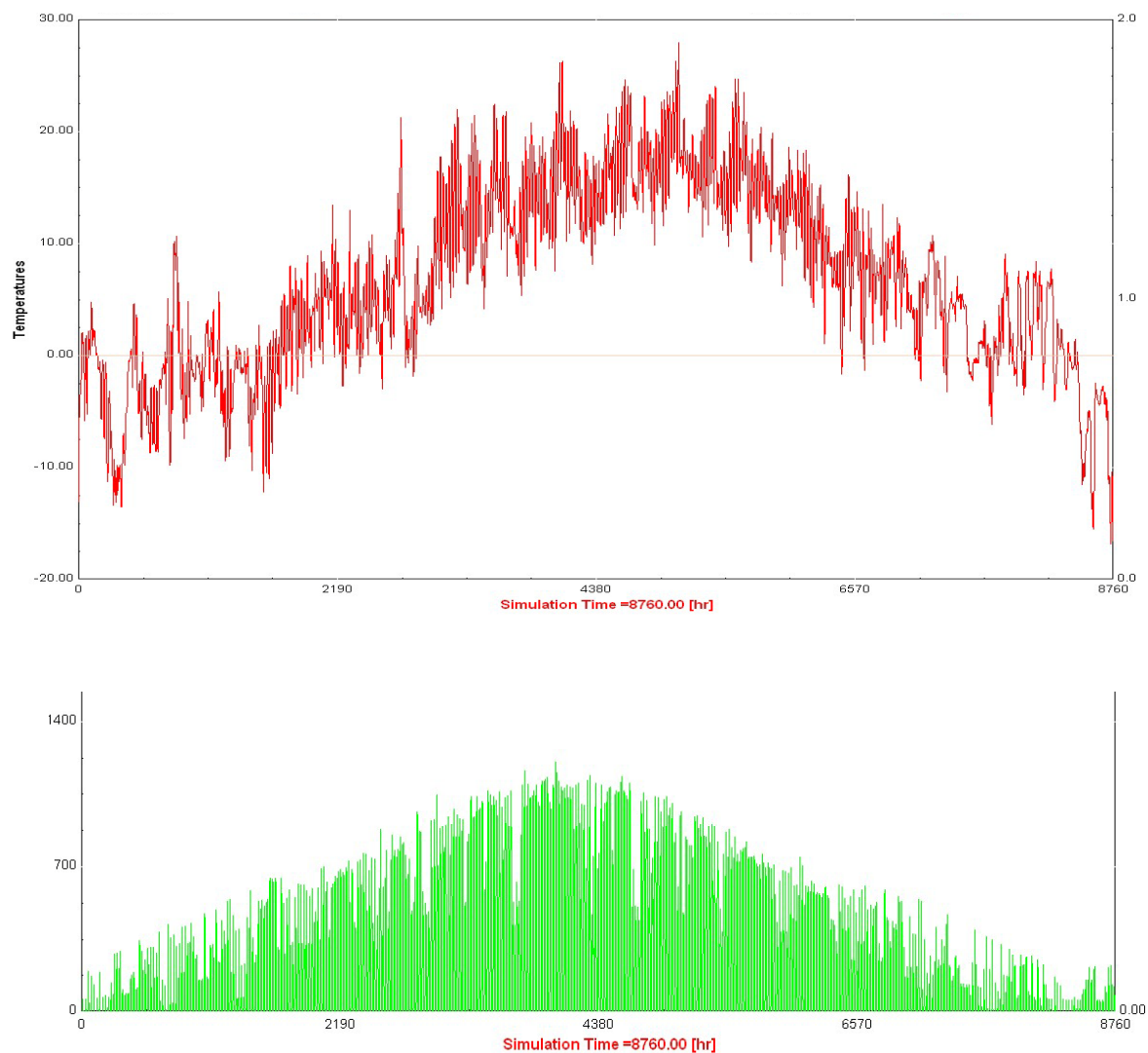
Den eksisterende bygningen er et kongress- og møtesenter med kinolokaler, restauranter og hotell. Fasadene er mot vest, øst og sør som vist i figur 2.2. Vest- og østfasaden er mot andre omkringliggende bygninger mens sørfasadene er mot et lite torg. Hotellet ligger i 4. og 5. etasje. Se vedlegg A for flere tegninger.



Figur 2.2 Situasjonsplan for bygningskomplekset (i rødt vises til fasaden som er vurdert i prosjektet (Kilde: Gulesider.no)

2.4 Værdata

Utetemperatur og solstråling mot vertikale flater er de viktigste parametrene for å beskrive effekten av en dobbelfasade. Figur 2.3 viser utetemperaturen og vertikal solstråling på sørfasaden for Oslo for hver time gjennom året.



Figur 2.3 Utetemperatur og vertikalt solstråling for hver time gjennom året. Kilde: Meteonorm

3 Problemstilling og vurderingsrekkefølge

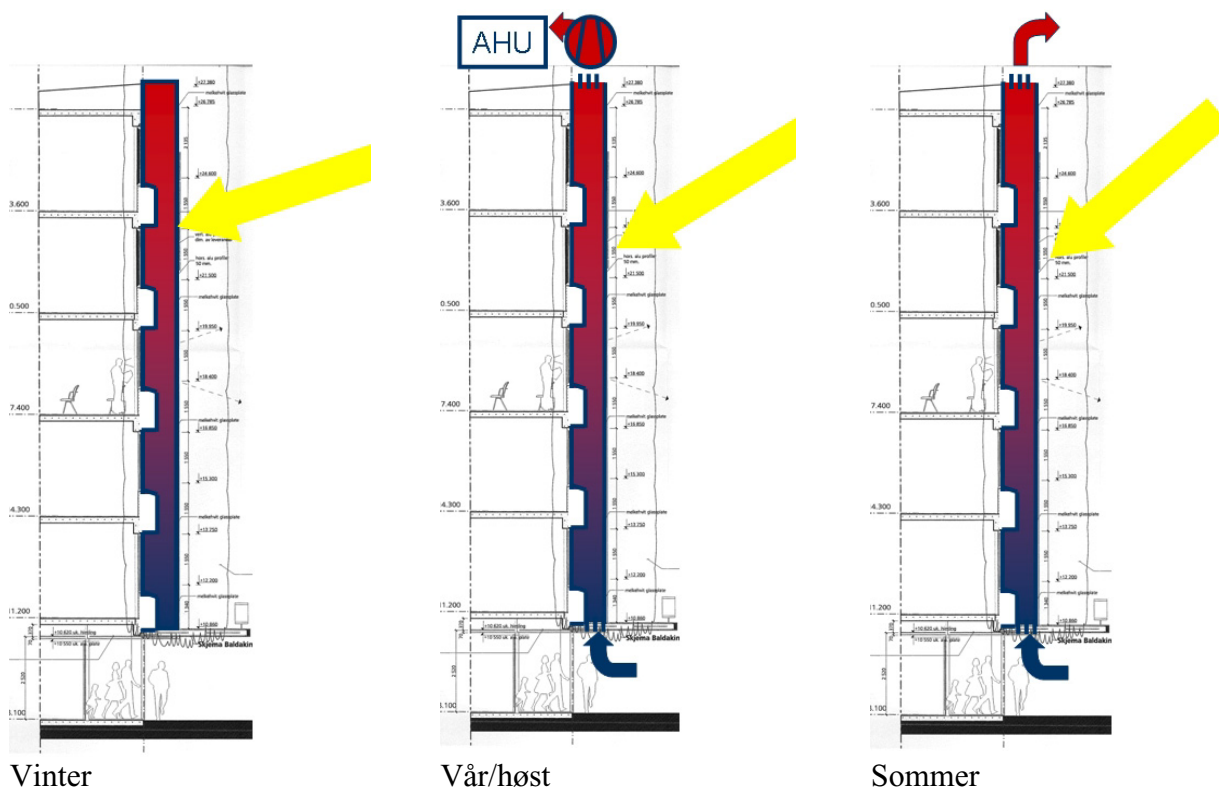
AØF i Trondheim ønsker å oppgradere deler av eksisterende fasade ved Kongressenteret Folkets Hus. Prosjektgruppen ønsket å utrede energikonsekvensen ved bruk av dobbelfasade (DF) på sør-fasaden.

I en DF blir lufta i mellomrommet varmet opp og en kan derfor oppnå en isolerende effekt for bygningskroppen. I varme og/eller solpåvirkede perioder kan det inne i en dobbelfasade oppstå overtemperaturer. Dette kan til en viss grad motvirkes via utlufting drevet av termiske krefter i mellomrommet. For gjennomgang og vurdering av problemstillingen er denne rekkefølgen valgt:

- Tidspunkt: Sommer, vinter, og mellomsesong med dag og nattsituasjon for begge.
- Oppdriftskrefter beregnes. Luftmengder som må passere gjennom dobbelfasaden for å fjerne varmetilskuddet (sommer og vår/høst) beregnes.
- Temperatur i topp beregnes for ulike årstider (sommer, vinter, vår/høst)
- Finne gunstigste persienneplassing (skjerming mot direkte solinnstråling). 3 posisjoner: mot gammel fasade, mot ny glassfasade og i midten.
- Luftstrømmen inne i dobbelfasadene beregnes.
- For å unngå kondensproblemer må det alltid være noe luftgjennomstrømning.
- Varmeoverskudd kan gjenvinnes med roterende varmegjenvinner.
- Dersom de tilførte energimengdene fra dobbelfasaden er større enn det som kontoraggregatet kan nyttiggjøre seg, kan overskytende mengde tilføres aggregat for hotell og konferansesenteret.

3.1 Skisse av de ulike scenariene

Dobbelfasadesystemet består av en lukket buffertype som kan åpnes. Ytterfasaden er kontrollerbar med åpen buffer til uteluften. Tre ulike årstider med ulike dobbelfasader er simulert.



Figur 3.1 Ulike scenarier for forskjellige årstider

Vinterscenario

Om vinteren blir dobbelfasaden stengt. Temperaturer i mellomrommet ble beregnet, og beregningene viste at solstråling varmer opp mellomrommet. Hvis mellomrommet blir stengt, fører det til høyere glassflatetemperaturer i mellomrommet. Dette betyr at transmisjonstapet og energibehovet til oppvarming reduseres. Løsningen fører til at også glassflatetemperaturer i rommet blir høyere. Dette gir ingen konsekvens for termisk komfort, da eksisterende varmeanlegg avgir den varmen som trengs. Typisk vinteruke er satt fra 22. til 29. januar.

Vår/høst

Om høsten/våren blir sirkulert luftmengde i fasaden regulert. Styring er avhengig fra temperaturen i mellomrommet. Ved en temperatur lik eller høyere enn 24 °C, åpner fasaden i bunn, se figur 3.1.

Sommer scenario

Om sommeren styres dobbelfasaden til åpen posisjon, se figur 3.1. Det fører til høyeste luftstrømning i mellomrommet for å unngå kondensasjonsproblemer som var målsetningen. I dette scenariet var det viktig å beregne termisk komfort i rommene innenfor (kontor og hotell) for å undersøke omfanget av eventuell overoppvarming. Mekanisk kjøling er ikke simulert, noe som betyr at kun frikjøling (17°C) er beregnet. Typisk sommeruke er fra 29. juli til 4. august.

Fordelene med dobbelfasader i forhold til enkle fasader er evaluert, og kan oppsummeres som følger:

- Dobbelfasader bidrar til reduksjon av oppvarmingsbehovet i rommene innenfor, ved å virke som en termisk buffer og ved å forvarme ventilasjonsluften.
- Dobbelfasader bidrar til bedret termisk komfort om sommeren.

3.2 Evaluering av behovet for vifter i tillegg til den termiske luftstrømmen som oppstår

For å etablere en kontrollert luftgjennomstrømning i dobbelfasaden, inngår bruk av ventilasjonsvifter i de videre beregningene. Følgende parametre er valgt:

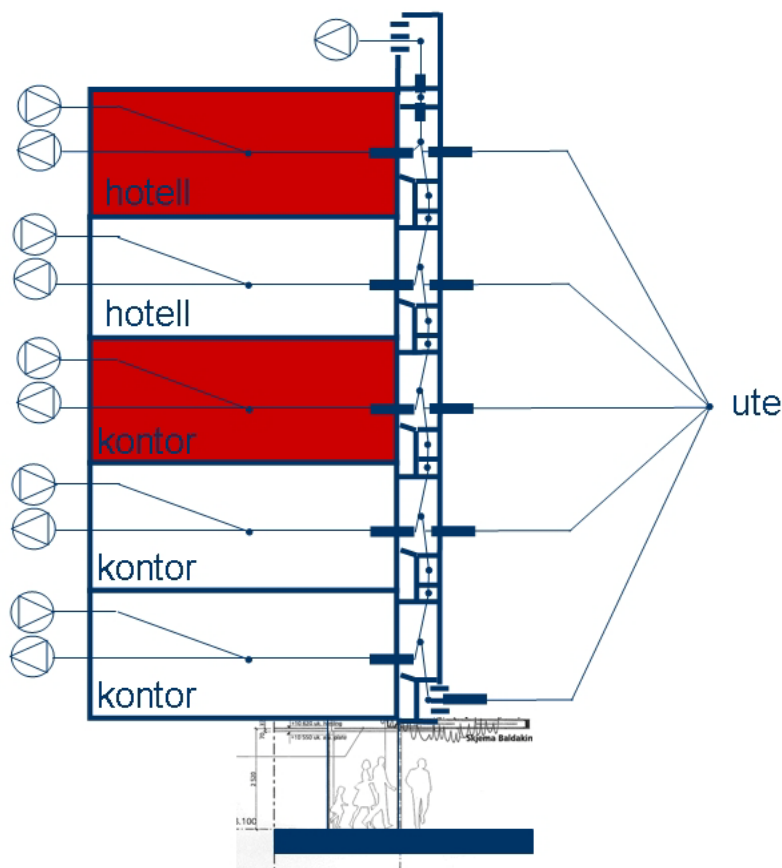
- Vifter på toppen av dobbelfasaden
- Vifter luftskifter: 2000 m³/h
- Kontroll: AV om vinteren, PÅ hvis temperatur i mellomrommet >24°C

3.3 Valg av glasstype og andre spesifikasjoner for simulering

Simuleringene er gjort med TRNSYS¹ koblet med TRNSFLOW². Figur 3.2 viser en skjematisk framstilling av luftstrømninger.

¹ TRNSYS. Simuleringsverktøy utviklet i TESS, Winsconsin, USA (TRNSYS, 2004)

² TRNSFLOW. Luftstrømningsverktøy utviklet av Transsolar, Tyskland (Dorer and Weber, 1999).



Figur 3.2 Modell for luftstrømning mellom de ulike romtypene

- Klimadata for Oslo (IWEC-fil)
- Simulering av fem rom
 - 2., 3. og 4. etasje, kontor rom: 5.3m x 6 m (internlaster: utstyr 11W/m², 2 personer (2 x 75 W), lys 8W/m², driftstid 12 timer/5 dager/52 uker)
 - 5. og 6. etasje, hotellrom (internlaster: utstyr 1W/m², 2 personer (2 x 75 W), lys 8W/m², 16 timer/7 dager/ 52 uker)
 - Ventilasjonsanlegg i hvert rom
 - 2 vifter per rom (120 m³/s, balansert ventilasjon), 17 °C tilluft
- Med luftstrømning i dobbelfasaden
 - Vertikalt oppdelt i 16 ulike soner (se figur 3.1)
 - Luftstrømningsberegning i forhold til termiske (energi) beregning (iterativ)
 - Alle luftpassasjer er koblet til ulike rom
 - Vifter på toppen, luke på bakken som er styrt etter temperatur på toppen i dobbelfasaden
- Med luftstrømning mellom dobbelfasaden og ute:³
 - Lekkasje mellom rom og fasaden, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$
 - Lekkasje mellom dobbelfasaden og ute, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$

³ Luftmengdenstrøm m, beregnes med koeffisienten C_m i potensiell (n) avhengighet av trykkforskjell Δp (TRNSYS 2004)

4 Resultater

Som første trinn blir DF-konstruksjonen optimert med 2-lags glass utvendig, forskjellig lufttetthet og med alternative kontrollstrategier for luftstrømningen. Deretter blir modellen utstyrt med tre forskjellige persienneposisjoner (A, B og C). Som et alternativ blir DF simulert med enkelt glass.

Resultatene blir oppdelt etter fire forskjellige kriteria for to fasadesystemer med forskjellige kontrollstrategier:

Uten solavskjerming i dobbelfasaden	Solavskjerming i dobbelfasaden	Kriterium
4.1.1	4.2.1	Overflatetemperatur på innvendig glass Eksisterende rom i 6. etasje
4.1.2	4.2.2	Temperaturer Kontor 4. etasje Hotellrom 6. etasje
4.1.3	4.2.3	Energibruk til oppvarming Kontor 4. etasje Hotellrom i 6. etasje
4.1.4	4.2.4	Termisk komfort etter tabell 4.2 Kontor 4. etasje Hotellrommet i 6. etasje

Tabell 4.1 Resultat fra kriterium. Kapitteloversikt

Termisk komfort⁴ er basert på verdier ihht. 4.2

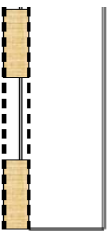
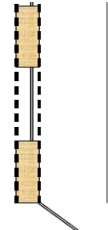
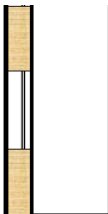
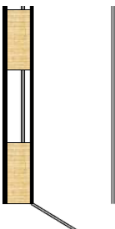
Parameter	verdi
Bekledning [Clo]	1
Stoffskiftehastighet (Metabolic rate) [MET]	1
Aktivitet [W/m ²]	0
Lufthastighet [m/s]	0,1

Tabell 4.2 Kriterier for termisk komfort. Verdier etter NS ISO 7730

⁴ Termisk komfort ble beregnet etter NS ISO 7730 i 'percent people dissatisfied (PPD)' med ulike verdier som er summarisk i Tabell 1 (NS-ISO7730, 2005)

4.1 Beregningscase m/ forskjellig lufttetthet og styringsstrategier

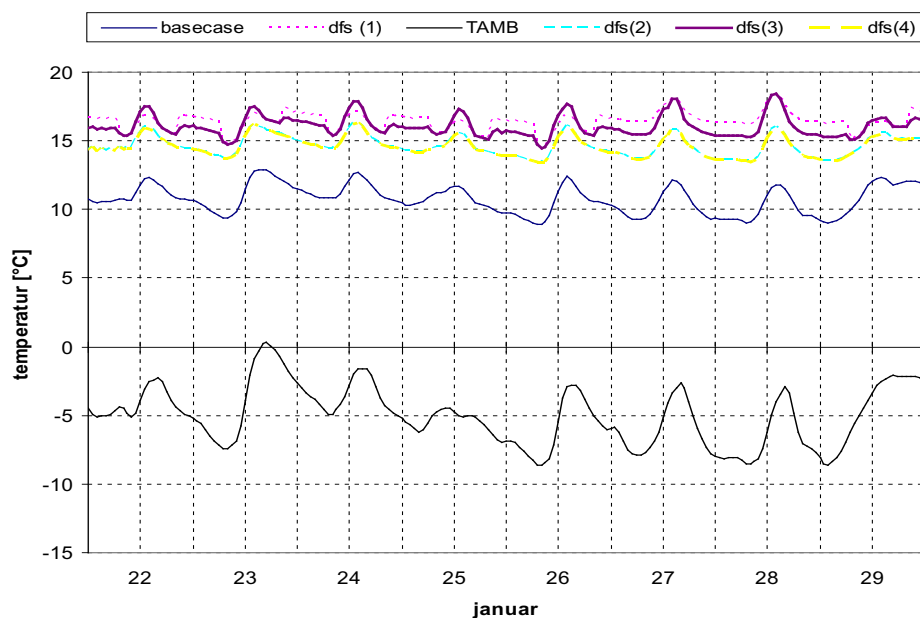
Resultatene er basert på følgende alternativer:

	Basecase: Eksisterende fasade Eksisterende vinduer (4/16/4), luftfylling $U\text{-verdi} = 2,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g\text{-verdi} = 0,76$ Med luftstrømning mellom rom og ute Lekkasje mellom rom og ute, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$ $C_m = 0,0128 \text{ kg/s ved } 1\text{Pa (beregnet fra } 0,6\text{h}^{-1})$ $n = 0,65$
	dfs (1): Dobbelfasade Isolerglass (4/16/4), Krypton fylling $U\text{-verdi} = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g\text{-verdi} = 0,60$ Med luftstrømning mellom rom og dobbelfasade (alle etasjer) Lekkasje mellom rom og fasaden, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$ $C_m = 0,012808 \text{ kg/s ved } 1\text{Pa (beregnet fra } 0,6\text{h}^{-1})$ $n = 0,65$ Med luftstrømning mellom dobbelfasade og ute Lekkasje mellom rom og fasaden, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$ $C_m = 0,0021 \text{ kg/s ved } 1\text{Pa (beregnet fra } 0,1\text{h}^{-1})$ $n = 0,65$
	dfs (2): Som dfs (1) med åpning i bunn Luftstrømningen skal trekke fra åpning på bunn Vil redusere luftstrømning mellom rom og dobbelfasade (alle etasjer)
	dfs (3): Dobbelfasade med redusert lekkasje inn til rom Luftstrømning mellom rom og dobbelfasade i 2. og 3. etasje lekkasje mellom rom og fasaden, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$ $C_m = 0,0021 \text{ kg/s ved } 1\text{Pa (beregnet fra } 0,1\text{h}^{-1})$ $n = 0,65$ Luftstrømning mellom romer og dobbelfasaden 4. til 6. etasje lekkasje mellom rom og fasaden, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$ $C_m = 0,0128 \text{ kg/s ved } 1\text{Pa (beregnet fra } 0,6\text{h}^{-1})$ $n = 0,65$ Luftstrømning mellom dobbel fasaden og ute lekkasje mellom rom og fasaden, $m = C_m \cdot (\Delta p)^n$ $C_m = 0,0021 \text{ kg/s ved } 1\text{Pa (beregnet fra } 0,1\text{h}^{-1})$ $n = 0,65$
	dfs (4): Som dfs(3) med åpning i bunn Luftstrømningen skal trekke fra åpning på bunn Vil redusere luftstrømning mellom rom og dobbelfasade (alle etasjer)

4.1.1 Overflatetemperaturer på innvendig glassoverflate

Vintersituasjon

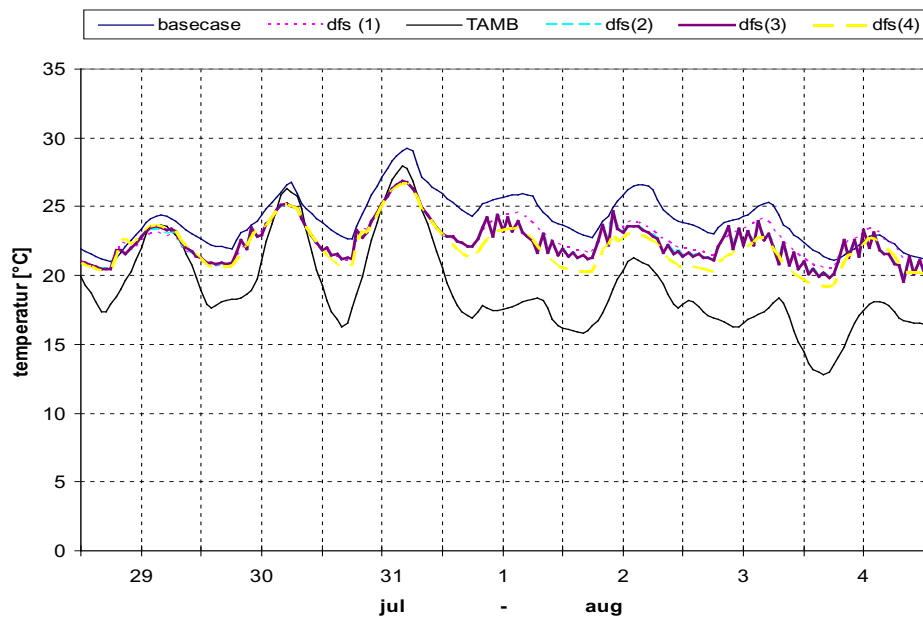
Alle varianter av dobbelfasadesystemene dfs(1) – dfs(4) bidrar til å øke temperaturen på glassoverflaten innvendig i rommet. Økningen ligger på ca. 5 °C. Det er noe variasjon mellom de forskjellige variantene, hvor de to systemer med åpning i bunn (dfs (2) og dfs (4)) gir lavere overflatetemperatur enn de lukkede variantene.



Figur 4.1 Overflatetemperaturer på innvendig glassoverflate. Hotellrom. (TAMB = utetemperatur)

Sommersituasjon

Figur under viser situasjonen ved typiske sommerforhold. Dobbelfasaden gir generelt en redusert overflatetemperatur på innvendig glassoverflate. Dette reduserer energibruken til kjøling, samt bedrer komforttilstanden i rommene innenfor.



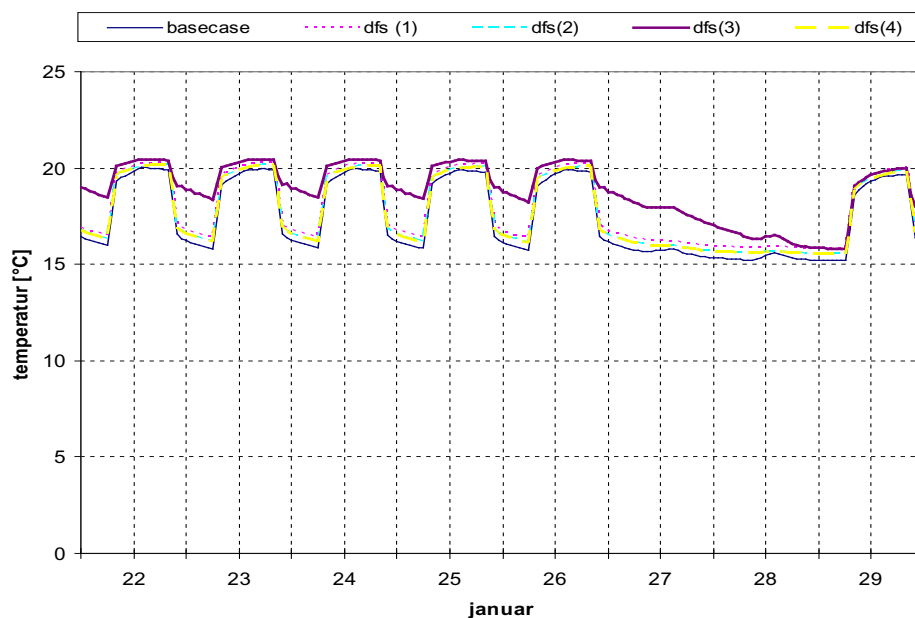
Figur 4.2 Overflatetemperaturer på innvendig glassoverflate. Hotellrom.

4.1.2 Romtemperaturer

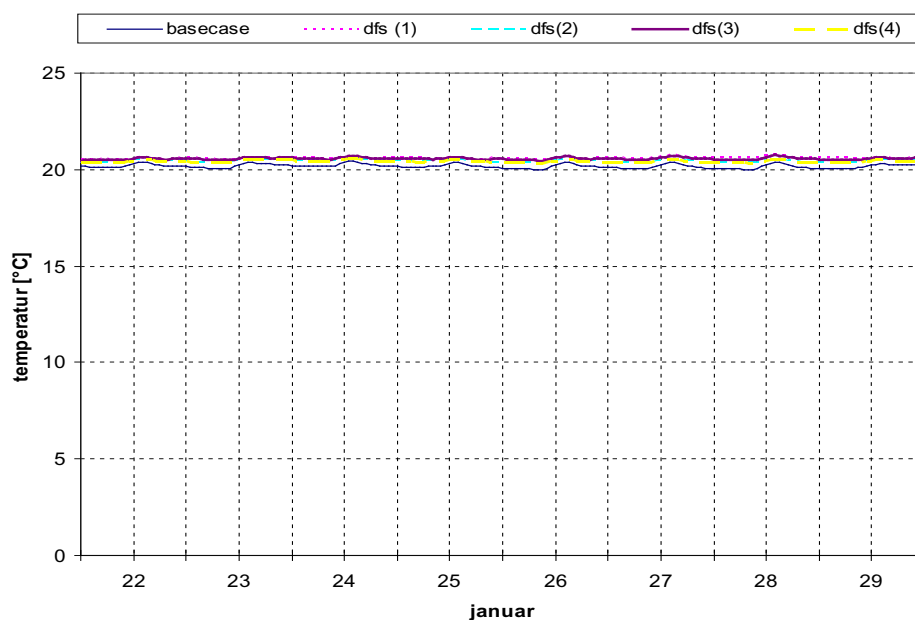
Vintersituasjon

Figur under viser operative temperaturer i kontorrommet (figur 4.3) og hotellrommet (figur 4.4) gjennom en typisk vinteruke:

- Base case har lavere operative temperaturer enn dobbelfasaden systemet (dfs)
- dfs (3) har høyeste temperaturer i kontorrommet



Figur 4.3 Operative temperaturer for typisk vinteruke i kontorrommet

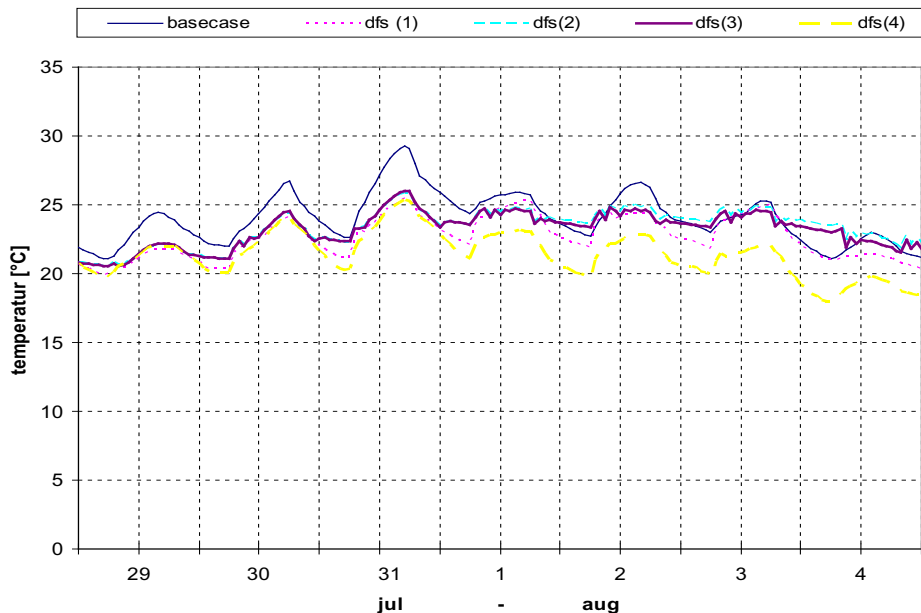


Figur 4.4 Operative temperaturer for typisk vinteruke for hotellrommet

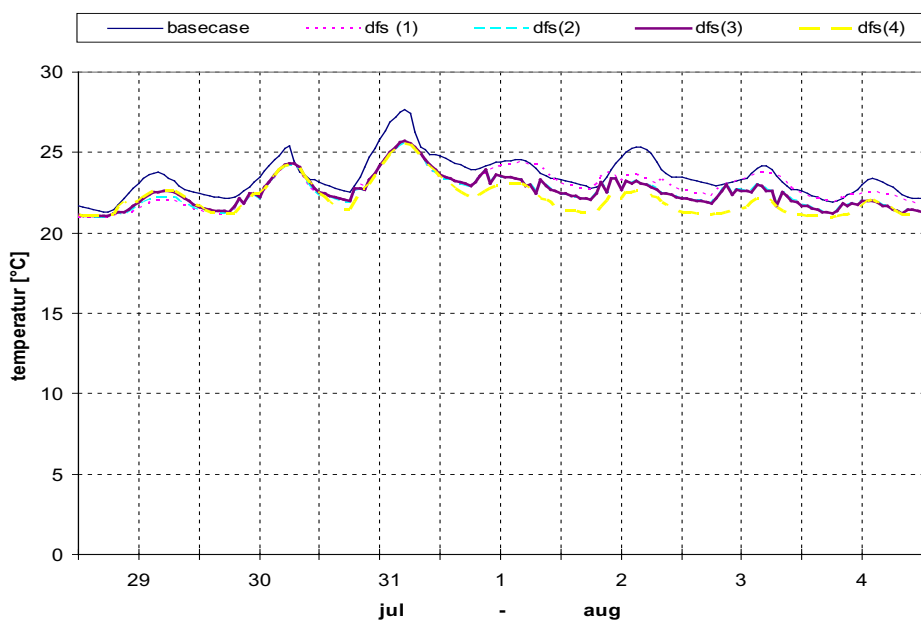
Sommersituasjon

Figurene viser operative temperaturer i kontorrommet (figur 4.5) og hotellrommet (figur 4.6) gjennom en typisk sommeruke:

- base case har høyere operative temperatur enn dobbelfasadesystemene dfs (1-4)
- dfs (1) og dfs (4) vises spesielt lavere temperaturer



Figur 4.5 Operative temperaturer for en typisk sommeruke i kontorrommet



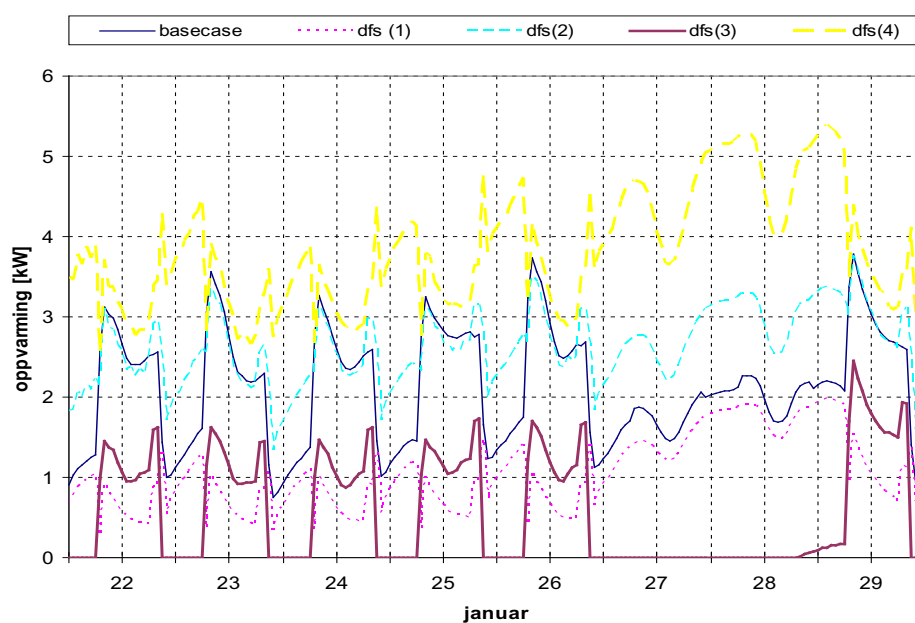
Figur 4.6 Operative temperaturer for en typisk sommeruke i hotellrommet

4.1.3 Energibruk

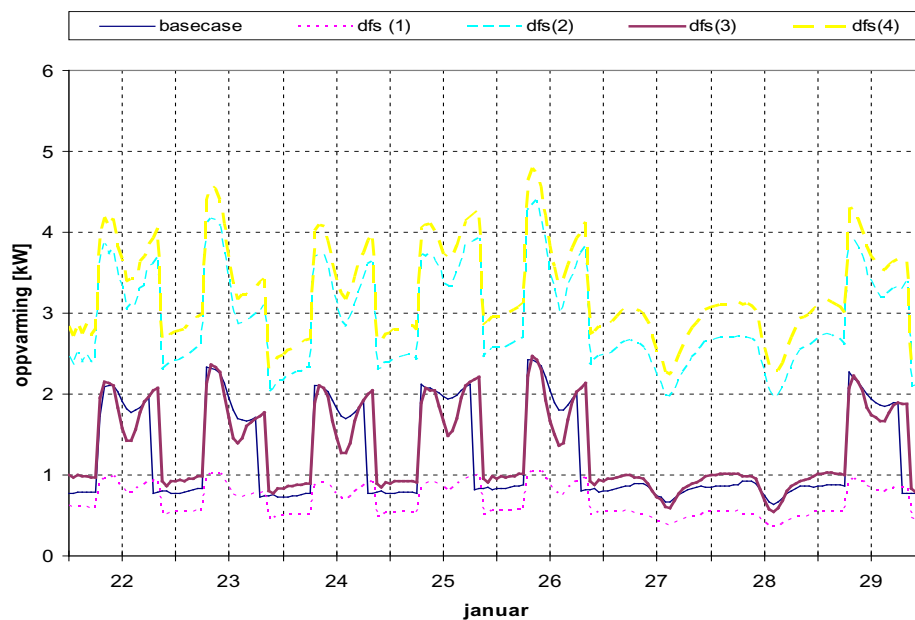
Energibehov beregnes for hver time. Figurene viser at effektbehovet i kontorrommet (figur 4.7) og hotellrommet (figur 4.8) blir redusert både i og utenfor driftstiden.

Man kan spesielt se at

- dfs (1) gir beste resultater
- dfs (3) gir beste resultater for kontorrom (i driftstiden)



Figur 4.7 Effektbehov for oppvarming for typisk vinteruke i kontorrommet



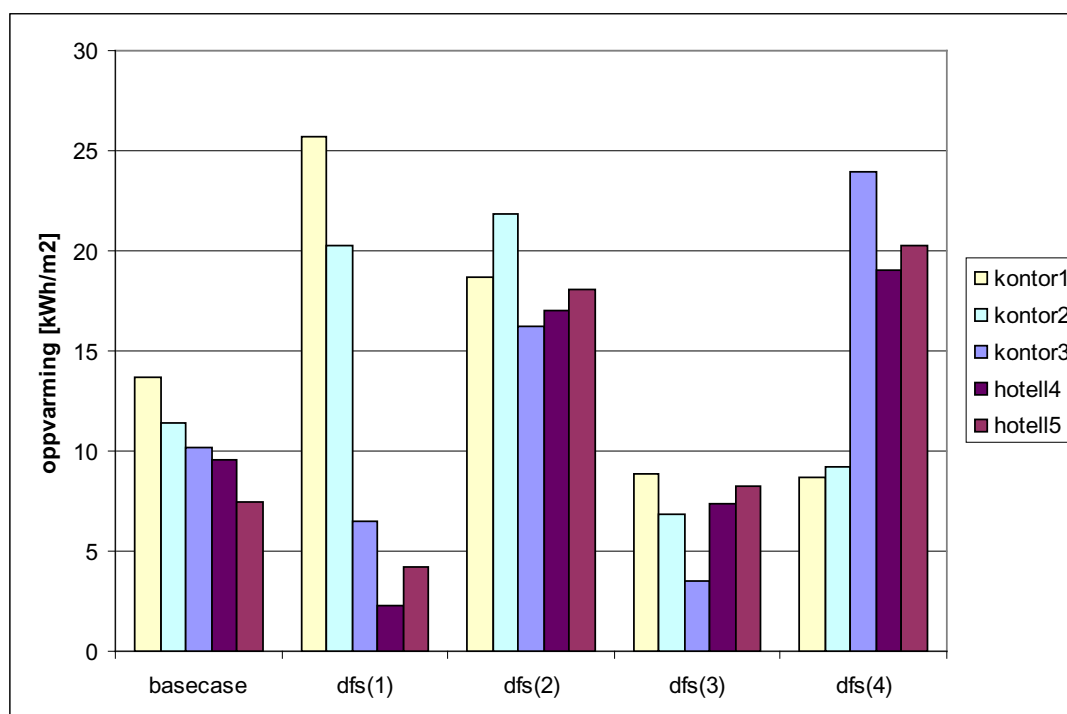
Figur 4.8 Effektbehov for oppvarming for typisk vinteruke i hotellrommet

For å beregne konsekvensen for energibruken for hele fasaden er samtlige etasjer beregnet og summert ⁵.

Beregningsprogrammet som benyttes krever så vidt stor regnekapasitet, at kun ukeverdi (typisk vinteruke) er beregnet.

Areal er relatert til brutto gulvareal for tilhørende romkategori.

- dfs (3) gir beste resultater
- dfs (1) gir beste resultater for hotellrom



Figur 4.9 Energibruk for typisk vinteruke i kontorrommet og hotellrommet, med eksisterende fasade (basecase) og med dobbelfasadesystemet (dfs).

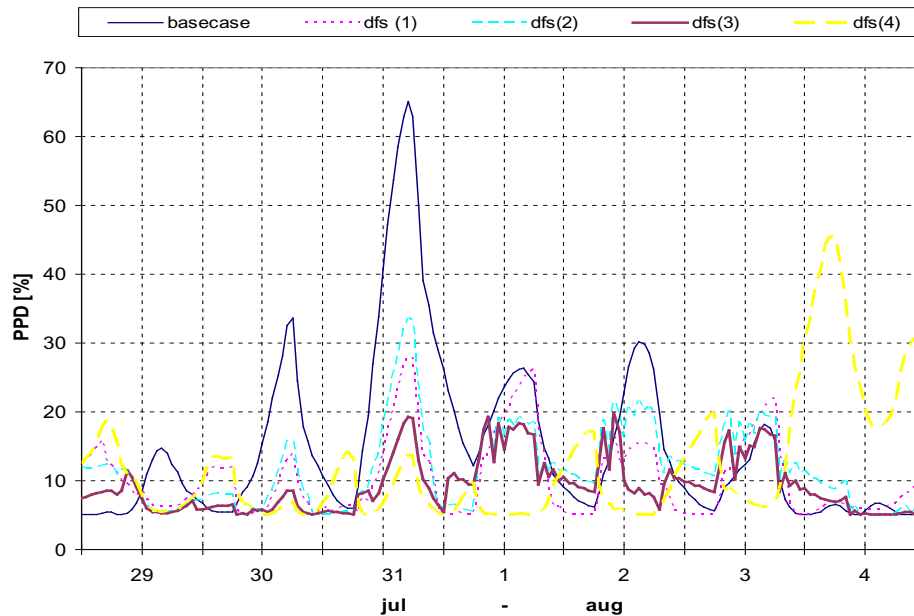
Kommentar:

De ulike utformingene av dobbelfasaden (se kap 4.1) gir store forskjeller i oppvarmingsbehov. Det er utformingen kalt dfs(3) som gir lavest oppvarmingsbehov. Denne har tett fasade i 2. og 3. etg, samt god styring av ventilasjonen i dobbelfasaden.

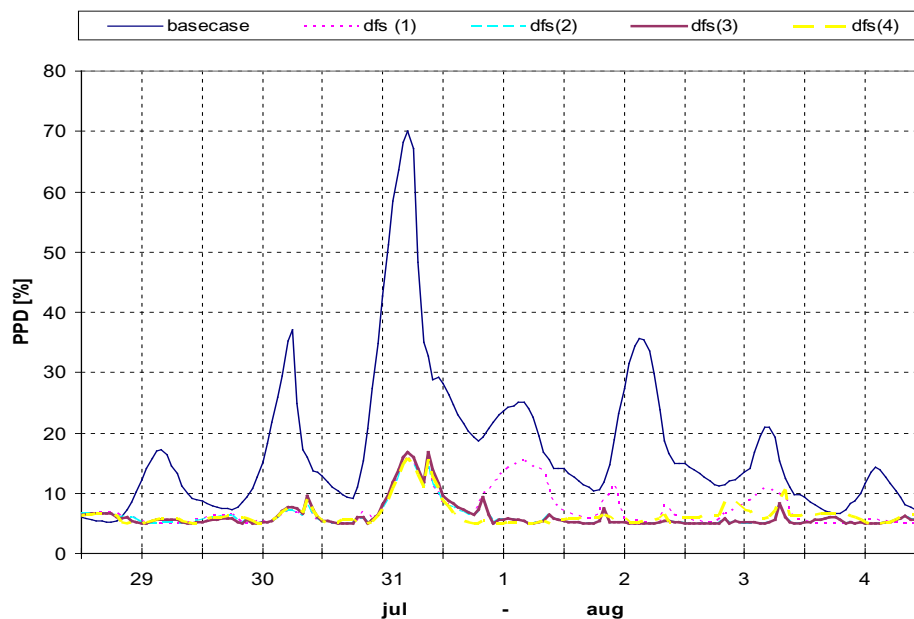
⁵ Beregnet etter formulaen: $E_g = \sum (E_i \times A_i) / \sum A_i$
 med
 E_g = energibruken for alle rom (hele fasaden)
 E_i = energibruk av rom i etasjen i
 A_i = areal av rom i etasjen i

4.1.4 Termisk komfort

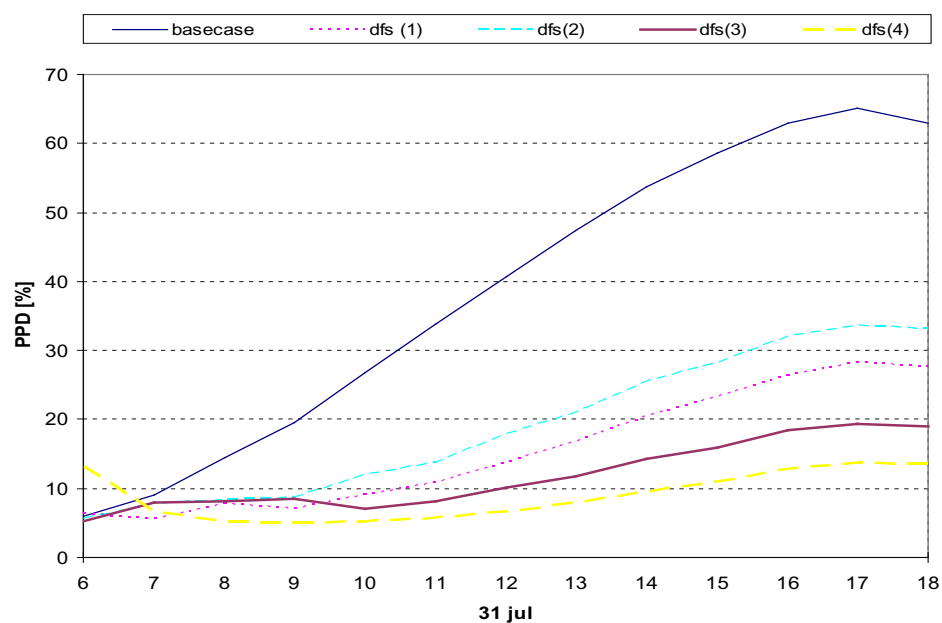
Figurene under viser at termisk komfort blir forbedret for dfs sammenlignet med base case. Dette gjelder naturligvis særlig på spesielt varme dager (31. juli). Dette illustreres i figur 4.10 (kontorrommet) og figur 4.11 (hotellrommet) med en reduksjon av PPD fra 70 % ned til 16 %.



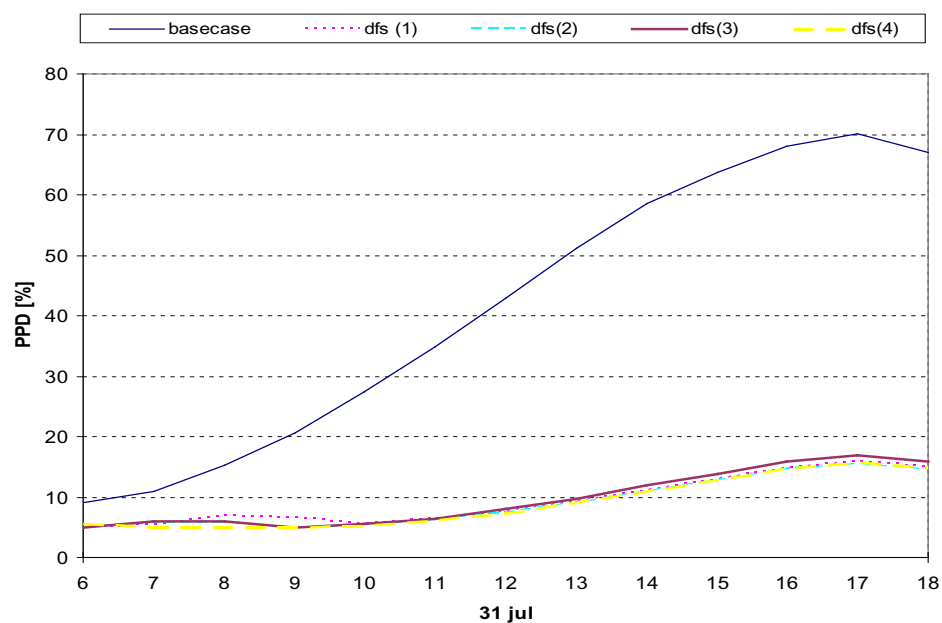
Figur 4.10 **Komfort (PPD) for typisk sommeruke for kontorrommet**



Figur 4.11 **Komfort (PPD) for typisk sommeruke for hotellrommet**



Figur 4.12 **Komfort for varm sommerdag (i driftstiden) i kontorrommet**

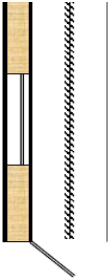
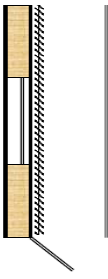
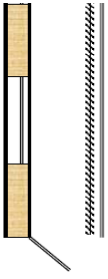
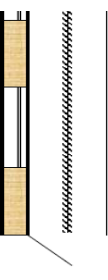


Figur 4.13 **Komfort for varm sommerdag (i driftstiden) i hotellrommet**

4.2 Beregningscase m/ forskjellig plassering av solavskjerming

I dette kapittelet er resultat ved bruk av automatisk solavskjerming inne i dobbelfasaden presentert.

Følgende alternativer for persienneposisjoner⁶ og glasstype er benyttet i beregningene:

	Basecase: Eksisterende fasade Eksisterende vinduer (4/16/4), luft fylling $U\text{-verdi} = 2,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (inkl. rammen) $g\text{-verdi} = 0,76$ Med luftstrømning mellom rom og ute Lekkasje mellom rom og ute, $m = C_m \times (\Delta p)^n$ $C_m = 0,0128 \text{ kg/s at } 1 \text{ Pa}$ (beregnet fra $0,6 \text{ h}^{-1}$) $n = 0,65$
	dfs (A): Dobbelfasade som dfs (3) Skjermposisjon = Mellom Persiennertyper: Vanlig type (med resistens = 50, refleksjonskoeffisient = 0,5)
	dfs (B): Dobbelfasade som dfs (3) Skjermposisjon = Bak Persiennertyper: Vanlig type (med resistens = 50, refleksjonskoeffisient = 0,5)
	dfs (C): Dobbelfasade som dfs (3) Skjermposisjon = Front Persiennertyper: Vanlig type (med resistens = 50, refleksjonskoeffisient = 0,5)
	dfs (D): Dobbelfasade som dfs (A), men kun ett-lags glass i ytterfasaden Enkelglass 10 mm $U\text{-verdi} = 5,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g\text{-verdi} = 0,77$

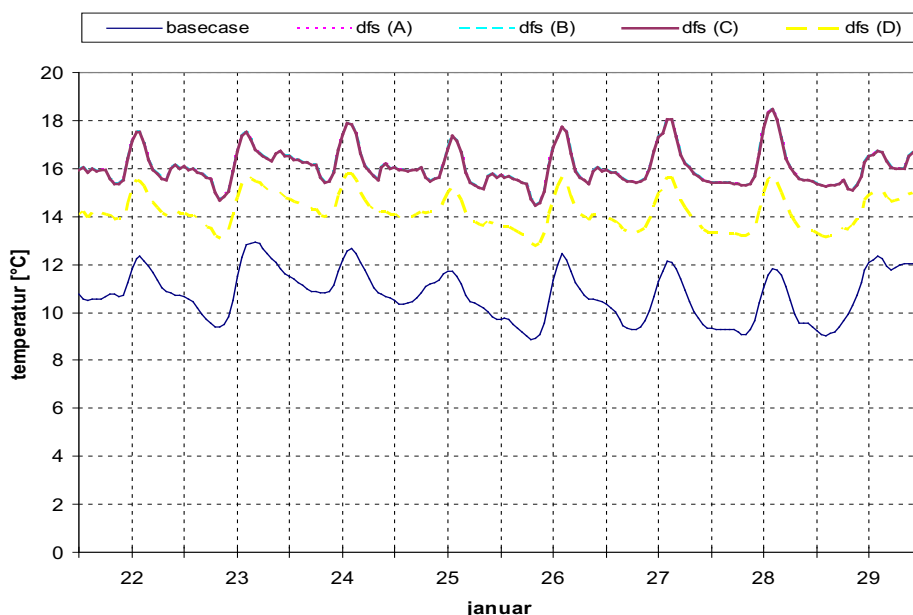
⁶ Styring av persiennene ble automatisk etter vertikal solstråling; hvis stråling er høyere enn 200 W/m^2 går persiennene ned og hvis stråling er mindre enn 150 W/m^2 går persiennene opp

4.2.1 Overflatetemperaturer på innvendig glassoverflate. Med solavskjerming

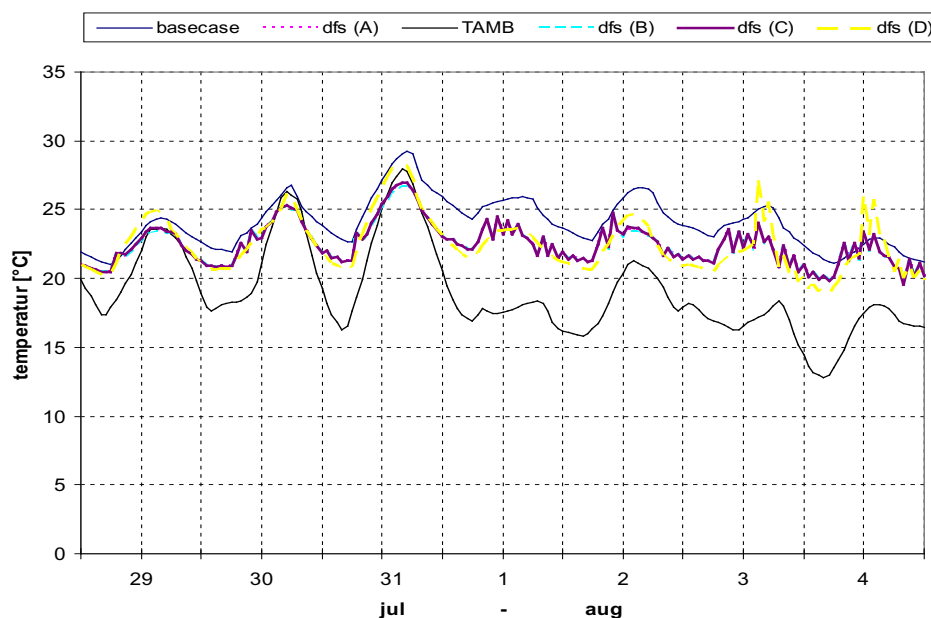
Simuleringene viser ingen resulterende temperaturforskjell for de ulike persienneposisjonene. (Sammenfallende kurve for dfs(A), dfs(B) og dfs(C) i grafen under)

Imidlertid blir overflatetemperaturen på innsiden av glassene mot rommene generelt høyere vinterstid (ca. 5 °C), noe som bedrer termisk komfort og reduserer bygningens varmetap (figur 4.14).

Sommerstid reduseres overflatetemperaturen med 1-2 °C, noe som bedrer termisk komfort (figur 4.15).



Figur 4.14 Overflatetemperatur på innvendig glassflate. Typisk vinteruke for ulike konstruksjoner. Hotellrom i 5. etasje



Figur 4.15 Overflatetemperatur på innvendig glassflate. Typisk sommeruke for ulike konstruksjoner. Hotellrom i 5. etasje

4.2.2 Romtemperaturer. Med solavskjerming

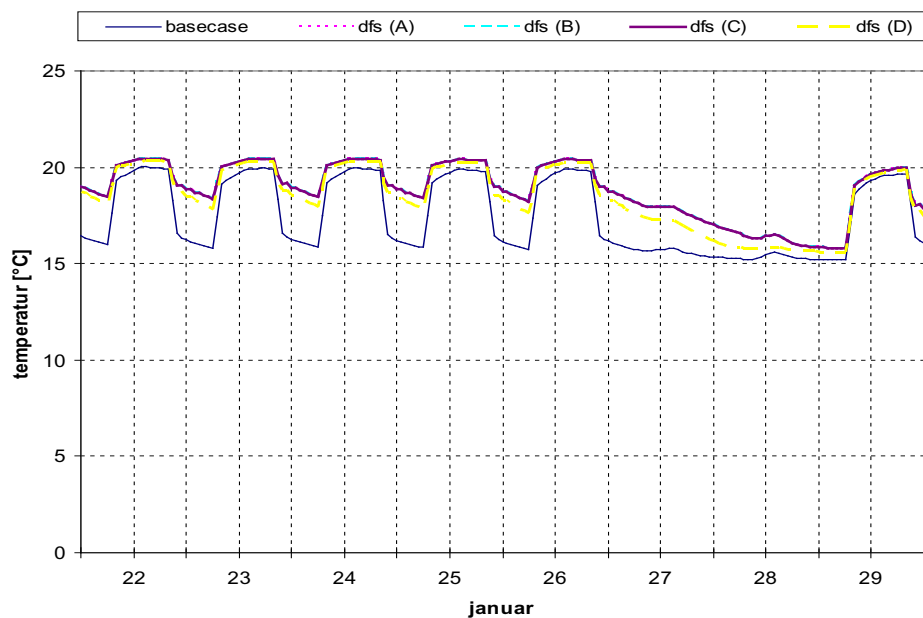
Tilsvarende kapittel 4.1.2 er romtemperaturer innenfor dobbelfasaden beregnet.

Vintersituasjon

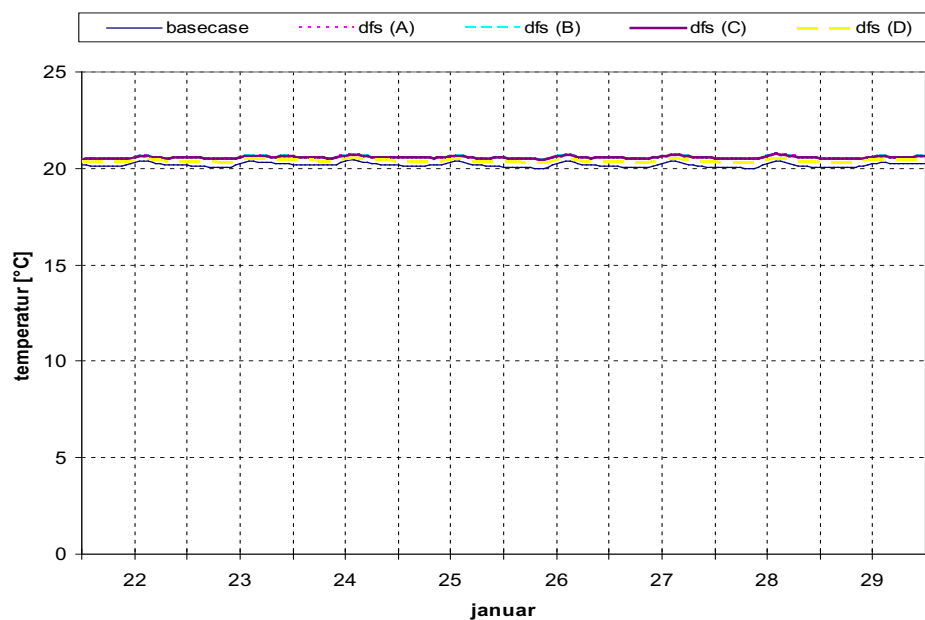
Figurene under viser operative temperaturer i de to beregnede romkategoriene:

Man kan se at

- Base case har lavere operative temperaturer enn dobbelfasadesystemet (dfs)
- dfs (A-C) har høyere temperaturer om natten i kontorrommet



Figur 4.16 Operative temperaturer for typisk vinteruke i kontorrommet for ulike konstruksjoner

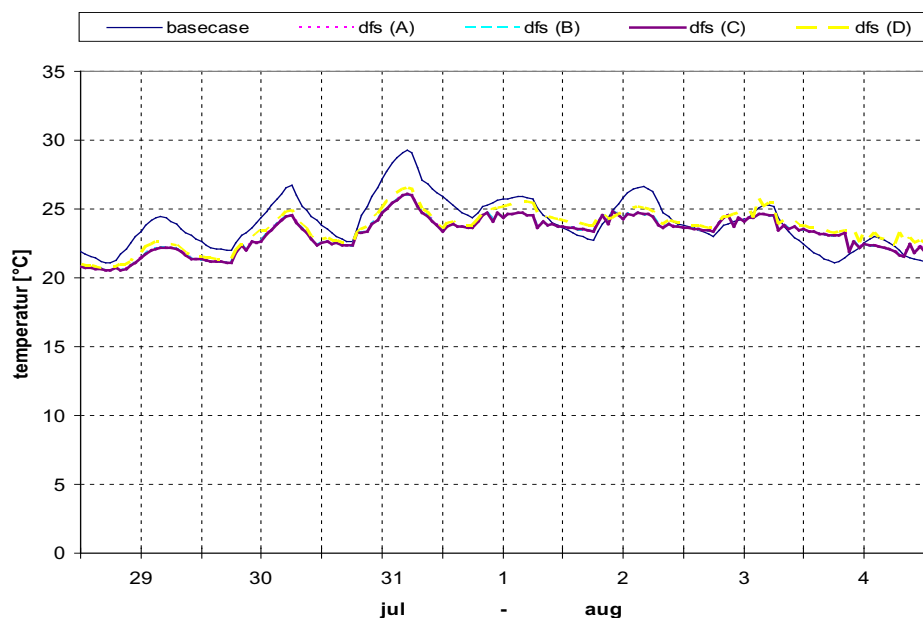


Figur 4.17 Operative temperaturer for typisk vinteruke i hotellrommet for ulike konstruksjoner

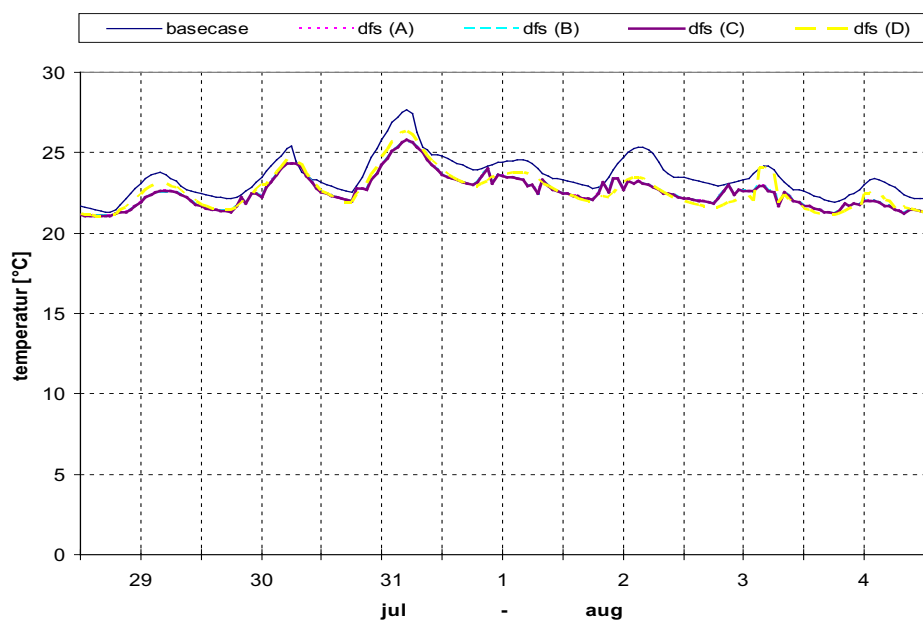
Sommersituasjon

Figurene under viser operative temperaturer i de to beregnede romkategoriene:

- base case har høyere operative temperaturer enn dobbelfasadesystemer (dfs)
- dfs (D) viser høyere temperaturer enn andre dfs (A-C)



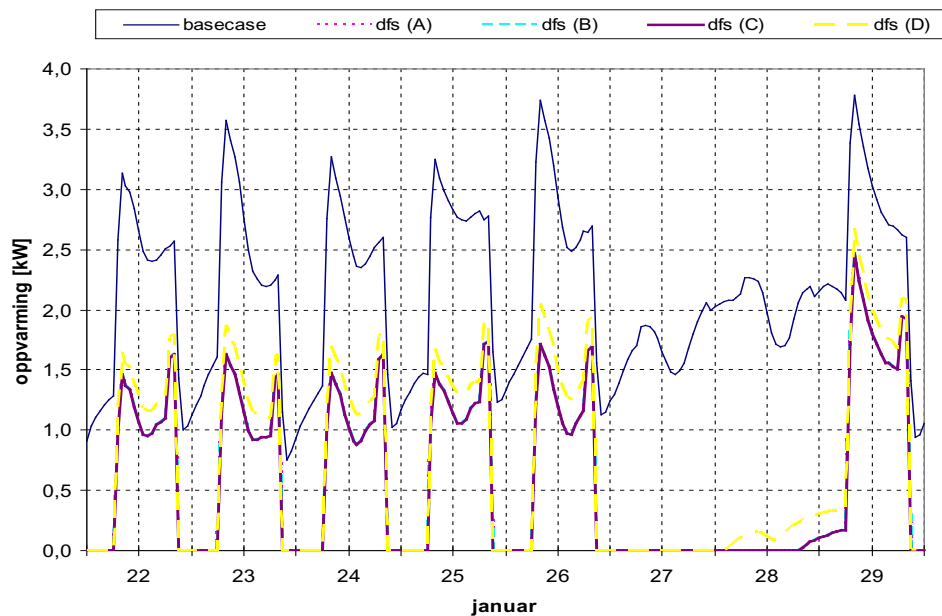
Figur 4.18 Operative temperaturer for typisk sommeruke i kontorrommet for ulike konstruksjoner



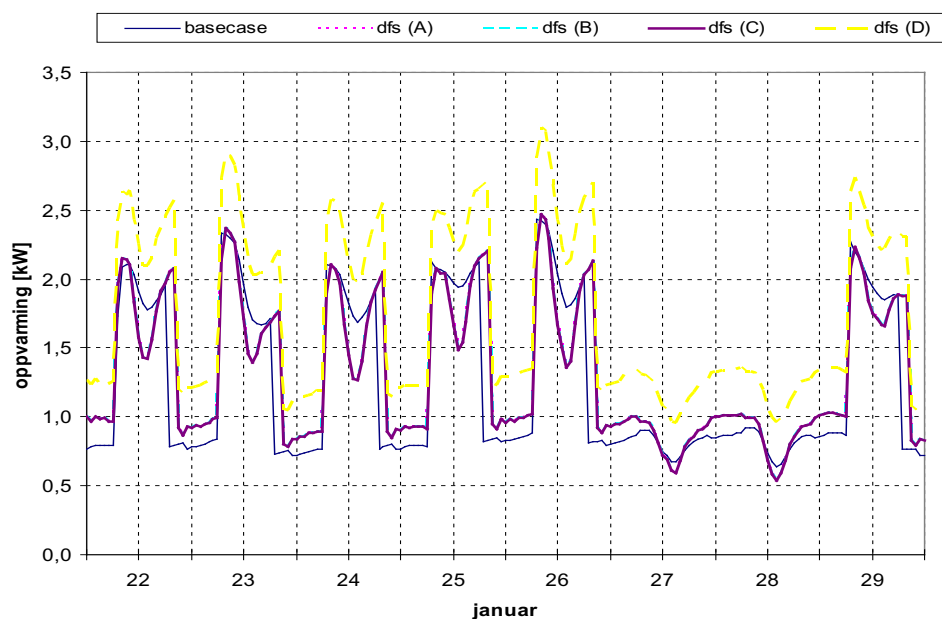
Figur 4.19 Operative temperaturer for typisk sommeruke i hotellrommet for ulike konstruksjoner

4.2.3 Energibruk. Med solavskjerming

Energibehovet beregnes for hver time. Figurene viser at effektbehovet til oppvarming i kontorrommet og hotellrommet blir redusert både i og utenfor driftstiden.



Figur 4.20 Effektbehov oppvarming for typisk vinteruke i kontorrommet for ulike konstruksjoner

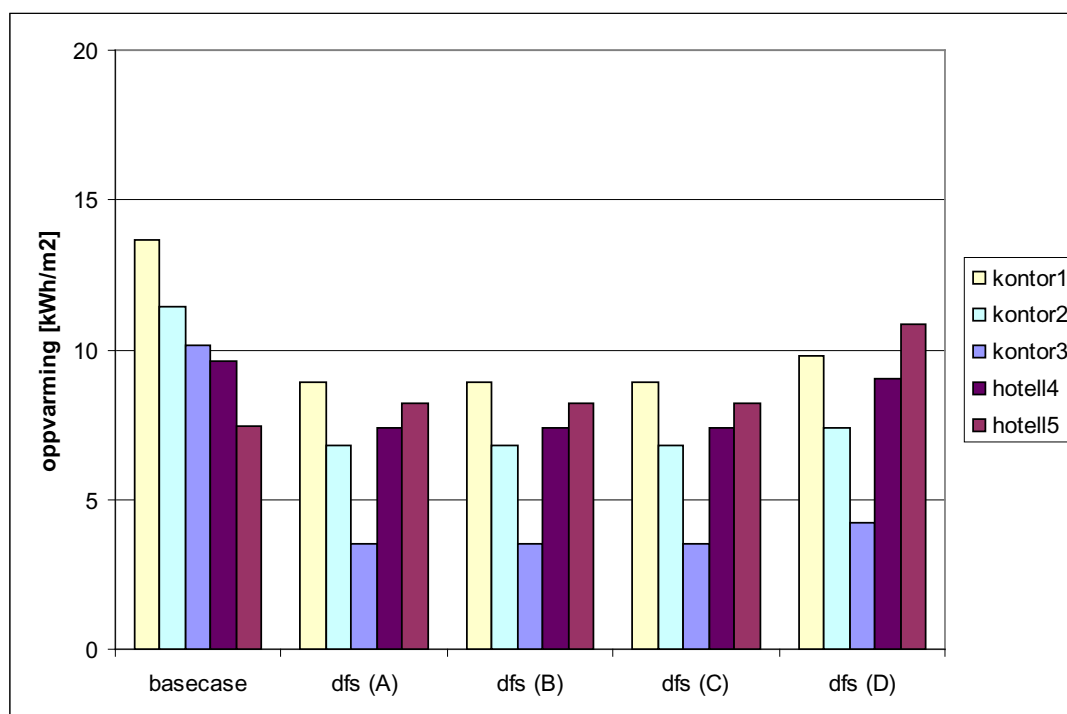


Figur 4.21 Effektbehov oppvarming for typisk vinteruke i hotellrommet for ulike konstruksjoner

For å beregne konsekvensen for energibruken for hele fasaden er samtlige etasjer beregnet, og summert.

Beregningsprogrammet som benyttes krever så vidt stor regnekapasitet at kun ukeverdi (typisk vinteruke) ble beregnet.

Areal er relatert til brutto gulvareal for tilhørende romkategori.



Figur 4.22 Energibruk for vinteruke i kontorrommet og hotellrommet, for eksisterende fasade (basecase) og med dobbelfasadesystemet (dfs) for ulike konstruksjoner

Kommentar:

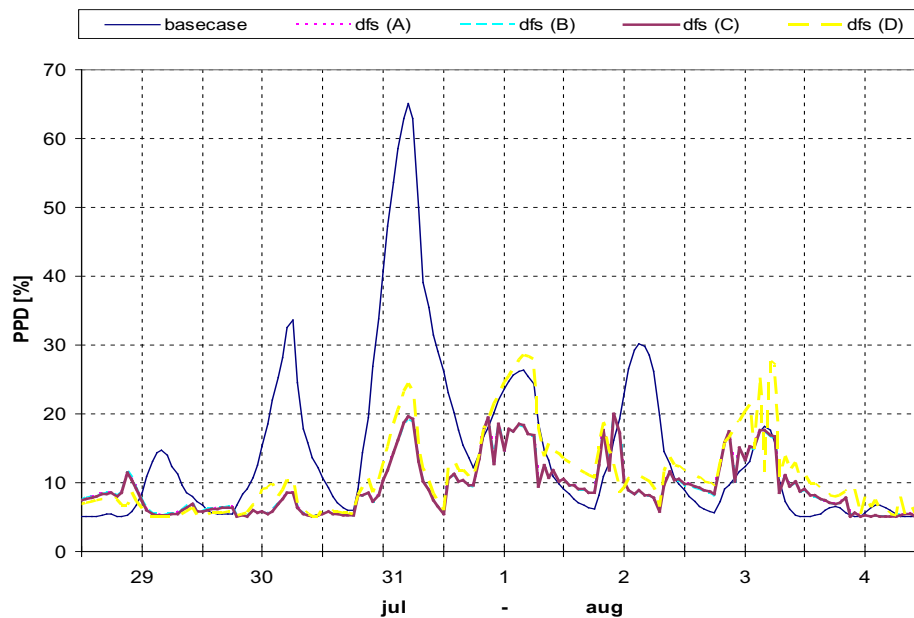
Alle fasadeutformingene og styring er av typen dfs(3), bortsett fra dfs(D) som har enkelt glass ytterst.

Som tidligere påpekt har plassering av persiennesjiktet (A), (B) eller (C) ingen konsekvens for oppvarmingsbehovet.

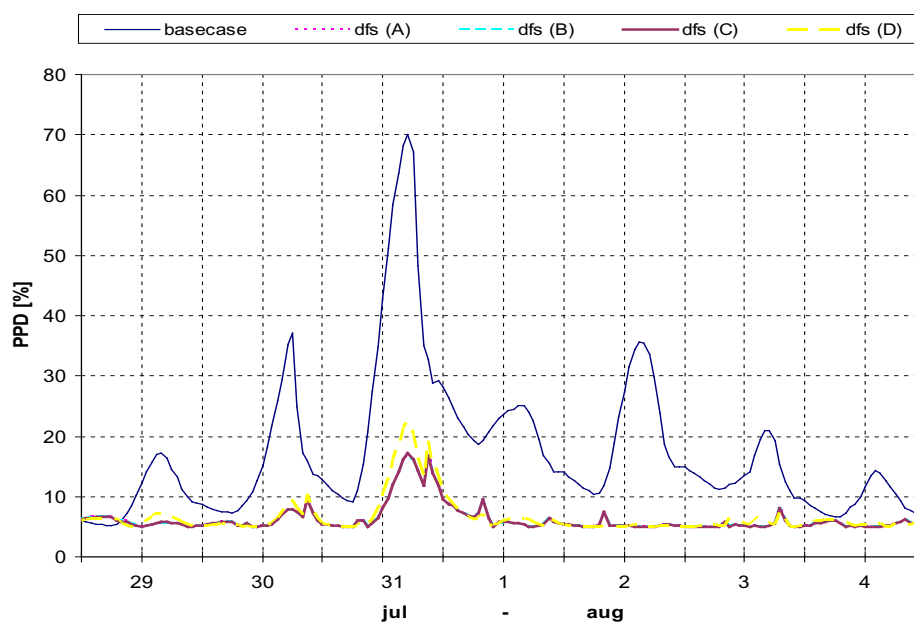
Dfs(D) har noe høyere energibehov enn dfs(A–C) grunnet dårligere U-verdi for glasset.

4.2.4 Termisk komfort. Med solavskjerming

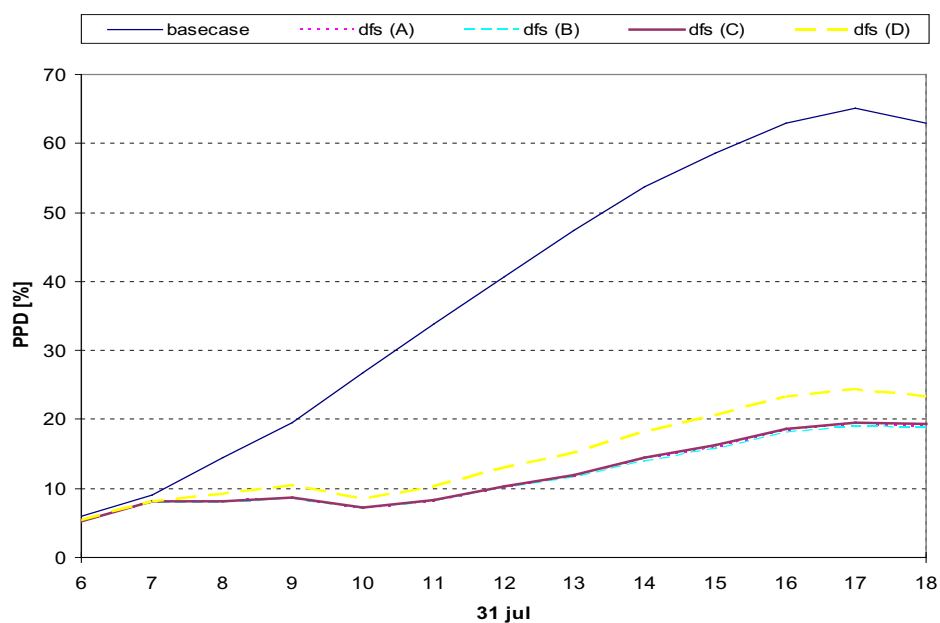
Figurene under viser at termisk komfort blir forbedret for dfs sammenlignet med base case. Spesielt på den varmeste dagen (31. juli), blir termisk komfort forbedret med en reduksjon av PPD fra 70 % ned til 16 %:



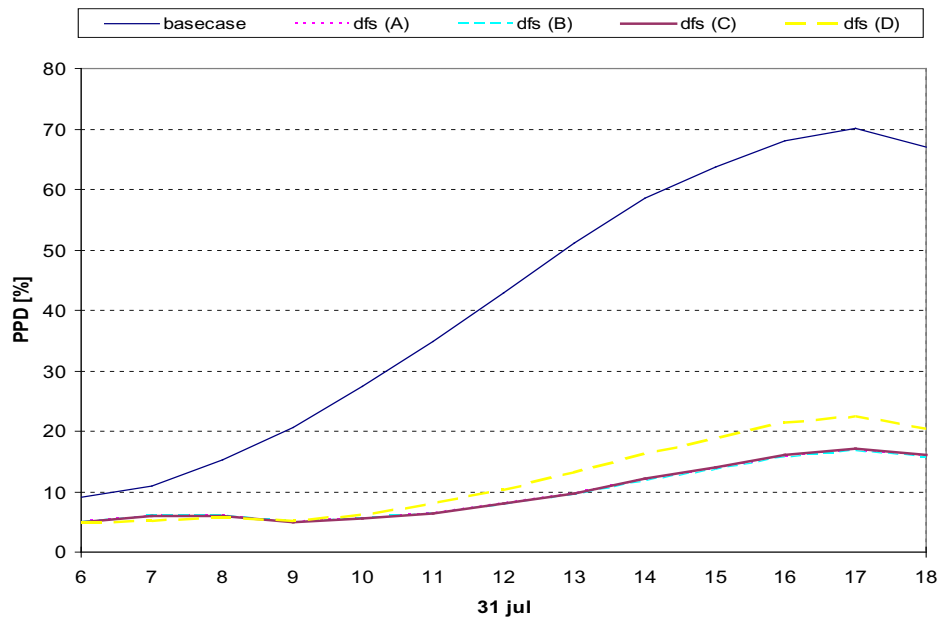
Figur 4.23 Komfort (PPD) for typisk sommeruke i kontorrommet for ulike konstruksjoner



Figur 4.24 Komfort (PPD) for typisk sommeruke i hotellrommet for ulike konstruksjoner



Figur 4.25 Komfort for varm sommerdag (i driftstiden) i kontorrommet for ulike konstruksjoner



Figur 4.26 Komfort for sommeruken (i driftstiden) i hotellrommet for ulike konstruksjoner

5 Kondens

I det foregående er temperaturforhold, energi, og termisk komfort vurdert for ulike løsninger.

Gjennom caset ble det også stilt spørsmål vedr. mulighet,- og eventuelt betingelsene, for om innvendig eller utvendig kondens vil oppstå på glasset i dobbelfasaden.

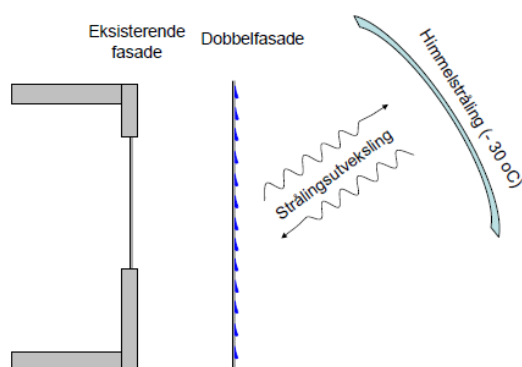
Enkelt sagt kan kondens oppstå på en flate når denne er kaldere enn lufta omkring, og det er tilstrekkelig fuktighet tilgjengelig i lufta.

For å avdekke sannsynlighet for kondens er det derfor viktig å benytte klimafilmer med reelle temperatur- og fuktighetsverdier.

5.1 Utvendig kondens

Når flaten er et vindu i en fasade kan en spørre hvordan det er mulig at dette kan bli kaldere enn lufttemperaturen utenfor? Fysisk er årsaken varmestråling fra vinduet ut til den kalde atmosfæren. Billedlig kan en forestille seg det motsatte forløp; *kaldstråling inn mot glassflaten fra verdensrommet*. Når vi i bare liten grad observerer dette fenomenet i det daglige, skyldes det at vinduer tradisjonelt har hatt en stor varmelekkasje fra lokalet innenfor, noe som bidrar til å holde utvendig overflatetemperatur på glasset på et relativt høyt nivå. (tross kaldstråling)⁷

Betingelsene for kondensdannelse på utsiden av vindusruter avhenger altså av en kombinasjon av en rekke klimaforhold, bl.a 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 vindusrutenes varmeisolasjons- evne og innnetemperaturen.



Figur 5.1 Utvendig kondens

⁷ Forholdet kan imidlertid ofte observeres på en bilrute en kald klar høstmorgen. Utetemperaturen kan være godt over frysepunktet, men like fullt er det dugg, og endog i noen tilfeller rim på ruta.

5.1.1 Praktiske forsøk

Målinger utført i Borås i Sverige viser en del parameter (enkeltvis) som må være oppfylt for at kondens skal oppstå:

- Differansen mellom utelufttemperaturen og omgivelsenes strålingstemperatur (himmel, landskap, bebyggelse m.m.) lå mellom 4 og 7 °C
- Den relative luftfuktigheten var minimum 95 % (gjennomsnitt vinter ligger på ca. 85 %)
- Utvendig kondens opptrådte ved en utelufttemperatur på ca. 0 °C om våren og ved ca. 10 °C om høsten
- Utvendig kondens opptrådte spesielt ved lave vindhastigheter (0 – 3 m/s), kun et fåtall kondensstilfeller opptrådte ved vindhastigheter mellom 3 og 4 m/s

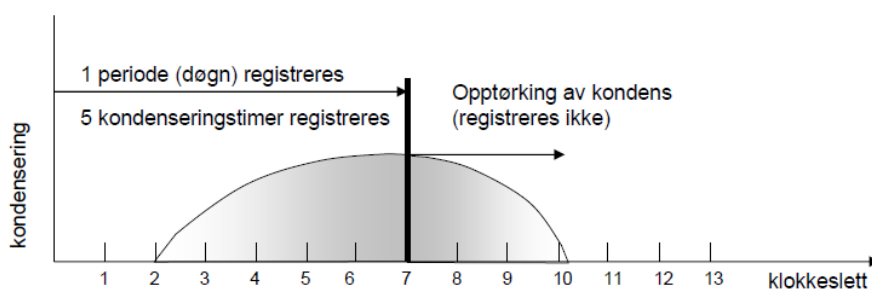
5.1.2 Tidligere beregninger

I forbindelse med rapporten ”Utvendig kondens på vindusruter”⁸, er det gjennomført en del databeregninger for å undersøke virkningen av en rekke parametres bidrag for at kondensering skal oppstå.

Databeregningene viste for øvrig god overensstemmelse med målinger som referert.

I simuleringene foreligger det ikke klimadata for Trondheim. Værnes er derfor benyttet som nærmeste klimastasjon.

Videre ble året 1985 valgt ut som mest representativt for uteklime (temperatur, vind, fuktighet)



Figur 5.2 Vurderingen av kondens basert på simuleringer

Figuren over viser et typisk resultat for et vilkårlig døgn. Her framgår det at vilkårene for kondensering er til stede i timene 2, 3, 4, 5 og 6. Hver av disse timene registreres. I tillegg registreres det at kondensering har inntruffet i dette døgnet. I etterfølgende periode hvor vilkårene for kondensering ikke lenger er til stede, vil det fremdeles være kondens på glasset. Denne opptørkingsperioden registreres *ikke*.

⁸ Utvendig kondens på vindusruter”. Thyholt, M., 2006, SINTEF Byggforsk

Simulering

Følgende data kan hentes ut fra simuleringene:

Værnes (1985), antall timer med kondens pr. klokke time																									
Rutetype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM
U=0,8	35	24	19	15	12	14	21	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	9	8	6	8	10	13	203
U=1,1	18	10	8	6	5	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	3	6	74
U=1,4	10	7	4	3	4	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	4	45

Tabell 5.1 Antall timer timer/hendelser med kondensering. Akkumulert over året⁹

Det er viktig å merke seg at kondenseringen normalt vil opptre over sammenhengende perioder, dvs. at kondensering strekker seg over flere timer. Tabellen under kan belyse hvordan dette kan forstås:

Værnes (1985)								
Periode på døgnet ->	01-08		09-20		21-24		Sum	
Vindu	Sum antall timer	antall ganger	Sum antall timer	antall ganger	Sum antall timer	antall ganger	Sum antall timer	antall ganger
Us = 0,8 W/m ² K	145	49	21	11	37	14	203	64
Us = 1,1 W/m ² K	59	20	3	2	12	6	74	27
Us = 1,4 W/m ² K	37	12	0	0	8	4	45	16

Tabell 5.2 Antall timer/hendelser med kondensering. Akkumulert over året¹⁰

⁹ Tabellen leses slik:
 For vindu med en U-verdi lik 1,1, viser beregningene at temperatur-, og klimamessig vil det ligge til rette for kondensering 18 ganger (timer) mellom kl 24.00 og 01.00 (klokke time 1). Vurdert over hele året
 I klokke time 8 er det sannsynlig at kondensering vil oppstå i 2 ganger (timer).
 I sum over året er det sannsynlig at kondensering vil oppstå i 74 ganger (timer).

¹⁰ Eksempel:
 For vindu med en U-verdi lik 1.1, viser beregningene at det temperatur-, og klimamessig ligger til rette for at kondensering vil oppstå 74 timer, men at dette skjer 27 ganger (dager) fordelt på de 3 døgnsperiodene.
 Det kan således være sannsynlig at de 2 gangene det kan forventes å oppstå kondensering i perioden kl 09.00 - 20.00 også har oppstått kondensering i periode mellom kl 01-08 og kanskje også i perioden mellom kl 21.00 og 24.00

Avskjerming

I simuleringene er det forutsatt at den vertikale glassflaten "ser" 40 % av himmelrommet. De resterende 60 % representer i dette tilfellet avskjerming og stråling fra omkringliggende "varme" bygg/omgivelser.

Verdien på 40 % er relativ høy, da 50 % er den maksimale verdien et vertikalt stilt vindu kan ha.

En fasade vil ofte være utsatt for varierende avskjerming. Dette betyr at ulike deler av fasaden vil være utsatt for forskjellig andel kald himmelstråling. Typisk vil de nederste etasjene være veldig skjermet, og i praksis ikke få kondens, mens de øverste etasjene er atskillig mer eksponert for kaldstråling.

Basert på simuleringer for Tromsø, vil en økning fra 40 % til 50 % (vindu med fri horisont) himmelstråling medføre en *økning på c.a 150 %* av verdiene i tabell 1 og 2. Motsatt vil en reduksjon til 30 % medføre en reduksjon til ca. 50 %. *Effekten av himmelstrålingen er altså meget stor, og i praksis helt avgjørende for om kondensering faktisk skjer, selv om betingelsene for temperatur og klimatiske forhold er til stede.*

Virkning av innvendig temperatur

I simuleringene over er det forutsatt en konstant temperatur i rommet innenfor dobbelfasaden på 20 °C.

I dobbelfasaden vil "innetemperaturen" variere, og ligge ned mot 5 °C ved dimensjonerende utetemperatur vinterstid.

Basert på simuleringer for Tromsø, vil en reduksjon fra 20 °C til 17 °C medføre en *økning* av verdiene i tabell 5.1 og 5.2 på ca. 50 %. Temperaturforholdene har altså stor virkning.

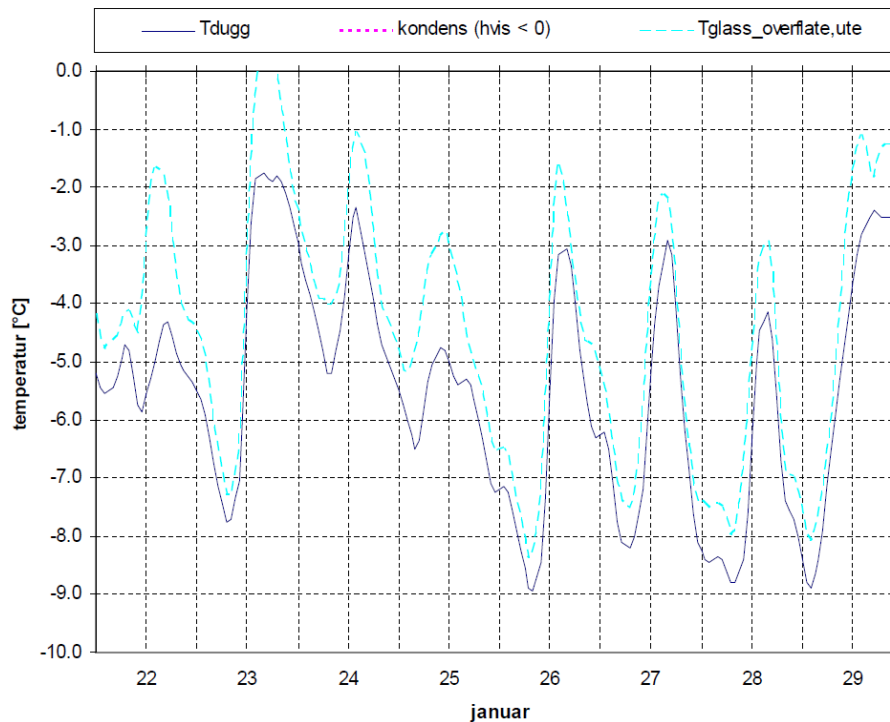
5.1.3 Beregninger via TRNSYS

Det er valgt å gå videre på denne problemstillingen gjeldende temperaturforholdene i dobbelfasaden, og foretatt beregninger via beregningsprogrammet TRNSYS.

Utgangspunktet er klimadata i samme vinteruke som benyttet i foregående kapitler, 4.1 og 4.2.

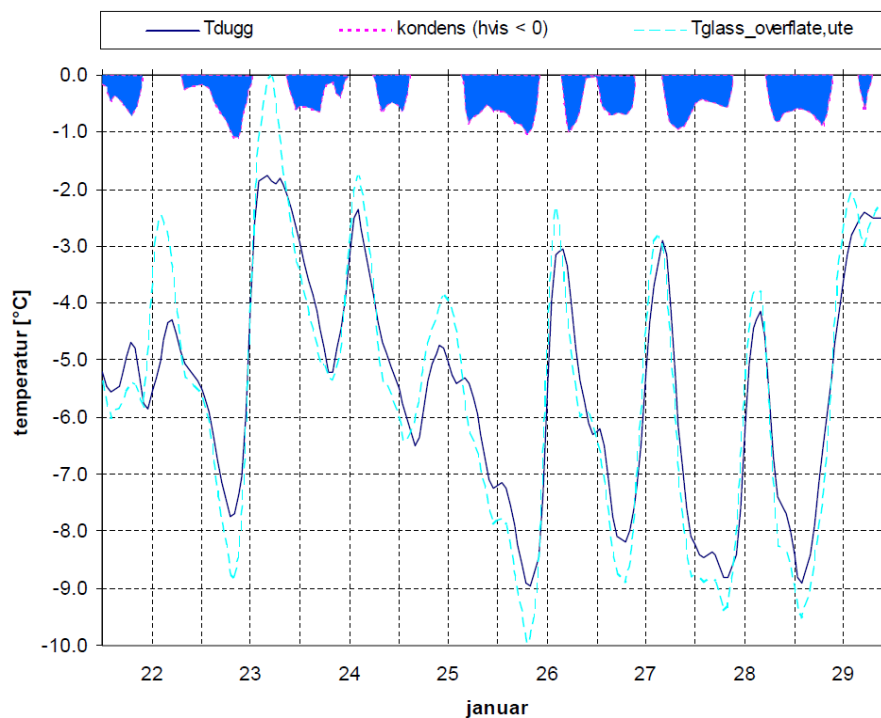
3 ulike tilfeller er beregnet:

- Eksisterende fasade, U-verdi nytt vindu: 1,1 W/m² K
Denne beregningen er valgt for som referanse, og for å teste modellen.
- Ny dobbelfasade, U-verdi 2-lags glass: 1,1 W/m² K
Denne tilsvarer tidligere simulert dobbelfasade, type: dfs(3). Se kap 4.1
- Ny dobbelfasade, U verdi 1-lags glass: 5,7 W/m² K,
Denne tilsvarer tidligere simulert dobbelfasade, type: dfs(4). Se kap 4.1



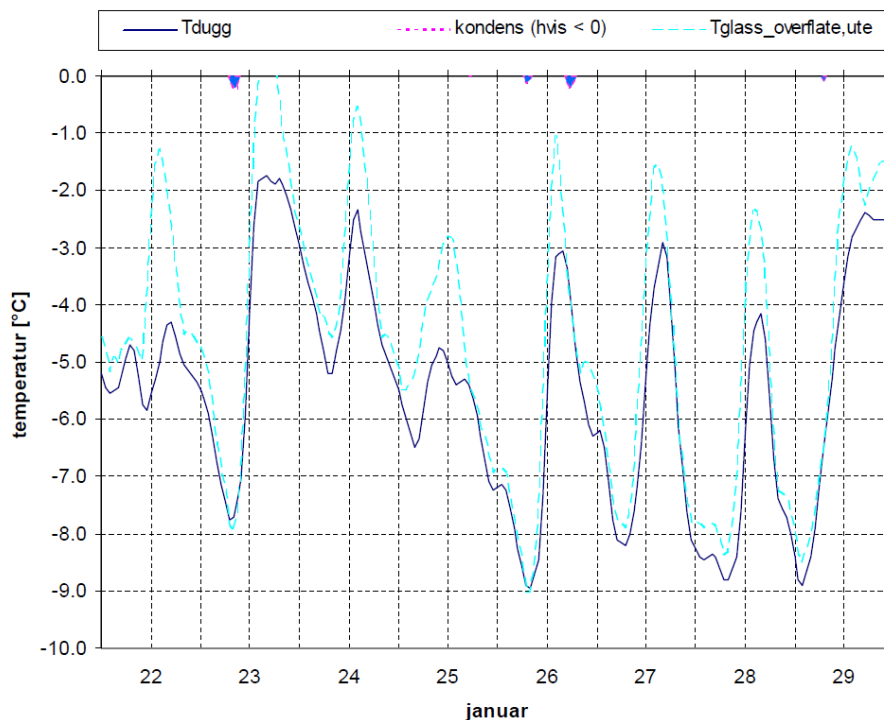
Figur 5.3 Eksisterende fasade med nytt glass ($U = 1.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Typisk vinteruke

Overflatetemperaturen på glasset utvendig er alltid høyere enn kondenseringstemperaturen (duggpunkttemperaturen) for uteluft. Resultatet er at det ikke vil oppstå kondensering utvendig på vindu gjennom denne simuleringsperioden.



Figur 5.4 Ny dobbelfasade, U-verdi 2 lags glass: $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, dfs(3). Typisk vinteruke

Overflatetemperaturen på glasset utvendig er lavere enn kondenseringstemperaturen (duggpunkttemperaturen) for utelufta i store deler av perioden. Resultat er at de klimatiske forholdene er til stede for at kondensering vil kunne oppstå. Vesentlig nattestid.

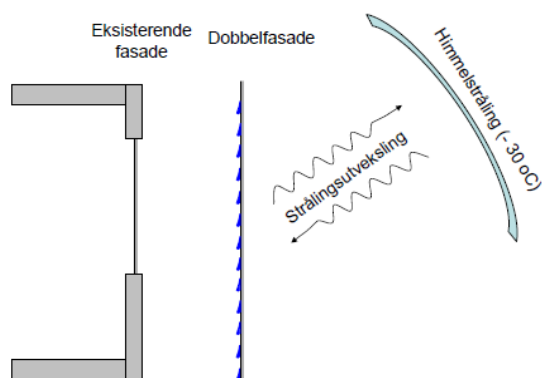


Figur 5.5 Ny dobbelfasade, U-verdi 1 lags glass: $5,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, dfs(4). Typisk vinteruke

Stort varmetap fra bygget og videre gjennom dobbelfasaden, fører til en relativ høy overflate-temperatur på glasset utvendig i denne. I praksis er temperaturen aldri lavere enn kondenseringstemperaturen (duggpunkttemperaturen) for utelufta, og betingelser for kondensering opptrer ikke.

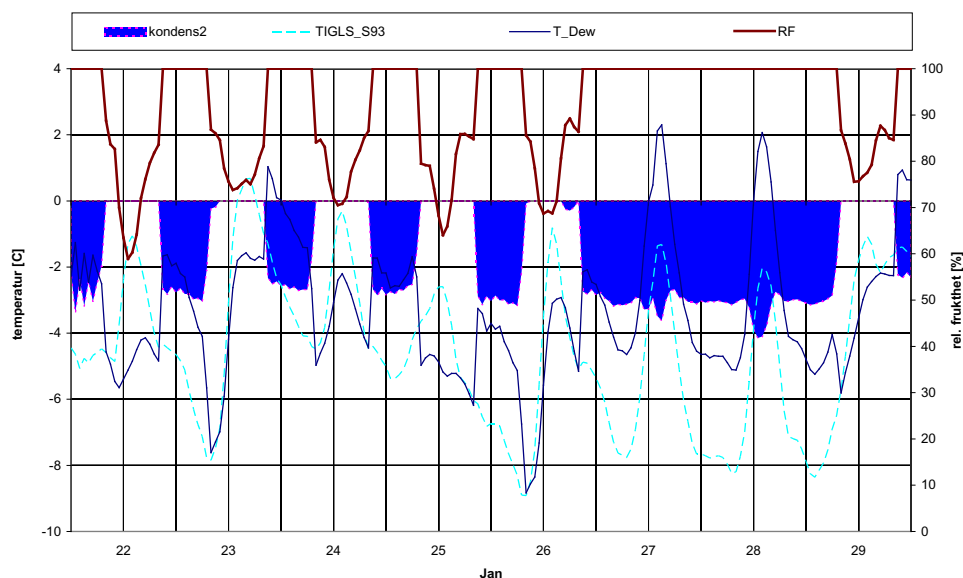
5.2 Innvendig kondens

Fra kapittel foran var konklusjonen at et glass med dårlig U-verdi gir en relativ høy temperatur *utvendig* i dobbelfasaden, noe som bidrar til å redusere utvendig kondens. Den samme glasskvaliteten bidrar imidlertid til at *innvendig* temperatur blir nær utvendig. Dersom det eksisterer kritisk fuktforhold inne i dobbelfasaden, kan dette medføre innvendig kondens.



Figur 5.6 Innvendig kondens

En beregning av typisk vinteruke viser følgende resultat (simulering nr. 3 i tabellen under):



Figur 5.7 Innvendig kondens. Ny dobbelfasade, U-verdi 1 lags glass: 5,7 W/m² K, dfs(4). Typisk vinteruke

Som vi ser viser beregningen store perioder (sum lik 130 timer/uke) med store mengder (=stor sannsynlighet for) innvendig kondens.

Tiltak som reduserer innvendig kondensering

Simuleringsresultatet må betegnes å beskrive uakseptable forhold, og vi har derfor sett på ulike tiltak for å bedre forholdene.

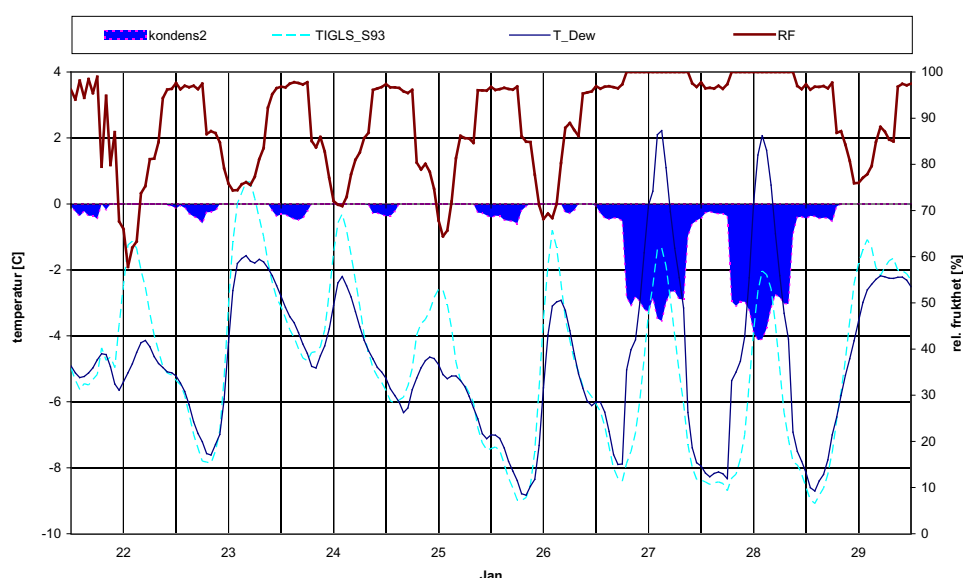
Simulering nr	kode	Type glass	U-verdi	Tiltak	Kondenstimer/uke	figur
1	iso	Isolerglass	1,1	tettet på 2. og 3. etasje	108	
2	iso (2)	Isolerglass	1,1	ikke tettet	108	
3	esg	ESG	5,5	tettet på 2. og 3. etasje	130	5,7
4	esg2	ESG	5,5	driftstider ventilasjon kontor = hotell	130	
5	esg3	ESG	5,5	driftstider ventilasjon og oppvarming kontor = hotell	130	
6	esg4	ESG	5,5	df åpent (23-5)	118	
7	esg5	ESG	5,5	df åpent (21-5)	108	5,8
8	esg6	ESG	5,5	df åpent (6-20)	134	
9	esg7	ESG	5,5	df med crack i 2. og 3. etasje, df stengt	130	

Tabell 5.3 Antall timer/hendelser med innvendig kondensering. Typisk vinteruke

Bruk av 2-lags isolerglass (simulering nr. 1 og 2) bedrer forholdene noe.

Nattventilering

Tiltak for 1-lags glasset viser små virkninger med unntak for nattventilering av hulrommet mellom kl. 21-05 (simulering nr. 7). Tiltaket går imidlertid på bekostning av energibruken, ved at varm (og fuktig) luft blir erstattet med kald (men tørrere) uteluft.



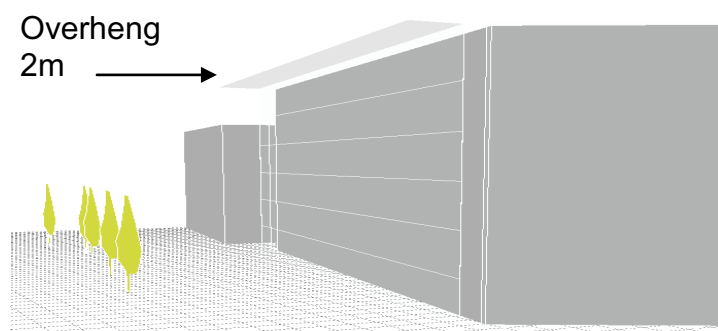
Figur 5.8 Innvendig kondens. Ny dobbelfasade, U-verdi 1 lags glass: 5,7 W/m² K, dfs(4). Typisk vinteruke. Nattventilert

Kondenseringsforløpet som vist i figuren 5.3 og 5.4 over er et konservativt anslag. Bakgrunnen for dette er at beregningsprogrammet ikke tar hensyn til virkning av luftas bestrykning av glassflaten. Hva dette betyr i sannsynlighet for kondensering og omfang er vi usikre på, men en halvering av omfang i forhold til figurene mener vi kan være et fornuftig antagelse.

Vi mener likevel sannsynlighet for og omfang av innvendig kondensering er så vidt signifikant og at økning av energibruken så stor at en ikke uten videre kan anbefale bruk av 1-lags glass som ytre del av en dobbelfasade.

5.3 Avskjerming som tiltak mot utvendig kondens

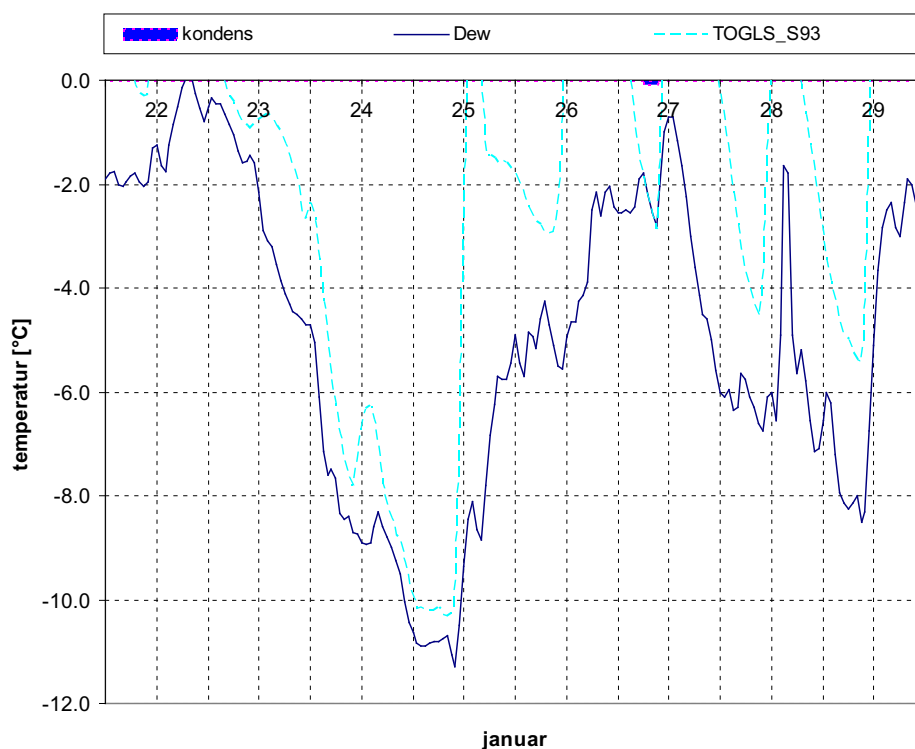
Av tiltak som står igjen er utvendig avskjerming for å redusere himmeltrålingen.
Tiltaket kombineres med bruk av 2-lags isolerglass



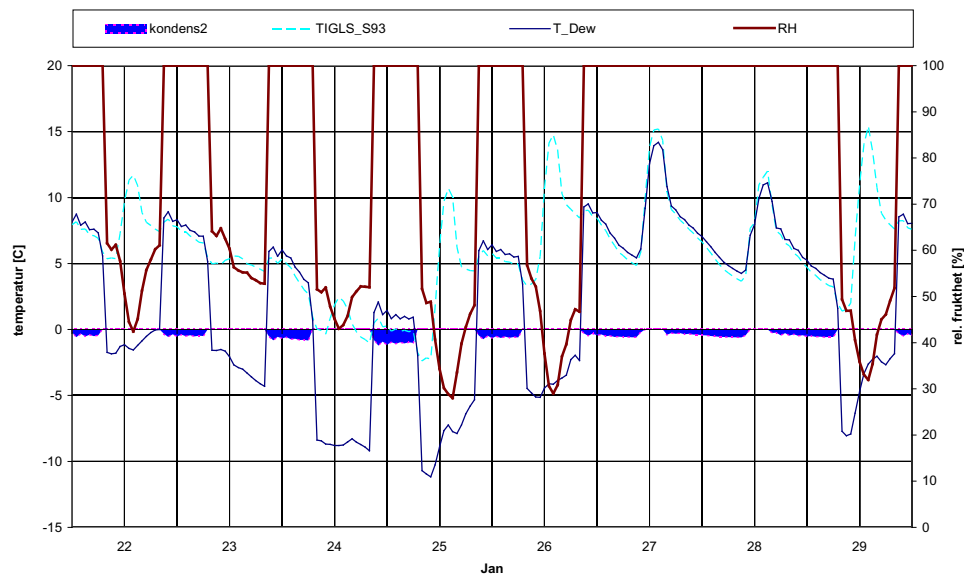
Figur 5.9 Overheng. Prinsippskisse av overheng med dybde 2 meter montert ved gesims over 6. etg.

Hensikten med overhengen er å skjerme for utvendig stråling og derved reduksjon av den *utvendige* kondensering vi tidligere har avdekket for denne glasskvaliteten (figur 5.4)

Med en avskjerming som skissert i figur over reduseres utvendig kondens til praktisk talt lik 0.



Figur 5.10 **Utvendig kondens. Ny dobbelfasade, U-verdi 2 lags glass: 1,1 W/m² K. Typisk vinteruke. Avskjermet**



Figur 5.11 **Innvendig kondens. Ny dobbelfasade, U-verdi 2-lags glass: 1,1 W/m² K. Typisk vinteruke.**

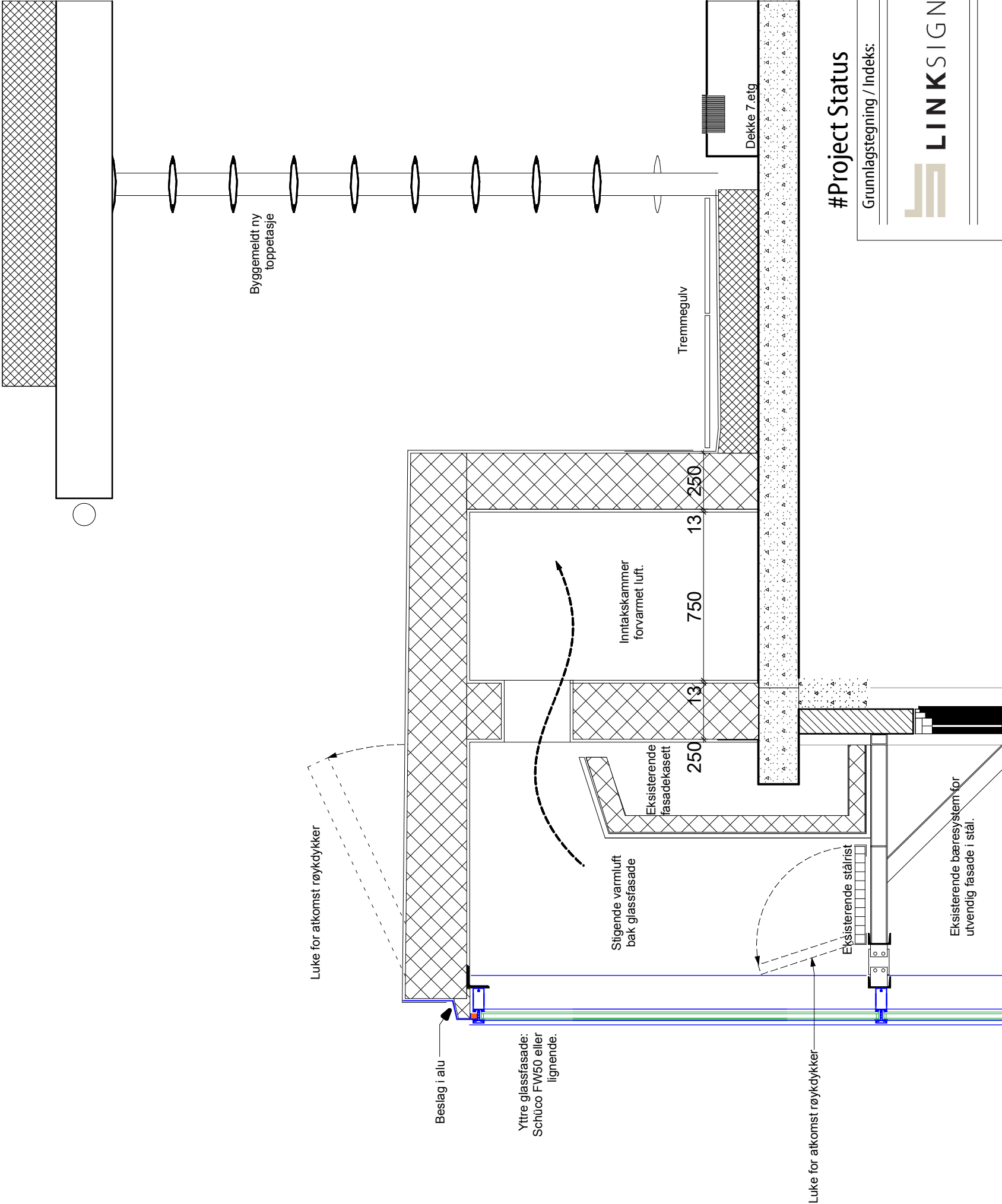
Figuren over viser at det beregningsmessig vil oppstå innvendig kondens (106 timer/uke) men i liten mengde. Gitt den konservative beregningsmetoden i modellen, kan kondens like gjerne vise seg å ikke opptre.

6 Referanser

- Dorer, V., Weber, A., 1999. Air, contaminant and heat transport models: integration and application. *Energy and Buildings* 30, 97-104.
- Haase, M., Wong, F., Amato, A., 2007. Double-skin facades for Hong Kong. *Surveying and Built Environment* 18.
- NS-ISO7730, 2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Standard Norge.
- Oesterle, E., Lieb, R.-D., Lutz, G., Heusler, B., 2001. Double-skin facades: integrated planning : building physics, construction, aerophysics, air-conditioning, economic viability. Prestel, Munich.
- Thyholt, M., 2006. Utvendig kondens på vindusruter, in: SINTEF (Ed.). SINTEF Byggforsk. <http://www.sintef.no/upload/Utvendig%20kondens%20rapport.pdf>
- TRNSYS, 2004. Trnsys16 user manual. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA.

Vedlegg A – tegninger

Tegningsnummer	Tittel		Side
A.01-01.1	Snittedetaljer glassfasade	topp	2
A.01-01.2	Snittedetaljer glassfasade	bunn	3
A.01-01.3	Snittedetaljer glassfasade	hjørne	4
A.4.11	Fasade glass	Mot Lilletorget / Sør	5
A.4.12	Fasade glass	Mot Kattveita / Vest	6
A.4.13	Fasade glass	Mot Krambugata / Øst	7



#Project Status

Grunnlagstegning / Indeks:



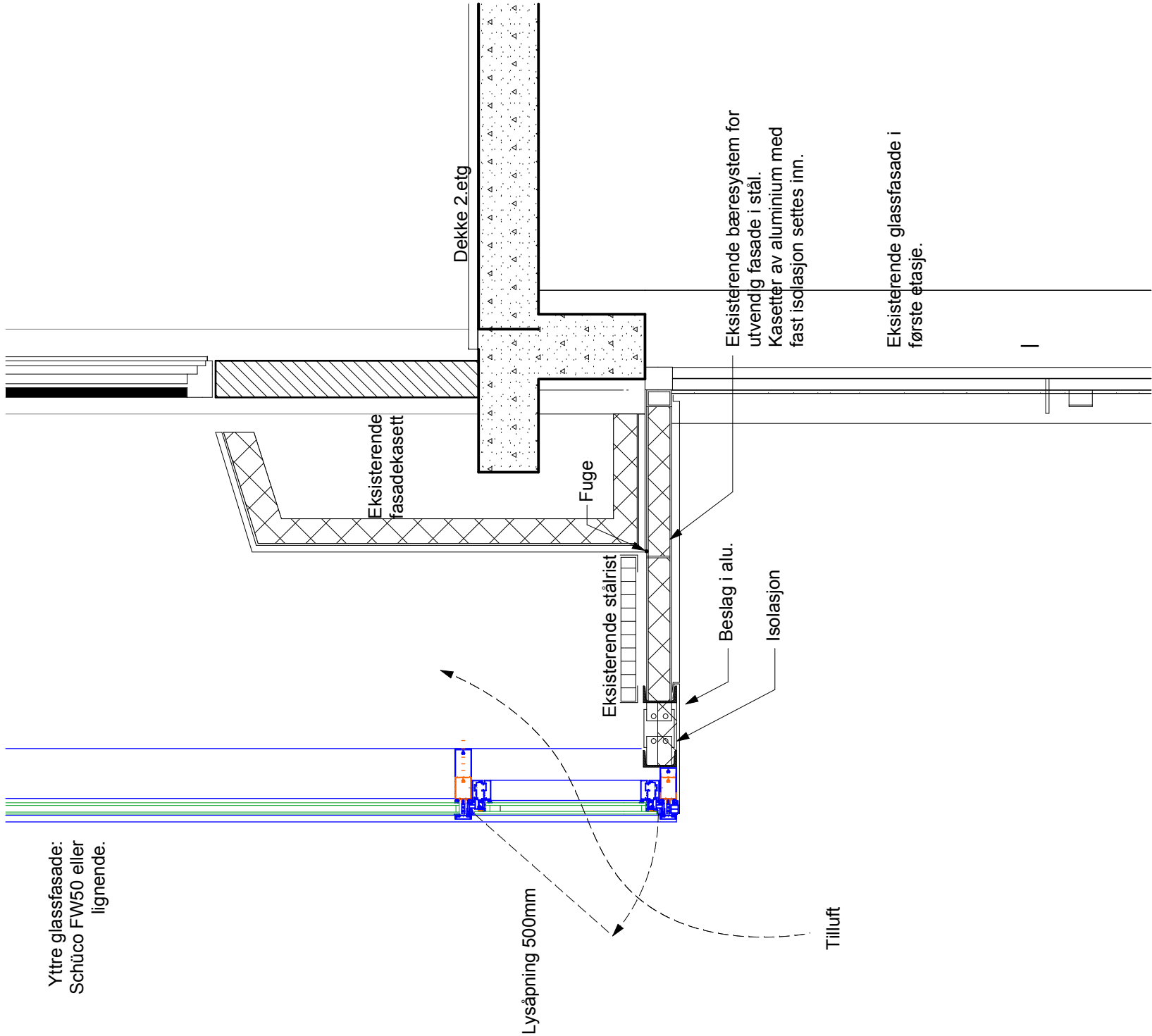
#Custom 2

###

Snittdetaljer glassfasade Glassfasade topp

Tegn.nr	Indeks
03190 Møte - Kinosenter	A.01-01.1

Mål:	Dato:	Kontr.:	Godkj.:	Ansv.:	Rev.dato:
------	-------	---------	---------	--------	-----------



#Project Status

Grunnlagstegning / Indeks:



#Custom 2

###

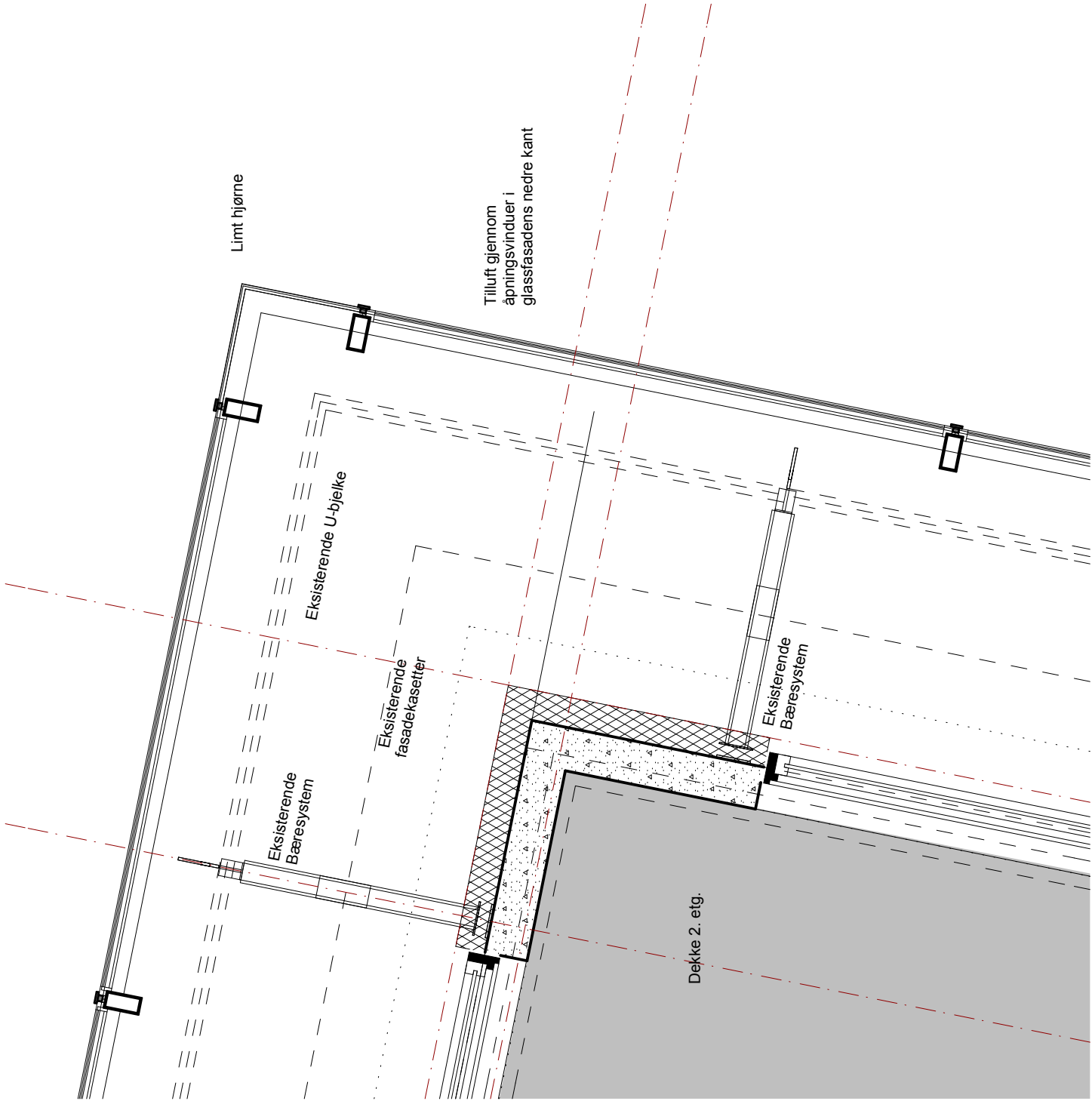
Snittdetaljer glassfasade Glassfasade bunn

Mål:	Dato:	Tegn.:	Kontr.:	Godkj.:	Ansv.:	Tegn.nr	Indeks
						A.01-01.2	

03190 Møte - Kinosenter

Mål:	Dato:	Tegn.:	Kontr.:	Godkj.:	Ansv.:	Tegn.nr	Indeks
						A.01-01.2	

Rev.dato:



#Project Status

Grunnlagstegning / Indeks:



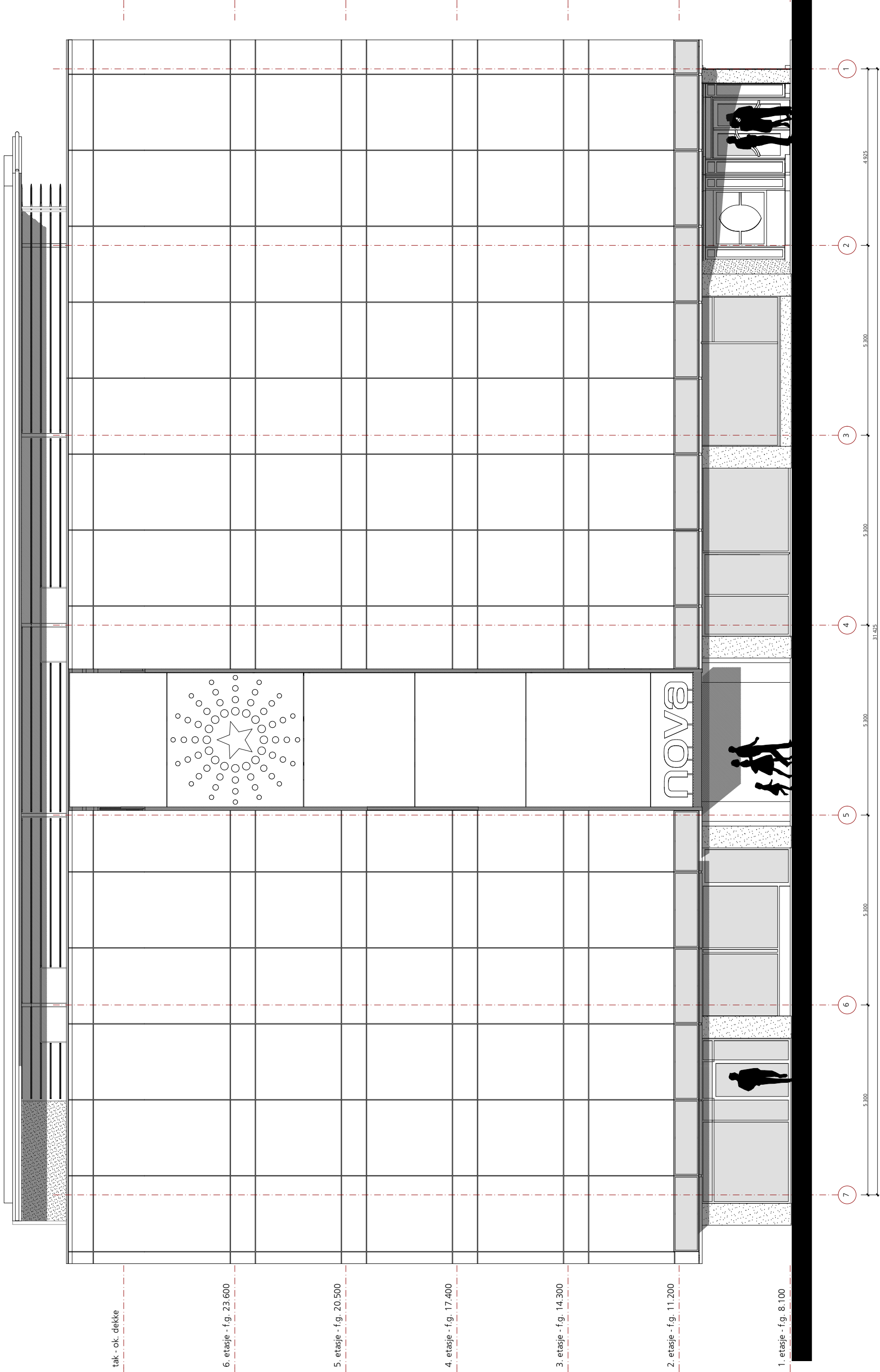
#Custom 2

###

Snittdetaljer glassfasade Glassfasade hjørne

Tegn.nr	Indeks
03190 Møte - Kinosenter	A.01-01.3

Mål:	Dato:	Tegn.:	Kontr.:	Godkj.:	Ansv.:	Rev.dato:
------	-------	--------	---------	---------	--------	-----------



Rev.	Revideringen gjelder	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
------	----------------------	------	-------	--------	--------

Fasade glass
mot Lilletorget / Sør

Indeks

Status

Titelkthaver
AØF

Entreprenør

Prosjektnummer / Prosjektnavn
03190 Møte - Kinosenter

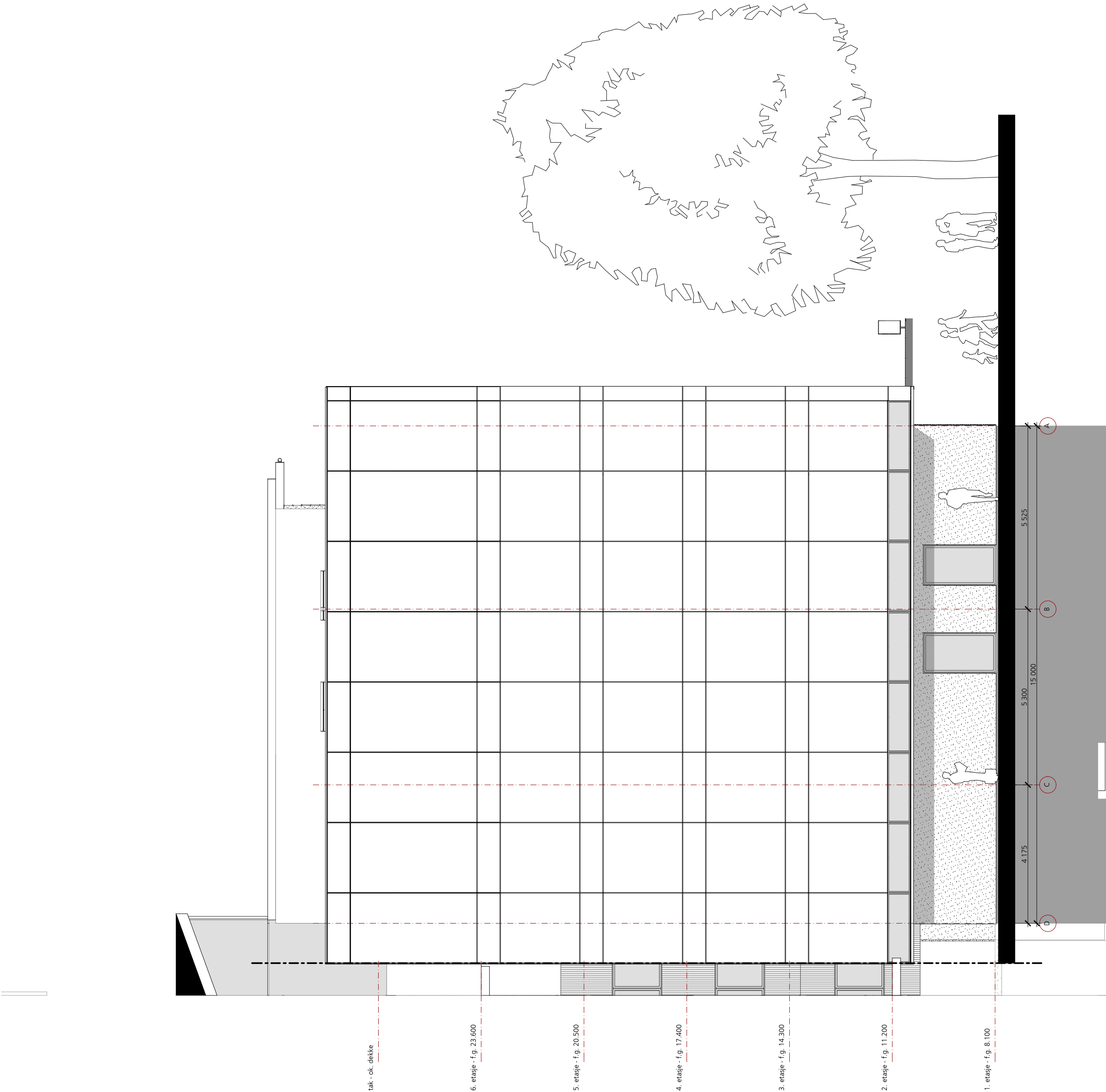
Grunntegning / Indeks:

LINKSIGNATUR

Fasade glass
mot Lilletorget / Sør

Mål:	M= 1:100	Tegnet:	BW/SPA	Godkj.:	
Dato:	15-01-2009	Kontr.:		Tegn.nr.:	A.4.11

Indeks



Rev.	Revideringen gjelder	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
------	----------------------	------	-------	--------	--------

Fasade glass
mot Kattveita / Vest

Indeks

Status

Tilakshaver

AØF

Entreprenør

Prosjektnummer / Prosjektnavn

03190 Møte - Kinosenter

Grunnlagstegning / Indeks:

LINKSIGNATUR

Fasade glass
mot Kattveita / Vest

Mål: M= 1:100

Tegnet: BW/SPA

Godkj.:

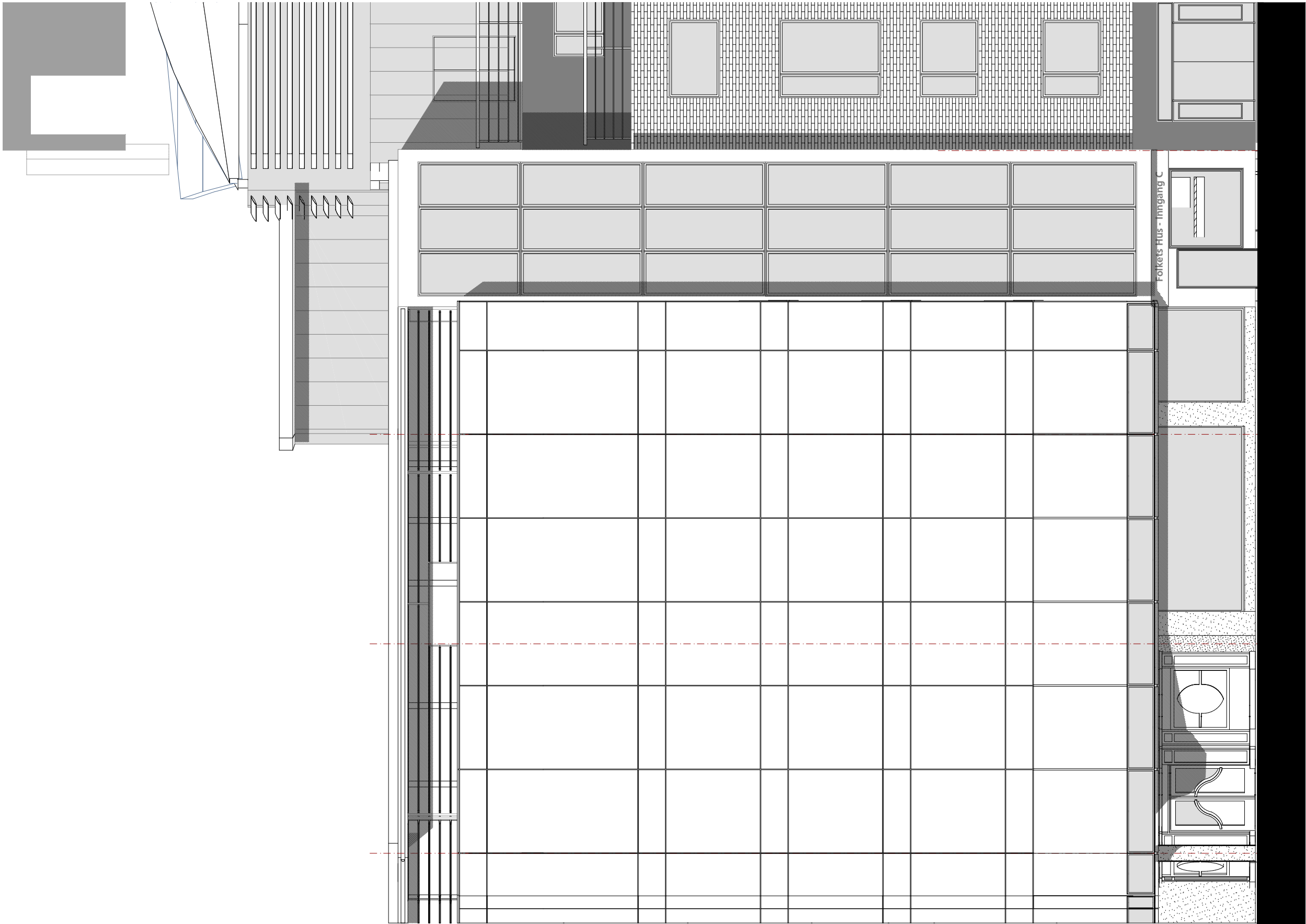
Dato: 15-01-2009

Kontr.:

Ansv.:

Indeks

A.4.12



Folkets Hus - Inngang C

Rev.	Revideringen gjelder	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
------	----------------------	------	-------	--------	--------

Fasade glass
mot Krabbugata / Øst

Indeks

Status

Tilakshaver
AØF

Entreprenør

Prosjektnummer / Prosjektnavn

03190 Møte - Kinosenter

Grunnlagstegning / Indeks:

LINKSIGNATUR

Fasade glass
mot Krabbugata / Øst

Indeks

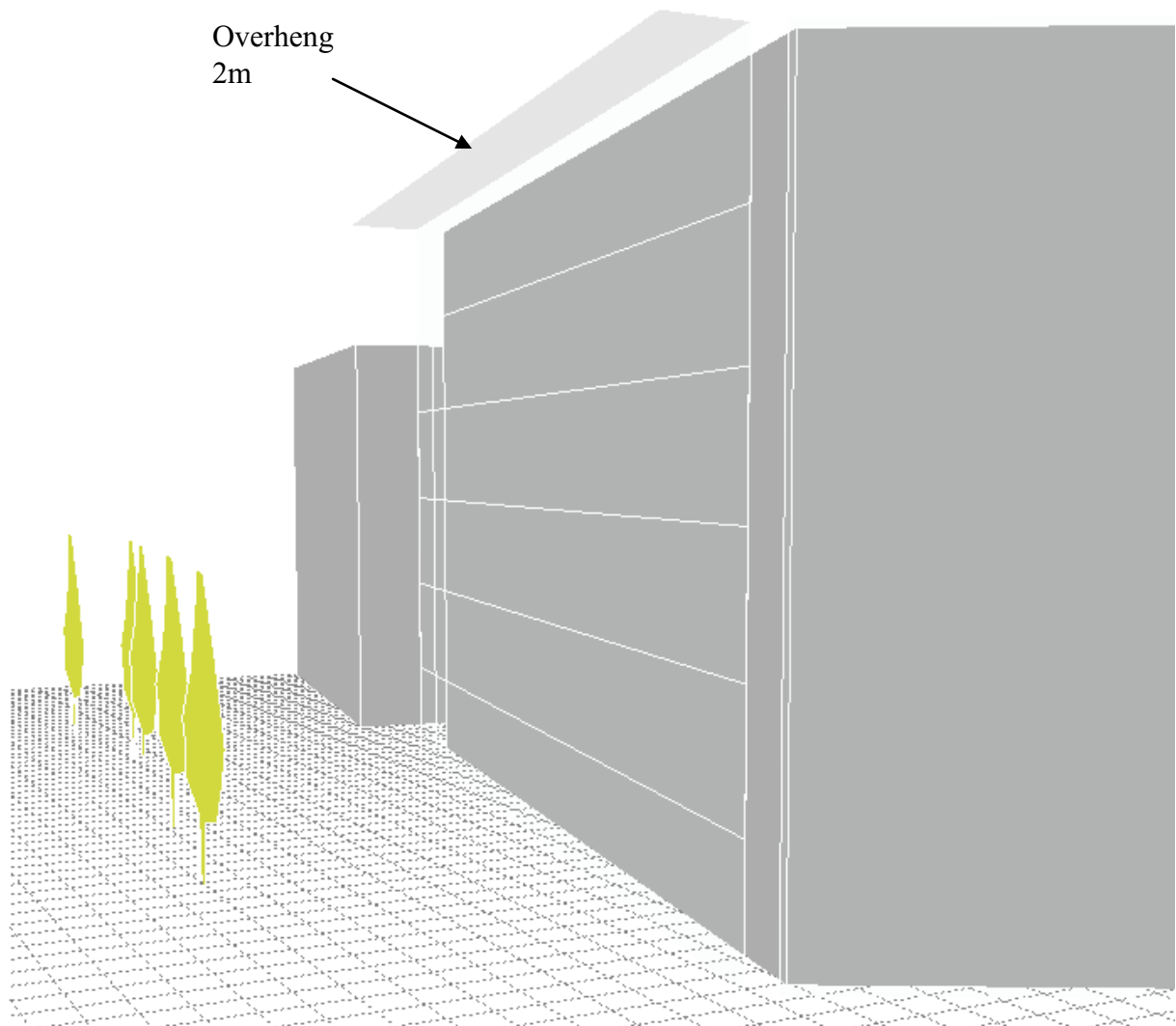
Mål: M= 1:100
Dato: 15-01-2009

Tegnet: BW/SPA
Kontr.:

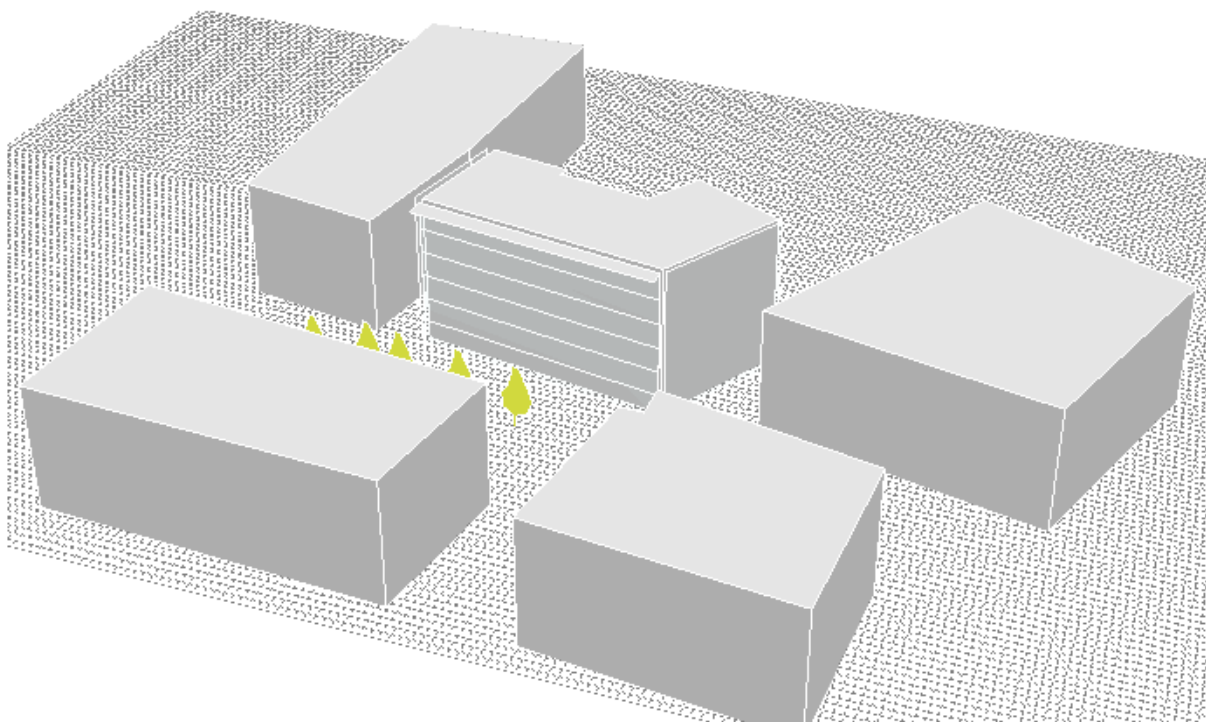
Tegn.nr.:
A.4.13

Vedlegg B – vurderingen av himlingsavskjerming (sky factor)

Vurderingen av løsningen der man prøvde å beskytte fasaden med overheng 2 m (og redusere sky factor dvs. himmelstrålingen).



Figur B.1 Bygningen med overheng



Figur B.2 bygningen med overheng og nabobygninger

Tabell 1 Sammendrag av beregningsresultater (sky factor) for ulike etasjer

Etasje	Figur 3	Sky factors
6.	a	15.5
5.	b	28.2
4.	c	32.0
3.	d	33.1
2.	e	33.1

Stereographic Diagram

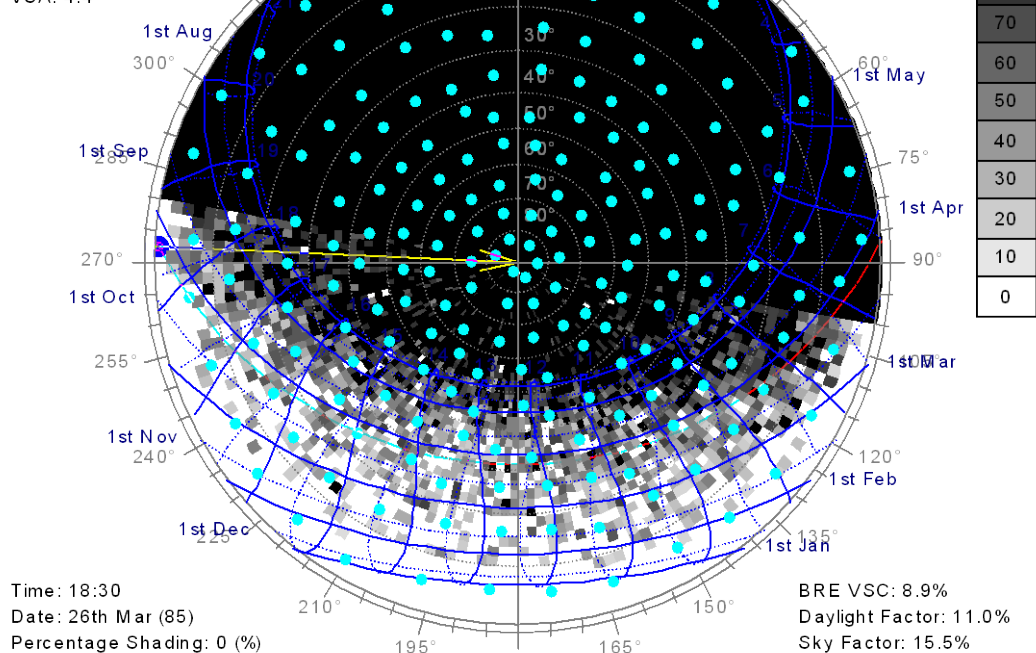
Location: 59.9°, 10.6°

Obj 51 Orientation: -169.1°, 0.0°

Sun Position: -87.7°, 0.7°

HSA: 81.5°

VSA: 4.4°



Figur B.3a Sky factor i 6. etasje

Stereographic Diagram

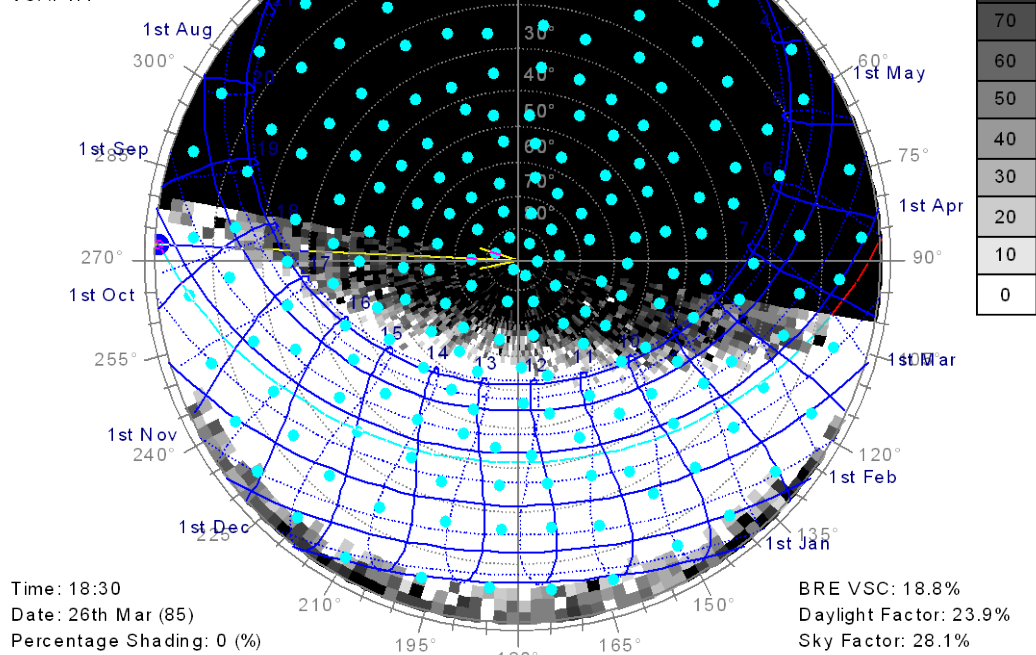
Location: 59.9°, 10.6°

Obj 41 Orientation: -169.1°, 0.0°

Sun Position: -87.7°, 0.7°

HSA: 81.5°

VSA: 4.4°



Figur B.3b Sky factor i 5. etasje

Stereographic Diagram

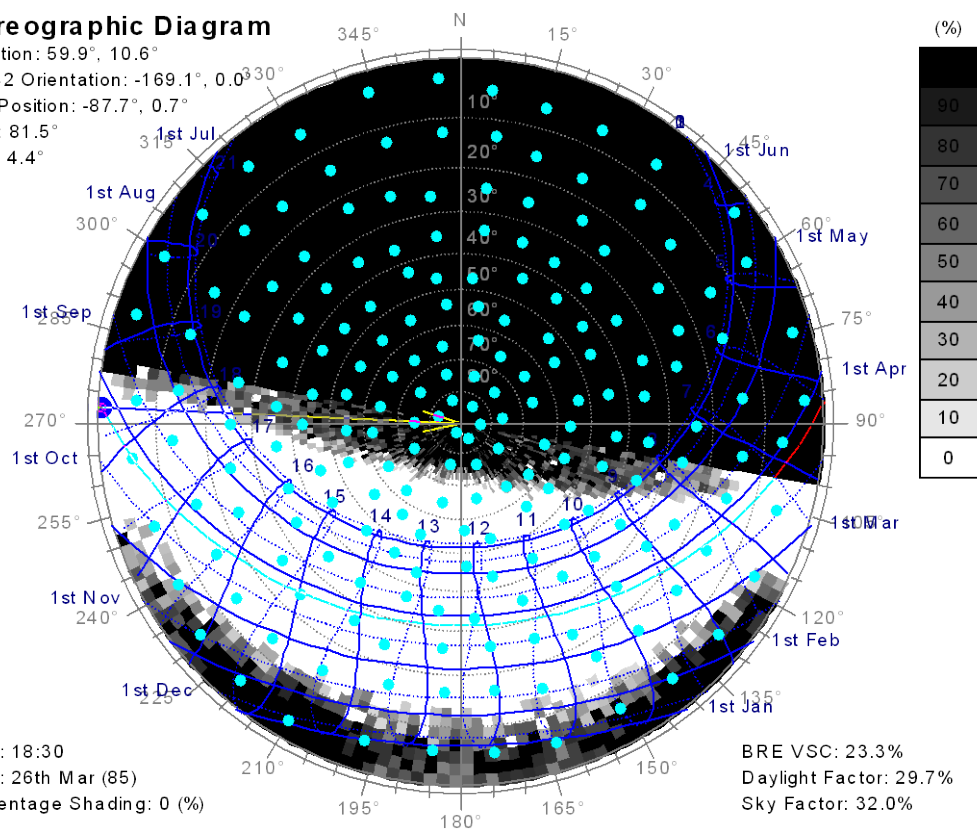
Location: 59.9°, 10.6°

Obj 42 Orientation: -169.1°, 0.0°

Sun Position: -87.7°, 0.7°

HSA: 81.5°

VSA: 4.4°



Figur B.3c Sky factor i 4. etasje

Stereographic Diagram

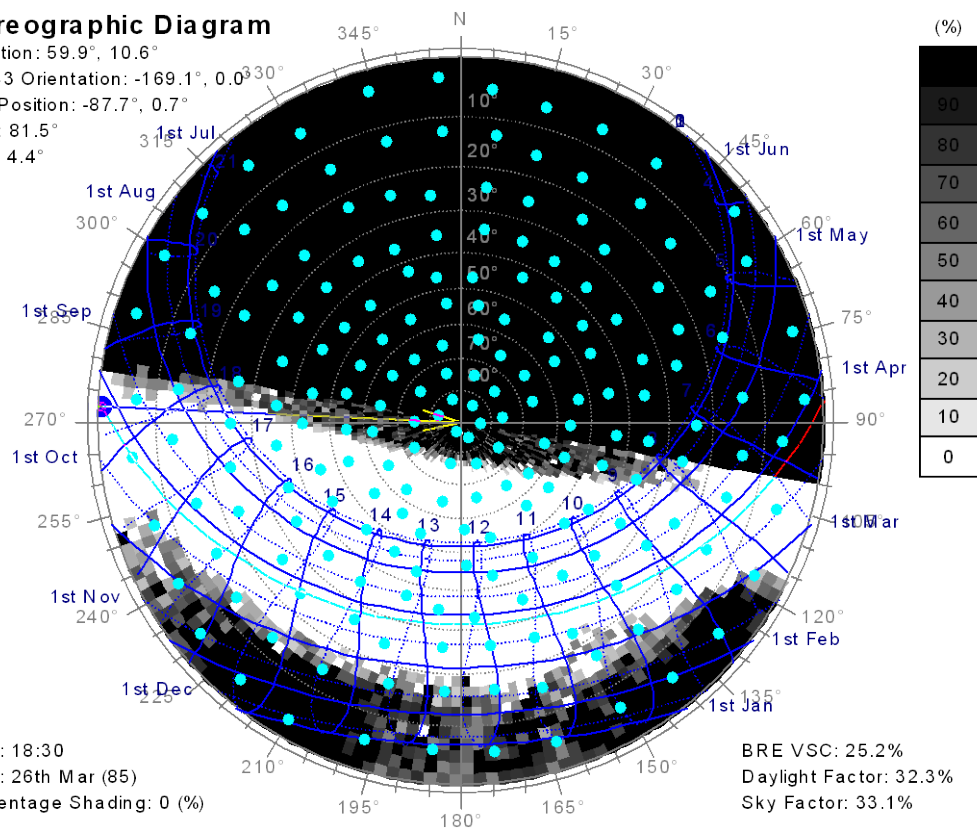
Location: 59.9°, 10.6°

Obj 43 Orientation: -169.1°, 0.0°

Sun Position: -87.7°, 0.7°

HSA: 81.5°

VSA: 4.4°



Figur B.3d Sky factor i 3. etasje

Stereographic Diagram

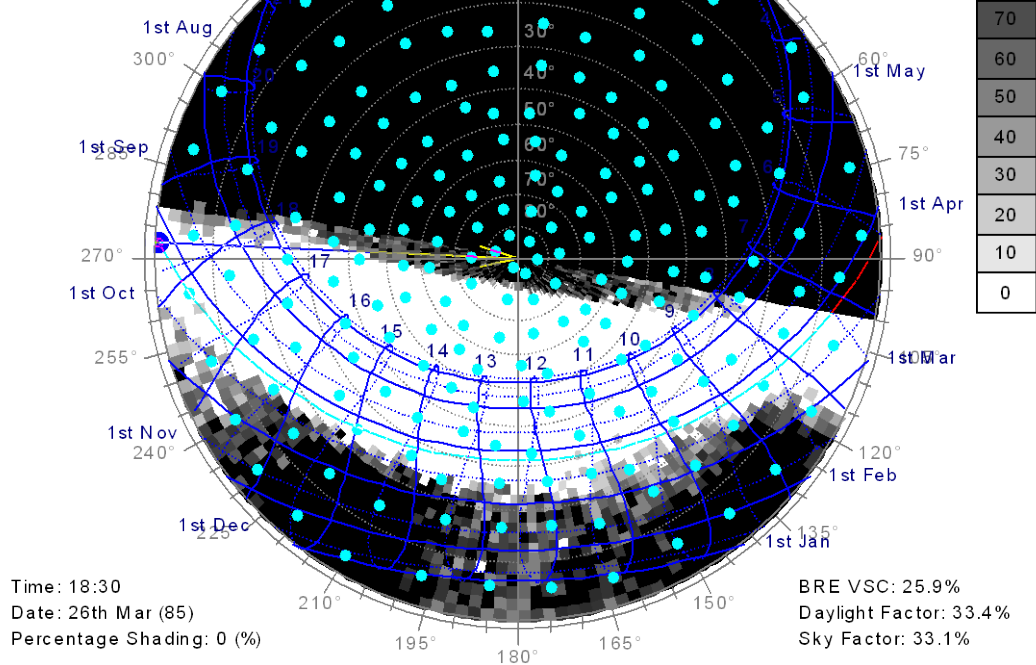
Location: 59.9°, 10.6°

Obj 44 Orientation: -169.1°, 0.0° 330°

Sun Position: -87.7°, 0.7°

HSA: 81.5°

VSA: 4.4°



Figur B.3e Sky factor i 2. etasje

Stereographic Diagram

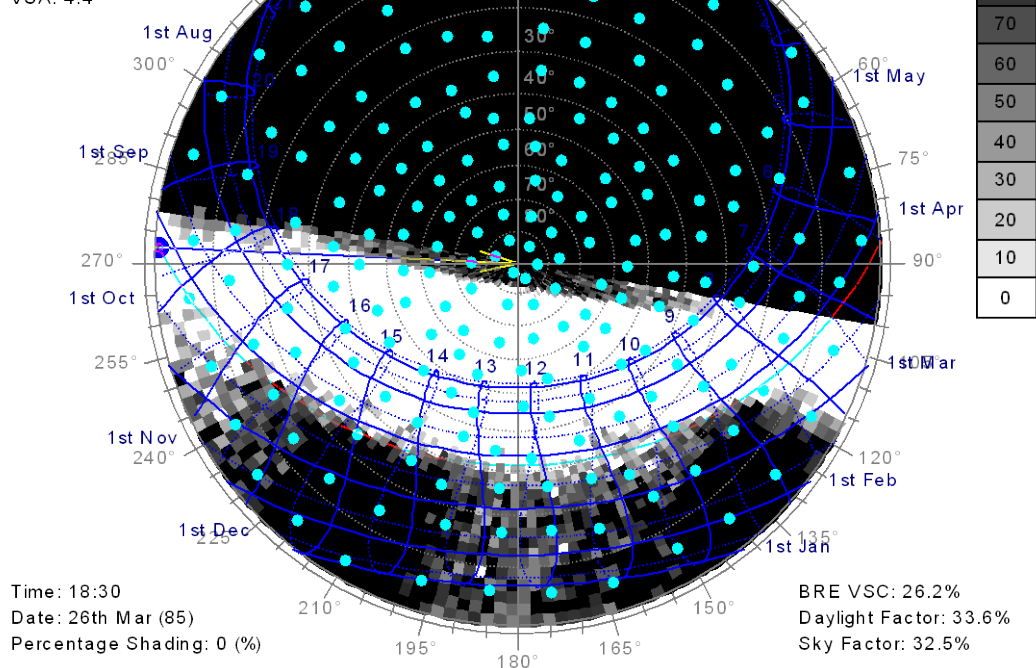
Location: 59.9°, 10.6°

Obj 45 Orientation: -169.1°, 0.0° 330°

Sun Position: -87.7°, 0.7°

HSA: 81.5°

VSA: 4.4°



Figur B.3f Sky factor i 1. etasje

Vedlegg C – Detaljer av beregningsmodellen dobbelfasaden

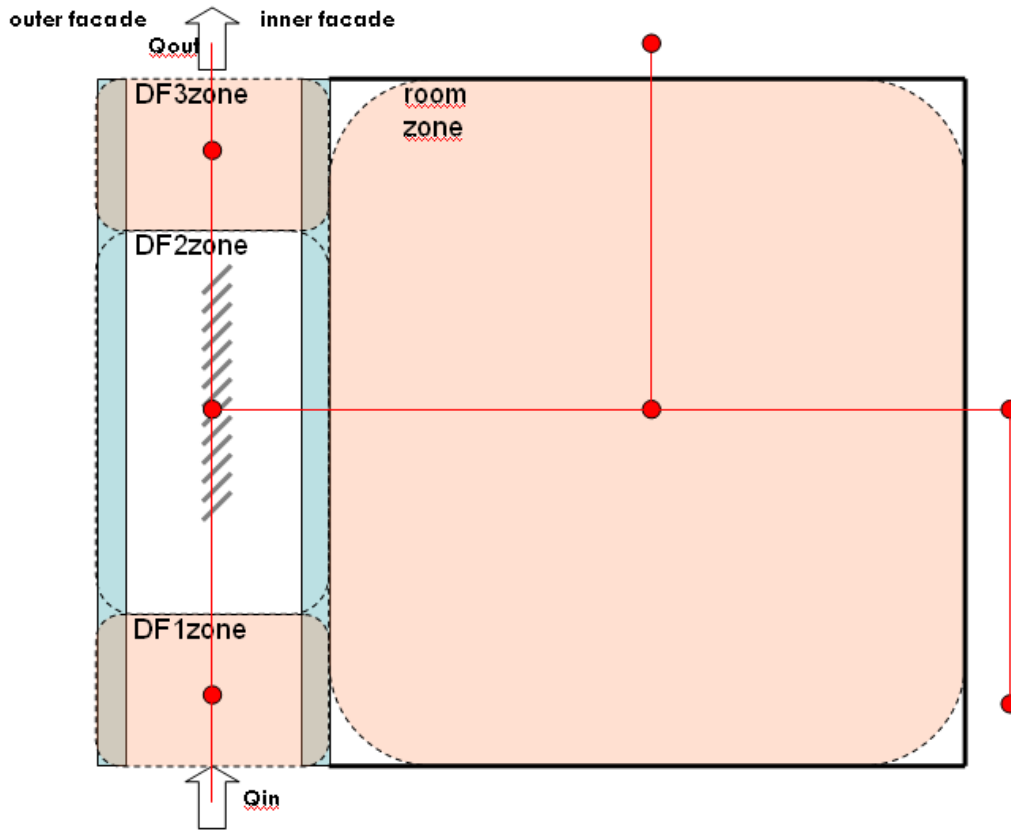


Figure 1: Sketch of cross section of the double-skin façade (EAC) with different zones per floor and airflow network. A more detailed description of the integrated airflow network is described in Figures 4.15 and 4.16.

TRNSYS offers the possibility to describe a zone and conduct heat balance calculations. At an exterior surface, the longwave radiation ($q_{r,e}$) and the convective heat exchange ($q_{conv,e}$) are separated and the absorbed solar radiation ($q_{s,e}$) is accounted for. The transient heat exchange through the surfaces composing a zone has been validated (Voit et al. 1994). A detailed description of the resistance calculation method is available from Seem (1987). For external surfaces the long-wave radiation exchange at the outside surface is considered explicitly using a fictive sky temperature, T_{sky} , which is an input to the TYPE 56 model and a view factor to the sky, f_{sky} , for each external surface. The total heat transfer is given as the sum of convective and radiative heat transfer:

$$\dot{q}_{comb,s,o} = \dot{q}_{c,s,o} + \dot{q}_{r,s,o} \quad (4.1)$$

where

$$\dot{q}_{c,s,o} = h_{conv,s,o} (T_{a,s} - T_{s,o}) \quad (4.2)$$

$$\dot{q}_{r,s,o} = \sigma \epsilon_{s,o} (T_{s,o}^4 - T_{fsky}^4) \quad (4.3)$$

$$T_{fsky} = (1 - f_{sky}) T_{a,s} + f_{sky} T_{sky} \quad (4.4)$$

where

$\bullet$	
$q_{comb,s,o}$	= combined convective and radiative heat flux to the surface
$\bullet$	
$q_{c,s,o}$	= convective heat flux to the surface
$\bullet$	
$q_{r,s,o}$	= radiative heat flux to the surface
$h_{conv,s,o}$	= convective heat transfer coefficient at the outside surface
f_{sky}	= fraction of the sky seen by the outside surface (For a vertical wall with no buildings nearby, a value for f_{sky} is assumed to be 0.5)
T_{sky}	= fictive sky temperature used for long-wave radiation exchange
$\epsilon_{s,o}$	= long-wave emissivity of outside surface ($\epsilon = 0.9$ for walls; value read from window library for windows)
$T_{a,s}$	= outside zone temperature
$T_{s,o}$	= outside surface temperature
$T_{s,i}$	= inside surface temperature
ϵ	= Stephan-Boltzmann constant

Surface heat fluxes and temperatures are illustrated in Figure 2.

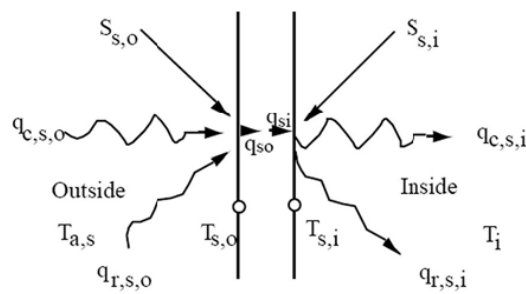


Figure 2: Surface heat fluxes and temperatures (TRNSYS 2004)

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

