



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

TERMISKE FORHOLD VED ANVENDELSE AF PHOTOSOLAR-PRODUKTER

CASE: NORDEA DOMICIL

Maj 2005

**TERMISKE FORHOLD VED ANVENDELSE
AF PHOTOSOLAR-PRODUKTER**

CASE: NORDEA DOMICIL

**Magne Hansen
Søren Østergaard Jensen
Center for Energi i Bygninger**

Maj 2005

Indholdsfortegnelse

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | Indledning | 3 |
| 1.1. | Vinkelselektive solceller | 3 |
| 2. | BuildVISION-gruppen | 5 |
| 3. | Case | 6 |
| 3.1. | Beskrivelse af de fem undersøgte facader | 8 |
| 3.1.1. | Generelt | 8 |
| 3.1.2. | Facader | 8 |
| 3.2. | Tre lokaliteter | 9 |
| 4. | Parameteranalyse og resultater | 10 |
| 4.1. | København | 10 |
| 4.1.1. | Kølebehov for én etage | 10 |
| 4.1.2. | Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde | 10 |
| 4.1.3. | Komforforhold | 12 |
| 4.1.3.1. | Temperaturer i bygningen | 12 |
| 4.1.3.2. | Direkte solindfald | 13 |
| 4.1.4. | Konklusion | 16 |
| 4.2. | München | 17 |
| 4.2.1. | Kølebehov for én etage | 17 |
| 4.2.2. | Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde | 17 |
| 4.2.3. | Komforforhold | 18 |
| 4.2.3.1. | Temperaturer i bygningen | 19 |
| 4.2.3.2. | Direkte solindfald | 20 |
| 4.2.4. | Konklusion | 22 |
| 4.3. | Palermo | 23 |
| 4.3.1. | Kølebehov for én etage | 23 |
| 4.3.2. | Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde | 23 |
| 4.3.3. | Komforforhold | 24 |
| 4.3.3.1. | Temperaturer i bygningen | 25 |
| 4.3.3.2. | Direkte solindfald | 26 |
| 4.3.4. | Konklusion | 28 |
| 5. | Konklusion | 29 |
| Bilag A | Modellens opbygning..... | 31 |
| A1. | Geometri og konstruktioner | 32 |
| A.2. | Transparente konstruktioner | 32 |
| A.3. | Infiltration, opvarmning, ventilation og interne belastninger | 34 |
| A.3.1. | Infiltration | 34 |
| A.3.2. | Varmeanlæg | 34 |
| A.3.3. | Ventilation | 34 |
| A.3.4. | Personer | 35 |
| A.3.5. | Belysning | 35 |
| A.3.6. | Udstyr | 35 |

1. Indledning

Formålet med denne rapport er at kortlægge de indeklimaforhold, der kan forventes i bygninger, hvor den vinkelselektive solcelle anvendes.

Kortlægningen består i en sammenligning af forskellige cases, hvor hver case dækker over en specifik facadeløsning. Hver af disse facadeløsninger anvendes på skift i den samme referencebygning. Som referencebygning er valgt en enkelt etage i Nordeas Domicil på havnefronten i Københavns havn.

Den termiske virkemåde af vinkelselektive solceller er blevet undersøgt ved hjælp af et termisk bygningssimuleringsprogram. Det er dog ikke direkte muligt at modellere de vinkelselektive solceller i denne type simuleringsprogrammer, idet der her regnes med, at transmittansen af transparente/translucente flader kun er afhængig af den samlede indfaldsvinkel for solindfaldet. Ved de vinkelselektive solceller er transmittansen ikke fast for en given værdi af den samlede indfaldsvinkel, men afhængig af den givne kombination af den horisontale og vertikale indfaldsvinkel. Det har derfor været nødvendigt at udvikle en matrix, der beskriver transmittansen og absorptansen i den vinkelselektive solcelle for alle kombinationer af horisontale og vertikale indfaldsvinkler.

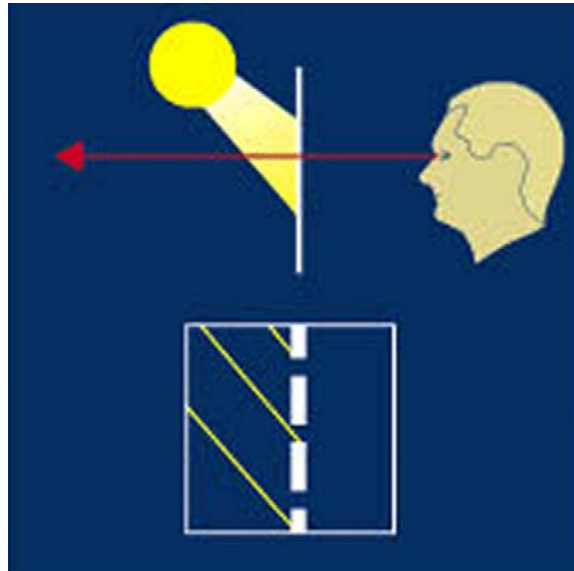
Til simuleringerne er anvendt simuleringsprogrammet ESP-r. Ud over at være det største simuleringsprogram samt europæiske referenceprogram på området er ESP-r modulopbygget, og sourcekoden er åben. ESP-r har derfor kunnet tilrettes til at anvende ovenstående matrix i simuleringerne. I programmet opbygges bygningen som en multizone-model, hvor bl.a. temperaturer, strålingsforhold, varmetab mm. for hver zone beregnes. ESP-r er udviklet på University of Strathclyde, UK.

Simuleringerne, analyserne samt rapportering er udarbejdet af civiling. Magne Hansen og civiling. Søren Østergaard Jensen fra BuildVISION. Simuleringsværktøjet ESP-r er som nævnt blevet videreudviklet i forbindelse med projektet, hvilket Dr. Paul Strachan og Dr. Jon Hand fra ESRU, University of Strathclyde har stået for. Paul Strachan og Jon Hand har ligeledes deltaget i valideringen af simuleringsresultaterne.

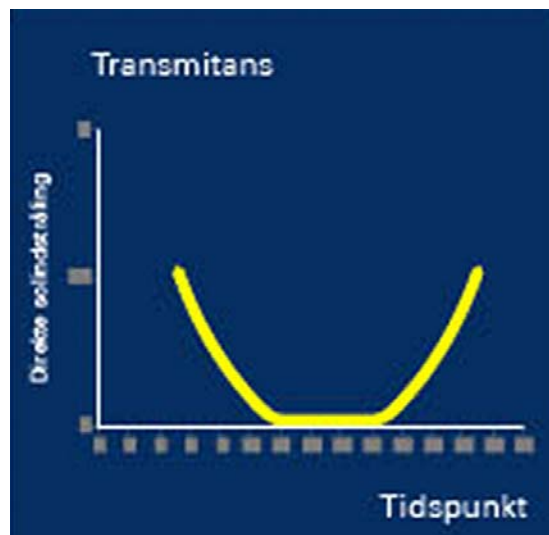
1.1. Den vinkelselektive solcelle

Den vinkelselektive solcelle er opbygget af et ikke-transparent solcelle-materiale, hvori der er huller, som lader sollys delvist passere. Afhængig af hullernes udformning kan direkte solindfald ved forskellige indfaldsvinkler afskæres, mens sollys ved andre indfaldsvinkler kan passere som vist i figur 1.1.

De her undersøgte vinkelselektive solcelle er designet så den kraftigste afskærmning af det direkte solindfald sker midt på dagen, hvor solen står højest på himmelen, og hvor overophedningsproblemer som følge af solindfald er stor. Figur 1.2 illustrerer den progressive afskærmning, der opstår som følge af vinkelselektive solceller. Midt på dagen skærmes der mest for solen.



Figur 1.1: Princippet i den vinkelselective solcelle.



Figur 1.2: Progressiv solafskræmning over dagen ved hjælp af vinkelselective solceller.

2. BuildVISION - gruppen

BuildVISION-gruppen er en del af Center for Energi i Bygninger på Teknologisk Institut. Gruppen beskæftiger sig med bygningskoncepter med det formål at skabe bygninger med godt indeklima, lavt energiforbrug samt lille miljøbelastning. Gruppen arbejder såvel med forsknings- og udviklingsopgaver som med rådgivningsopgaver for parter i byggeriet, samt gennemførelse af måleopgaver til dokumentation af f.eks. demonstrationsprojekter. Gruppens kerneeksperter ligger indenfor følgende arbejdsområder:

- Termisk indeklima – specielt i bygninger med stor solbelastning via glasfacader, atrier mv.
- Naturlig og hybrid ventilation.
- Bygningsintegreret solenergi – f.eks. i form af solvarme til forvarmning af ventilationsluft, PV-T-anlæg mv.

Gruppen råder desuden over væsentlige simuleringskompetencer indenfor bygningers indeklima, energiøkonomi, samt til analyser af solenergisystemer.

Nedenfor er en liste over væsentlige projekter som er blevet udført af buildVISION-gruppen.

NCC firmadomicil i Hellerup

Rådgivning og beregninger vedrørende termisk indeklima samt minimering af energiforbrug ved passiv køling og naturlig ventilation i forbindelse med projektering af firmadomicil.

Daimler-Chrysler dansk hovedkvarter i Københavns Sydhavn

Rådgivning og beregninger vedrørende termisk indeklima i atriumbyggeri med glasfacader, overvejelser vedrørende naturligt ventilerede dobbeltfacader og kølebehov.

NCC – Kontorbyggeri i Ørestaden

Rådgivning og beregninger vedrørende minimering af energiforbrug i kontorbyggeri under hensyntagen til det termiske indeklima i forbindelse med projektering og udvikling af forskellige løsningsforslag.

Kontorbyggeri for Kommunedata i Ballerup

Rådgivning og beregninger vedrørende termisk indeklima og energiforbrug til hhv. opvarmning og køling af kontorbyggeri.

NCC – domicilbyggeri for Håndværksrådet

Rådgivning og beregninger vedrørende udformning af arkitekttetegnet udvendig solafskærmning og dennes indvirken på bygningens termiske indeklima og dagslysforhold.

Ikast Pædagogseminarium

Rådgivning i forbindelse med projektering af energi- og miljørigtigt byggeri med naturlig ventilation, passiv køling og solenergiudnyttelse under hensyntagen til det termiske indeklima i bygningen. Efterfølgende målinger af termisk indeklima og luftkvalitet i bygningen.

3. Case

Hensigten med arbejdet i denne rapport er at sammenligne den termiske funktion af Photosolars vinkelselektive produkter med eksisterende produkter. I denne sammenligning er det valgt at tage udgangspunkt i nyere kontorbyggeri, som er kendetegnet ved ofte meget store glasarealer i facaderne og med deraf ofte følgende overophedningproblemer, som kun kan løses med kraftig solfaskærmning. Det er derfor ofte nødvendig med udvendig solaskærmning, hvilket strider mod den trend om transparens, som de senere år har domineret arkitekturen indenfor kontorbyggeri i Europa.

I de efterfølgende cases er der taget udgangspunkt i Nordeas domicil på havnefronten i København. Byggeriet er tegnet af Henning Larsens Tegnestue.

Figur 3.1 viser byggeriets nordfacader. Figuren viser den store transparens i byggeriet.



Figur 3.1: Nordfacaderne i Nordeas domicil.

Figur 3.2 viser en af sydfacaderne i byggeriet. Som det ses, har det her været nødvendigt at arbejde med udvendig solafskærmning, selv om glasset i facaden i sig selv har en stor solafskærmende effekt – se bilag A.

Den udvendige solafskærmning består som vist i figur 3.3 og 3.4 af bevægelige lameller af glas med silketryk. Lamellerne følger solens position (solhøjden) over dagen, således at al direkte solindfald rammer lamellerne.



Figur 3.2: En sydfacade i Nordeas domicil.



Figur 3.3: Den udvendige solafskærmning bestående af glaslameller med silketryk.

På grund af silketrykket på glaslamellerne er der stadig noget udsyn selv om lamellerne er lukket helt til som vist i figur 3.4.

Den samlede g-værdi for sydfacaderne er beregnet til 0,17, hvilket er lavt.

Der er som allerede nævnt opbygget en model af en del af bygningen i simuleringsprogrammet ESP-r. Denne model er nærmere beskrevet i bilag A.



Figur 3.4: Den udvendige solafskærmning hvor glaslammellerne er helt lukkede.

I de efterfølgende parameterstudier er produkterne FPS50-6 og PS5060 fra Photosolar sammenlignet med dels facaden som den er i bygningen i dag dels med en facade, hvor der er anvendt Pilkington HP Suncool, der har et stærk solafskærmende film og lavenergigruder med almindelig klart floatglas uden nogen form for solafskærmning. Det sidste for at illustrere de store potentielle problemer med overophedning, som bygningens design giver anledning til. Parameterstudier med klart floatglas er kun gennemført for København.

3.1. Beskrivelse af de fem undersøgte facader

3.1.1. Generelt

Sydfacaden har et areal på i alt 135 m² og den transparente del udgør 89.9 m². Alle cases er som udgangspunkt opbygget identisk hvad angår konstruktioner, installationer og drift. Således har klimaskærmen den samme u-værdi for alle fem cases. Det eneste, der ændres fra case til case, er sydfacadens solafskærmende egenskaber. For en mere detaljeret gennemgang af modellen henvises til Bilag A - Modellens opbygning.

3.1.2. Facader

Nuværende

Glasfacade med udvendig solafskærmning med en samlet g-værdi på 0,17 som vist ovenfor. Pilkington HP Suncool er monteret som den transparente del af sydfacaden.

Suncool

Pilkington HP Suncool monteret som den transparente del af sydfacaden med en samlet g-værdi på 0,35. Pilkington HP Suncool er en energirude med en solafskærmende coating. Ingen udvendig solafskærmning.

FPS50-6

Photosolar produkt monteret i forsatsrude i den transparente del af sydfacaden. 80 cm bagved forsatsruden er en energirude med klart glas monteret. Ingen udvendig solafskærmning.

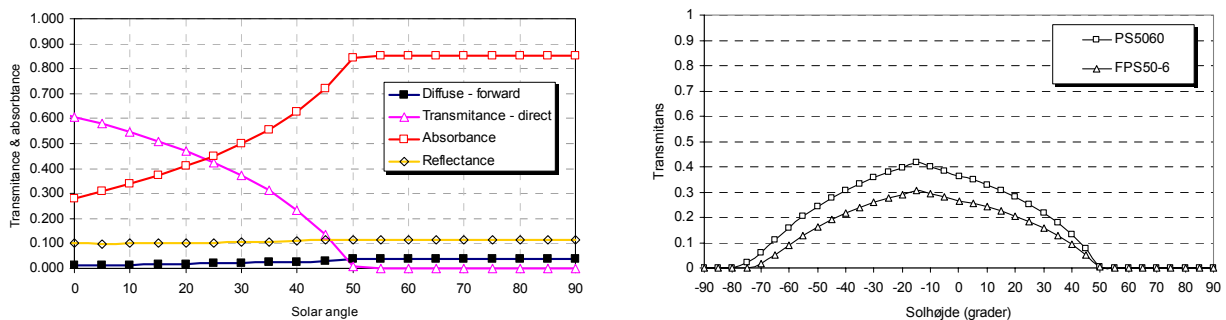
PS5060

Photosolar produkt monteret på ydersiden af en energirude med klart glas og monteret som den transparente del af sydfacaden. Ingen udvendig solafskærmning.

Floatglas

Traditionelt klar lavenergirude med floatglas monteret som den transparente del af sydfacaden. Ingen udvendig solafskærmning.

Figur 3.5 viser dels effekten af de to undersøgte produkter PS5060 og FPS50-6, hvor der anvendes samme type vinkelselektive solceller, men placeret forskelligt i vinduet. Som det ses af figur 1, afskærer de to undersøgte produkter for al direkte solindfald ved solhøjder større end 50 med en gradvis afskæring op til denne solhøjder.



Figur 3.5: Effekten af vinkelselektive solceller på transmittansen af sollys som funktion af solhøjden. Grafen til venstre viser funktionen af de anvendte solceller separat, mens grafen til højre viser effekten af solcellerne placeret i et vindue. I PS5060 er de vinkelselektive solceller placeret på det yderste glas i en traditionel klar energirude. I FPS50-6 er de vinkelselektive solceller placeret på en enkeltrude, som igen er placeret 80 cm foran en traditionel klar energirude.

3.2. Lokalteter

Da den solafskærmende effekt af Photosolars produkter er afhængig af den aktuelle solhøjde, er der gennemført parameterstudier ikke blot for København, men også for München og Palarmo, hvor solen står højere på himlen.

For hver case er følgende analyseområder kortlagt

- Kølebehov for én etage
- Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde
- Komfortforhold

4. Parameteranalyse og resultater

4.1. København

4.1.1. Kølebehov for én etage

I modellen installeres et køleanlæg med setpunkttemperatur på 24 °C. Køleanlægget er aktivt døgnet rundt hele året. Det antages i beregningerne af elforbrug til køling, at COP-faktoren for køleanlægget er 4. I nedenstående tabel kan ses de beregnede årlige kølebehov (for en etage på 640 m²) for de fem cases, et anslået kølebehov for denne type bygning (Faktiske kølebehov) også for en etage på 640 m² og elforbrug til køling beregnet ud fra de "faktiske kølebehov". Faktiske kølebehov for Nuværende er baseret på aktuelt målt kølebehov i bygningen. Det har ikke været muligt at få overensstemmelse mellem det faktiske kølebehov for bygningen, som den ser ud i dag, og det beregnede kølebehov, fordi driften af bygningen ikke har kunne simuleres korrekt – dels på grund af modeltekniske årsager, dels fordi der er en del usikkerhed om den aktuelle drift. I kolonnen Beregnede kølebehov er Nuværende derfor sat til 100 %, mens scenarierne kølebehov vises relativt i forhold til Nuværende. De relative forhold for scenariernes kølebehov er anvendt til at generere Faktiske kølebehov for scenarierne.

| Facadeløsning | Beregnede kølebehov (%) | Faktiske kølebehov (kWh) | Elforbrug til køling (kWh) |
|---------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Nuværende | 100 | 25200 - 37800 | 6300 - 9450 |
| FPS50-6 | 132 | 33180 - 49768 | 8295 - 12442 |
| PS5060 | 117 | 29554 - 44327 | 7389 - 11082 |
| Suncool | 179 | 44996 - 67490 | 11249 - 16873 |
| Floatglas | 307 | 77367 - 116045 | 19342 - 29011 |

Tabel 4.1: Kølebehov og elforbrug til køling for de fem cases

Hovedkonklusioner

- FPS50-6 performer en del dårligere end PS5060. Det skyldes, at FPS50-6 med forsatsruden får en bedre isolerende klimaskærm mod syd, og det resulterer i et mindre varmetab som dermed fører til en anelse højere temperaturer i de sydvendte kontorer.
- Nuværende har det laveste kølebehov. Kølebehovet er 17 % højere med PS5060 og 32 % højere med FPS50-6. Suncool og Floatglas har de højeste kølebehov: henholdsvis 79 og 207 % højere end i dag.
- Det faktiske el-forbrug til køling for én etage i Nordea-domicilet ligger på omkring 6300 til 9450 kWh/år.

4.1.2. Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde

For at underbygge de ovenstående resultater for kølebehov er der udarbejdet en statistik over temperaturen i det sydvendte kontorområde. Statistikken er baseret på årssimuleringer, og der er ikke an-

vendt noget filter på optællingen af timer. Det vil sige at eksempelvis timer med høje temperaturer, som falder i weekender, tæller med i statistikken. I disse simuleringer er der ikke noget køleanlæg i bygningen.

| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C – Vinter | | | | | |
|--|-----|-------|---------|--------|---------|
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >26 C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >27 C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27 C - Forår | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 2 | 8 | 5 | 3 | 3 |
| >26 C | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 |
| >27 C | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C - Sommer | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 130 | 450 | 269 | 171 | 184 |
| >26 C | 67 | 275 | 133 | 85 | 94 |
| >27 C | 27 | 153 | 70 | 34 | 40 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C - Efterår | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 0 | 27 | 3 | 0 | 0 |
| >26 C | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| >27 C | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 4.2: Temperaturstatistik for sydvendt kontor fordelt på de fire årstider

Hovedkonklusioner

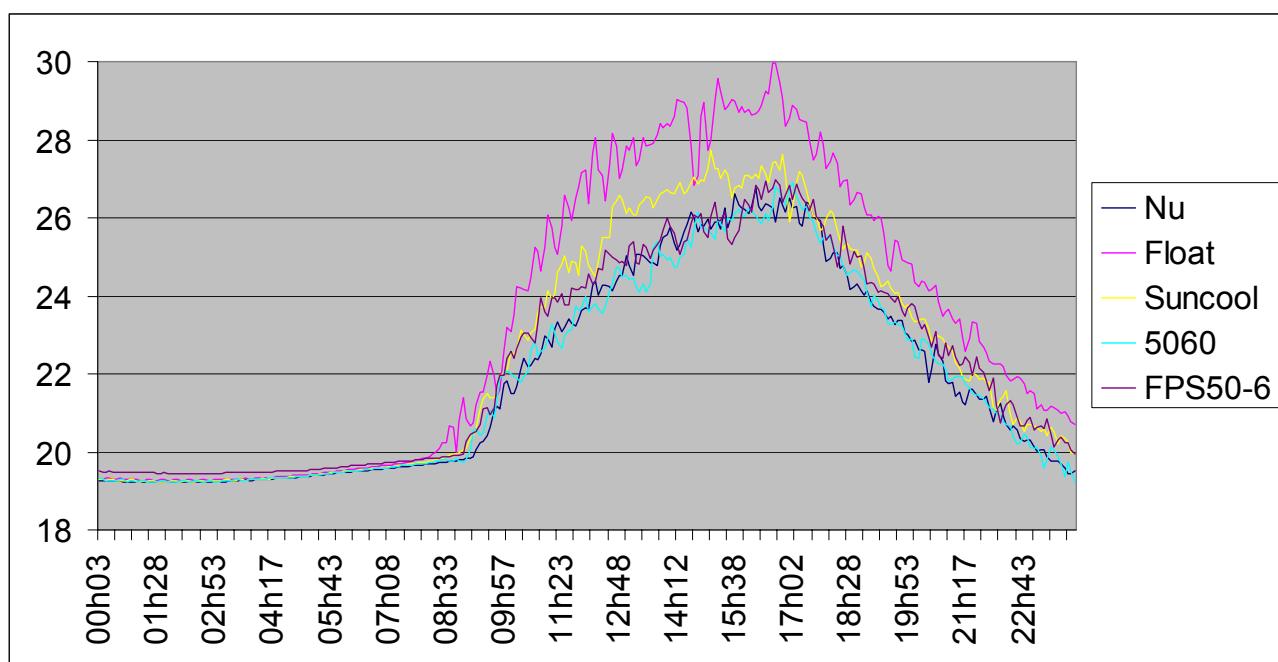
- Det fremgår af resultaterne, at stort set alle timer med overtemperatur ligger i sommerperioden.
- FPS50-6 performer en anelse dårligere end PS5060. Det skyldes at FPS50-6 med forsatsruden får en bedre isolerende klimaskærm mod syd. Det resulterer i et mindre varmetab som dermed fører til en anelse højere temperaturer i de sydvendte kontorer.
- Nuværende har de færreste timer over 26°C. PS5060 har 27% og FPS50-6 har 40% flere timer over 26°C, mens Suncool og Ingen solafskærmning har henholdsvis 207 og 401% flere timer over 26°C.

4.1.3. Komfortforhold

Komfortforholdene i bygningen er undersøgt ud fra to størrelser: Indetemperaturen og det direkte solindfald. For at beskrive forholdene er det nødvendigt at udvælge en dag på året som er særlig kritisk med hensyn til solindfald. I referenceåret TRY er d. 3. juni et eksempel på en dag, hvor solindfaldet er maksimalt, og derfor er denne dag velegnet som testdag.

4.1.3.1. Temperaturer i bygningen

Nedenstående graf viser temperaturforløbet i det sydvendte kontorområde den pågældende sommerdag. Det nøjagtige målepunkt er markeret som T₂ i Bilag A figur A.1



Figur 4.1: Temperaturforløb for sydvendt kontor for de fem cases

Figur 4.1 viser stort set samme billede for den nuværende situation og situationerne med henholdsvis PS5060 og FPS50-6, mens Suncool og især float glas leder til højere temperaturer i bygningen.

I nedenstående tabel kan de energimængder, som overføres fra relevante overflader, ses. Placeringen af de nøjagtige målepunkter kan ses som punkterne T₁, T₂ og T₃ i Bilag A figur A.1.

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af resultaterne at de beregnede energimængder understøtter temperaturkurven den pågældende dag. Energinøgletallenes indbyrdes forhold underbygger temperaturkurvens forløb.
- Værdierne er et generelt udtryk for opvarmningen af interiøret i bygningen som følge af solindfald fra sydfacaden.

- I energimængderne er også indeholdt andre varmebidrag fra eksempelvis personer, udstyr og solindfald fra nordfacaden. Men da disse sidstnævnte varmelaster er ens i alle fem cases, er forskellen fra case til case altså et udtryk for sydfacadens afskærmende performance.

| Konvektiv energi overført fra gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | | |
|--|-------|--------|---------|--------|---------|
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.356 | 3.881 | 1.43 | 0.699 | 0.886 |
| Kontor syd - T ₂ | 2.703 | 10.965 | 5.023 | 4.094 | 4.423 |
| Kontor midt - T ₃ | 9.302 | 14.863 | 11.045 | 11.122 | 10.183 |
| Konvektiv energi overført fra omgivende zoner til de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 1.287 | 5.799 | 4.306 | 0.797 | 1.961 |
| Kontor syd - T ₂ | 1.618 | 4.363 | 2.872 | 1.809 | 2.297 |
| Kontor midt - T ₃ | 5.738 | 7.739 | 6.72 | 6.476 | 6.068 |
| Energi som bidrager til opvarmningen af zonerne i kWh | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 1.643 | 9.68 | 5.736 | 1.496 | 2.847 |
| Kontor syd - T ₂ | 4.321 | 15.328 | 7.895 | 5.903 | 6.72 |
| Kontor midt - T ₃ | 15.04 | 22.602 | 17.765 | 17.598 | 16.251 |
| Energi som bidrager til opvarmningen af zonerne i kWh/m ² | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.169 | 0.993 | 0.588 | 0.153 | 0.292 |
| Kontor syd - T ₂ | 0.068 | 0.241 | 0.124 | 0.093 | 0.106 |
| Kontor midt - T ₃ | 0.074 | 0.112 | 0.088 | 0.087 | 0.080 |

Tabel 4.3: Energinøgletal for tre relevante zoner i bygningen

4.1.3.2. Direkte solindfald

I nedenstående tabel kan ses det direkte solindfald forskellige steder i bygningen.

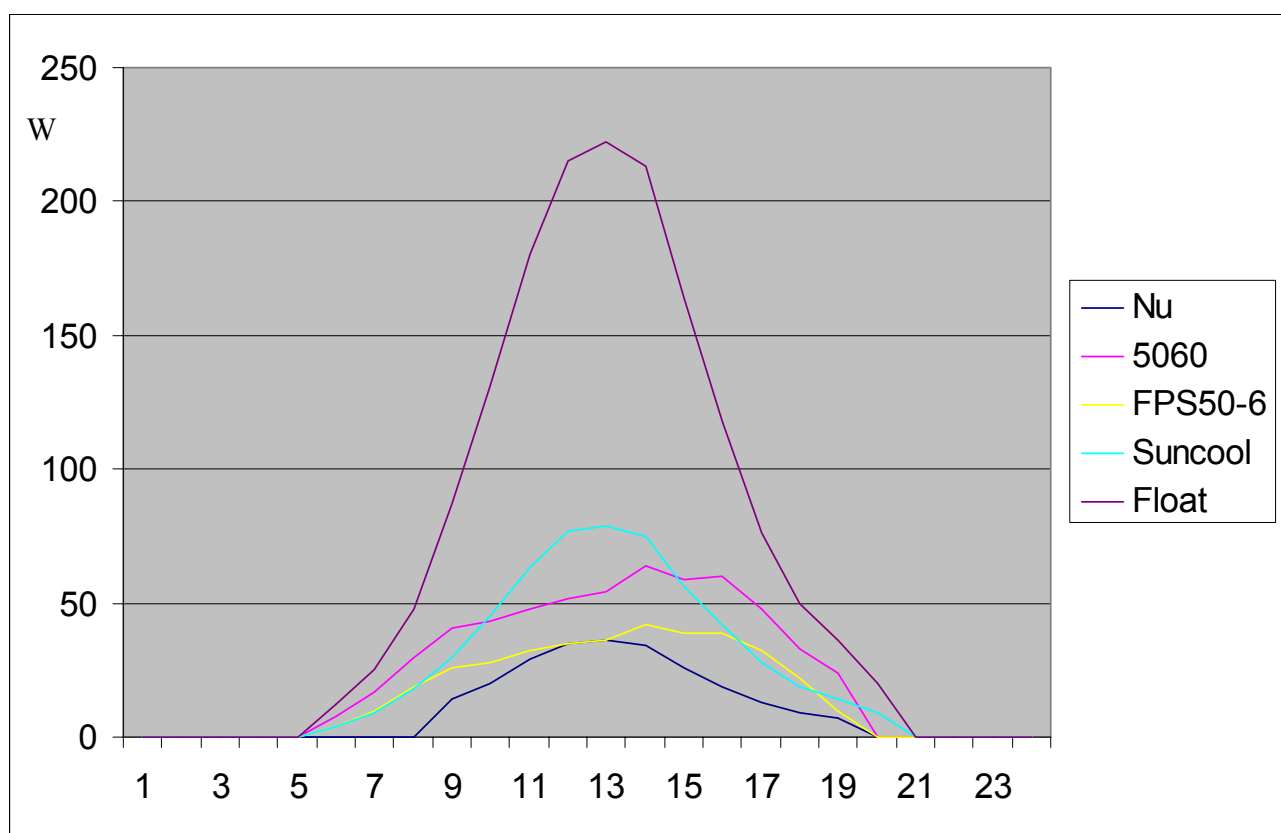
| Kortbølget energi som rammer gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | | |
|---|-------|--------|---------|--------|---------|
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 1.409 | 9.59 | 3.285 | 3.429 | 2.285 |
| Kontor syd - T ₂ | 3.155 | 19.241 | 6.833 | 7.169 | 4.726 |
| Kontor midt - T ₃ | 7.18 | 18.713 | 9.783 | 10.059 | 7.332 |
| Kortbølget energi som rammer gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh/m ² | | | | | |
| | Nu | Float | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.14 | 0.98 | 0.34 | 0.35 | 0.23 |
| Kontor syd - T ₂ | 0.05 | 0.30 | 0.11 | 0.11 | 0.07 |
| Kontor midt - T ₃ | 0.04 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |

Tabel 4.4: Direkte solindfald fordelt på de tre zoner

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af resultaterne at den nuværende løsning afskærmer mest direkte solindstråling. Dernæst kommer løsningen FPS50-6.
- Det fremgår yderligere at forskellen af effekten af solafskærmingen aftager længere inde i bygningen.
- Værdierne er et udtryk for hvor stort det direkte solindfald i bygningen er. Værdierne er således ikke direkte et udtryk for hvor stor opvarmningen af interiøret bliver.

På nedenstående figur ses, hvorledes det direkte solindfald, som rammer gulvet i det sydvendte kontorområde, varierer over dagen den 3. juni.



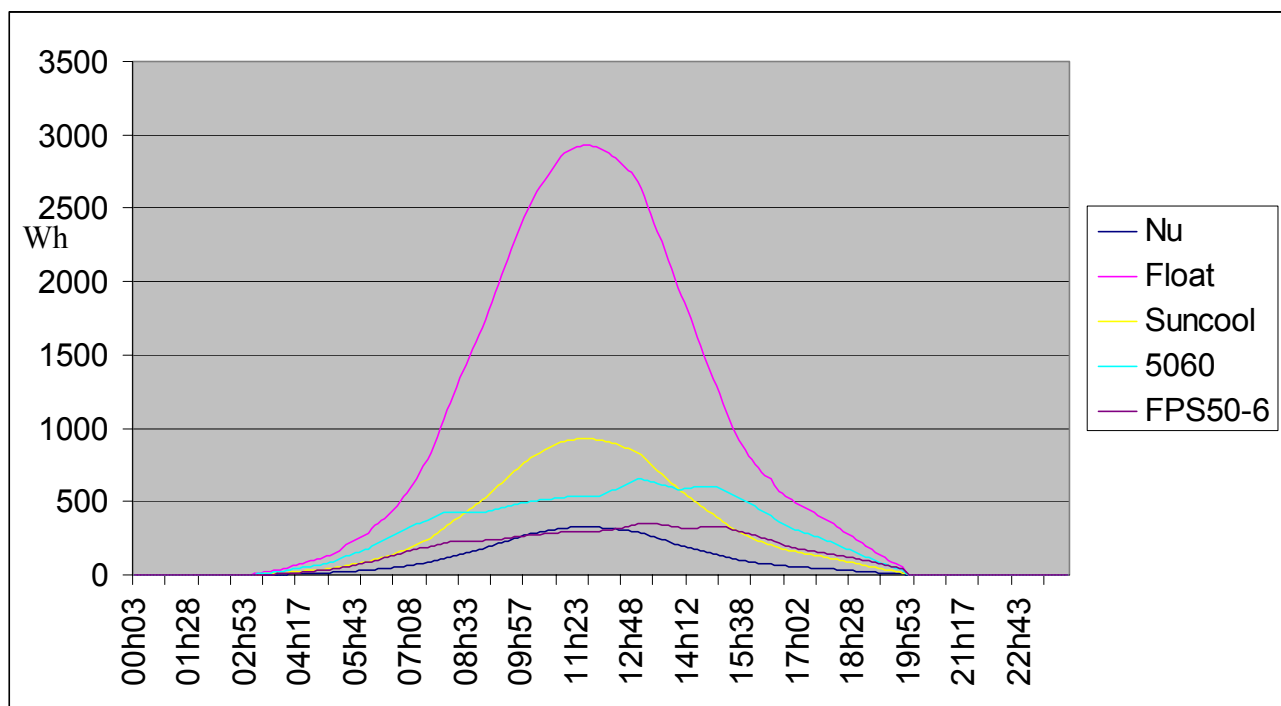
Figur 4.2: Direkte solindfald på gulvet i det sydvendte kontorområde.

Hovedkonklusioner

- Photosolar-produktet PS5060 lukker mindre lys ind midt på dagen i forhold til Suncool, men lukker til gengæld mere lys ind om eftermiddagen.
- Photosolar-produkterne giver en reduktion i udsvingene i lysindfald set over dagen i forhold til floatglas og Suncool.

På nedenstående figur ses energien som tilflyder bygningen gennem den transparente del af sydfacaden fordelt over dagen den 3. juni.

Kurverne er et udtryk for mængden af solenergi der passerer direkte ind i bygningen. Kurverne kan således bruges til at tolke de forskellige afskærmningsløsningers evne til at holde solenergi væk fra selve bygningen. Kurverne er ikke direkte sammenlignelige med kølebehovene i bygningen, da der i beregningerne for kølebehov indgår en lang række andre parametre så som bygningens evne til at skille sig af med varme (u-værdier for konstruktioner) og absorberet energimængder i konstruktioner osv.



Figur 4.3: Samlet energimængde som tilflyder bygningen gennem sydfacaden i Wh

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af kurverne at den nuværende facadeløsning er den mest effektivt afskærmende løsning, mens FPS50-6 produktet performer næsten lige så godt.
- Produktet PS5060 performer bedre end Suncool midt på dagen, men efter kl. 15.15 (sommertid) performer Suncool bedre.
- Det fremgår også, at den Photosolar-produkterne er mest effektive midt på dagen, hvor solen står i stik syd, mens den afskærmende effekt aftager relativt senere på dagen, hvor solhøjden er lavere.

4.1.4. Konklusion

Simuleringsresultaterne giver anledning til følgende hovedkonklusioner:

- Kølebehovet er reduceret ved brug af PhotoSolar-produkter set i forhold til de mest avancerede solafskærmende glas, der findes på markedet i dag.
- På en sommerdag med høj solindstråling vil temperaturforløbet over dagen med PS5060-produktet stort set være identisk med eksisterende facadeløsning, der har udvendig solafskærmning og derfor en meget lav g-værdi på 0,17.
- Photosolar-produkterne foran klar float glas lukker ca. den samme mængde lys ind i bygningen ved solindfald vinkelret på glasset som de mest avancerede solafskærmende glas, der findes på markedet i dag, eksempelvis Pilkington HP Suncool Clear.
- Photosolar-produkter performer bedst, når solen står i stik syd, mens effekten aftager relativt efterhånden, som solen bevæger sig mod vest på grund af den lavere solhøjde.

4.2. München

4.2.1. Kølebehov for én etage

I modellen installeres et køleanlæg med setpunkttemperatur på 24 °C. Køleanlægget er aktivt døgnet rundt hele året. Det antages i beregningerne af elforbrug til køling, at COP-faktoren for køleanlægget er 4. I nedenstående tabel kan ses de beregnede årlige kølebehov (for en etage på 640 m²) for de fire cases, et anslået kølebehov for denne type bygning (Faktiske kølebehov) og elforbrug til køling beregnet ud fra de "faktiske kølebehov". Faktiske kølebehov for Nuværende er baseret på nøgletal for tilsvarende eksisterende bygninger i München. Det har ikke været muligt at få overensstemmelse mellem Faktiske kølebehov for bygningen, og det beregnede kølebehov, da det er forskellige bygninger, der er tale om. I kolonnen Beregnede kølebehov er Nuværende derfor sat til 100 %, mens scenariernes kølebehov vises relativt i forhold til Nuværende. De relative forhold for scenariernes kølebehov er anvendt til at generere Faktiske kølebehov for scenariernes.

| Facadeløsning | Beregnede kølebehov (%) | Faktiske kølebehov (kWh) | Elforbrug til køling (kWh) |
|---------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Nuværende | 100 | 47672 - 71508 | 11918 - 17877 |
| FPS50-6 | 120 | 57300 - 85945 | 14325 - 21486 |
| PS5060 | 117 | 55828 - 83738 | 13957 - 20935 |
| Suncool | 153 | 72896 - 109338 | 18224 - 27335 |

Tabel 4.5: Kølebehov og elforbrug til køling for de fire cases

Hovedkonklusioner

- FPS50-6 performer en anelse dårligere end PS5060. Det skyldes, at FPS50-6 med forsatsrudden får en bedre isolerende klimaskærm mod syd, og det resulterer i et mindre varmetab som dermed fører til en anelse højere temperaturer i de sydvendte kontorer.
- Nuværende har det laveste kølebehov. Kølebehovet er 17 % højere med PS5060 og 20 % højere med FPS50-6. Suncool har det højeste kølebehov: 53 % højere end i dag.
- Det faktiske el-forbrug til køling for én etage i Nordea-domicilet beliggende i München kendes ikke, men estimeres til omkring 11918 til 17877 kWh/år.

4.2.2. Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde

For at underbygge de ovenstående resultater for kølebehov er der udarbejdet en statistik over temperaturen i det sydvendte kontorområde. Statistikken er baseret på årssimuleringer, og der er ikke anvendt noget filter på optællingen af timer. Det vil sige, at eksempelvis timer med høje temperaturer, som falder i weekender, tæller med i statistikken. I disse simuleringer er der ikke noget køleanlæg i bygningen.

| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C – Vinter | | | | |
|--|-----|---------|--------|---------|
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >26 C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >27 C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C - Forår | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 18 | 40 | 20 | 26 |
| >26 C | 5 | 15 | 8 | 10 |
| >27 C | 1 | 9 | 1 | 0 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C – Sommer | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 265 | 395 | 302 | 345 |
| >26 C | 169 | 275 | 180 | 212 |
| >27 C | 97 | 171 | 111 | 127 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27 C – Efterår | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 27 | 51 | 30 | 26 |
| >26 C | 16 | 26 | 15 | 14 |
| >27 C | 7 | 15 | 8 | 5 |

Tabel 4.6: Temperaturstatistik for sydvendt kontor fordelt på de fire årstider

Hovedkonklusioner

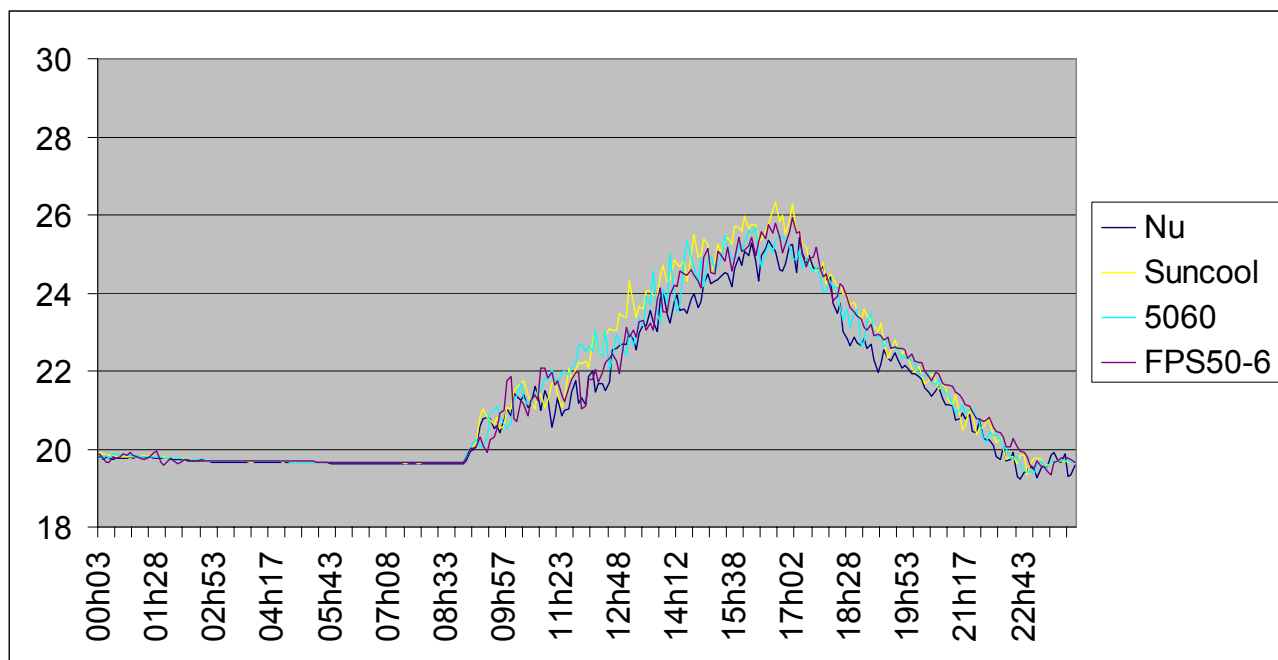
- Det fremgår af resultaterne, at hovedparten af timer med overtemperatur ligger i sommerperioden.
- FPS50-6 performer en anelse dårligere end PS5060. Det skyldes at FPS50-6 med forsatsruden får en bedre isolerende klimaskærm mod syd. Det resulterer i et mindre varmetab som dermed fører til en anelse højere temperaturer i de sydvendte kontorer.
- Nuværende har de færreste timer over 26°C. PS5060 har 7% og FPS50-6 har 25% flere timer over 26°C, mens Suncool har 63% flere timer over 26°C.

4.2.3. Komfortforhold

Komfortforholdene i bygningen er undersøgt ud fra to størrelser: Indetemperaturen og det direkte solindfald. For at beskrive forholdene er det nødvendigt at udvælge en dag på året som er særlig kritisk med hensyn til solindfald. I referenceåret for München er d. 14. juli et eksempel på en dag, hvor solindfaldet er maksimalt, og derfor er denne dag velegnet som testdag.

4.2.3.1. Temperaturer i bygningen

Nedenstående graf viser temperaturforløbet i det sydvendte kontorområde den pågældende sommerdag. Det nøjagtige målepunkt er markeret som T₂ i Bilag A figur A.1



Figur 4.4: Temperaturforløb for sydvendt kontor for de fire cases

Temperaturkurverne for de fire cases er ikke nær så forskellige som tilfældet var for simuleringen for København. Det skyldes primært, at den pågældende sommerdag i München var relativt kølig med en maksimaltemperatur på ca. 18 grader Celsius. Det forholdsvis store luftskifte direkte med udeluft minimerer således forskellene i temperaturer.

I nedenstående tabel kan de energimængder, som overføres fra relevante overflader, ses. Placeringen af de nøjagtige målepunkter kan ses som punkterne T₁, T₂ og T₃ i Bilag A figur A.1.

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af resultaterne at de beregnede energimængder understøtter temperaturkurven den pågældende dag. Energinøgletallenes indbyrdes forhold underbygger temperaturkurvens forløb.
- Værdierne er et generelt udtryk for opvarmningen af interiøret i bygningen som følge af solindfald fra sydfacaden.
- I energimængderne er også indeholdt andre varmebidrag fra eksempelvis personer, udstyr og solindfald fra nordfacaden. Men da disse sidstnævnte varmelaster er ens i alle fire cases, er forskellen fra case til case altså et udtryk for sydfacadens afskærmende performance.

| Konvektiv energi overført fra gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | |
|--|--------|---------|--------|---------|
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.229 | 0.892 | 0.901 | 0.919 |
| Kontor syd - T ₂ | 2.589 | 4.262 | 4.696 | 4.458 |
| Kontor midt - T ₃ | 9.034 | 10.842 | 11.321 | 10.782 |
| Konvektiv energi overført fra omgivende zoner til de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.492 | 0.983 | 0.754 | 1.821 |
| Kontor syd - T ₂ | 1.640 | 2.338 | 2.197 | 2.348 |
| Kontor midt - T ₃ | 5.797 | 6.419 | 6.663 | 6.468 |
| Energi som bidrager til opvarmningen af zonerne i kWh | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.721 | 1.875 | 1.655 | 2.740 |
| Kontor syd - T ₂ | 4.229 | 6.600 | 6.893 | 6.806 |
| Kontor midt - T ₃ | 14.831 | 17.261 | 17.984 | 17.25 |
| Energi som bidrager til opvarmningen af zonerne i kWh/m ² | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.074 | 0.193 | 0.170 | 0.281 |
| Kontor syd - T ₂ | 0.066 | 0.104 | 0.108 | 0.107 |
| Kontor midt - T ₃ | 0.073 | 0.085 | 0.089 | 0.085 |

Tabel 4.7: Energinøgletal for tre relevante zoner i bygningen

4.2.3.2. Direkte solindfald

I nedenstående tabel kan ses det direkte solindfald forskellige steder i bygningen.

| Kortbølget energi som rammer gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | |
|---|-------|---------|--------|---------|
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.918 | 2.180 | 3.197 | 1.996 |
| Kontor syd - T ₂ | 2.158 | 4.644 | 6.672 | 4.221 |
| Kontor midt - T ₃ | 5.920 | 7.737 | 9.203 | 6.557 |
| Kortbølget energi som rammer gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh/m ² | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.094 | 0.224 | 0.328 | 0.205 |
| Kontor syd - T ₂ | 0.034 | 0.073 | 0.105 | 0.066 |
| Kontor midt - T ₃ | 0.029 | 0.038 | 0.045 | 0.032 |

Tabel 4.8: Direkte solindfald fordelt på de tre zoner

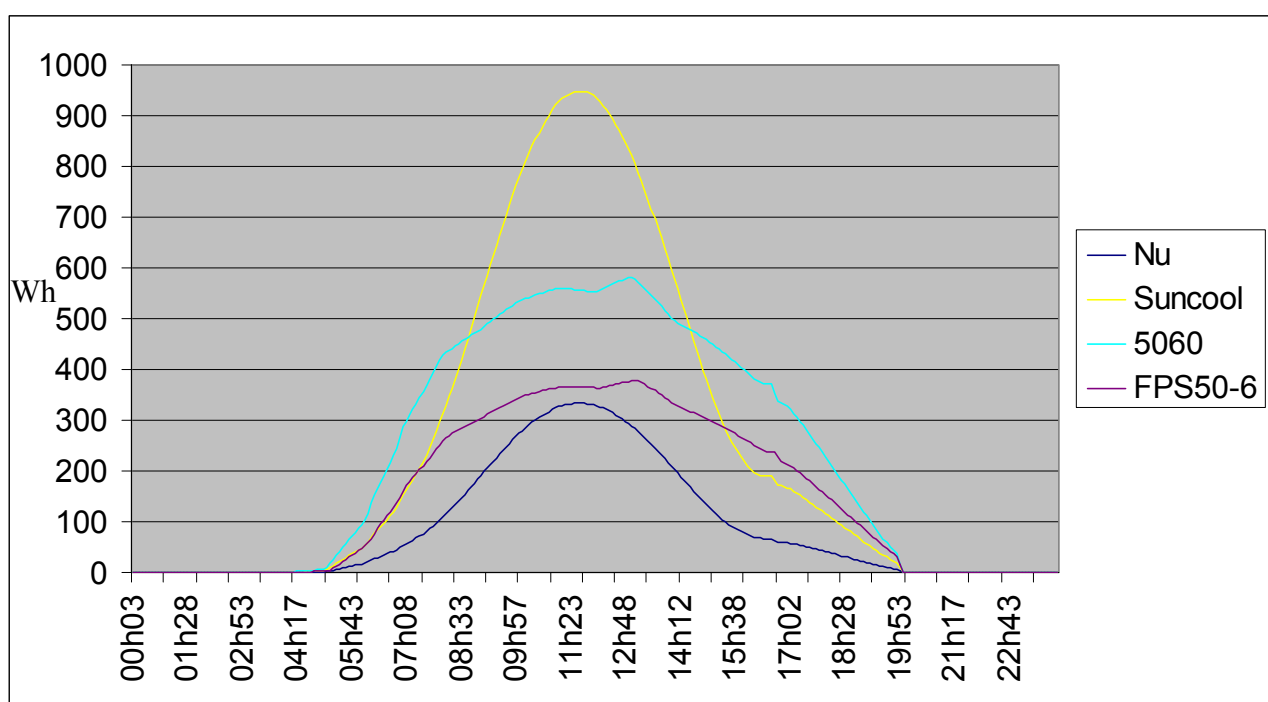
Hovedkonklusioner

- Det fremgår af resultaterne at den nuværende løsning afskærmer mest direkte solindstråling. Dernæst kommer løsningen FPS50-6.

- Det fremgår yderligere at forskellen af effekten af solafskærmningen aftager længere inde i bygningen.
- Værdierne er et udtryk for hvor stort det direkte solindfald i bygningen er. Værdierne er således ikke direkte et udtryk for hvor stor opvarmningen af interiøret bliver.

På nedenstående figur ses energien som tilflyder bygningen gennem den transparente del af sydfacaden fordelt over dagen den 11. juli. Årsagen til at dagen den 11. juli er anvendt og ikke den 14. juli, er at der den 14. juli er en skyggeperiode om formiddagen, som forstyrrer billedet af det samlede forløb for den tilflydende energi.

Kurverne er et udtryk for mængden af solenergi der passerer direkte ind i bygningen. Kurverne kan således bruges til at tolke de forskellige afskærmningsløsningers evne til at holde solenergi væk fra selve bygningen. Kurverne er ikke direkte sammenlignelige med kølebehovene i bygningen, da der i beregningerne for kølebehov indgår en lang række andre parametre så som bygningens evne til at skille sig af med varme (u-værdier for konstruktioner) og absorberet energimængder i konstruktioner osv.



Figur 4.5: Samlet energimængde som tilflyder bygningen gennem sydfacaden i Wh

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af kurverne at den nuværende facadeløsning er den mest effektivt afskærmende løsning, mens FPS50-6 produktet performer næsten lige så godt.
- Produktet PS5060 performer bedre end Suncool midt på dagen, men efter kl. 15.30 (sommertid) performer Suncool bedre.

- Det fremgår også, at Photosolar-produkterne er mest effektive midt på dagen, hvor solen står i stik syd, mens den afskærmende effekt aftager relativt senere på dagen, hvor solhøjden er lavere.

4.2.4. Konklusion

Simuleringsresultaterne giver anledning til følgende hovedkonklusioner:

- Opvarmningsbehovet er reduceret ved brug af PhotoSolar-produkter set i forhold til de mest avancerede solafskærmende glas, der findes på markedet i dag.
- På en sommerdag med høj solindstråling vil temperaturforløbet over dagen med PS5060-produktet stort set være identisk med eksisterende facadeløsning, der har udvendig solafskærmning og derfor en meget lav g-værdi på 0,17.
- Photosolar-produkter performer bedst, når solen står i stik syd, mens effekten aftager relativt efterhånden, som solen bevæger sig mod vest på grund af den lavere solhøjde.

4.3. Palermo

4.3.1. Kølebehov for én etage

I modellen installeres et køleanlæg med setpunkttemperatur på 24 °C. Køleanlægget er aktivt døgnet rundt hele året. Det antages i beregningerne af elforbrug til køling, at COP-faktoren for køleanlægget er 4. I nedenstående tabel kan ses de beregnede årlige kølebehov (for en etage på 640 m²) for de fire cases, et anslået kølebehov for denne type bygning (Faktiske kølebehov) og elforbrug til køling beregnet ud fra de "faktiske kølebehov". Faktiske kølebehov for Nuværende er baseret på nøgletal for tilsvarende eksisterende bygninger i Palermo. Det har ikke været muligt at få overensstemmelse mellem Faktiske kølebehov for bygningen, og det beregnede kølebehov, da det er forskellige bygninger, der er tale om. I kolonnen Beregnede kølebehov er Nuværende derfor sat til 100 %, mens scenariernes kølebehov vises relativt i forhold til Nuværende. De relative forhold for scenariernes kølebehov er anvendt til at generere Faktiske kølebehov for scenarierne.

| Facadeløsning | Beregnede kølebehov (%) | Faktiske kølebehov (kWh) | Elforbrug til køling (kWh) |
|---------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Nuværende | 100 | 54432 – 80640 | 13608 – 20160 |
| FPS50-6 | 107 | 58129 - 86104 | 14532 – 21526 |
| PS5060 | 102 | 55610 – 82373 | 13903 – 20594 |
| Suncool | 123 | 66827 – 98989 | 16707 – 24747 |

Tabel 4.9: Kølebehov og elforbrug til køling for de fire cases

Hovedkonklusioner

- FPS50-6 performer en anelse dårligere end PS5060. Det skyldes, at FPS50-6 med forsatsrudden får en bedre isolerende klimaskærm mod syd, og det resulterer i et mindre varmetab som dermed fører til en anelse højere temperaturer i de sydvendte kontorer.
- Nuværende har det laveste kølebehov. Kølebehovet er 2 % højere med PS5060 og 7 % højere med FPS50-6. Suncool har det højeste kølebehov: 23 % højere end i dag.
- Det faktiske el-forbrug til køling for én etage i Nordea-domicilet er estimeret til at ligge omkring 13608 til 20160 kWh/år.

4.3.2. Temperaturstatistik for sydvendt kontorområde

For at underbygge de ovenstående resultater for kølebehov er der udarbejdet en statistik over temperaturen i det sydvendte kontorområde. Statistikken er baseret på årssimuleringer, og der er ikke anvendt noget filter på optællingen af timer. Det vil sige, at eksempelvis timer med høje temperaturer, som falder i weekender, tæller med i statistikken. I disse simuleringer er der ikke noget køleanlæg i bygningen.

| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C – Vinter | | | | |
|--|------|---------|--------|---------|
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >26 C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| >27 C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C - Forår | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 167 | 317 | 203 | 207 |
| >26 C | 103 | 216 | 127 | 133 |
| >27 C | 56 | 102 | 76 | 83 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27°C – Sommer | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 1958 | 2051 | 1982 | 2026 |
| >26 C | 1776 | 1924 | 1815 | 1891 |
| >27 C | 1563 | 1751 | 1621 | 1714 |
| Antal timer hvor temperaturen overskrider 25, 26 og 27 C – Efterår | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| >25 C | 940 | 1101 | 931 | 1101 |
| >26 C | 757 | 957 | 755 | 957 |
| >27 C | 552 | 795 | 564 | 795 |

Tabel 4.10: Temperaturstatistik for sydvendt kontor fordelt på de fire årstider

Hovedkonklusioner

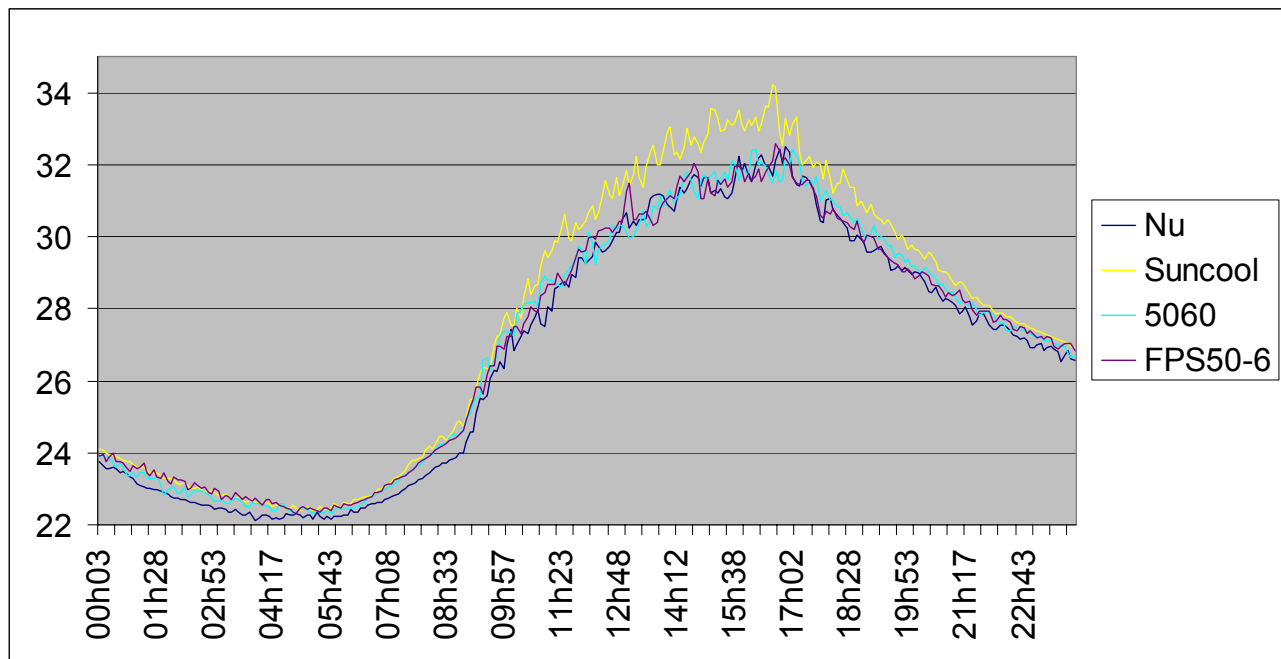
- Det fremgår af resultaterne, at hovedparten af timer med overtemperatur ligger i sommerperioden, men også foråret og specielt efteråret har mange timer med overtemperatur.
- FPS50-6 performer en anelse dårligere end PS5060. Det skyldes, at FPS50-6 med forsatsrudden får en bedre isolerende klimaskærm mod syd. Det resulterer i et mindre varmetab som dermed fører til en anelse højere temperaturer i de sydvendte kontorer.
- Nuværende har de færreste timer over 26°C. PS5060 har 2% og FPS50-6 har 6% flere timer over 26°C, mens Suncool har 8% flere timer over 26°C.

4.3.3. Komfortforhold

Komfortforholdene i bygningen er undersøgt ud fra to størrelser: Indetemperaturen og det direkte solindfald. For at beskrive forholdene er det nødvendigt at udvælge en dag på året som er særlig kritisk med hensyn til solindfald. I referenceåret for Palermo er d. 10. juli et eksempel på en dag, hvor solindfaldet er maksimalt, og derfor er denne dag velegnet som testdag.

4.3.3.1. Temperaturer i bygningen

Nedenstående graf viser temperaturforløbet i det sydvendte kontorområde den pågældende sommerdag. Det nøjagtige målepunkt er markeret som T₂ i Bilag A figur A.1



Figur 4.6: Temperaturforløb for sydvendt kontor for de fire cases

Figur 4.6 viser stort set samme billede for den nuværende situation og situationerne med henholdsvis PS5060 og FPS50-6, mens Suncool leder til en højere temperatur i bygningen.

I nedenstående tabel kan de energimængder, som overføres fra relevante overflader, ses. Placeringen af de nøjagtige målepunkter kan ses som punkterne T₁, T₂ og T₃ i Bilag A figur A.1.

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af resultaterne at de beregnede energimængder understøtter temperaturkurven den pågældende dag. Energinøgletallenes indbyrdes forhold underbygger temperaturkurvens forløb.
- Værdierne er et generelt udtryk for opvarmningen af interiøret i bygningen som følge af solindfald fra sydfacaden.
- I energimængderne er også indeholdt andre varmebidrag fra eksempelvis personer, udstyr og solindfald fra nordfacaden. Men da disse sidstnævnte varmelaster er ens i alle fire cases, er forskellen fra case til case altså et udtryk for sydfacadens afskærmende performance.

| Konvektiv energi overført fra gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | |
|--|--------|---------|--------|---------|
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.325 | 1.246 | 0.702 | 0.827 |
| Kontor syd - T ₂ | 1.681 | 3.541 | 2.723 | 1.908 |
| Kontor midt - T ₃ | 6.430 | 8.050 | 7.517 | 7.189 |
| Konvektiv energi overført fra omgivende zoner til de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 1.179 | 3.846 | 1.096 | 1.787 |
| Kontor syd - T ₂ | 1.296 | 2.657 | 1.565 | 1.745 |
| Kontor midt - T ₃ | 5.268 | 5.621 | 5.344 | 5.182 |
| Energi som bidrager til opvarmningen af zonerne i kWh | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 1.504 | 5.092 | 1.798 | 2.614 |
| Kontor syd - T ₂ | 2.977 | 6.198 | 4.288 | 3.653 |
| Kontor midt - T ₃ | 11.698 | 13.671 | 12.861 | 12.371 |
| Energi som bidrager til opvarmningen af zonerne i kWh/m ² | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.154 | 0.522 | 0.184 | 0.268 |
| Kontor syd - T ₂ | 0.047 | 0.097 | 0.067 | 0.057 |
| Kontor midt - T ₃ | 0.058 | 0.068 | 0.064 | 0.061 |

Tabel 4.11: Energinøgletal for tre relevante zoner i bygningen

4.3.3.2. Direkte solindfald

I nedenstående tabel kan ses det direkte solindfald forskellige steder i bygningen.

| Kortbølget energi som rammer gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh | | | | |
|---|-------|---------|--------|---------|
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 1.337 | 3.116 | 3.181 | 2.118 |
| Kontor syd - T ₂ | 2.966 | 6.457 | 6.633 | 4.363 |
| Kontor midt - T ₃ | 6.424 | 8.905 | 9.054 | 6.539 |
| Kortbølget energi som rammer gulvet i de 3 zoner på en sommerdag i kWh/m ² | | | | |
| | Nu | Suncool | PS5060 | FPS50-6 |
| Facade - T ₁ | 0.137 | 0.320 | 0.326 | 0.217 |
| Kontor syd - T ₂ | 0.047 | 0.102 | 0.104 | 0.069 |
| Kontor midt - T ₃ | 0.032 | 0.044 | 0.045 | 0.032 |

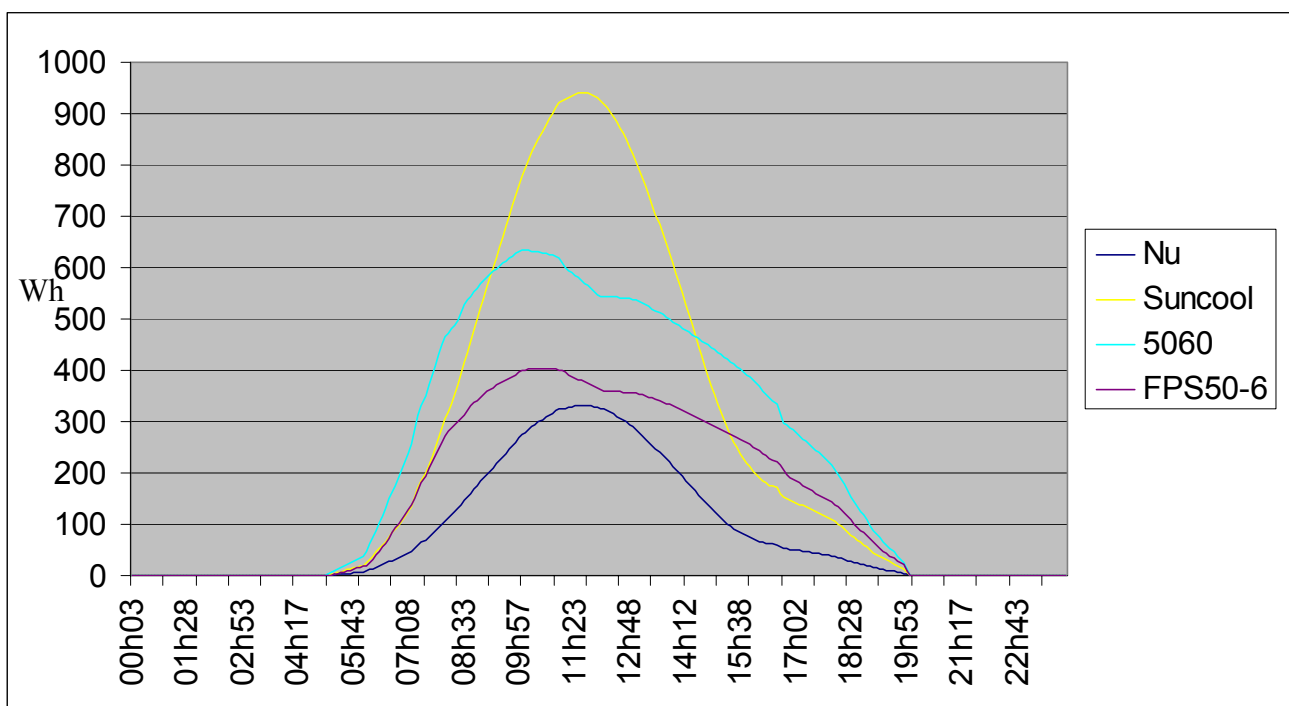
Tabel 4.12: Direkte solindfald fordelt på de tre zoner

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af resultaterne at den nuværende løsning afskærmer mest direkte solindstråling. Dernæst kommer løsningen FPS50-6.
- Det fremgår yderligere at forskellen af effekten af solafskærmningen aftager længere inde i bygningen.
- Værdierne er et udtryk for hvor stort det direkte solindfald i bygningen er. Værdierne er således ikke direkte et udtryk for hvor stor opvarmningen af interiøret bliver.

På nedenstående figur ses energien som tilflyder bygningen gennem den transparente del af sydfacaden fordelt over dagen den 10. juli.

Kurverne er et udtryk for mængden af solenergi der passerer direkte ind i bygningen. Kurverne kan således bruges til at tolke de forskellige afskærmningsløsningers evne til at holde solenergi væk fra selve bygningen. Kurverne er ikke direkte sammenlignelige med kølebehovene i bygningen, da der i beregningerne for kølebehov indgår en lang række andre parametre så som bygningens evne til at skille sig af med varme (u-værdier for konstruktioner) og absorberet energimængder i konstruktioner osv.



Figur 4.7: Samlet energimængde som tilflyder bygningen gennem sydfacaden i Wh

Hovedkonklusioner

- Det fremgår af kurverne at den nuværende facadeløsning er den mest effektivt afskærmende løsning, mens FPS50-6 produktet performer næsten lige så godt.

- Produktet PS5060 performer bedre end Suncool midt på dagen, men efter kl. 16.00 (sommertid) performer Suncool bedre.
- Det fremgår også, at Photosolar-produkterne er mest effektive midt på dagen, hvor solen står i stik syd, mens den afskærmende effekt aftager relativt senere på dagen, hvor solhøjden er lavere.

4.3.4. Konklusion

Simuleringsresultaterne giver anledning til følgende hovedkonklusioner:

- Opvarmningsbehovet er reduceret ved brug af PhotoSolar-produkter set i forhold til de mest avancerede solafskærmende glas der findes på markedet i dag.
- På en sommerdag med høj solindstråling vil temperaturforløbet over dagen med PS5060-produktet stort set være identisk med eksisterende facadeløsning, der har udvendig solafskærmning og derfor en meget lav g-værdi på 0,17.
- Photosolar-produkter performer bedst, når solen står i stik syd, mens effekten aftager relativt efterhånden, som solen bevæger sig mod vest på grund af den lavere solhøjde.

5. Konklusion

Da den afskærmende effekt af vinkelselektive solceller er afhængig af den aktuelle solhøjde (vertikal indfaldsvinkel), er effekten af to typer af vinkelselektive solceller blevet undersøgt for tre lokaliteter i Europa: København (Nordeuropa), München (Midteuropa) og Palermo (Sydeuropa).

5.1. Resultater og diskussion

Tabel 5.1 viser det relative årlige kølebehov i forhold til den eksisterende sydfacade: kombination af stærkt solafskærmende ruder og udvendig solafskærmning. For København er der også regnet på en facade med traditionel ikke solafskærmende energiruder.

| Lokalitet | Nuværende sydfacade % | PS5060 % | FPS50-6 % | Suncool % | Ingen solafskærmning % |
|-----------|-----------------------|----------|-----------|-----------|------------------------|
| København | 100 | 117 | 132 | 179 | 307 |
| München | 100 | 117 | 120 | 153 | - |
| Palermo | 100 | 102 | 107 | 123 | - |

Tabel 5.1. Det relative kølebehov for de tre lokaliteter.

Med PS5060 (uden udvendig solafskærmning) er kølebehovet tæt på kølebehovet for den eksisterende facade – specielt for Palermo. FPS50-6 er dårligere end PS5060 i København, men er ligeså god, hvis bygningen placeres i Palermo. Dette viser, at de vinkelselektive solceller skal designes til den givne lokalitet (breddegrad). Lavere kølebehov kan opnås i København, hvis fuldstændig solafskærmning indtræffer ved lavere solhøjder. Suncool uden anden solafskærmning leder til et væsentlig forøget kølebehov i København, men en moderat forøgelse i Palermo. For Palermo er det dog et væsentlig højere absolut kølebehov, der bliver forøget.

Tabel 5.2 viser det relative antal timer over 26°C i rummet bag sydfacaden. Tabel 5.2 viser stort set samme tendens som tabel 5.1. Tabel 5.1 og 5.2 viser, at ingen solafskærmning (sidste søjle) vil lede til overophedningsproblemer i bygningen i københavn.

| Lokalitet | Nuværende sydfacade % | PS5060 % | FPS50-6 % | Suncool % | Ingen solafskærmning % |
|-----------|-----------------------|----------|-----------|-----------|------------------------|
| København | 100 | 127 | 140 | 207 | 401 |
| München | 100 | 107 | 125 | 163 | - |
| Palermo | 100 | 102 | 106 | 108 | - |

Tabel 5.2. Det relative antal timer over 26°C i rummet bag sydfacaden.

5.2. Konklusion og perspektiver

De termiske undersøgelser af funktionen af vinkelselektive solceller viser:

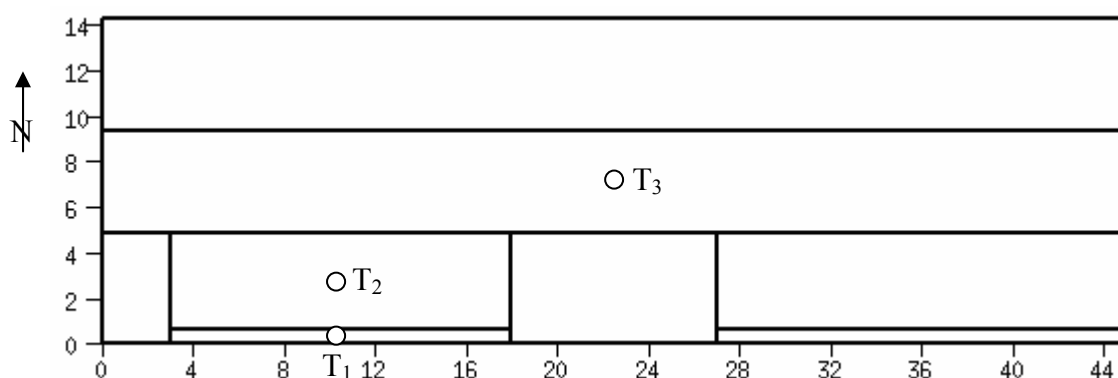
- vinkelselektive solceller kan designes til at være lige så effektive som de i dag mest effektive solafskærmninger, hvor udsyn stadig er muligt (men ikke frit).
- vinkelselektive solceller har en bedre afskærmende effekt end traditionelle solafskærmende belægninger.
- vinkelselektive solceller bør designes på baggrund af den lokalitet (breddegrad), hvor de skal anvendes.

Vinkelselektive solceller tillader ikke et helt frit udsyn. Der bør derfor også gennemføres termiske undersøgelser af facader med differentieret brug af vinkelselektive solceller – hvor der anvendes facadeafsnit med varierende grad af solafskærmning for at sikre felter med helt frit udsyn, mens andre felter kan have en højere grad af afskærmning end i den ovenfor beskrevne undersøgelse og dermed alligevel opnå samme komfortforhold.

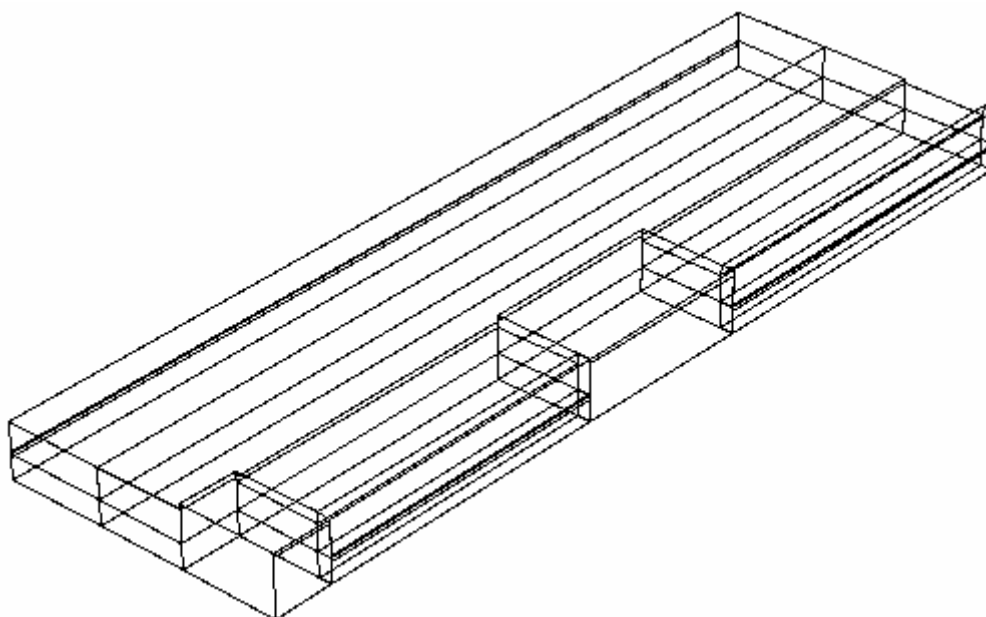
Bilag A - Modellens opbygning

A.1. Geometri og konstruktioner

Der er opbygget en model bestående af i alt 14 zoner. Den totale rumhøjde varierer på grund af de nedhængte lofter. Ved sydfacaden er rumhøjden 3 meter, mens den ved de to sydvendte kontorarealer er 2.5 meter. I nord- og midterzonen er rumhøjden 2.75 meter. På de tre nedenstående figurer ses dels en plantegning over zonerne, dels en 3d stregtegning af modellen og dels et lodret snit igennem zonerne. Der er set bort fra skyggevirksomhed fra nabobygninger. Gulv, loft og østgavlen antages at vende mod zoner med samme temperatur som zonerne selv.



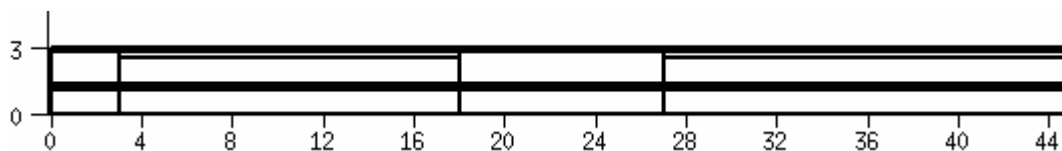
Figur A.1 - Plantegning



Figur A.2 – 3D illustration af model



Figur A.3 – Lodret snit set fra øst



Figur A.4 – Lodret snit set fra syd

Bygningsmodellens konstruktioner er opbygget på baggrund af materiale indhentet fra bygherren Nordea og andre parter som har været involveret i byggeprocessen. Gavlen mod vest er opbygget som en traditionel ydervæg, da det kun er solbidraget igennem sydfacaden som ønskes modelleret. Opbygningen af de anvendte konstruktioner kan ses i tabel 1.5.

| Konstruktion | Opbygning | Densitet [kg/m ³] | Spec. varme- kapacitet [J/kg K] | Varme- ledningsevne [W/m K] | Samlet U- værdi [W/m ² K] |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Ydervæg (Vestgavl) | 110 mm teglsten | 2000 | 650 | 0,96 | 0,31 |
| | 110 mm isolering | 12 | 840 | 0,04 | |
| | 200 mm beton | 2100 | 653 | 1,40 | |
| Sydfacade (Kontor) | 8 mm glas | 2710 | 837 | 0,76 | 1,12 |
| | 15 mm sp. m. argon | | | 0,02 | |
| | 6 mm glas | 2710 | 837 | 0,76 | |
| Sydfacade (De- pot/Toilet) | 8 mm glas | 2710 | 837 | 0,76 | 0,71 |
| | 15 mm sp. m. argon | | | 0,02 | |
| | 6 mm glas | 2710 | 837 | 0,76 | |
| | 100 mm luft | | | 0,76 | |
| | 200 mm beton | 2100 | 653 | 0,59 | |
| Nordfacade | 8 mm glas | 2710 | 837 | 0,76 | 1,12 |
| | 15 mm sp. m. argon | | | 0,02 | |
| | 6 mm glas | 2710 | 837 | 0,76 | |
| Facaderamme | 10 mm aluminium | 2700 | 880 | 210 | 1,21 |
| | 26 mm mineraluld | 12 | 840 | 0,04 | |
| | 10 mm aluminium | 2700 | 880 | 210 | |
| Indervæg | 200 mm beton | 2100 | 653 | 1,40 | 3,12 |
| Loft | 120 mm beton | 2100 | 653 | 1,40 | 2,31 |
| | 50 mm luft | | | 0,29 | |
| | 10 mm neds. alupl. | 2700 | 880 | 210 | |
| Loftafdækningsplade | 1 mm aluplade | 2700 | 880 | 210 | 5,62 |
| Gulv | 120 mm beton | 2100 | 653 | 1,40 | 1,67 |
| | 100 mm luft | | | 0,59 | |
| | 10 mm synt. tæppe | 160 | 2500 | 0,06 | |

Tabel A.1: Materialeleværdier for konstruktionerne i bygningen

A.2. Transparente konstruktioner

Facaden mod syd består af to typer glasfacadekonstruktioner. Den ene type findes ud for depot- og toiletlokalerne. Den er opbygget som Pilkington-produktet Suncool HP Clear 65 kombineret med en 200 mm betonkonstruktion. Yderst er anvendt 8 mm glas, mens der er anvendt 6 mm glas inderst. Imellem de to glas er en 15 mm spalte med argon. På indersiden af denne termorude er yderligere

en 100 mm luftspalte efterfulgt af 200 mm beton. Den eksterne solafskærmning er simuleret med en reflektans på 0,3 og en transmittans på 0,7. G-værdien for glas-delen af konstruktionen og solafskærmningen er ca. 0,22.

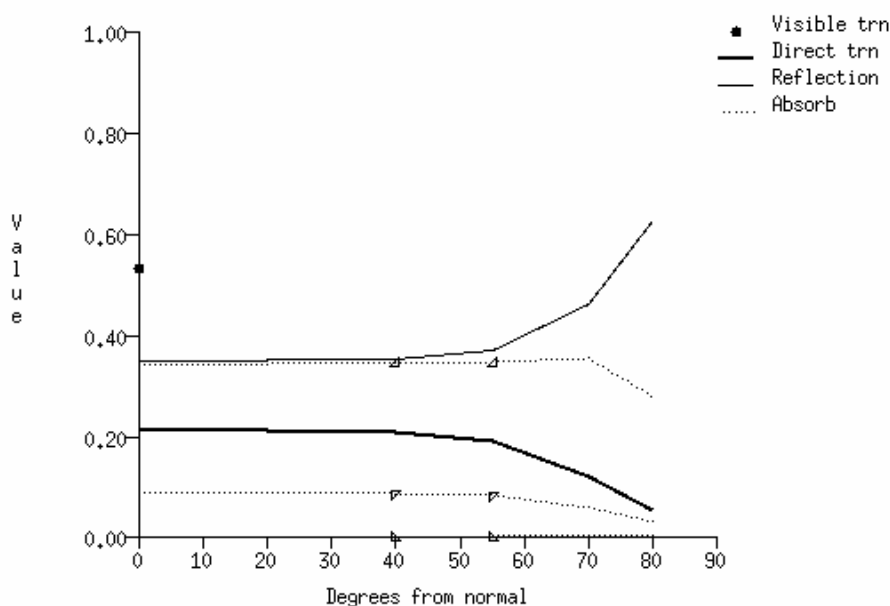
Den anden type findes ud for kontor- og trappearealerne. Den er opbygget som Pilkington-produktet Suncool HP Clear. Yderst er anvendt 8 mm glas, mens der er anvendt 6 mm glas inderst. Imellem de to glas er en 15 mm spalte med argon. Den eksterne solafskærmning er simuleret med en reflektans på 0,65 og en transmittans på 0,35. Den direkte soltransmittans for hele konstruktionen er således 0,076, mens g-værdien er ca. 0,17.

Facaden mod nord er opbygget som en glasfacadekonstruktion med Pilkington-produktet Suncool HP Clear. Yderst er anvendt 8 mm glas, mens der er anvendt 6 mm glas inderst. Imellem de to glas er en 15 mm spalte med argon. G-værdien for denne facade er 0,32, mens lystransmittansen er 0,53.

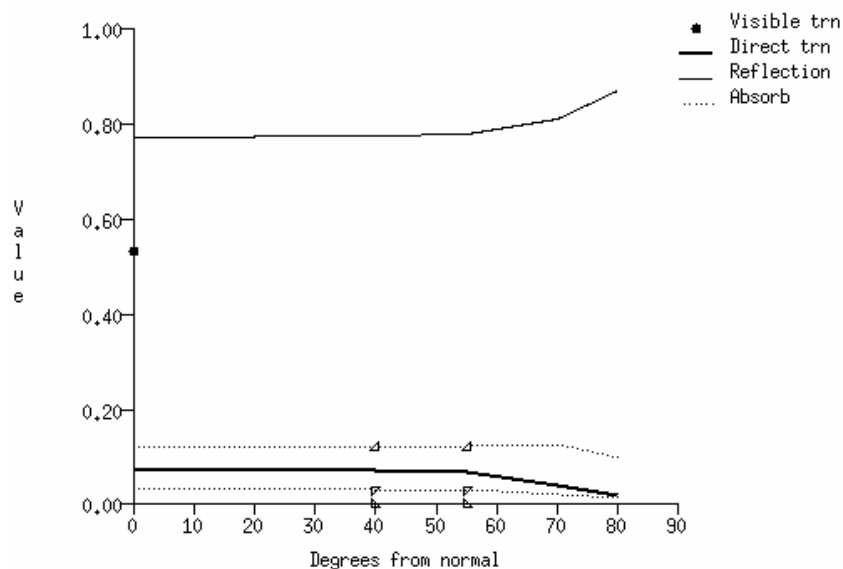
Alle glasprodukterne har en super lavemissionsbelægning og en speciel solafskærmende folie.

De relevante optiske værdier for konstruktionen er fundet ved hjælp af programmet Window og er vist i graferne nedenfor.

Type: DSF4554_06nb description: Nordeaglasnordd



Figur A.5 glasfacade mod nord uden solafskærmning



Figur A.6 glasfacade mod syd med solafskærmning

A.3. Infiltration, opvarmning, ventilation og interne belastninger

Der modelleres en række interne belastninger i bygningsmodellen, der alle har betydning for opvarmningsbehovet og indeklima i bygningen. De interne belastninger er beskrevet nedenfor og opsummeret i tabel A.2. Der er samme styringsstrategi for opvarmning og ventilation om sommeren og vinteren. Mange af de data, der ligger til grund for disse belastninger, stammer fra artiklen "Unibank prioriterer indeklimaet højt" skrevet af Finn Alex Hansen, Carl Bro as og udgivet i magasinet "VVS" 1998 nr. 12.

A.3.1. Infiltration

Der regnes ikke med nogen form for infiltration. Det er ikke muligt at åbne vinduer nogen steder i bygningen

A.3.2. Varmeanlæg

Varmeanlæg placeres i den nedre nordzone og de to nedre sydfacadezoner. Det antages, at der altid er effekt nok til at opvarme bygningen, samt at styringen af varmeanlægget er ideel. Temperatursetpunktet på 21°C er det samme hele døgnet året rundt.

A.3.3. Ventilation

Ventilationsanlægget er opbygget som en del af flow-netværket og er i funktion i tidsrummet 7-19 i hverdage med et konstant luftskifte på 5 h⁻¹. Udeluften anvendes uden nogen form for varmegenvinding.

A.3.4. Personer

Det antages at der én person pr. 10 m² og at en person afgiver 100 W. Personerne opholder sig i bygningen i tidsrummet 9-17 på hverdage. Der modelleres udelukkende med personlast i kontorområderne.

A.3.5. Belysning

Varmebelastning fra belysning indsættes i alle de øvre zoner i modellen undtagen i trappezonen. Varmebelastningen antages at være 15 W/m². Belysningen er aktiv i tidsrummet 9-17 på hverdage.

A.3.6. Udstyr

Varmebelastning fra udstyr (edb mm.) indsættes i alle nedre kontorzoner med en værdi på 24 W/m². Udstyret er aktivt i tidsrummet 9-17 på hverdage.

| Belastning | Placering | Driftstid | Setpunkter/be- lastninger | Bemærkninger |
|-------------------|--|-----------------------------------|------------------------------|--|
| Infiltration | - | - | - | - |
| Varmeanlæg | Nedre nordzone, To nedre sydfacadezoner | 0 – 24 hverdage 0 – 24 weekend | 21°C | Ideel varmeafgiver |
| Ventilationsanlæg | Alle zoner % trapperum | 0 – 24 hverdage 0 – 24 weekend | - | Indblæsningstemp.= udelufttemp. Volu- menflow konstant |
| Belysning | Alle zoner % trapperum | 9 – 17 hverdage | 15 W/m ² | |
| Personer | Nedre kontorzoner | 9 – 17 hverdage | 10 W/m ² | |
| Udstyr | Nedre kontorzoner | 9 – 17 hverdage | 24 W/m ² | |

Tabel A.2: Opvarmning, ventilation og interne belastninger