

Sidsel Fredlund Bjander
Sandra Rønquist Slåttelia
Veronica Vilvang

Energioptimalisering i kjøpesentre gjennom reduksjon av negative energikonsekvenser fra store glassflater

Bacheloroppgave i BIFOREN
Veileder: Jacob Joseph Lamb
Mai 2024

Sidsel Fredlund Bjander
Sandra Rønquist Slåttelia
Veronica Vilvang

Energioptimalisering i kjøpesentre gjennom reduksjon av negative energikonsekvenser fra store glassflater

Bacheloroppgave i BIFOREN
Veileder: Jacob Joseph Lamb
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosesseteknikk



Kunnskap for en bedre verden



Institutt for energi-
og prosesseteknikk

Bacheloroppgave

Oppgavens tittel: Energioptimalisering i kjøpesentre gjennom reduksjon av negative energikonsekvenser fra store glassflater Project title (ENG): Energy Optimization in Shopping Centers through Reduction of Negative Energy Consequences from Large Glass Facades	Gitt dato: 20.11.2023
	Innleveringsdato: 22.05.2023
	Antall sider rapport / sider vedlagt: 73/13
Gruppedeltakere: Sidsel Fredlund Bjander Sandra Rønquist Slåttelia Veronica Vilvang	Veileder: Jacob Lamb Førsteamanuensis, NTNU jacob.j.lamb@ntnu.no
	Prosjektnummer: BIFOREN24-20
Oppdragsgiver: Rambøll i Trondheim	Kontaktperson hos oppdragsgiver: Laurina Felius Rådgiver Bygningsfysikk laurina.felius@ramboll.no

Fritt tilgjengelig:

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver:

Rapporten frigitt etter:

Gruppedeltakere signaturer:

Sidsel F. Bjander, Veronica Vilvang

Sandra Rønquist Slåttelia

Forord

Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven for bachelorstudiet Fornybar Energi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven har et omfang på 20 studiepoeng, og er et samarbeid mellom studentene Sidsel Fredlund Bjander, Sandra Rønquist Slåttelia og Veronica Vilvang. Hensikten til Bacheloroppgaven er å anvende kunnskapen gitt gjennom studieløpet, samt tilegne relevant kunnskap til å løse og identifisere problemstillinger innen fornybar energi. I oppgaven undersøkes energioptimalisering ved implementering av solfilmer og utskiftning av eksisterende glass på kjøpesentrene City Syd og Tiller Torget i Trondheim.

Gruppen ønsker først og fremst å rette en spesiell takk til intern veileder Jacob Joseph Lamb, førsteamanuensis ved institutt for energi- og prosessteknikk for hans tette oppfølging og verdifulle hjelp gjennom hele prosessen. Videre vil gruppen takke ekstern veileder i Rambøll Laurina Felius, prosjektleder for Olav Thon gruppen Helge Larssen, prosjektleder for Rambøll Jostein Andreassen, og driftssjef for City Syd og Tiller Torget Jakob Sørgerd, for et godt samarbeid, kunnskapsdeling og veiledning.

Trondheim, 22.05.2024

Sidsel F. Bjander
Sidsel Fredlund Bjander

Sandra Rønquist Slåttelia
Sandra Rønquist Slåttelia

Veronica Vilvang
Veronica Vilvang



Sammendrag

Bygninger står for over en tredjedel av energiforbruket i Norge, og dette energiforbruket er ansett som økende. Innlemmelsen av EU-kommisjonens storsatsning mot å bli et lavutslippssamfunn gjennom energieffektivisering, medfører ytterligere press på byggeiere. I næringsbygg er det et stort forbedringspotensial til å utnytte tilgjengelige energiressurser optimalt, og samtidig minimere unødvendig energiforbruk.

Kjøpesentrene City Syd og Tiller Torget lokalisert i Trondheim kommune er i gang med et forprosjekt der aktuelle energioptimaliseringstiltak undersøkes. I løpet av denne prosessen er det undersøkt flere ulike energieffektive tiltak for å forbedre energiforbruket deres. I yrkesbygg generelt krever belysning, ventilasjon, teknisk utstyr, klimakjøling og rom- og ventilasjonsvarme mest energi, og det er dermed fordelaktig å fokusere på å minimere energiforbruket for disse faktorene. Foruten at store glassfasader i næringsbygg brukes for estetisk arkitektur, vil det også bidra til utnyttelse av naturlig lys. Samtidig medfører utformingen negative konsekvenser for energibehovet, inkludert redusert isolasjonsevne og økt behov for kjøling grunnet overoppheting om sommeren. I forbindelse med dette ble det undersøkt hvordan implementering av solfilmer og utskiftning av eksisterende glass påvirker energibehovet til sentrene.

Gjennom et dypdykk i solinnstråling, solskjerming og energibehovet til yrkesbygg la dette grunnlaget for å bedre forstå det faktiske energibehovet til bygninger, samt solens påvirkning på energibalansen. I kombinasjon med casestudien av City Syd og Tiller Torget, som rettet seg mot det byggtekniske aspektet der glassoverflatene spiller en sentral rolle, ble det lagt grunnlag for videre studie. Kartlegging av glassoverflater og solenergi ga fundamentet for å undersøke energioptimalisering ved tre forskjellige scenarioer. Scenario 1 og 2 undersøkte effekten av å implementere to forskjellige solfilmer med ulike virkningsgrader i kombinasjon med glass, mens Scenario 3 vurderte effekten av å skifte ut de eldste glassene. Energibesparelse og kostnadseffektivitet for kjøpesentrene vektlegges, og målet med oppgaven er å komme frem til en konklusjon som tydeliggjør utfallene av de ulike scenarioene satt av oppgavens rammer.

Funnene fra scenarioene gjør det mulig å konkludere med at Scenario 3 er den mest optimale løsningen for City Syd, mens for Tiller Torget vil det derimot ikke lønne seg å anvende noen av scenarioene på nåværende tidspunkt. Bakgrunnen for å anvende Scenario 3 for City Syd kommer fra et fremtidsrettet perspektiv. Scenario 2 førte til størst reduksjon av både solenergi og kjøleforbruk samtidig som det var mest kostnadseffektiv. Scenario 3 foretrekkes fremfor Scenario 2 grunnet den byggtekniske alderen på de eldste glassene. Glassene er ikke skiftet ut siden bygget ble satt i drift og de begynner å nærme seg teknisk levealder. Med dette tatt i betraktning vil det være mer bærekraftig å investere i nye glass enn solfilmer som implementeres på gamle glass. For Tiller Torget med sin nordvente fasade hadde alle scenarioene minimal påvirkning på reduksjon av kjøleforbruk samtidig som kostnadsvurderingene var lite tilfredsstillende. Det konkluderes derfor med at ingen av de gitte scenarioene er hensiktsmessige, og fokuset bør heller være på andre energioptimaliserende tiltak.

Oppgaven er utarbeidet og gjort i samarbeid med driftssjefen for City Syd og Tiller torget og konsulentselskapet Rambøll med en hensikt å evaluere energioptimaliseringstiltak for kjøpesentrene. Konklusjonen er fundamentert i grundige analyser for tiltakene for implementering av solfilmer og utskifting av eksisterende glass, og bør sees i lys av oppgavens rammer og begrensinger.



Abstract

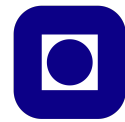
Buildings account for over one third of the energy consumption in Norway, and this energy consumption is considered to be increasing. In commercial buildings, there is significant potential for improvement in utilizing available energy resources optimally whilst minimizing unnecessary energy consumption.

City Syd and Tiller Torget shopping centers located in Trondheim are undertaking a pre-project where relevant energy optimization measures are being explored. During this process, several different energy-efficient measures have been identified to improve their energy consumption. In commercial buildings in general, lighting, ventilation, technical equipment, air conditioning, and heating consume the most energy, making it advantageous to focus on minimizing energy consumption for these factors. In addition to utilizing aesthetic architecture, large glass facades in commercial buildings will also contribute to the utilization of natural light. However, this design also brings negative consequences for energy demand, including reduced insulation capacity and increased cooling needs due to overheating in summer. In this context, the impact of implementing solar films and replacing existing glass on the centers' energy requirements was investigated.

Through an in-depth analysis of solar energy, solar shading and the energy needs of commercial buildings, the groundwork for better understanding the actual energy needs of buildings and the sun's influence on the energy balance was laid. In combination with the case study of City Syd and Tiller Torget, which focused on the technical aspect where glass surfaces play a central role, laid the foundation for further study. Mapping of glass surfaces and solar energy provided the basis for investigating energy optimization through 3 different scenarios. Scenarios 1 and 2 examined the effect of implementing two different solar films with varying effectiveness in combination with glass, while Scenario 3 assessed the effect of replacing the oldest glasses. Energy savings and cost-efficiency for the shopping centers are emphasized, and the goal of the task is to arrive at a conclusion that clarifies the outcomes of the different scenarios set by the task's framework.

The findings from the scenarios make it possible to conclude that Scenario 3 is the most optimal solution for City Syd, while for Tiller Torget, it will not be beneficial to apply any of the scenarios at the current time. The reason for applying Scenario 3 for City Syd comes from a future-oriented perspective. Scenario 2 resulted in the greatest reduction in both solar energy and cooling consumption while being the most cost-effective. Scenario 3 is preferred over Scenario 2 due to the technical age of the oldest glass. The glasses have not been replaced since the building was put into operation and are approaching their technical lifespan. Considering this, it will be more sustainable to invest in new glasses rather than solar films implemented on old glass. For Tiller Torget with its north-facing facade, all scenarios had minimal impact on reducing cooling requirements, while the cost assessments were unsatisfactory. Therefore, it is concluded that none of the given scenarios are appropriate, and the focus should instead be on other energy optimization measures.

The assignment has been developed in collaboration with the operations manager for City Syd and Tiller Torget and the consulting company Rambøll with the purpose of evaluating energy optimization measures for the shopping centers. The conclusion is based on thorough analyses of measures for the implementation of solar films and replacement of existing glass and should be viewed in light of the task's framework and limitations.



Symbolliste

Symbol	Forklaring	Enhet
g	G-verdi	
δ	Deklinasjonsvinkel	°
N	Dager i året	
B	Solvinkel i forhold til vårjevnsdøgn	°
h	Timevinkel	°
L	Breddegrad	
θ	Innfallsvinkel	°
A	Areal	m^2
I	Investeringskostnad	kr
D_t	Drift og vedlikeholdskostnader i år t	kr
B_t	Brenselskostnader i år t	kr
E_t	Produsert/spart energi i år t	kWh
N_p	Levetid produksjonsanlegg eller effektiviseringiltaket	
r	Diskonteringsrente	%

*Tom kolonne indikerer at symbolet ikke har enhet



Akronymer og forkortelser

Akronym/forkortelse	Forklaring
AST	Apparent solar time
DSA	Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet
EED	Energieffektiviseringsdirektivet
EOS	Energioppfølgingssystemer
EPBD	Energy performance of buildings directive
ET	Equation of time
HVAC	Heating, ventilation and airconditioning
LCOE	Levelized cost of energy
LL	Lokal lengdegrad
LST	Lokal standard tid
MVA	Merverdiavgift
NILU	Norsk institutt for luftforskning
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
PPM	Parts per million
RF	Relativ luftfuktighet
RHE 20	RHE 20 SI ER HPR
RHE 50	RHE 50 Si ER HPR
SD	Sentral driftskontroll
SL	Standard lengdegrad
UIO	Universitetet i Oslo
UV	Ultrafiolett stråling



Begrepsliste

Begrep	Forklaring
Argon	Grunnstoff med bedre ledningsevne enn luft.
Avtrekkstemperatur	Avtrekkstemperatur er temperatur som går inn i luftgjenvinner.
Diffus stråling	Solstråler som er spredt eller reflektert i atmosfæriske komponenter før det når jordoverflaten.
Direkte stråling	Solstråler som treffer jordoverflaten upåvirket av atmosfæren.
Diskonteringsrente	Risikojustert rente som brukes til å beregne nåverdien av fremtidige pengestrømmer.
Infrarød stråling	Elektromagnetisk stråling med bølgelengde mellom 0,7 mikrometer og 1 nanometer. Kalles også varmestråling.
Konduksjon	Varmeledning (konduksjon) er varmeoverføring gjennom fast stoff.
Konveksjon	Varmestrømning (konveksjon) er varmebevegelse i gass eller væske.
Ledningsevne	Varmeledningsevne er et mål på hvor godt et materiale kan transportere varme fra høy til lav temperatur.
Meridian	En linje som går fra pol til pol som står vinkelrett på ekvator.
Nåverdi	Verdien i dag av et fremtidig beløp.
Ozonlaget	Et gasslag av ozon som befinner seg i atmosfæren mellom 10 og 50 kilometer og som beskytter livet på jorden mot ultrafiolett stråling.
Operativ temperatur	Samlet virkning av termisk stråling og lufttemperatur.
Semitransparent medium	Et medium der bare deler av lyspartiklene går gjennom.
Strålingsasymmetri	Forskjeller i overflatetemperatur.
Taksonomi	Anvendelsen og læren om klassifisering.
Tilluftstemperatur	Tilhørende temperatur til ren og filtrert luft inn til bygget.
Transmisjon	Teknisk betegnelse for mekanisk eller elektrisk overføring av energi.
Ultrafiolett stråling	Elektromagnetisk stråling med bølgelengde mellom 400 og omtrent 10 nanometer.
Vårjevnsdøgn	Når dag og natt er like lange.



Figurer

2.1	Representativt spesifikk energibruk til ulike energiposter for forretningsbygg [7].	4
2.2	Veien til energioptimalisering. Tilpasset fra [12].	7
2.3	Strålingsfrekvenser i solstråler. Tilpasset fra [24].	10
2.4	Illustrasjon av direkte og diffus solinnstråling mot fasade [33].	12
2.5	Illustrasjon av effektene absorpsjon, transmisjon og refleksjon [33].	13
2.6	Utvendig fastmontert solfilm. Tilpasset fra [37].	15
3.1	City Syd [40].	17
3.2	Tiller Torget [41].	17
3.3	Fordeling av energiposter på City Syd [42].	18
3.4	Kjøleforbruk City Syd fra 1.1.23 - 31.12.23, hentet ut og tilpasset fra <i>GK-Cloud</i>	19
3.5	Kjøleforbruk City Syd for leietaker fra 1.1.23 - 31.12.23, Hentet ut og tilpasset fra <i>GK-Cloud</i>	20
3.6	Fordeling av energiposter på Tiller Torget [45].	21
3.7	Kjøleforbruk Tiller Torget fra 1.1.23 - 31.12.23 Hentet ut og tilpasset fra <i>Evotek</i>	22
3.8	Skjerm bilde av verktøyet som målte glassfasadene på taket av City Syd [47].	23
6.1	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 for Glass 1 og 3 på City Syd.	32
6.2	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 for Glass 2 på City Syd.	33
6.3	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 på inngangen til City Syd.	34
6.4	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 på City Syd.	35
6.5	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 på inngangen til Tiller Torget.	36
6.6	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 20 for Glass 1 og 3 på taket til City Syd.	37
6.7	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 20 på inngangen til City Syd.	38
6.8	Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 20 på City Syd.	39
6.9	Solenergi før og etter implementering av solfilm på inngangen til Tiller Torget.	40
6.10	Solenergi før og etter utskifting av Glass 1 og 3 på City Syd.	41
6.11	Solenergi før og etter utskifting av glassene på inngangspartiet på City Syd.	42
6.12	Solenergi før og etter utskifting av gamle glass på City Syd.	43
6.13	Solenergi før og etter utskifting av glassene og inngangspartiet til Tiller Torget.	44
6.14	Sammenligning av resultatene for alle scenarioene på City Syd.	45
6.15	Sammenligning av solenergi for inngangen til Tiller Torget.	46
6.16	Redusert energiforbruk på City Syd med solfilm RHE 50.	47
6.17	Redusert energiforbruk på Tiller Torget med solfilm RHE 50.	48
6.18	Redusert energiforbruk på City Syd med solfilm RHE 20.	49
6.19	Redusert energiforbruk Tiller Torget med solfilm RHE 20.	50
6.20	Redusert energiforbruk på City Syd med nye glass.	51
6.21	Redusert energiforbruk på Tiller torget med nye glass.	52

Tabeller

2.1	Operativ temperatur basert på aktivitetsnivå [19]	9
3.1	Spesifikke detaljer om glassene på City Syd, hentet fra ekstern veileder	23
3.2	Spesifikke detaljer om glasset på Tiller Torget, hentet fra leverandør	24



TABELLER

4.1	Benyttede g-verdier for Scenario 1, hentet fra Vedlegg A	25
4.2	Benyttede g-verdier for Scenario 2, hentet fra Vedlegg A	26
4.3	Definerte intervaller for utskiftning av ulike typer vinduer, hentet fra ekstern veileder	26
4.4	Benyttede g-verdier for Scenario 3, hentet fra leverandør	27
6.1	Sammenligning for reduksjon av kjøleforbruk til City Syd	52
6.2	Sammenligning for reduksjon av kjøleforbruk til Tiller Torget	53
6.3	Resultater av LCOE-analyse [kr/kWh]	53



Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling, hensikt og resultatmål	2
1.3 Begrensninger	2
1.4 Struktur	2
2 Teori	4
2.1 Energibruk i yrkesbygg	4
2.2 Faktorer som påvirkninger på energibalansen i bygg	5
2.2.1 Utforming av bygningen	5
2.2.2 Eksterne faktorer	6
2.2.3 Interne faktorer	6
2.3 Energioptimalisering i yrkesbygg	7
2.4 Inneklima	8
2.5 Solinnstråling	9
2.5.1 Solenergi gjennom en semitransparent flate	12
2.6 Solskjerming	14
2.7 Kostnadsvurdering	15
3 Casestudie City Syd og Tiller Torget	17
3.1 Introduksjon til prosjektet	17
3.2 Energiforbruk City syd	18
3.3 Energiforbruk Tiller Torget	20
3.4 Glassoverflater	22
4 Scenarioer	25
4.1 Scenario 1	25
4.2 Scenario 2	25
4.3 Scenario 3	26
5 Metode	28
5.1 Verktøy	28
5.2 Beregning for solinnstråling	28
5.3 Estimert solenergi	29
5.4 Tilnærming til redusert kjøleforbruk etter tiltak	29
5.5 Kostnadsberegning	30
6 Resultater	32
6.1 Solenergi	32
6.1.1 Scenario 1	32
6.1.2 Scenario 2	36
6.1.3 Scenario 3	40
6.1.4 Sammenligning	44
6.2 Estimert kjøleforbruk etter installering av energieffektive tiltak	46
6.2.1 Scenario 1	46

6.2.2	Scenario 2	48
6.2.3	Scenario 3	50
6.2.4	Sammenligning	52
6.3	Resultat fra kostnadsvurdering	53
7	Diskusjon	54
7.1	Feilkilder	54
7.1.1	Innhentet data	54
7.1.2	Beregninger for solinnstråling	55
7.1.3	Estimert nytt kjøleforbruk	56
7.2	Evaluering av redusert solenergi og kjøleforbruk på City Syd	56
7.2.1	Kost-nytte vurdering	57
7.3	Evaluering av redusert solenergi og kjøleforbruk på Tiller Torget	58
7.3.1	Kost-nytte vurdering	60
7.4	Videre arbeid	60
7.5	Oppgavens styrker og svakheter	61
8	Konklusjon	62
A	Datablad solfilmer	I
B	Beregninger for solinnstråling i MATLAB	VI
C	Beregninger for solenergi	VIII
D	Beregninger for kostnadsvurderinger i Excel	X



1 Introduksjon

Denne seksjonen gir en innsikt i bakgrunnen for oppgaven, og hvorfor energioptimalisering er viktig i dagens samfunn. Her presenteres problemstillingen og hensikten til oppgaven, med tilhørende begrensninger. Avslutningsvis gjøres det rede for oppgavens struktur.

1.1 Bakgrunn

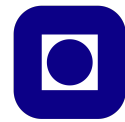
Energieffektiviseringstiltak har stor betydning for det norske energi- og kraftsystemet. I mange tilfeller vil effektivisering være det mest optimale tiltaket for å styrke kraftbalansen og få ned effekttoppene, som belaster kraftsystemet. I følge NVE og Statnett er det behov for både betydelig mer produksjon enn det er gitt konsensjoner til, og betydelig mer energieffektivisering enn det som er planlagt [1]. Det at energien distribueres og brukes smartere vil være avgjørende for å kunne frigjøre energi og effekt til ytterligere sektorer som også skal elektrifiseres [2].

Dette aspektet er ytterligere understreket i taksonomien og de energipolitiske målene til EU-kommisjonen for å få en fortløpende overgangen til lavutslippssamfunnet. Begrepet «Energy Efficiency First» har blitt et gjennomgående prinsipp for utforming og revidering av nye og gamle direktiver, og betyr at energieffektivisering kommer før investering i ny produksjon. For å stimulere til økt energieffektivisering på forbrukssiden har flere direktiver blitt rettet mot bygningssegmentet. Eksempelvis energieffektiviseringsdirektivet (EED) og bygningsenergidirektivet (EPBD) som ønsker å stramme inn målsetninger og virkemidler for å nå de ambisiøse klimamålene mot 2050. Disse direktivene vil naturligvis innlemmes i Norge gjennom EØS-avtalen og vil videre være av betydning for aktørene i bygg- og eiendomsbransjen. [2]

Økende ambisiøse mål fra byggeierne har ført til større oppmerksomhet rundt energiriktig planlegging, prosjektering og drift. I tillegg vil taksonomien i EU angående klassifiseringssystemet for investeringer i bærekraftige løsninger være av stor betydning for å kunne gi flere grønne investeringslån til energieffektivisering i bygg [2].

Kjøpesentre faller innenfor byggkategorien yrkesbygg som omfatter bygninger i privat og offentlig sektor til tjenesteytelser. Energibruken til kjøpesentre går hovedsaklig til oppvarming, belysning, teknisk utstyr, ventilasjon og kjøling. Det eksisterer allerede en rekke tiltak og løsninger som vil bidra til å redusere energibruket til eksisterende bygningsmasse. Eksempelvis driftsoptimalisering ved installering av varmpumper, behovsstyrt belysning, LED-lyspærer og effektive varme- og ventilasjonssystemer. [3]

I et kaldt klima som Norge er det nødvendigvis ikke klimakjøling som intuitivt peker seg ut som en stor energipost. Derimot indikerer utviklingen i det spesifikke energiforbruket til klimakjøling en økning, noe som kan skyldes strengere krav til inneklimate og komfort [3]. Kravene til termisk komfort innendørs inngår i arbeidsplassforskriften §2-14 Klima, ventilasjon, luftkvalitet i næringsbygg [4]. Virkemidler og installasjoner som benyttes for å overholde kravene er blant annet tilstrekkelig dagslys og effektiv solskjerming, balansert ventilasjon og god varmeisolasjon og lufttetthet [5]. En fremtredende karakteristikk i næringsbygg er installasjon av store glassfasader, som bidrar til både utnyttelse av naturlig lys, følelse av romslighet og estetisk arkitektur. Denne utformingen kan bringe med seg negative konsekvenser for energibehovet til bygget, da glassoverflater ofte har dårligere isolasjonsevne sammenlignet med en yttervegg. Ytterligere kan det oppstå et overopphentings problem på sommeren da varmetilskudd fra solen vil medføre et økt forbruk av kjøling for å opprettholde kravene til termisk komfort. [6]



1.2 Problemstilling, hensikt og resultatmål

Problemstillingen for oppgaven er hvordan energioptimaliserende tiltak kan redusere solenergi og medføre til lavere kjølebehov på kjøpesentrene City Syd og Tiller Torget.

Oppgaven tar utgangspunkt i tre ulike scenarioer for implementering av henholdsvis to ulike typer solskjerming og utskiftning av glasspartier. Hensikten er å evaluere hvilket av scenarioene som er mest egnet med hensyn til energibesparelse og kostnadsvurdering.

Resultatmål for denne oppgaven tar utgangspunkt i de tre scenarioene og er listet opp under:

- Hvor mye reduseres solenergi og kjøleforbruket
- Hvilket scenario representerer størst energibesparelse
- Hvilket scenario demonstrerer økonomisk bærekraft på både kort og lang sikt

1.3 Begrensninger

Oppgaven og problemstillingen er utarbeidet i samarbeid med eksterne aktører. Ved oppstart av oppgaven var det allerede utformet en tiltaksliste for energioptimalisering av bygningene, og dette ble grunnlaget for valgt problemstilling. Grunnet tids- og ressursbegrensninger både fra gruppen og eksterne aktører ble det avtalt å kun fokusere på et av tiltakene; hvordan solenergien påvirker kjølebehovet, og implementering av initiativ som kan redusere kjøleforbruket knyttet til solenergi.

For å kunne analysere påvirkningen et energioptimaliseringstiltak har for reduksjon av energiforbruk, fordret dette en undersøkelse av eksisterende forbruk. Dermed ble det gitt tilgang til to ulike plattformer som benyttes til å holde oversikt over energiforbruket til bygningene. Plattformene har ulike brukerformål og er basert på ulike målere i driftsanlegget til bygningene, og er dermed begrenset til å kun gjengi forbruket til utvalgte anlegg. Ytterligere medførte dette begrenset innsikt i årsakene til kjølebehovet eller andelen av energiforbruket som kan tilskrives ulike faktorer. Dette resulterte i et behov for en analytisk tilnærming til hvor mye energiforbruket til kjøleanlegget reduseres av å minimere solenergi. Ved å anta en direkte sammenheng mellom redusert kjølebehov og redusert solenergi, ble dette utgangspunktet for å estimere det nye kjøleforbruket etter implementering av ulike energibesparende tiltak. Det ble tatt utgangspunkt i at resterende faktorer som også bidrar kjølebehov ikke endrer seg i scenarioene, for å kun se på solenergi isolert sett.

Før høyere grad av nøyaktighet for redusert kjølebehov er det nødvendig med grundigere forståelse av forbruket, ved bruk av flere målinger eller andre metoder for beregning. Eksempelvis gjennom å analysere bygningene som et statisk eller dynamisk system. Med hensyn på tid og kompetanse ble ikke denne tilnærmingen videre undersøkt.

I flere tilfeller har det vært nødvendig å benytte eksterne datakilder som grunnlag for beregningene, noe som kan medføre usikkerhet rundt resultatene. Dette skyldes begrensninger tilknyttet kontrollen over innsamlingsmetoden og kvaliteten på dataene.

1.4 Struktur

For at oppgaven skal være forståelig og oversiktlig for leseren er oppgaven delt inn i 8 seksjoner basert på temaene som blir gjennomgått. Seksjonene for oppgaven er delt inn i:



1 INTRODUKSJON

- Seksjon 2: Teori - Teorien er en omfattende og bred del av oppgaven som gir kunnskapsgrunnlaget for oppgaven. Her presenteres relevant teori for energi i bygninger, inneklima, solinnstråling og kostnadsvurdering.
- Seksjon 3: Casestudie - Her presenteres casestudiet oppgaven tar utgangspunkt i, basert på bygningene City Syd og Tiller Torget. I seksjonen gis det nødvendig informasjon om energiforbruket til bygningene samt teknisk beskrivelse av glassoverflatene.
- Seksjon 4: Scenarioer - I denne seksjonen presenteres og beskrives de tre forskjellige scenarioene som oppgaven tar utgangspunkt i.
- Seksjon 5: Metode - Metodeseksjonen beskriver hvordan relevant data er hentet og tolket, samt fremgangsmåte for beregningene.
- Seksjon 6: Resultater - Her presenteres resultatene fra beregningene, i tillegg til en sammenligning av resultatene for alle scenarioene.
- Seksjon 7: Diskusjon - Diskusjonen undersøker feilkildene som har oppstått underveis i oppgaven og drøfter resultatene.
- Seksjon 8: Konklusjon - Her fremlegges konklusjonen angående det mest fordelaktige alternativet for både City Syd og Tiller Torget, med utgangspunkt i informasjonen gitt i tidligere seksjoner.

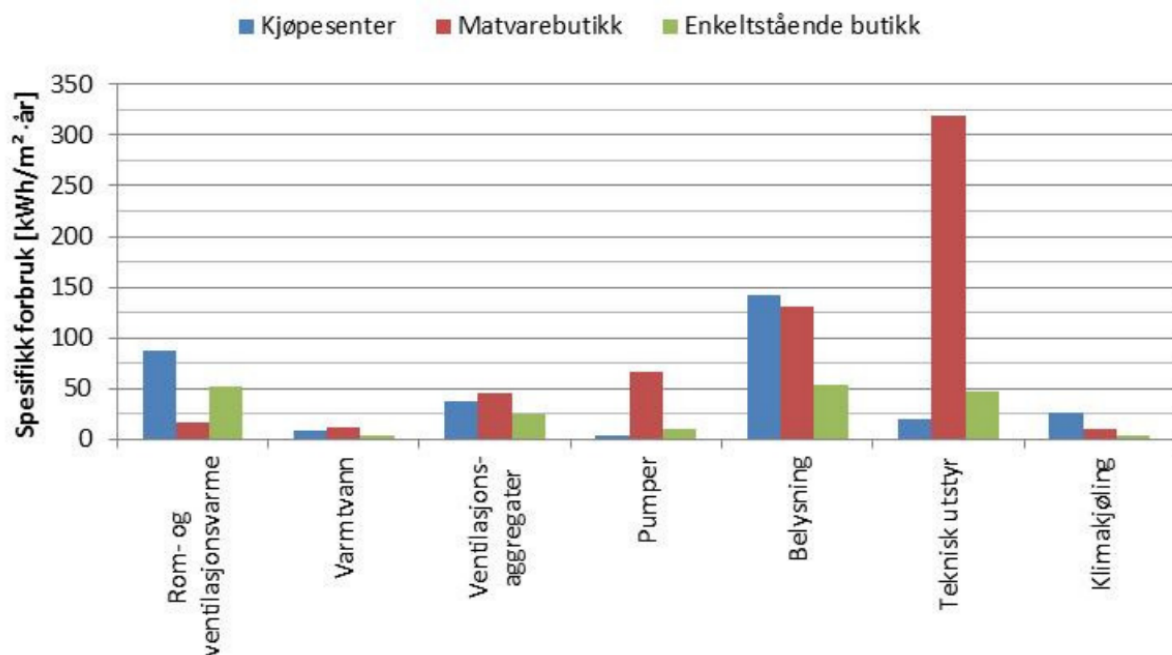


2 Teori

Teorien presenterer relevant fagkunnskap for oppgaven som videre legger grunnlaget for oppgaven. Innledningsvis blir energiforbruket og behovet i bygninger redegjort for, samt hvordan bygg kan optimaliseres. Videre presenteres faktorene som påvirker energibehovet til bygninger, og viktige aspekter ved inn klima til et yrkesbygg. Det er også gitt nødvendig informasjon om solinnstråling og hvordan dette kan beregnes. Det forklares hva solskjerming er og hvordan solenergi påvirker energibehovet til bygninger. Avslutningsvis presenteres en kostnadsvurdering, som gir essensiell teori for økonomiske analyser ved prosjekter.

2.1 Energibruk i yrkesbygg

Den økonomiske veksten i Norden og vestlige land over tid, har resultert i en stadig økning i både sysselsetning i tjenesteytende næringer og aktivitetsnivået. En følge av denne trenden har ledet til en oppgang i energiforbruket til yrkesbygg generelt. Brukstiden som inkluderer åpningstider og tilstedeværelsen av folk, er en direkte faktor som påvirker energiforbruket. Lengre åpningstider medfører økt behov for drift av de tekniske anleggene [3]. Figur 2.1 illustrerer det spesifikke energiforbruket i yrkesbygg kategorien forretningsbygg, for ulike energiposter.



Figur 2.1: Representativt spesifikk energibruk til ulike energiposter for forretningsbygg [7].

Byggkategorien yrkesbygg består av mange ulike typer lokaler, eksempelvis kontorbygg, kjøpesenter, undervisningsbygg og idrettshaller som alle har ulik energiprofil [3]. Det er tatt utgangspunkt i å kartlegge et grunnlag for formålsdelt energibruk til kjøpesenter. Figuren viser at de største energipostene for kjøpesentre er belysning, rom- og ventilasjonsvarme, ventilasjonsaggregater og klimakjøling [7]. Elektrisitetsforbruk til belysning utgjør en betydelig andel. Dette kan begrunnes med at leietakerne krever utstillingsbelysning i eksempelvis butikker, kjøleskap og restauranter. Den spesifikke energibruken til oppvarming er den nest største posten. Her inngår oppvarming av ventilasjonsluften og romoppvarming. Kjøpesentre har generelt flere muligheter for å implementere tekniske løsninger til oppvarming, basert på enten fjernvarme



eller ulike kjeler. [8]

Ventilasjonsaggregater er den tredje største posten i spesifikt forbruk, og benyttes til å sirkulere luften både med tanke på varme, ventilasjon og luftutskiftning [9]. Behovet for store mengder ventilasjonsluft og oppvarmet luft som drives gjennom bygget, medfører til dette forbruket. Klimakjøling representerer den fjerde største energiforbruksposten i kjøpesentre, primært dekket av kjølemaskiner eller fjernkjøling. Spesielt i kjøpesentre med dagligvareforretninger vil dette medføre et økt kjølebehov. Anslagsvis er det rundt 30-60% av dagligvarebutikkens totale energiforbruk som går til kjøling eller frysekapasitet. [10]

Videre er kvaliteten til bygningsmassen av betydning for energiforbruket. Eldre bygninger har generelt dårligere energieffektivitet på grunn av gjeldende forskrifter ved utbyggingen og typisk dårligere tilstand over tid [3]. En viktig driver for å redusere energiforbruket er dermed å rehabilitere og oppgradere den gamle bygningsstrukturen, for å få ned samlet energibruk til bygg i Norge [11].

2.2 Faktorer som påvirkninger på energibalansen i bygg

For å undersøke tiltak som skal bedre energiforbruket, kreves et grunnlag for hva som påvirker selve energibehovet i bygningen. Energibalansen i en bygning påvirkes av eksterne og interne faktorer som enten har positiv eller negativ effekt på balansen, eller resulterer i at energi lagres innenfor bygningens struktur. For at det skal oppstå et kjølebehov i en bygning, må den totale energibalansen overstige det forhåndsdefinerte terskelnivået for ønsket innetemperatur. Dette skjer når summen av alle varmekilder, både interne og eksterne, resulterer i en netto økning i bygningens indre energinivå. [12]

Energiforbruket til en bygning kan beregnes ut ifra flere metoder; empiriske, statiske og dynamiske målinger. Empiriske målinger bygger på feltobservasjoner og data som danner grunnlaget for energiforbruksanalyser. Selv om empirisk data kan gi en viss indikasjon på forbruket, er det ofte preget av unøyaktighet. Enkelte målinger kan kreve flere korreksjonsfaktorer for å kompensere for upresise observasjoner. Statiske beregninger tar utgangspunkt i et statisk system som ikke endrer seg i perioden, og krever dermed flere antagelser. Dynamiske beregninger er de mest presise og utfører beregninger i flere tidsperioder for å kunne differensiere for endringer som skjer i energibalansen. Beregningene er tidkrevende og detaljerte og krever ytterligere kompetanse i et simuleringsprogram for å kunne håndtere alle de komplekse kalkulasjonene som forekommer. [12]

2.2.1 Utforming av bygningen

Bygningens klimaskall består av tak, gulv, vegger og glassoverflater og påvirkes av utvendige forhold. Varmetransport gjennom bygningskomponenter avhenger av deres termiske isolasjonsegenskaper. U-verdi, eller varmegjennomgangskoeffisient, er en indikator på den termiske motstanden til en bygningskomponent [13]. Denne verdien benyttes til å måle varmetap gjennom komponenter og en høy U-verdi tyder på større varmetap imotsetning til en lav u-verdi, som indikerer bedre isolasjonsegenskaper. [12]

Kompakthet og infiltrasjon er faktorer som påvirkes av bygningens utforming. Infiltrasjon er uønsket lekkasje gjennom bygningens skall og åpninger, og er et resultat av tettheten til bygningen. Varmetap på grunn av infiltrasjon kan både øke og senke kjølebehovet, avhengig av omgivelsestemperaturen. Generelt har gamle bygg høyere infiltrasjonsrate enn nyere bygg.



Høyere kompaktet i bygg kan medføre redusert varmetap, fordi der er både mindre yttervegg per areal og mindre sannsynlighet for lekkasje. [12]

Energibalansen påvirkes også av andelen glassareal benyttet i klimaskallet til en bygning. Dette skyldes at glassflater vanligvis har en høyere U-verdi sammenlignet med andre deler av bygningskallet, og kan dermed bidra til varmetap. I tillegg bidrar transparente flater til at solenergien kan trenge gjennom og øke det indre energinivået. Dette medfører til en naturlig oppvarmingskilde fra solen om vinteren og uønsket oppvarming om sommeren. [14]

2.2.2 Eksterne faktorer

Eksterne faktorer som påvirker energibalansen vil være ukontrollerbare forhold og er avhengig av de klimatiske omgivelsene som bygningen befinner seg i. Utvendige faktorer som påvirker energibalansen kan være: [12]

- Temperatur
- Vind
- Solenergi

En omgivelsestemperatur som overstiger den ønskede innetemperaturen i en bygning medfører et økt behov for kjøling. Dette skyldes at differansen i temperaturen mellom yttersiden og innsiden driver varmeenergi inn i bygningen. Ytterligere vil økt vindhastighet forsterke infiltrasjon av uteluft gjennom sprekker og åpninger i bygningskroppen, som igjen øker behovet for kjøling dersom omgivelsestemperaturen er høy. [12]

solenergi kan ha betydning for energibalansen selv i et område som er preget av kaldere klima. Varme fra solstrålene fører til et direkte varmetilskudd til bygningen, spesielt gjennom glassflater og andre transparente strukturer. Dette varmetilskuddet absorberes av bygningsmaterialene og bidrar til oppvarming av det indre miljøet. [12]

2.2.3 Interne faktorer

De interne faktorene som påvirker energibalansen består av alle energikildene inne i en bygning som avgir varme til omgivelsene som en bieffekt. Dette omfatter alle kilder som ikke har den primære funksjonen å avgi varme til oppvarming. Faktorer som påvirker energibalansen internt er: [12]

- Personer
- Teknisk utstyr
- Belysning
- Varmtvann

Mennesker avgir varme naturlig gjennom kroppsvarme og respirasjon. Mengden avgitt varme er avhengig av aktivitetsnivået og omgivelsestemperaturen. Dersom disse faktorene øker vil varmeavgivelsen også øke, for eksempel gjennom fordampning av svette. [12]

For yrkesbygg har teknisk utstyr en betydning for de interne varmegevinstene, da dette i større grad er integrert som en del av byggdriften. Varmeavgivelsen fra utstyret varierer ut ifra type, brukstid, og antall komponenter som er tilstede. Tilskuddet fra alle de ulike enhetene kan være

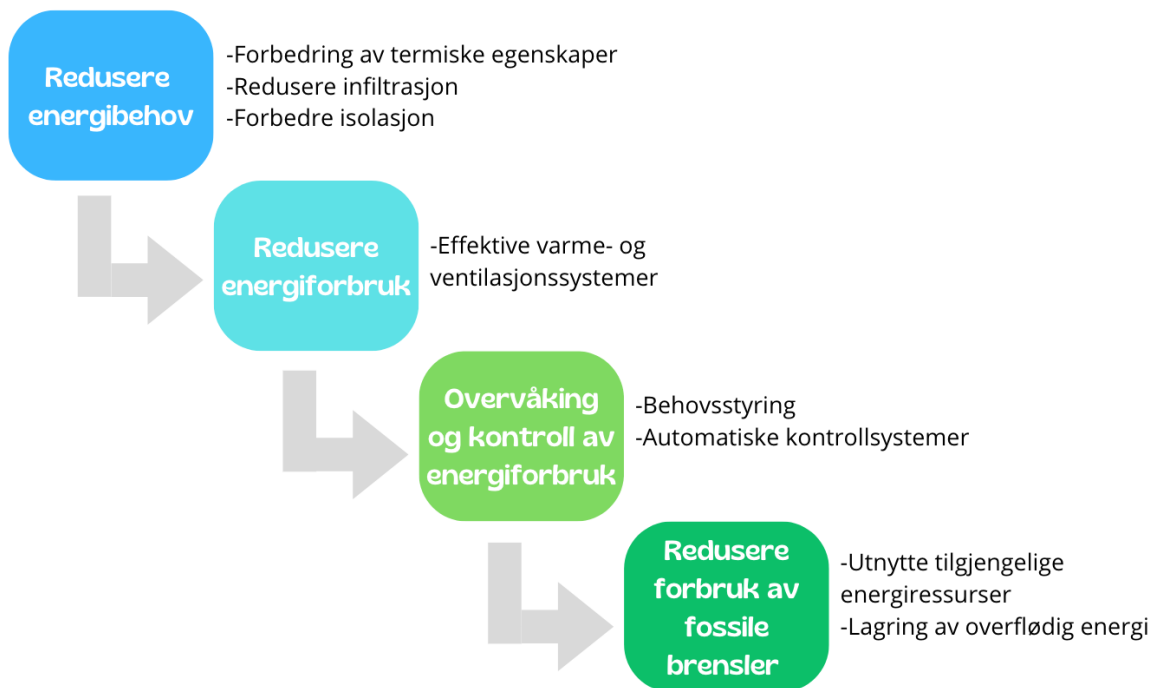


vanskelig å beregne, men generelt har antall komponenter blitt flere, samtidig som de har blitt mer energieffektive. [12]

Belysning resulterer til ulik grad av varmeangivelse i bygningen. Økningen i varmebalansen fra lys avhenger av hvilken type det er, antall og bruksmengden. I bygninger og lokaler som ikke har tilstrekkelig dagslys og innsyn fra glassfasader, medfører dette en økning i bruk av kunstig lys for å opprettholde godt innemiljø. [12]

2.3 Energoptimalisering i yrkesbygg

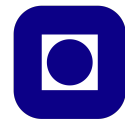
I følge Statsbygg er det enkleste tiltaket for å få ned energiforbruket i bygninger, energioptimalisering. Ved å utnytte tilgjengelige energiressurser på en optimal måte, vil forbruket kunne begrenses til det som kun er nødvendig. Med nåværende høye strømpriser kan dette bidra til betydelige besparelser og gi økt verdi til eiendommen. Potensialet for energioptimalisering for spesifikt næringsbygg er omtrent 9 TWh, tilsvarende 25 % av den totale energibruken [15]. I Figur 2.2 illustreres ulike metoder for å optimalisere de ulike energiytelsene i bygninger.



Figur 2.2: Veien til energioptimalisering. Tilpasset fra [12].

Tiltak relatert til styring og optimalisering av tekniske systemer er vanligere i yrkesbygg enn boliger, av den grunn byggeierne ønsker å profesjonalisere og effektivisere byggdriften. Driftoptimalisering er kategorisert som en sentral driver for å redusere energibruket i de ulike bygningene som kategorien yrkesbygg består av [16]. I en rapport fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) er ulike strategier og tiltak for yrkesbygg nøye gjennomgått med fokus på deres effektivitet og økonomiske lønnsomhet. De mest effektive tiltakene ble listet opp til [8]:

- Implementering av energioppfølgingssystem
- Installering av sentral driftsanlegg for varme og ventilasjon



- Forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluften og installering av behovsstyrt ventilasjon
- Nytt og automatisk belysningsutstyr basert på behov
- Installasjon av varmepumpe

Store yrkesbygg krever mye teknisk utstyr for å driftes, som medfører et økt behov for energioppfølgingsystemer eller styringsstrategier, slik at anleggene opererer optimalt og i et samspill. Optimalisert effektivitet i ventilasjonssystemet gjennom behovsstyring og forbedret varmegjenvinning av ventilasjonsluften trekkes frem til å ha et stort potensiale for å effektivisere energiforbruket. Ved å installere et sentral driftsanlegg vil det være mulig å kontrollere og overvåke anleggene, som muliggjør høyere grad av behovsstyring. [8]

Typisk er varmetapet gjennom bygningskroppen mindre i yrkesbygg enn boliger, av den grunn det oftest er mindre yttervegg per arealenhet. Dermed vil effekten av etterisolering være avhengig av hvilken type yrkesbygg, bygningsår og tilstand. Generelt vil etterisolering være mindre effektivt dersom oppvarmingsbehovet ikke utgjør en stor andel av det totale energiforbruket, og dersom energi til drift av teknisk utstyr, belysning og varmtvann er høyt. I bolighus er varmepumpe en mye brukt løsning for å effektivisere oppvarmingsbehovet, dette tiltaket er ikke ansett som like optimalt for store yrkesbygg. Bruken av vannbåren oppvarming og fjernvarme er ofte brukt i yrkesbygg, som gjør at de allerede har innebygget fleksibilitet i varmesystemet. Derimot kan luft-til-luft varmepumper være nyttige i mindre yrkesbygg, fordi de ikke krever et eksisterende vannbåren system i bygningen [17]. I 2016 ble det forbudt med fossile brensel til oppvarming, og alternativ er biobrensel en løsning til fornybare oppvarmingskilder [18].

Utfordringer knyttet til energioptimalisering i yrkesbygg omfatter en potensiell mangel på kompetanse til å administrere eller optimere de tekniske anleggene. Behovet for grundig forståelse av bygningsfysikk og styring av tekniske anlegg er nødvendig for å opprettholde et gunstig inneklima og realisere potensialet for bygningsdrift. Videre kan bruken av bygget endre seg over tid, noe som kan føre til at tidligere innstillinger for styring av anleggene ikke lenger er optimale. Det er også vanlig i yrkesbygg at insentivene er delt mellom leietaker og byggherre, ved at leietaker betaler leiekostnader og byggherre står ansvarlig for investeringer. For store yrkesbygg er det vanlig at et selskap fungerer som byggherre, dette kan i mange tilfeller medføre at beslutninger om bygningsdriften er styrt av økonomisk lønnsomhet i motsetning til driftoptimalisering. [8]

2.4 Inneklima

En bygning består som regel av forskjellige soner, som har hver sine behov. Av den grunn er det vanlig i næringsbygg med lokal kjøling og oppvarming for å ha muligheten til å differensiere på romnivå og ta hensyn til varierende ønsker og behov [10]. Dette medfører et behov for mekanisk ventilasjon gjennom oppvarming, ventilasjon og air-condition (HVAC), da naturlig ventilasjon i mange tilfeller ikke er tilstrekkelig nok [12]. For å kunne regulere inneklima i yrkesbygg benyttes vanligvis ventilasjonskjøling, hvor avgitt kjøleeffekt justeres etter valgt reguleringsstrategi. Det kan eksempelvis reguleres etter ønskelig tilluftstemperatur fra ventilasjonsanlegget. Tilluften har vanligvis verdier mellom 16 og 21 grader og benyttes med kjøleeffekt for å regulere innetemperaturen [6].

Byggteknisk forskrift og arbeidsmiljøloven definerer generelle krav og standarder for termisk komfort inne i rom for varig opphold. Under dette kommer også anbefalte verdier for spesifikke parametre som operativ temperatur, strålingsasymmetri og lufthastighet. Operativ temperatur



defineres fra middelverdien av lufttemperaturen og midlere strålingstemperatur fra omgivelsene som påvirkes direkte av varmestråling. De anbefalte verdiene for operativ temperatur i en bygning basert på aktivitetsgruppe er gitt i Tabell 2.1. [4]

Tabell 2.1: Operativ temperatur basert på aktivitetsnivå [19]

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid
Operativ temperatur [°C]	19-26	16-26	10-26

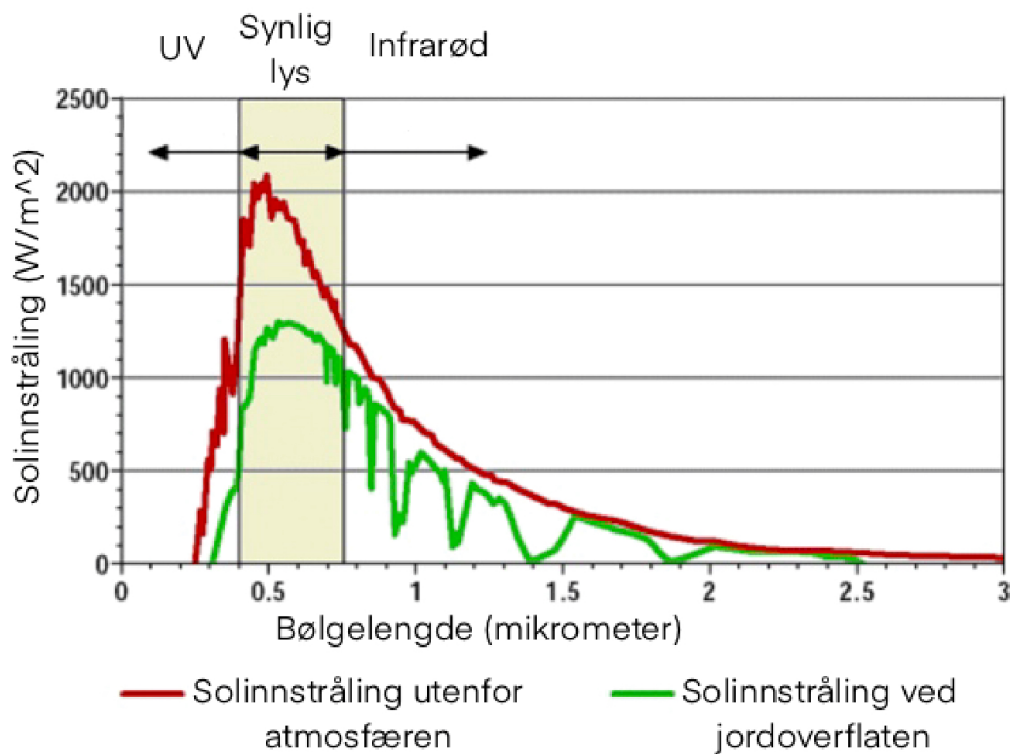
I et rom med høy personbelastning, er det ikke tilstrekkelig å kun regulere etter konstant tilluftstemperatur. Et høyt nivå av CO_2 i luften kan signalisere utilstrekkelig ventilasjon, som kan føre til en følelse av tyngde eller ubehag i luften. Det anbefales at CO_2 -nivået ikke overskrider 1000 ppm, og derfor kan det i tillegg være hensiktsmessig å regulere ventilasjonsanlegget basert på CO_2 -nivået i rommet. Dette er en vanlig praksis i dag, og det muliggjør en mer presis tilpasning til den faktiske belastningen i lokalet [6]. [4]

Ytterligere er fuktighet i luften inndendørs en faktor som påvirker inneklimate både med hensyn på komfort, hygiene og bygningsskade [4]. Luftfuktighet er betegnet som innholdet av vanndamp i luft, og kan angis basert på relativ luftfuktighet (RF). RF refererer til prosentandelen av vektmengden vanndamp i luften, i forhold til den maksimale mengden vanndamp luften kan inneholde ved gjeldende temperatur, før den kondenserer til dugg på overflater. Anbefalte verdier for luftfuktighet om vinteren i Norden er mellom 30-40 %. Lavere nivåer kan føre til at luften oppleves som tørr, men høyere nivåer kan skade byggverk og ventilasjonsanlegg. [20]

Utfordringen med å overholde krav til klima innendørs er de øvrige nevnte faktorene som gjør det vanskelig å regulere ventilasjonsanlegget for å ta hensyn til varierende påvirkninger og behov, som blant annet varierende intern last. Ytterligere er det nødvendigvis ikke alltid en klar sammenheng mellom kjølebehov og utetemperaturen. Eksempelvis på solrikedager i vinterhalvåret kan varmen fra solenergi bidra til oppvarming av innvendig areal, selv med lav utetemperatur. [6]

2.5 Solinnstråling

Solstråler består av en rekke ulike strålingsfrekvenser, hovedsakelig synlig lys, infrarød stråling og ultrafiolett stråling (UV-stråling). UV-stråling, indikerer effekten til solstrålen, og deles i UVA-, UVB- og UVC-stråler ut ifra tilhørende bølgelengde. UVC-strålinger neglisjeres ved jordoverflaten ettersom deres tilhørende korte bølgelengder absorberes i ozonlaget. I ozonlaget blir delvis UVB-stråler absorbert, og ytterst få UVA-stråler, grunnet tilhørende korte og lange bølgelengder. Kortere bølgelengder har høyere effekt, og UVB-strålene har derfor høyere effekt enn UVA-strålene. Selv med en større andel UVA-stråler, kan effekten fra UVB-stråler være like stor [21]. Andelen UV-stråling som treffer en flate er avhengig av direkte og diffus stråling. Direkte stråling har minimale hindre for strålingen, mens diffus stråling treffer først jordoverflaten etter en spredning i luften forårsaket av hindre som skyer og tåke [22]. Dager med tynt skydekke demper ubetydelige mengder UV-stråling, mens tykt skydekke kan redusere UV-strålingen opptil 50 %. I Figur 2.3 fremkommer de forskjellige bestanddelene i solstråler, hvor energien øker ved kortere bølgelengder. [23]



Figur 2.3: Strålingsfrekvenser i solstråler. Tilpasset fra [24].

Mengden strålingsenergi fra solen som treffer vinkelrett på det ytterste laget i atmosfæren er angitt som solkonstanten og er estimert til å være 1366 W/m^2 [25]. Selv om solkonstanten ytterst ved atmosfæren er på 1366 W/m^2 , vil den imidlertid sjeldent overstige 1000 W/m^2 ved jordoverflaten, grunnet absorpsjon fra sky, tåke og støv. Effekten fra solinnstrålingen på en flate er også avhengig av innfallsvinkelen til strålene. En innfallsvinkel som treffer normalt på overflaten har høyere effekt sammenlignet med tilnærmede horisontale innfallsvinkler. [26]

Evaluerings av den faktiske effekten fra solinnstråling på en flate er underlagt av å inkludere flere faktorer. Deklinasjonsvinkelen, δ , indikerer høyden til solen sett fra ekvator, gjennom ett år. Helningen jorden har i forhold til solen er $23,45^\circ$, og deklinasjonsvinkelen vil som følge av dette alltid variere mellom $23,45^\circ$ og $-23,45^\circ$, som gir utgangspunktet i Formel 2.1 [27].

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (284 + N)\right) \quad (2.1)$$

Konstantene oppgitt i formelen er $23,45$, $\frac{360}{365}$ og 284 , mens N er en variabel for antall dager i året fra 1 til 365. Verdien $\frac{360}{365}$ representerer en rotasjon på 360° for én full runde rundt solen, som jorden bruker 365 dager på å fullføre [27]. 284 er en verdi som anvendes som en justering slik at solhøyden samsvarer med daglengdene og årstidene. [28]

Effekten av solinnstråling avhenger ikke bare av solhøyden, men også av tidspunktet på dagen. Tidspunktet beregnes ved hjelp av fire formler, hvor verdiene for B og ET først beregnes i henholdsvis Formel 2.2 og Formel 2.3. [28]



$$B = (N - 81) \cdot \left(\frac{360}{364}\right) \quad (2.2)$$

$$ET = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B) \quad (2.3)$$

I den første formelen er det to variabler N og B , hvor N allerede er gitt som dager i året. Variabelen B er avhengig av N og representerer solvinkelen i relasjon til vårjevnsdøgn, mens verdien 81 tilsvarer dagen vårjevnsdøgnets oftest oppstår [29]. I formelen er verdien $\frac{360}{364}$ oppgitt, hvor 360 symboliserer en rotasjon rundt jorden, og 364 brukes da det er delelig med 7, som resulterer i 52 hele uker. I påfølgende formel er variabelen ET , equation of time, avhengig av B . ET symboliserer tidsavvik som forekommer fra avviket mellom den sanne og gjennomsnittlige soltiden. Avviket oppstår som følge av jordens elliptiske bane rundt solen, som resulterer i endringer i hastigheten basert på posisjonen [30]. Tidsavviket anvendes videre i Formel 2.4 og 2.5 for å beregne respektivt sann soltid og timevinkel. [28]

$$AST = LST + ET + -4 \cdot (SL - LL) \quad (2.4)$$

$$h = (AST - 12) \cdot 15 \quad (2.5)$$

Tidsavviket funnet i Formel 2.3 anvendes videre for å finne den sanne soltiden, AST . Som følge av jordens elliptiske bane er ikke alle dagene like lange, og fører til at enkelte dager har lengre perioder med sol [31]. Menneskeskapt klokke er delt opp i 24 like lange timer, uavhengig av tidsavviket som forekommer. Den sanne soltiden blir ikke fremvist, og det gjøres beregninger for dette ved å benytte lokal standard tid, LST , tidsavvik, standard lengdegrad, SL og lokal lengdegrad, LL . Lokal standard tid er alle timene i ett døgn og summeres med tidsavviket. Standard lengdegrad og lokal lengdegrad gjenspeiler lokasjonen til undersøkt område. Samlet gir område og tidsestimeringen den sanne soltiden for området beregningene utføres. Timevinkelen, h , representerer hvordan jorden roterer for at meridianen havner rett under solen, og avhenger av den sanne soltiden [32]. [28]

Deklinasjonsvinkelen og timevinkelen gjør det mulig å estimere innfallsvinkelen, θ , til solinnstrålingen fra solen, for vilkårlige tidspunkt og områder. Formel 2.6 og 2.7 representerer beregningene for innfallsvinkelen på henholdsvis horisontale og vertikale overflater. [28]

$$\theta = \text{acos}((\sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h))) \quad (2.6)$$

$$\theta = \text{acos}((- \cos(L) \cdot \sin(\delta) \cdot \cos(Z_s) + \sin(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h) \cdot \cos(Z_s) + \cos(\delta) \cdot \sin(h) \cdot \sin(Z_s))) \quad (2.7)$$

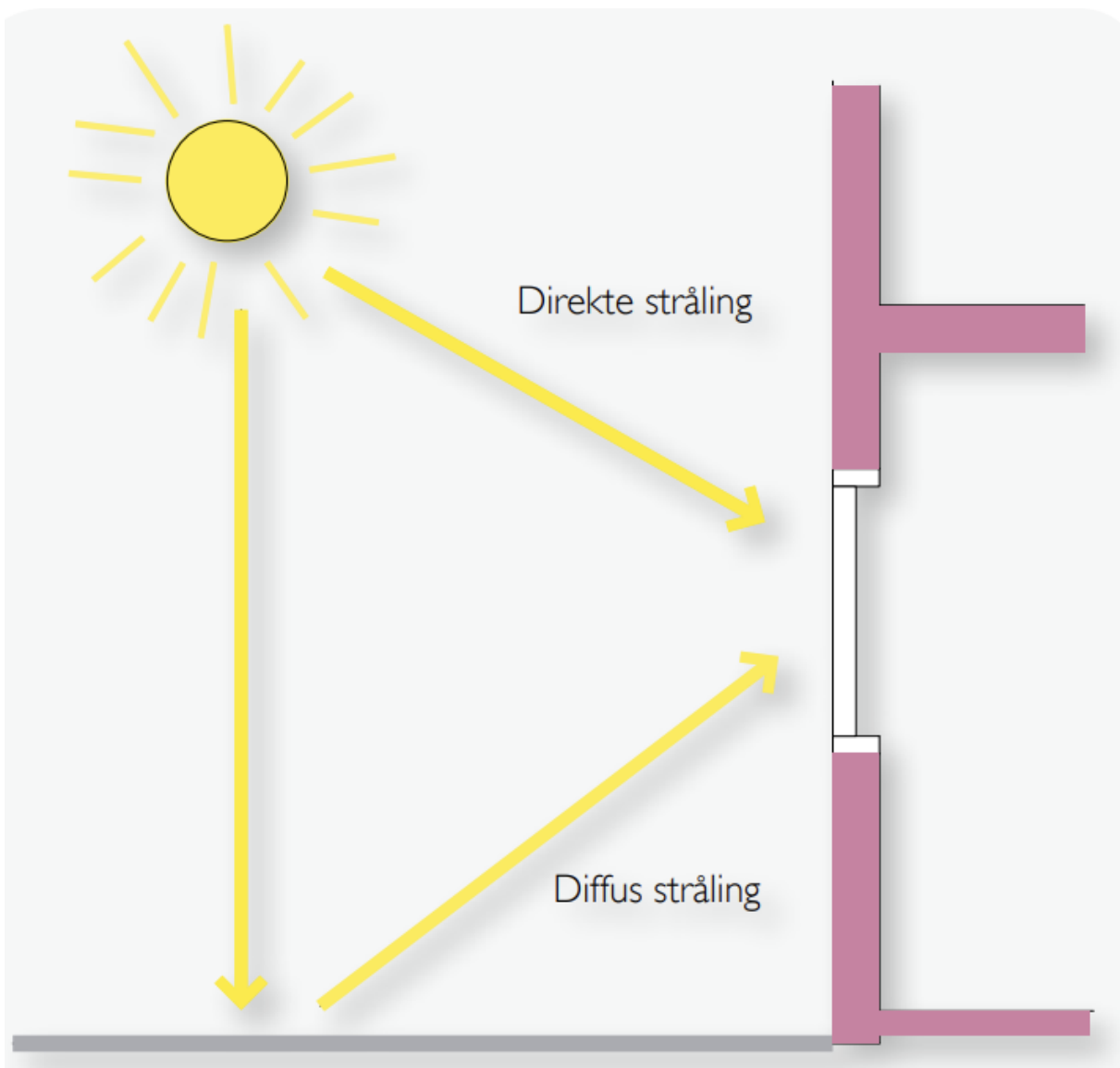
Innfallsvinkelen for horisontale flater beregnes fra deklinasjonsvinkelen, timevinkelen og breddegraden, L . Vertikale flater beregnes med de samme faktorene, i tillegg til Z_s . Z_s representerer kompassretningen til den vertikale flaten. Sørvendte flater har en Z_s verdi på 0° , mens nordvendte flater har en Z_s verdi på 180° . Ved hjelp av de øvrige formlene som beregner timevinkelen,



den sanne soltiden og innfallsvinkelen, er det mulig å beregne effekten av solinnstråling på et hvert tidspunkt for en vilkårlig overflate. [28]

2.5.1 Solenergi gjennom en semitransparent flate

Bygningers energibruk påvirkes både positivt og negativt av mengden solenergi som kommer gjennom glassoverflatene. I et kaldt klima som Norge, vil solenergi fungere som en verdifull varmekilde på vinterhalvåret, mens i sommerperioden er det ønskelig å blokkere solstrålene for å unngå overoppheting av innvendig areal. Den totale strålingen som treffer en flate består av direkte stråling og diffus stråling. Intensiteten til solinnstråling som treffer fasaden varierer av flere årsaker, primært basert på faktorer som breddegrad, tidspunkt på året, tid på døgnet og orienteringen til fasaden i forhold til kompassretningen. Strålingstypene som utgjør total stråling illustreres i Figur 2.4. [33]

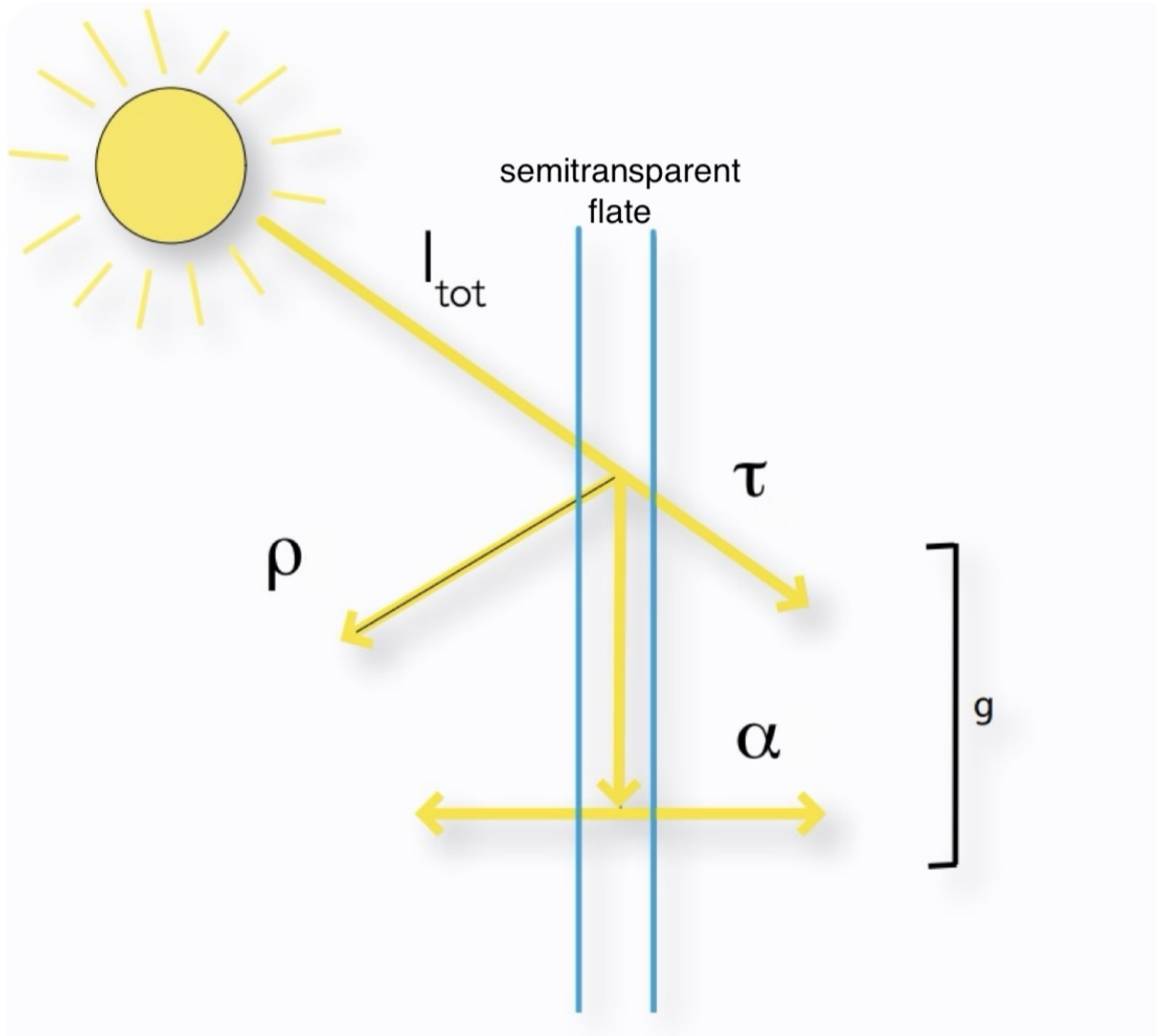


Figur 2.4: Illustrasjon av direkte og diffus solinnstråling mot fasade [33].

En glassflate kan karakteriseres som et semitransparent medium, som betyr at en viss andel av strålingen transmitteres direkte gjennom flaten. De resterende strålene som treffer overflaten

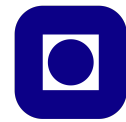


reflekteres bort eller absorberes. Absorpsjon, α , skjer når innstrålingen interagerer med flaten og øker den indre termiske energien. Transmisjon, τ , er innstråling som går direkte gjennom en flate eller et medium. Refleksjon, ρ , er prosessen hvor innstrålingen reflekteres bort fra flaten uten at det påvirker legemet. All innkommende stråling, I_{tot} , må enten bli reflektert, absorbert eller transmittert på et medium, og fordelingen av disse effektene er avhengig av flatens egenskaper [14]. Fra Figur 2.5 illustreres det hvordan de ulike effektene påvirker en semitransparent flate.



Figur 2.5: Illustrasjon av effektene absorpsjon, transmisjon og refleksjon [33].

I Figur 2.5 illustreres også g -verdien, definert som andelen solenergi som trenger gjennom glass. Det fremgår at egenskapene til mediet er av betydning, ettersom τ og α er viktige faktorer som bestemmer hvor mye av den innkommende strålingen som trenger gjennom flaten. Bakgrunnen til dette er at absorbert stråling øker den indre termiske energien til glasset og det blir avgitt som varme på innsiden. Når innsiden av glasset varmes opp av konduksjon, som skjer gjennom glasset, vil luften i kontakt med glassets innside varmes opp og spre varmen i rommet gjennom konveksjon. Direkte stråling vil også bidra til å øke overflatetemperaturen i rommet, ved at solinnstråling passerer gjennom glasset, absorberes og omdannes til varme av legemer på innsiden av bygget. [14]



G-verdien til glass og solskjerming er en viktig faktor som vil avgjøre påvirkningen solenergi har på varmetilskuddet til bygningen. Lave g-verdier tilsier at små mengder solvarme trenger inn i bygningen, mens store g-verdier har motsatt effekt [34]. Følgende vil dette være av betydning for inneklimate og kan medføre ytterligere kjølebehov. [14]

2.6 Solskjerming

Solskjerming benyttes på glassfasader og vinduer for å blokkere solvarmen fra solenergien, og dermed hindre overoppheting av bygningen. Dette bidrar også til å sikre termisk komfort og hindre blinding. I nordlige områder er det utfordrende å avgjøre hvilke funksjoner en solskjerm skal dekke for å oppnå best kompromiss mellom egenskapene [14]. Dette skyldes blant annet at innfallsvinkelen til solen er ofte betydelig forskjellig mellom vinter og sommer, og værforholdene kan være uforutsigbare. For å utnytte solenergien optimalt, er målet å tillate at sollys slippes inn på kalde dager, samtidig som solen blokkeres på dager med fare for overoppheting. [12]

Solskjerming kan klassifiseres som interne, eksterne og integrerte i glasset, med ulik evne til å kontrollere varme- og lysinnstråling. Ekstern solskjerming anses som det mest effektive tiltaket for å hindre varme fra solstrålene, grunnet at den stopper solvarmen før den trenger inn i fasaden. Imidlertid krever eksterne større grad av vedlikehold ettersom solskjermingen er værutsatt. Ytterligere, vil denne solskjermingen ha betydelig innvirkning på fasadens estetikk, ved at det arkitektoniske uttrykket kan endres. [35]

Generelt er intern og integrerte løsninger for solskjerming mindre effektive til å stenge ute solvarme, sammenlignet med eksterne alternativer. Til tross for dette er det fordelaktig at de ikke påvirker bygningens arkitektoniske uttrykk [12]. Intern solskjerming, for eksempel gardiner og lameller, anses som den minst gunstige formen for solskjerming. Dette skyldes mangel på energitekniske egenskaper, ettersom solskjermingen stopper varmen først etter den er transmittert gjennom glasset. Til tross for dette er løsningen økonomisk gunstig og krever minimalt vedlikehold, da den er plassert innendørs og ikke utsettes for værforhold. [35]

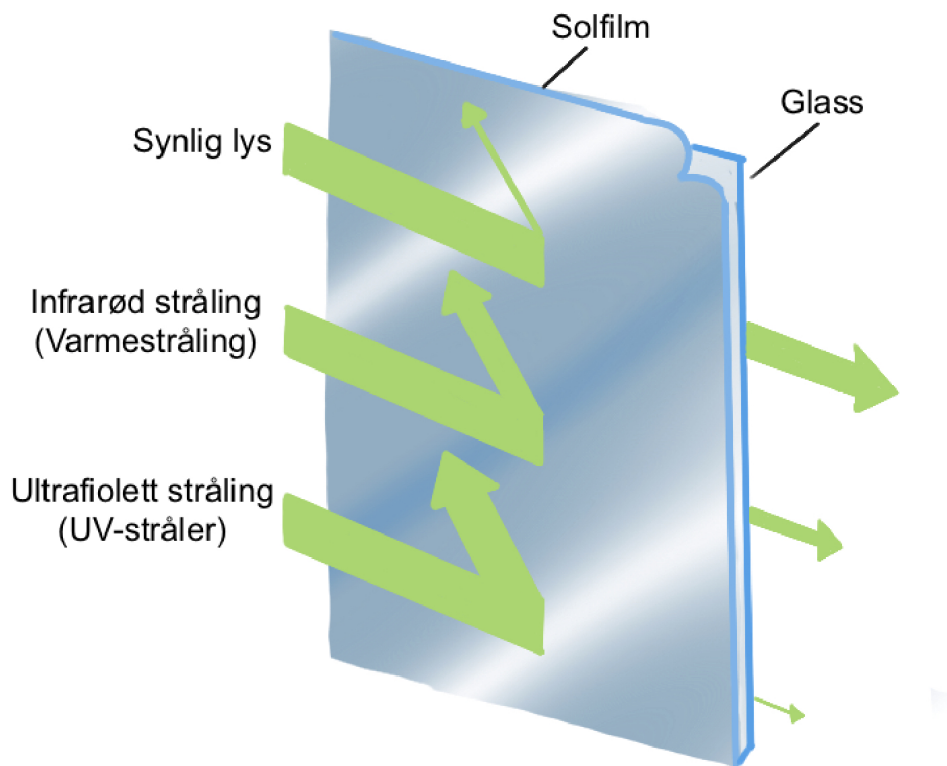
Sammenlignet med den interne varianten, kan integrert solskjerming anses å være noe mer effektivt. Solskjermingen plasseres mellom det innerste og ytterste glasslaget, eksempelvis persienner i mellomlaget som ligger forseglet. Denne løsningen gir også mulighet for manuell styring innendørs og har fordelen med å være værbeskyttet. Imidlertid er tiltaket nokså kompleks og kostbart. Dette skyldes blant annet behovet for utskiftning av hele glasset ved tilfeller av vedlikehold og reparasjon. [35]

Det finnes både aktive solskjermingssystemer som eksempelvis er automatisert og dynamisk, og passive som er faste systemer eller manuelt betjente bevegelige solskjermer. Hovedfordelene med fastmontert solskjerming er at det er enkelt å implementere, vedlikeholde og er et rimelig økonomisk alternativ. Derimot er det mer utfordrende å kontrollere varme- og lysintensiteten, da de ofte er tunge og vanskelig å håndtere [36]. Utvendige fastmonterte skjerming kan være persienner, markiser og screen. [12]

For offentlige bygg og næringsbygg er fasaden ofte preget av store glassoverflater. Dette øker betydningen av effektiv solskjerming for å oppnå termisk- og visuell komfort, samt energieffektivitet. For å unngå overoppheting og redusere kjølebehov, kan ekstern fastmontert solskjerming anses som den mest gunstige løsningen. Ettersom denne solskjermingen ikke kan kontrolleres manuelt, bør det søkes et kompromiss mellom ulike egenskaper som er ønskelige i ulike årstider og værforhold [14]. [35]



Figur 2.6 viser funksjonen til en utvendig fastmontert solfilm, som er en form for solskjerming. Hensikten er å redusere solenergi i form av infrarød og ultrafiolett stråling, samtidig som tilstrekkelig mengde synlig lys slippes inn. [35]



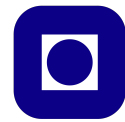
Figur 2.6: Utvendig fastmontert solfilm. Tilpasset fra [37].

For å beregne effekten solskjermen har til å minimere solenergien brukes g-verdien for kombinasjonen av glasset og solskjermen. [14]

2.7 Kostnadsvurdering

For å gjøre en kostnadsvurdering av energieffektive tiltak eller energiproduserende teknologier benytter aktører som eksempelvis NVE vanligvis Levelized cost of energy-analyser (LCOE). Hovedformålet med LCOE er å kunne sammenligne kostnadene mellom ulike produksjonsteknologier og for å finne ut om et prosjekt er lønnsomt eller ikke. Denne metoden er primært benyttet for å estimere kostnaden for å produsere energi over hele levetiden til et produksjonsanlegg inkludert investerings-, vedlikehold og driftskostnader og brenselkostnader knyttet til drift av anlegget. Derimot for et energieffektiviseringstiltak blir det ikke produsert energi, og dette kan gå utenfor formålet med en LCOE analyse. Imidlertid kan estimatet benyttes for å se på kostnaden for spart energi over tiltakets levetid. Hvor den sparte energien representerer energi som ikke trenger å bli produsert. Ved å benytte LCOE for slike tiltak kan kostnadseffektiviteten til tiltaket sammenlignes med flere ulike implementeringer og en kan finne ut om tiltaket er lønnsomt med hensyn på spart energi. LCOE kan beskrives ved følgende Formel 2.8: [8]

$$LCOE = \frac{\text{Netto nåverdi av totale kostnader over levetiden (kr)}}{\text{Netto nåverdi av spart energi over levetiden (kWh)}} \quad (2.8)$$



Videre for å finne netto nåverdi av totale kostnader over levetiden og netto nåverdi av totale kostnader for spart energi over levetiden brukes henholdsvis Formel 2.9 og Formel 2.10. [8]

$$\sum_{t=0}^{N_p} \frac{I + D_t + B_t}{(1+r)^t} \quad (2.9)$$

$$\sum_{t=0}^{N_p} \frac{E_t}{(1+r)^t} \quad (2.10)$$

Hvor I er investeringskostnaden, D_t er drift og vedlikeholdskostnader i år t og B_t er brenselskostnader i år t , alle oppgitt i kr. E_t er produsert eller spart energi i år t gitt i kWh . N_p er levetiden til produksjonsanlegget eller effektiviseringstiltaket gitt i antall år, og til slutt er r diskonteringsrenten i prosent [8]. Diskonteringsrenten er definert som et avkastningskrav som benyttes for å beregne nåverdi av fremtidige kontantstrømmer. Renten er risikjustert som betyr at størrelsen er avhengig av usikkerheten til prosjektet eller avkastningen [38]. Vanligvis i samfunnsøkonomiske analyser benyttes det en diskonteringsrente på 4 % [8]. Samfunnsøkonomiske analyser anvendes vanligvis for å vurdere om ulike offentlige tiltak og investeringer totalt sett er lønnsomme for samfunnet eller ikke [39].

Ytterligere benyttes samfunnsøkonomiske analyser til å legge et viktig grunnlag for prioritering av tilgjengelige ressurser. Formålet er å systematisk kartlegge og synliggjøre virkningene av tiltak før implementering [39]. Dette danner grunnlaget for problemstillingen i denne oppgaven. Ved å estimere virkningen et energioptimaliseringsprosjekt har på energibehovet før investeringen gjennomføres, kan dette bidra til å redusere risikoen knyttet til prosjektet. Dette vil være nyttig for byggeier, som vil være ansvarlig for investeringskostnadene av et energioptimaliseringsprosjekt.



3 Casestudie City Syd og Tiller Torget

I denne seksjonen presenteres relevant informasjon og data om casestudiet som undersøkes i denne oppgaven. Formålet er å gi tilstrekkelig innsikt i eksisterende energiforbruk og egenskapene til glassfasadene i bygningene, som er av betydning for problemstillingen.

3.1 Introduksjon til prosjektet

Denne oppgaven har som formål å undersøke kjøpesenterne City Syd og Tiller Torget, som er lokalisert på Tiller i Trondheim kommune. Aktuelt for bygningene er et energioptimaliseringsprosjekt, som har fokusert på ulike tiltak for å bedre energiforbruket og behovet. Prosjektet er et samarbeid mellom eier Thon Holding, senterledelsen og Rambøll, som rådgivende konsulent. I forprosjektet ble utvalgte aspekter av infrastrukturen evaluert for optimalisering, og en liste med tiltak ble utformet. Dette omfatter eksempelvis driftsoptimalisering av tekniske anlegg, utvikling av effektive styringsstrategier, oppgradering av varmesentral og utbedring av tak for implementering av solceller. Som nevnt innledningsvis fokuserer oppgaven på implementering av solskjerming på glassfasader samt utskiftning av eksisterende glass for å redusere solenergi og eventuelt kjølebehov. Figur 3.1 og 3.2 viser bygningene og deres fasader.



Figur 3.1: City Syd [40].



Figur 3.2: Tiller Torget [41].

City Syd kjøpesenter består av to adskilte deler, som kjennetegnes av byggeierne som Coop- og Storebrand delen. Bygget ble ferdigstilt i 1987 som et av de største kjøpesentere i Norge på den tiden med et totalt areal på $38\,000\text{ m}^2$. En viktig presisering er at implementering av energieffektive tiltak i oppgaven kun fokuserer på Storebrand-delen, som har et samlet oppvarmet areal på $20\,041\text{ m}^2$. Kjøpesenteret Tiller Torget er et nyere bygg og ble åpnet i 2004. Det totale arealet er på $35\,900\text{ m}^2$, med et samlet oppvarmet areal på $27\,500\text{ m}^2$.

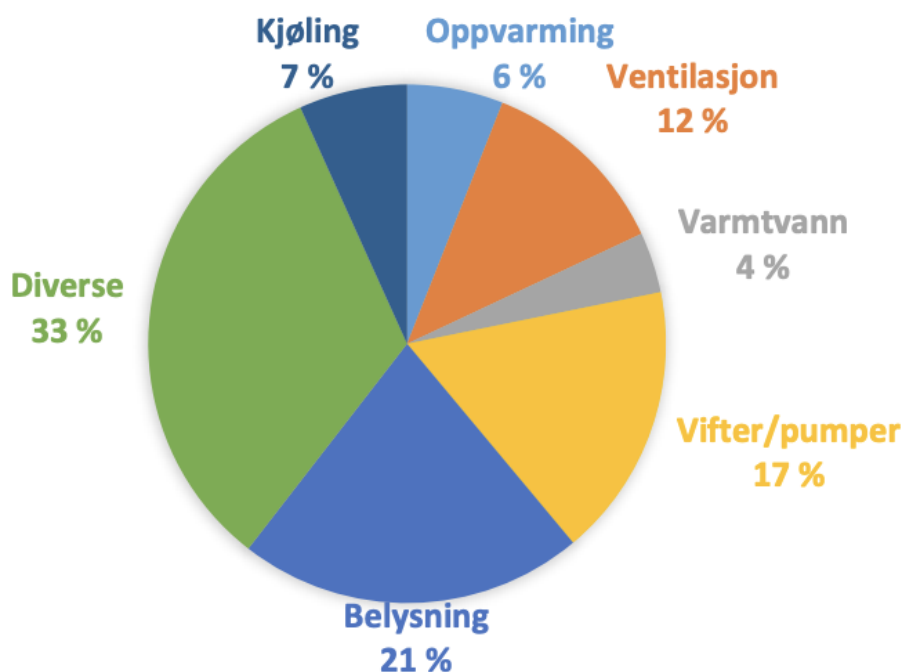
Kjøpesentrene kan begge karakteriseres som relativt eldre bygninger, særlig City Syd. Dette påvirker hvilke byggeforskrifter som var gjeldende ved ferdigstillelse og den tekniske infrastrukturen som ble implementert. Eldre bygninger har generelt et betydelig potensial for energioptimalisering gjennom forholdvis enkle tiltak, som gjør de svært gjeldende for et slikt prosjekt. En fremtredende karakteristikk ved kjøpesentre er bruken av glassfasader, som bidrar til bedre utnyttelse av naturlig lys og skaper en følelse av romslighet [6]. Dette aspektet er også relevant for bygningene i casestudiet, og danner grunnlaget for formålet med å minimere de negative energikonsekvensene av den arkitektoniske utformingen.



3.2 Energiforbruk City syd

Analyse av de ulike forbrukspostene i bygningene gjør det enklere å identifisere hvilke som utgjør den største delen av energiforbruket. Dette gir innsikt i hvilke områder som har størst potensial for optimalisering og effektive tiltak for å redusere energiforbruket.

Sektordiagrammet i Figur 3.3 illustrerer en oversikt over andelen av forbruket de ulike energipostene utgjør, og er gjort i en energianalyse av Rambøll. Fra figuren kommer det frem at kjølebehovet utgjør 7 % av det totale forbruket, noe som overstiger energiforbruket til oppvarmingen på henholdsvis 6 %. Oppvarmingsbehovet blir dekket av fleksibel oppvarming basert på varmegjenvinnere og fjernvarme. Halvparten av energibehovet er knyttet til belysning, ventilasjon, vifter og pumper. [8]



Figur 3.3: Fordeling av energiposter på City Syd [42].

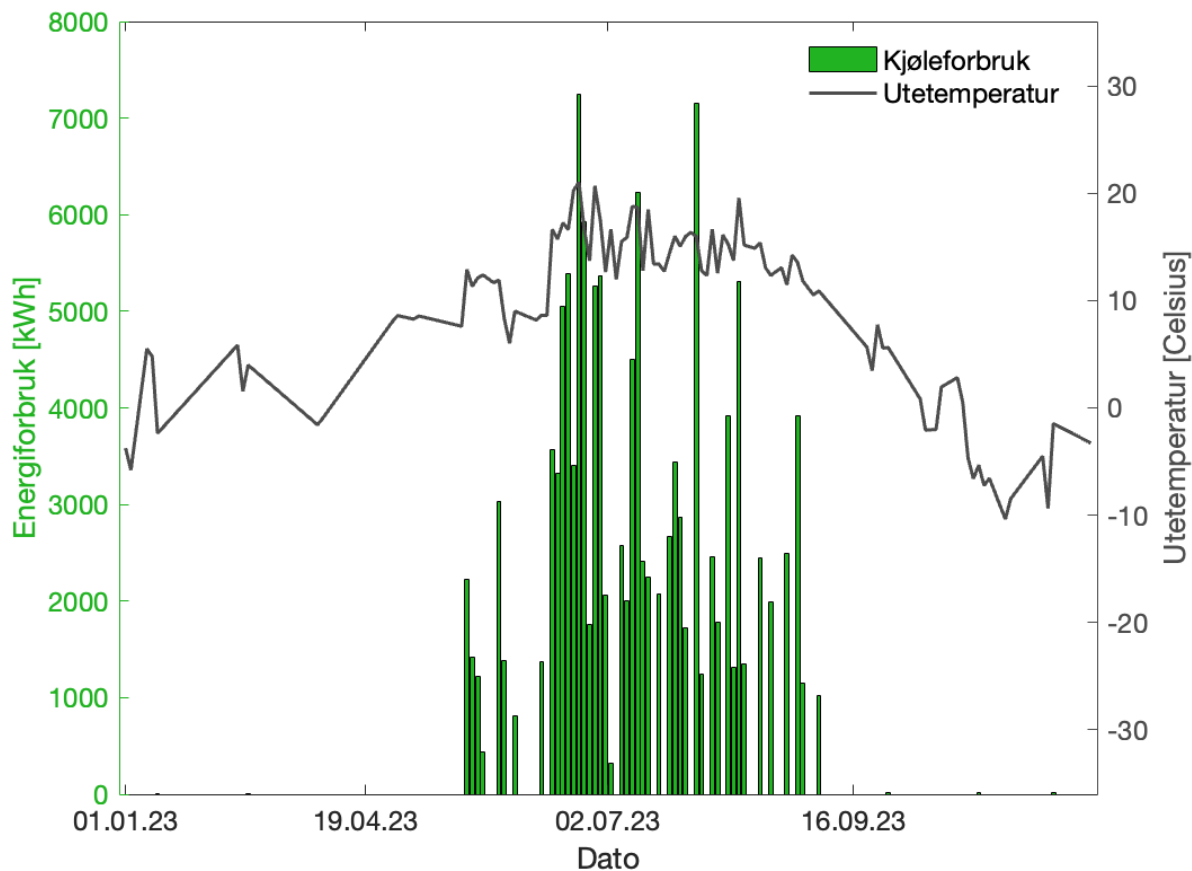
Data over energiforbruket til City Syd er innhentet fra *GK-Cloud*, som er det sentrale driftskontroll anlegget (SD) benyttet på lokasjonen. SD-anlegg er en programvare som har til hensikt å styre og overvåke automasjon og tekniske anlegg tilknyttet et bygg. Programvaren kan kategoriseres som administrasjonsnivået til byggautomasjon, og kommuniserer med komponentene som er installert på feltnivå og automasjonsnivå i bygget. [43]

Kjøleforbruket for bygget er hentet ut og inndelt i to kategorier, kjøling på overordnet nivå og lokalt nivå. Det er benyttet historiske verdier for siste hele kalenderår i 2023, for å få et helhetlig bilde over forbruket. Ytterligere er det innhentet data for omgivelsestemperaturen i nærliggende område for samme periode fra *Norsk Klimaservicesenter* [44]. Grafene for utetemperatur varierer mellom Figur 3.4 og 3.5 ettersom antall dager det er gjort målinger for kjøleforbruk varierer.

Figur 3.4 viser energiforbruket til kjøling på overordnet nivå, og består av ventilasjonsanlegget som sirkulerer i hele senteret. Denne kjøle/varme-ventilen styres av avtrekkstemperaturen på de enkelte ventilasjonsanleggene rundt om i bygget. Omleggingen fra varme eller kjøling gjøres manuelt, som reguleres når det ikke lenger er mulig å opprettholde god temperatur innendørs



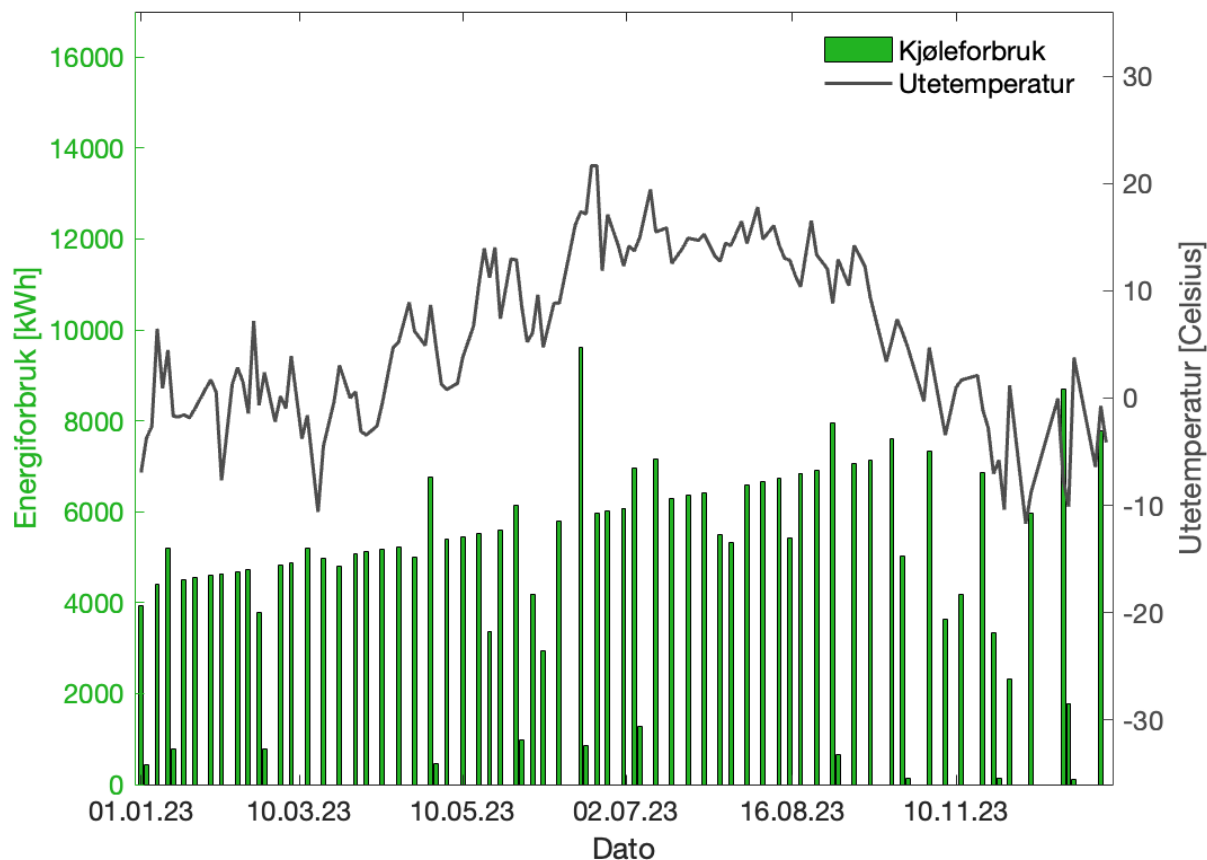
med ren luftutskiftning uten kjølepådrag.



Figur 3.4: Kjøleforbruk City Syd fra 1.1.23 - 31.12.23, hentet ut og tilpasset fra GK-Cloud.

Fra figuren vises alle målingene gjort gjennom 2023, som sammenlagt var 97 dager. Totalt utgjør det overordnede kjøleforbruket $130\,875\text{ kWh}$ per år. Det fremkommer en tydelig korrelasjon mellom økt omgivelsestemperatur og økning i kjølebehovet for sommerperioden.

Figur 3.5 illustrerer forbruket på det lokale nivået. Måleren er for sammenlagt forbruk til alle kjøleventilene som går til de ulike leietakerne på City Syd. Denne delen av kjøleanlegget forsyner også kjøle- og fryseskap til restauranter, og har derfor kjølepådrag hele året.

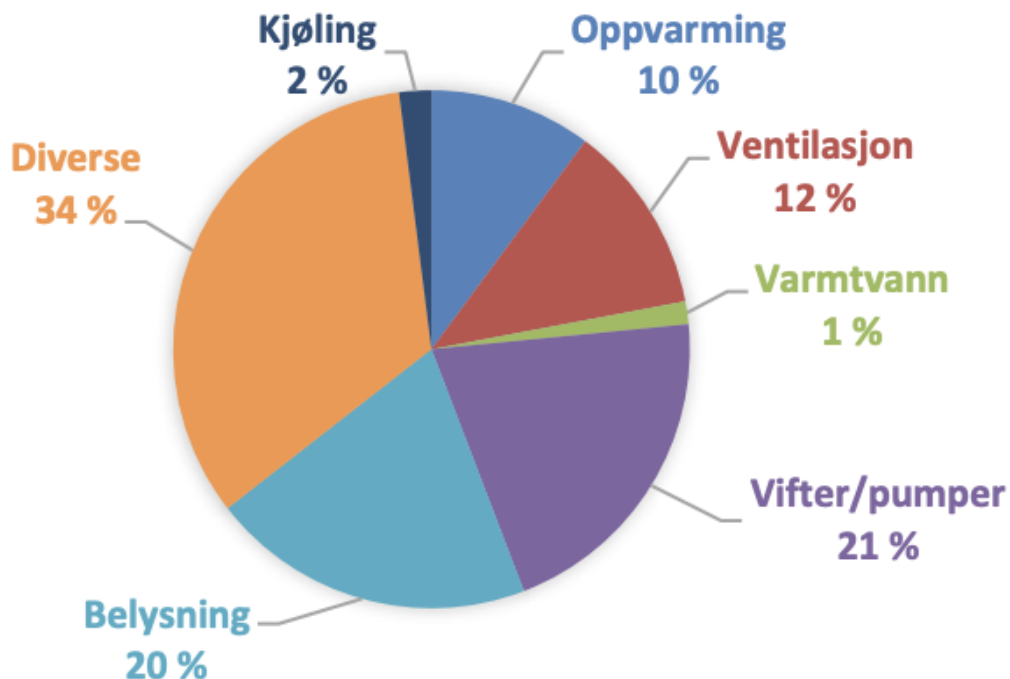


Figur 3.5: Kjøleforbruk City Syd for leietaker fra 1.1.23 - 31.12.23, Hentet ut og tilpasset fra GK-Cloud.

Totalt ble det gjennomført målinger av kjøleforbruket til leietakerne over en periode på 134 dager i 2023. Sammenlignet med overordnet kjøling viser det lokale kjøleforbruket for leietakerne et jevnere pådrag gjennom året, som ikke nødvendigvis korrelerer med utetemperaturen. Det totale kjøleforbruket for leietakerne er 350 627 kWh gjennom ett helt år.

3.3 Energiforbruk Tiller Torget

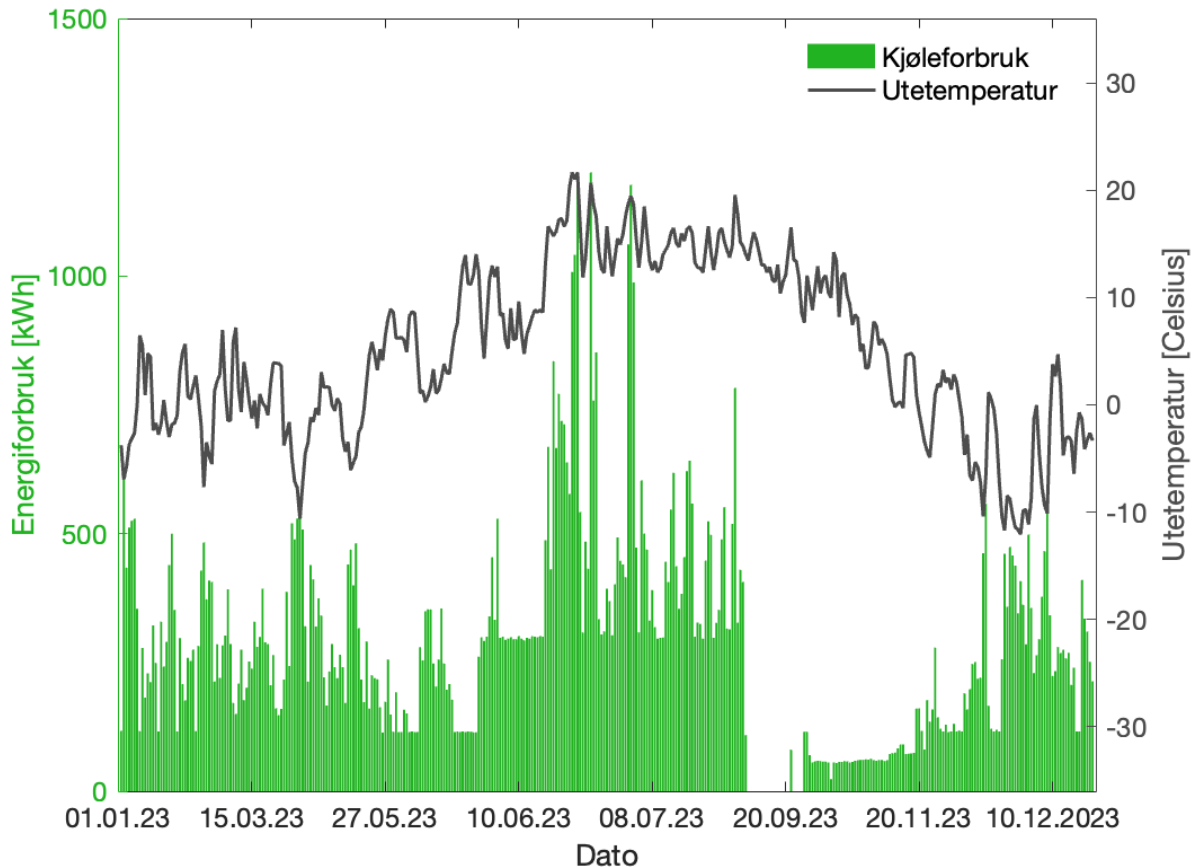
Oversikt over energipostene til Tiller Torget er hentet fra en energianalyse av senteret gjort av Rambøll. Figur 3.6 illustrerer andelen av energiforbruket som går til de utvalgte postene. I likhet med energiforbruket til City Syd, utgjør belysning, vifter og pumper en betydelig andel av energiforbruket. Kjøleforbruket utgjør kun 2 % av totalen, samtidig som oppvarmingsforbruket er betydelig høyere med 10 %. Det er også verdt å merke seg at fjernvarme er implementert til oppvarming av senteret her også.



Figur 3.6: Fordeling av energiposter på Tiller Torget [45].

Data over energiforbruket til Tiller Torget er innhentet fra *Evotek* som er energioppfølgingssystemet (EOS) benyttet på lokasjonen. Systemet kan enten hente data fra SD-anlegget eller være adskilt og ha egne målere. Energioppfølging gir en systematisk innsikt i forbruksmønster og spesifikke indikatorer som eksempelvis kWh/m^2 . I motsetning til et SD-anlegg som kun tar hensyn til forbruket til de ulike anleggene. Dette gjør det mulig å holde oversikt over nøkkeltall og effekt-topper, og i tillegg bruke meteorologiske data for å se sammenhengen mellom utetemperatur og effekten på forbruket. [46]

Figur 3.7 illustrerer energiforbruket som går til kjøling på Tiller Torget. Data uthentet fra *Evotek* er begrenset til én måler for fellesanlegget på senteret og det vannbårne isvannsystemet som sirkulerer ut til alle leietakerne. Historiske data for siste hele kalenderår i 2023 er også benyttet her.

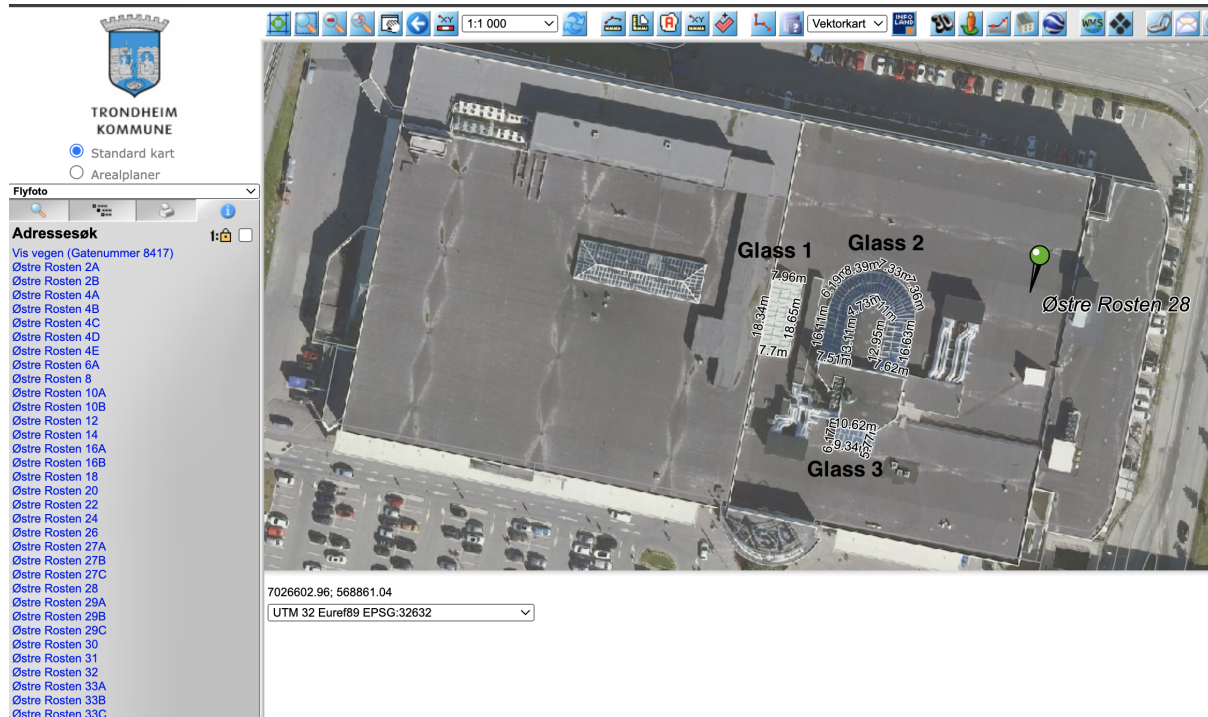


Figur 3.7: Kjøleforbruk Tiller Torget fra 1.1.23 - 31.12.23 Hentet ut og tilpasset fra Evotek.

I Figur 3.7 er det i likhet med graf for overordnet kjøleforbruk på City Syd, en tydelig korrelasjon mellom høy utetemperatur og økt behov for kjøling. Det kan imidlertid observeres det motsatte rundt april og desember. Dette har resultert i et totalt kjøleforbruk på 102 751 kWh gjennom ett helt år for Tiller Torget. Imidlertid vises det også null-målinger i perioden rundt september. Dette skyldes at det over en to-ukers periode ikke er oppgitt målingsverdier. Ytterligere er det flere daglige målinger her enn for City Syd. Dette kan være i sammenheng med at kjøleforbruket for hele kjøpesentret blir målt av en måler og ikke er adskilt med hensyn på ulike behov og nivåer.

3.4 Glassoverflater

På kjøpesentrene er det flere glassfasader som skal tas i betraktning. Arealet av glassoverflatene ble bestemt gjennom flere metoder. For Tiller Torget er fokuset rettet mot glassfasaden ved hovedinngangen, hvor målingen på 568 m² ble utført av prosjektleder for Olav Thon gruppen med lasermåler, og inkluderer rammeverket. Ved City Syd ble arealet for hovedinngangspartiet estimert til 350 m² av Rambøll. Takfasadene areal ble bestemt ved å anvende kartverktøy fra Trondheim kommune kombinert med en arealmåler, som illustreres i Figur 3.8. Den delen av bygget som tilhører Storebrand kan observeres til høyre for midtskillet på taket, og den venstre glassfasaden er dermed ikke inkludert i beregningene. Basert på denne metoden, ble det identifisert og markert tre glassfasadeområder ved navn Glass 1, Glass 2, og Glass 3, med målte arealer på henholdsvis 157.6 m², 350 m², og 60 m².



Figur 3.8: Skjerm bilde av verktøyet som målte glassfasadene på taket av City Syd [47].

På City Syd er det fire forskjellige glassoverflater å ta hensyn til, som er oppgitt i Tabell 3.1. Det fremkommer fra tabellen at de eldre glassfasadene har høyere g-verdi. Dette kan være begrunnet i de byggtekniske standardene som var gjeldende ved installasjon. Glass 1 og 3 er tolagsruter uten belegg, der det er argon som fyller rommet mellom glasspanelene. I likhet med Glass 1 og 3 er inngangspartiet tolagsruter uten belegg med luft istedenfor argon mellom glasspanelene, som gir lavere isolasjonsevne [48]. De gamle glassene har en relativt høy g-verdi på 0,75, og slipper derfor inn store mengder solenergi. Glass 2 på City Syd er nylig utskiftet, og er et tolagsruter glass som allerede har et solbelegg. Som et resultat har Glass 2 lavere g-verdien som er på 0,19. Informasjon om glassflatene er hentet fra Rambøll.

Tabell 3.1: Spesifikke detaljer om glassene på City Syd, hentet fra eksternt veileder

Glass	Oppbygging	Årstall	g-verdi
Glass 1	Tolagsruter uten belegg, argon	1987	0,75
Glass 2	Tolagsruter med solbelegg, argon	2018	0,19
Glass 3	Tolagsruter uten belegg, argon	1987	0,75
Glassfasade inngangsparti	Tolagsruter uten belegg, luft	1987	0,75

På Tiller Torget er det bare én glassoverflate å ta hensyn til, nemlig glassfasaden til inngangspartiet. Glasset er et tolags energiglass, som betyr at glasset er forseglet med et tynt belegg som reduserer varmetransporten i glassene [49]. I Tabell 3.2 vises essensiell informasjon om glasset, inkludert g-verdien som er på 0,63.



3 CASESTUDIE CITY SYD OG TILLER TORGET

Tabell 3.2: Spesifikke detaljer om glasset på Tiller Torget, hentet fra leverandør

Glass	Oppbygging	Årstall	g-verdi
Glassfasade inngangsparti	Standard tolags energiglass, argon	2004	0,63

Glassene har ikke vært byttet ut siden bygget sto ferdigstilt i 2004, og i likhet med de eldre glassene på City Syd har den en høyere g-verdi.



4 Scenarioer

I forbindelse med implementeringen av tiltak for å redusere solenergi på kjøpesentrene, er det utviklet tre ulike scenarioer. Hensikten med utvikling av flere scenarioer er å evaluere effekten av forskjellige tiltak, for deretter å kunne vurdere deres effektivitet, kostnader og betydning for kjøpesentrene som helhet.

4.1 Scenario 1

I Scenario 1 er det tatt utgangspunkt i solskjermingen av typen solfilm RHE 50 SI ER HPR (RHE 50) fra Llummar, som kategoriseres som en utvendig fastmontert solfilm. Den yter samme funksjon uavhengig av årstid, og det er dermed ikke mulighet for dynamisk justering av funksjonene til skjermen etter behov. Solfilmen har ikke en g-verdi alene, kun i kombinasjon med glassflater. De nye g-verdiene er beregnet av eksternt leverandør for solfilmen i kombinasjon med eksisterende glass. G-verdien til glassvinduene etter montering av solfilm vil være forbedret, men effekten av solfilmen er avhengig av hvilken type glass som er installert fra før. Slik det fremkommer av Tabell 4.1 vil effekten av solfilmen være høyere på glass med høy g-verdi sammenlignet med glass som har lavere g-verdi. Informasjonen angående effekten er innhentet fra leverandør, og ytterligere opplysninger er å finne i Vedlegg A. Det oppgis at solfilmen har fargen meget lys sølv, med en levetid på 10 år [50]. I Tabell 4.1 presenteres g-verdiene som er benyttet.

Tabell 4.1: Benyttede g-verdier for Scenario 1, hentet fra Vedlegg A

Glassfasade	Glass 1	Glass 2	Glass 3	Inngangsparti City Syd	Inngangsparti Tiller Torget
Eksisterende g-verdi på glass	0,75	0,19	0,75	0,75	0,63
g-verdi etter solfilm RHE 50	0,39	0,15	0,39	0,39	0,28

For å kunne gjøre en kostnadsanalyse er det innhentet informasjon fra en gitt leverandør vedrørende installering av solfilmen RHE 50. I dette pristilbudet er det inkludert montering, svinn av brutto på definerte standard mål og forsegling i silikon. Et anslag på totalprisen for solfilm RHE 50 på $157,6 \text{ m}^2$, er 252 000 kr.

4.2 Scenario 2

I Scenario 2 er det benyttet en solfilm i samme serie fra Llummar, men av typen RHE 20 SI ER HPR (RHE 20). I likhet med solfilmen i Scenario 1 er dette en utvendig fastmontert solfilm som kun har g-verdi i kombinasjon med glass, og yter samme funksjon året rundt med en levetid på 10 år. Denne solfilmen skal derimot ha høyere effekt på redusering av g-verdi på glassene som er installert fra før. Dette påvirker estetikken til solfilmen, og det er oppgitt fra leverandør at den er fargen mørk sølv [50]. I Tabell 4.2 blir g-verdiene som er benyttet presentert, her kommer det frem at solfilmen er benyttet på alle glass foruten Glass 2, grunnet det er et nyere glass installert i 2018.



Tabell 4.2: Benyttede g-verdier for Scenario 2, hentet fra Vedlegg A

Glassfasade	Glass 1	Glass 2	Glass 3	Inngangsparti City Syd	Inngangsparti Tiller Torget
Eksisterende g-verdi på glass	0,75	0,19	0,75	0,75	0,63
g-verdi etter solfilm RHE 20	0,12	0,19	0,12	0,12	0,10

I Scenario 2 er det innhentet informasjon fra samme leverandør vedrørende installering av solfilmen. Tilbudet inkluderer de samme betingelsene som i Scenario 1. Grovt estimert totalpris for Solfilm RHE 20 på $157,6 m^2$ er på 228 600 kr

4.3 Scenario 3

I Scenario 3 er det vurdert et tiltak som tar sikte på å skifte ut de eldste glassene ettersom de nærmer seg teknisk levetid. I Tabell 4.3 er det presentert et forslag for utskiftning av glass, basert på definerte intervaller. Intervallene er spesifisert som kort, middels og langt. Fokuset i dette scenarioet er på kort og middels intervall, ettersom disse tar hensyn til behovet for utskiftning basert på ny teknologi eller forbedrede løsninger. Med dette i betraktning begynner inngangspartiet på City Syd og Glass 1 og 3 å nærme seg det midtre tidsintervallet, gitt deres installasjonsår i 1987. På Tiller Torget har glasspartiet 10 år igjen før det nærmer seg det korte intervallet.

Tabell 4.3: Definerte intervaller for utskiftning av ulike typer vinduer, hentet fra ekstern veileder

Glassfasade	Materiale/ konstruksjon	Intervaller (år)		
		Kort	Middels	Lang
Inngangsparti City Syd	Stålvinduer/ aluminiumsvinduer	30	40	50
Glass 1	Takvinduer i stål	20	40	60
Glass 3	Takvinduer i stål	20	40	60
Inngangsparti Tiller Torget	Stålvinduer/ aluminiumsvinduer	30	40	50

På City Syd er det tenkt å installere ekstra soldempende glass, på grunn av sørvendt inngangsparti og høy soleksponering på taket. På Tiller Torget er det tatt utgangspunkt i installering av nye vinduer av typen *Standard trelags glass* uten ekstra soldemping. Grunnlaget for dette valget er at inngangspartiet er nordvendt og har derfor mindre soleksponering. I Tabell 4.4 fremkommer de nye g-verdiene for dette scenarioet.



Tabell 4.4: Benyttede g-verdier for Scenario 3, hentet fra leverandør

Glassfasade	Glass 1	Glass 2	Glass 3	Inngangsparti City Syd	Inngangsparti Tiller Torget
Eksisterende g-verdi på glass	0,75	0,19	0,75	0,75	0,63
g-verdi etter installering av glass	0,16	0,19	0,16	0,16	0,51

For å gjennomføre en kostnadsanalyse for Scenario 3 er det innhentet et prisestimat fra en tidligere leverandør som har installert glassfasader på City Syd og Tiller Torget. Det er tatt utgangspunkt i skifte av kun glass, med gjenbruk av gamle karmen, for å kunne sammenligne med øvrige scenarioer. Fra dette ble det gitt et grovt kostnadsestimat per kvadratmeter installert glass på 5000 kr/m^2 , ekskludert mva.



5 Metode

Denne seksjonen har til hensikt å presentere den anvendte metodikken, basert på teoretisk rammeverk og innsamlet informasjon fra casestudiet. Formålet er å gi en detaljert beskrivelse av prosessen som ledet til resultatene for de angitte scenarioene.

5.1 Verktøy

Beregningene er utført ved hjelp av programvaren *Matlab*, et matematikkverktøy som brukes til blant annet matriseregning og avansert plotting [51]. Videre er *Excel* brukt som regneark til å behandle relevant data.

5.2 Beregning for solinnstråling

Total solinnstråling ved glassoverflatene er beregnet ved å anvende teori fra Seksjon 2.5, og det digitale verktøyet *Matlab*. Det første steget i beregningen var å finne deklinasjonsvinkelen, δ , til solen for alle dagene i året, ved å anvende Formel 2.1. Her ble det benyttet verdier fra 1 til 365 i N , for å få et estimat på deklinasjonsvinkelen for alle dagene i løpet av et år.

Vinkelen for B , som baserer seg på vårjevndøgnet ble beregnet ved å benytte Formel 2.2, hvor det i N ble innsatt verdier fra 1 til 365. Påfølgende ble B anvendt i Formel 2.3 for å identifisere tidsavviket, ET , mellom sann og gjennomsnittlig soltid, oppgitt i minutter. Avviket ble benyttet videre i Formel 2.4 for å finne den sanne soltiden, hvor lokal standard tid, LST , lengdegrad, LL , og standard lengdegrad, SL , ble inkludert. I LST ble det innført verdier fra 1 til 24, som representerer timene i ett døgn. For lokal lengdegrad og standard lengdegrad ble det tatt utgangspunkt i området Tiller i Trondheim kommune, med tilhørende verdier på henholdsvis $10,38^\circ$ og 15° . Anvendelse av de faktiske verdiene for Tiller, førte til en korrekt beregnet soltid basert på det angitte området. Verdiene AST ble videre anvendt i Formel 2.5 for å finne timevinkelen, h , for hver time gjennom et helt år.

Ytterligere ble glasspartiene delt inn i fire seksjoner, avhengig av kompassretningen og orientering for å finne solinnstrålingen for hvert område. Glasspartiene på City Syd ble delt inn i to enheter basert på orientering, vertikal glassfasade ved inngangspartiet og tilnærmet horisontale glassflater på taket. Glassflatene på taket ble derpå delt inn i to enheter avhengig av tilhørende g -verdier. Som nevnt i Seksjon 3.4 har både Glass 1 og Glass 3 samme g -verdi og orientering, og ble ansett videre som én og samme enhet, Glass 2 ble dermed en egen enhet. Tilsvarende inngangspartiet for City Syd, er glassfasaden på inngangspartiet til Tiller Torget også vertikal. Etersom denne glassfasaden vender nordover mens glassfasaden til City Syd vender sørøver, anses de som separate enheter basert på ulike kompassretning.

Innfallsvinkelen til solinnstrålingen, θ , ble beregnet ved å benytte Formel 2.6 og Formel 2.7, hvor det ble differensiert mellom henholdsvis horisontale og vertikale flater. For glassfasaden på taket til City Syd ble Formel 2.6 benyttet for å finne innfallsvinkelen til solinnstrålingen mot en horisontal flate. Deklinasjonsvinkelen og timevinkelen estimert fra tidligere ble innsatt, i tillegg til breddegraden L . Breddegraden ble, i likhet med lengdegraden, valgt med Tiller i Trondheim kommune som referansepunkt og ble fastslått til $63,36^\circ$.

For de vertikale flatene, er innfallsvinkelen beregnet ved å anvende Formel 2.7. Verdiene benyttet i beregningene for horisontale flater, benyttes også her, i tillegg til kompassretningen, Z_s . Som tidligere nevnt er inngangspartiet til City Syd sørvendt, og dermed ble kompassretningen



satt til 0° , mens for Tiller Torget som er nordvendt, ble Z_s verdien satt til 180° . Verdiene for innfallsvinklene varierte fra 0° til 180° . Disse er anvendt med den forståelsen av at 0° henviser til at innfallsvinkelen står normalt på glassoverflaten, mens 180° indikerer at innfallsvinkelen er på motsatt side. Innfallsvinkler normalt på glassoverflaten impliserte en effekt på 100 %, og økende vinkling resulterte i avtagende effekt fra solinnstrålingen. Konvertering fra innfallsvinkel oppgitt i grader, til et respektivt forholdstall ble utført ved å ta cosinus av verdiene. Dette resulterte i nye verdier som varierte mellom -1 til 1, hvor 1 representerte en strålingseffekt på 100 %. Negative verdier ble neglisjert grunnet at dette representerte solinnstråling som ikke treffer glassoverflaten.

Innhentet data om soltimer for den aktuelle lokasjonen ble hentet fra *Norsk Klimaservicesenter*. Det ble i tillegg hentet UVB-verdier for å gi en indikasjon på solstrålens effekt. Disse verdiene ble hentet fra UV-overvåkingsnettet, som er et samarbeid mellom Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA), Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Universitet i Oslo (UIO) [52]. Soltimene, UVB-verdiene, forholdstallet fra innfallsvinkelen og solintensiteten på 1000 W/m^2 ble multiplisert for å beregne den totale effekten av solinnstråling per kvadratmeter.

Ytterligere for å ta hensyn til overflatearealet ble den totale effekten fra solinnstrålingen multiplisert med arealet til de respektive glassoverflatene. Arealene ble hentet fra Seksjon 3.4, som omfatter fem glassflater, hvor Glass 1 og 3 kombineres. Resultatene for den totale solinnstrålingseffekten på glassfasadene ble videre dividert med 1000 og 60 for at verdiene skulle oppgis i kilowattimer. Selve utregningen for solinnstråling presenteres i Vedlegg B.

5.3 Estimert solenergi

Fra solinnstrålingen som er beregnet i Seksjon 5.2 kan solenergien estimeres. Solinnstråling referer til strålene som treffer flatene, mens solenergi betegner strålene som transmitteres og absorberes gjennom glasset. Ved beregning av solenergien, ble g-verdien før og etter scenarioene benyttet som utgangspunkt. Dette ble gjort basert på teorien i Seksjon 2.5.1, hvor g-verdien indikerer andelen solinnstråling som slipper gjennom glassflaten.

For å kunne gi et estimat på redusert solenergi etter installasjon av tiltakene, var det essensielt å først beregne eksisterende solenergi. Dette ble utført ved å anvende den estimerte totale solinnstrålingseffekten på de respektive glassfasadene, multiplisert med tilhørende g-verdier. G-verdiene for de eksisterende glassene ble hentet fra Tabell 3.1 og 3.2, som henholdsvis refererer til City Syd og Tiller Torget. Dette resulterte i verdier for eksisterende solenergi for alle glasspartiene.

Solenergien i hvert scenario ble deretter beregnet ved å anvende samme metode, men her ble de nye g-verdiene benyttet istedet. De oppdaterte g-verdiene for Scenario 1, 2 og 3 er spesifisert i henholdsvis Tabell 4.1, 4.2 og 4.4. Det er viktig å merke seg at det kun er utvalgte glassflater som er planlagt forbedret i disse scenarioene. For de glassflatene som ikke oppgraderes, ble den opprinnelige g-verdien fortsatt brukt. Dette resulterte i et estimat på redusert solenergi for hvert scenario. Beregningene for solenergi kan ses i Vedlegg C.

5.4 Tilnærming til redusert kjøleforbruk etter tiltak

For å estimere det nye kjøleforbruket etter implementering av tiltakene i de ulike scenarioene, ble det gjort flere antagelser. Kjøleforbruket i oppgaven er basert på data fra lokale målere i kjøpesentrene, og det er ikke mulig å nøyaktig fastslå hvor stor del av kjølernes forbruk som kan



tilskrives de ulike faktorene. En grov tilnærming for å estimere reduksjonen i kjøleforbruket er derimot å anta at endringen i solenergien tilsvarer endringen i behovet for kjøling. Følgelig ble de estimerte reduksjonene i solenergien i de ulike scenarioene brukt til å anslå det nye, reduserte kjøleforbruket. Dette ble gjort ved å subtrahere eksisterende kjøleforbruk med differansen mellom eksisterende solenergi og redusert solenergi.

Det ble benyttet verdier for eksisterende kjøleforbruk på City Syd og Tiller Torget oppgitt i henholdsvis Seksjon 3.2 og 3.3. Ytterligere siden City Syd besto av to ulike nivåer for målinger på kjøleforbruk ble det kun benyttet overordnet kjøleforbruk. Dette begrunnes i observasjonene fra Figur 3.4 som indikerte at ventilasjonsanlegget kun har kjølepådrag i sommerhalvåret. Basert på teorien fra Seksjon 2.2, hvor faktorene som påvirker kjølebehovet er beskrevet, kan det tyde på at de eksterne faktorene som solenergi og utetemperatur påvirker til denne økningen. Dette korrelerer med observasjonen av økte kjølebehov om sommeren i takt med økende utetemperatur. For de lokale kjølerne som tjener butikkene ble det observert et jevnere pådrag gjennom hele året. Dette kan indikere at forbruket er i større grad påvirket av kontinuerlige interne faktorer slik som belysning og drift av tekniske apparater. Leietakerne har heller ikke glass som vender ut mot omgivelsene. Dermed ble det antatt at det lokale kjøleforbruket til butikkene i mindre grad påvirkes av eksterne faktorer som solenergi. Med dette i betraktning ble det kun tatt utgangspunkt i ventilasjonsanlegget som sirkulerer i hele senteret, for å estimere et nytt redusert kjøleforbruk på City Syd.

En viktig presisering er at selv om reduksjonen i solenergien er oppgitt for hver dag gjennom et fullstendig år, var data for det overordnede kjøleforbruket ved City Syd tilgjengelig kun for 97 dager gjennom samme tidsperiode. Den asymmetriske tilgangen til data, med 97 verdier for kjøleforbruket og 365 verdier for solenergien, nødvendiggjorde en selektiv tilnærming. Dette resulterte i at det ble nødvendig å utelate betydelige deler av verdiene for solenergi. På dager med solenergi, men ikke kjøleforbruk, ble solenergien konsekvent utelatt. Denne tilnærmingen reflekterer hensynet til det reelle behovet for kjøling, som ikke nødvendigvis korrelerer direkte med solenergien. Dette var ikke tilfellet på Tiller Torget hvor målingene var kontinuerlige, foruten 2 uker hvor det er antatt ingen målinger på grunn av teknisk feil siden dette ikke var gjennomgående tilfeller.

5.5 Kostnadsberegning

En LCOE-analyse ble gjennomført for alle scenarioene, basert på teori fra Seksjon 2.7, og regneark verktøyet *Excel*. Beregningene er å finne i Vedlegg D.

Først ble nettonåverdien av energibesparelsene over levetiden til de 3 ulike tiltakene beregnet ved å anvende Formel 2.10. Energibesparelsen, representert ved E_t , ble avledet fra differansen i eksisterende kjøleforbruk og estimert kjøleforbruk etter installasjon av de ulike tiltakene. Videre ble levetiden, N_p , for solfilmene og de nye vinduene på henholdsvis 10 og 30 år innsatt, sammen med en diskonteringsrente, r , på 4 %. Av dette fremkom det et resultat på energibesparelsene for hvert år i løpet av levetiden til installasjonene.

Utgangspunktet for de estimerte investeringskostnadene var pristilbudet for et definert areal i Scenario 1 og 2, som forklart i i Seksjon 4.1 og 4.2. Fra pristilbudet var det nødvendig å etablere en enhetspris per kvadratmeter for å kunne benytte dette videre med korrekte arealer for glasspartiene. Dette ble beregnet ved å dividere den totale prisen med det spesifiserte arealet fra tilbudet, som resulterte i en enhetspris for Scenario 1 og 2.



Ytterligere var formålet å etablere en totalpris for å optimalisere glassarealene i hvert scenario. Dette ble oppnådd gjennom multiplikasjon av den beregnede enhetsprisen med det totale glassarealet i de respektive scenarioene. For Scenario 3 er kostnadsestimatet oppgitt ekskludert mva, dermed ble det medregnet en ytterlige kostnad med mva på 25 %. Videre ble dette også multiplisert med alle glassarealene som er vurdert utskiftet. Denne metodikken muliggjorde en analytisk tilnærming til vurderingen av totale investeringskostnader, I , for alle scenarioene.

Det er ikke tatt hensyn til vedlikehold- og driftskostnader eller brenselskostnader i beregningene, da det ikke er relevant for disse tiltakene. Videre er utskiftning av solfilmene ikke inkludert, så totalprisen for Scenario 1 og 2 er for én installasjon av solfilmer med levetid på 10 år. På bakgrunn av dette inkluderte de totale kostnadene for hele levetiden til de ulike tiltakene; investeringskostnaden fra det første året, og for resterende tidsperiode er det ikke medregnet ytterligere kostnader. Verdiene I , N_p og r ble innsatt i Formel 2.9 for å finne nåverdien til de totale kostnadene. De samme verdiene for levetiden N_p til de ulike tiltakene og diskonteringsrenten r som tidligere nevnt ble også benyttet her.

Følgelig ble netto nåverdi av både totale kostnader og spart energi over hele levetiden til tiltakene funnet ved å benytte Formel 2.8, for å få et estimat på kost-nytte verdien av scenarioene. Her ble de totale kostnadene dividert på summen av energibesparelsene for hvert år, for å få et estimat på kostand per kilowatttime spart.



6 Resultater

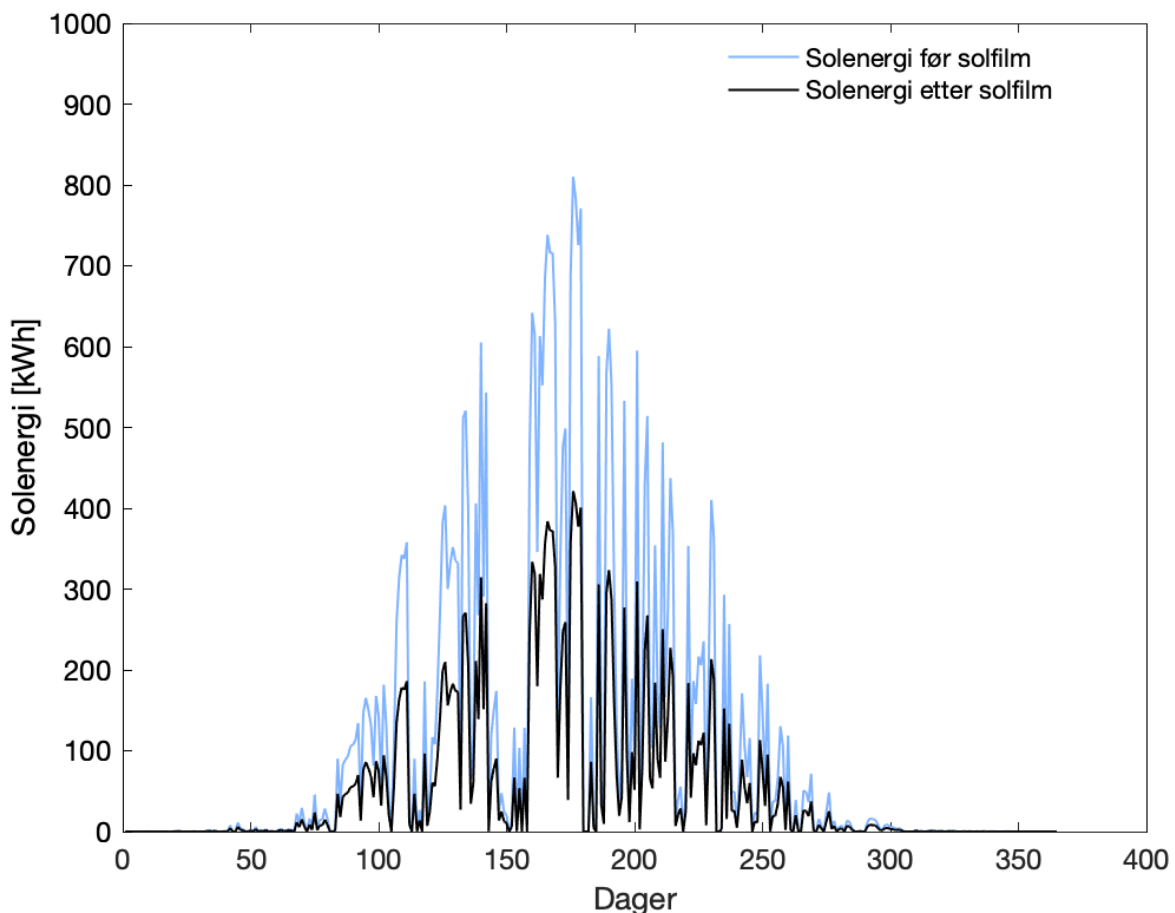
Fra de tidligere nevnte scenarioene er det gjort beregninger for å undersøke hvordan implementering av solfilmer og nye glass påvirker solenergien og kjøleforbruket. Denne seksjonen tar sikte på å presentere alle resultatene som er avledet fra disse beregningene på en systematisk måte. Resultatene er fremstilt ved hjelp av grafiske illustrasjoner og tabeller for å sikre klarhet og oversikt.

6.1 Solenergi

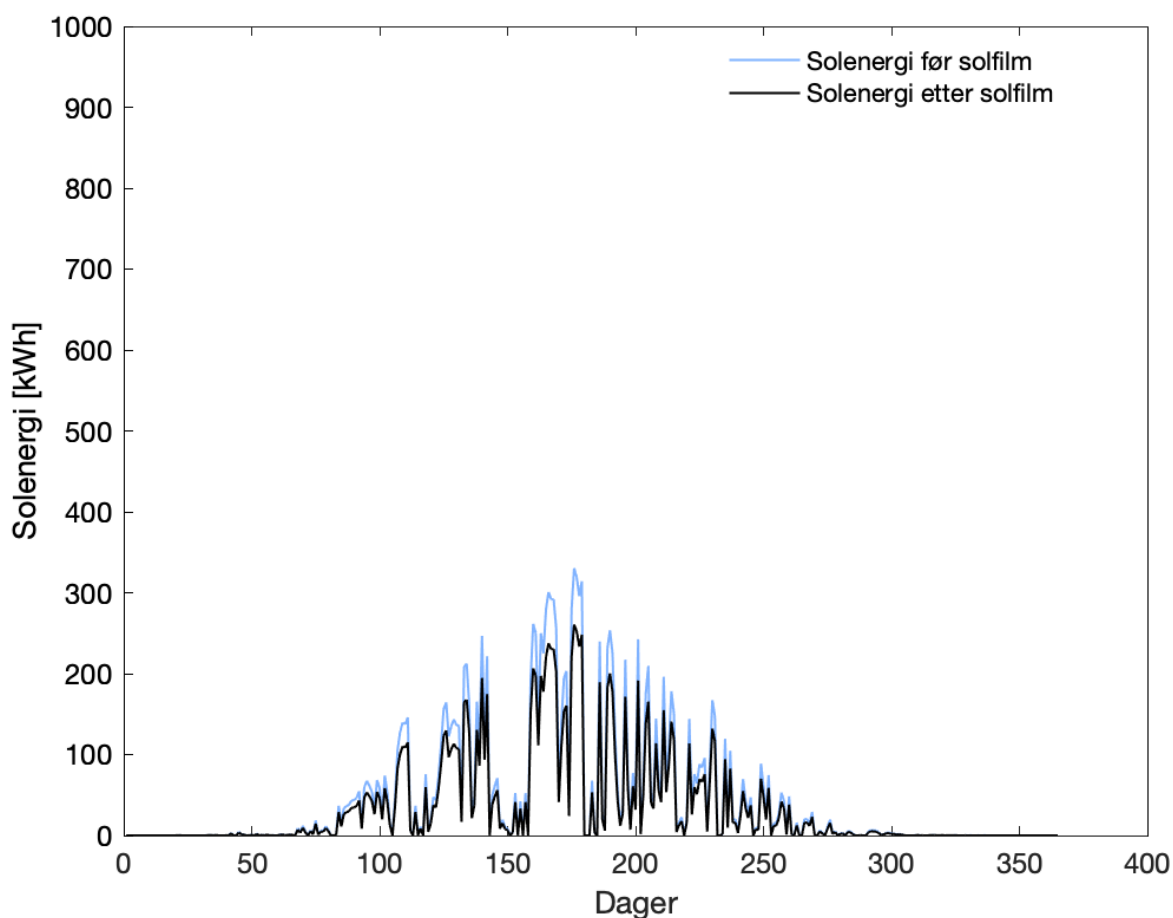
Her presenteres resultatene fra beregningene av solenergi i alle scenarioene. Resultatene viser hvordan solenergien i de ulike scenarioene varierer avhengig av type glassoverflater, areal og orienteringen til de aktuelle glassoverflatene. Disse resultatene er fremledet ved bruk av beregninger fra Seksjon 5.3.

6.1.1 Scenario 1

Scenario 1 involverte implementering av solfilm RHE 50 på alle glassoverflatene. Solfilmen har som nevnt ikke en g-verdi alene, men avhenger av glasset det implementeres på. I Figur 6.1 illustreres det hvor mye solenergien endrer seg for Glass 1 og 3 før og etter implementering av solfilmen, og i Figur 6.2 illustreres det samme for Glass 2.



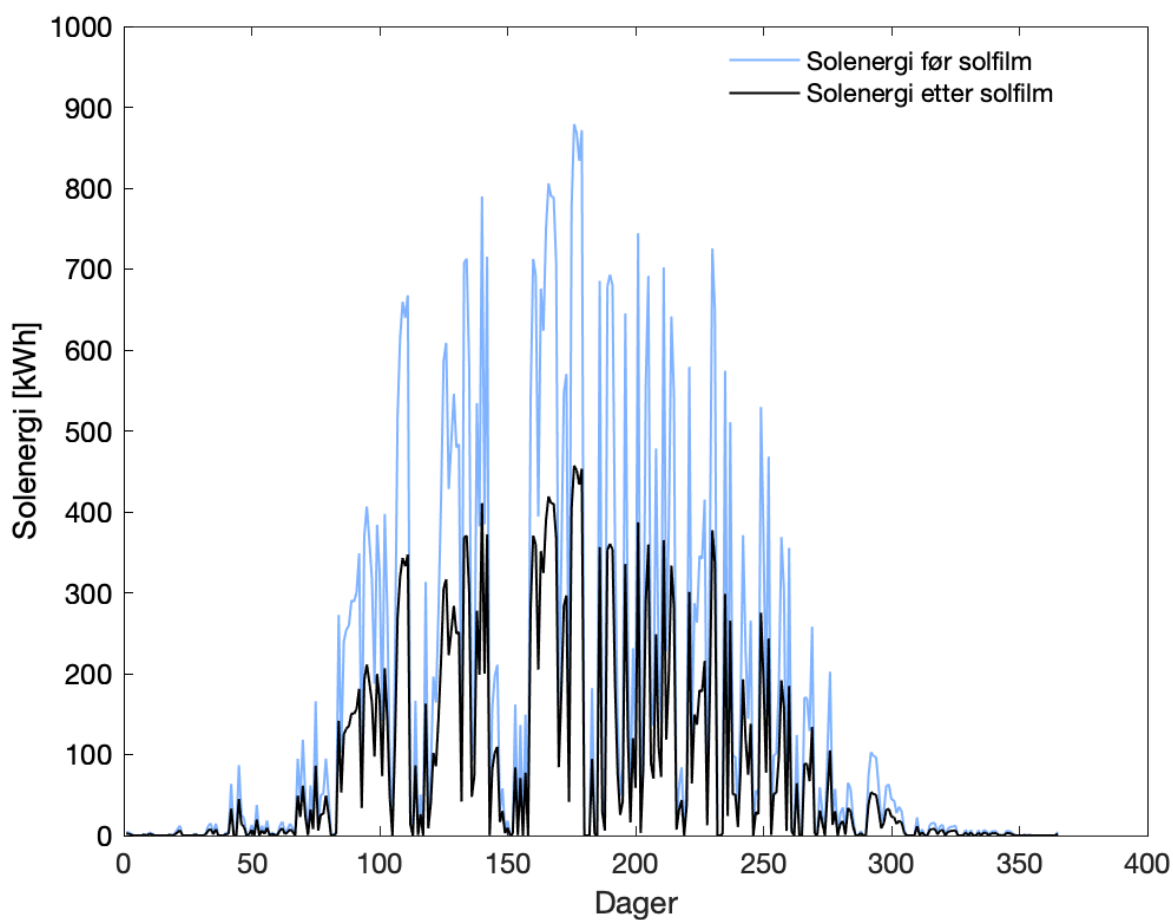
Figur 6.1: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 for Glass 1 og 3 på City Syd.



Figur 6.2: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 for Glass 2 på City Syd.

Figurene tydeliggjør en markant forskjell i solenergi mellom Glass 1 og 3 sammenlignet med Glass 2, spesielt før solfilmen ble implementert. Solenergien for Glass 1 og 3 er høyere enn for Glass 2, selv om glassene har et areal på henholdsvis $217,5 \text{ m}^2$ og 350 m^2 . Glass 1 og 3 har høyere g-verdi enn Glass 2, og slipper inn mer solenergi. Riktignok er det likevel markant større forbedring ved implementering av solfilmen for Glass 1 og 3, enn for Glass 2, grunnet større differanse i ny og eksisterende g-verdi.

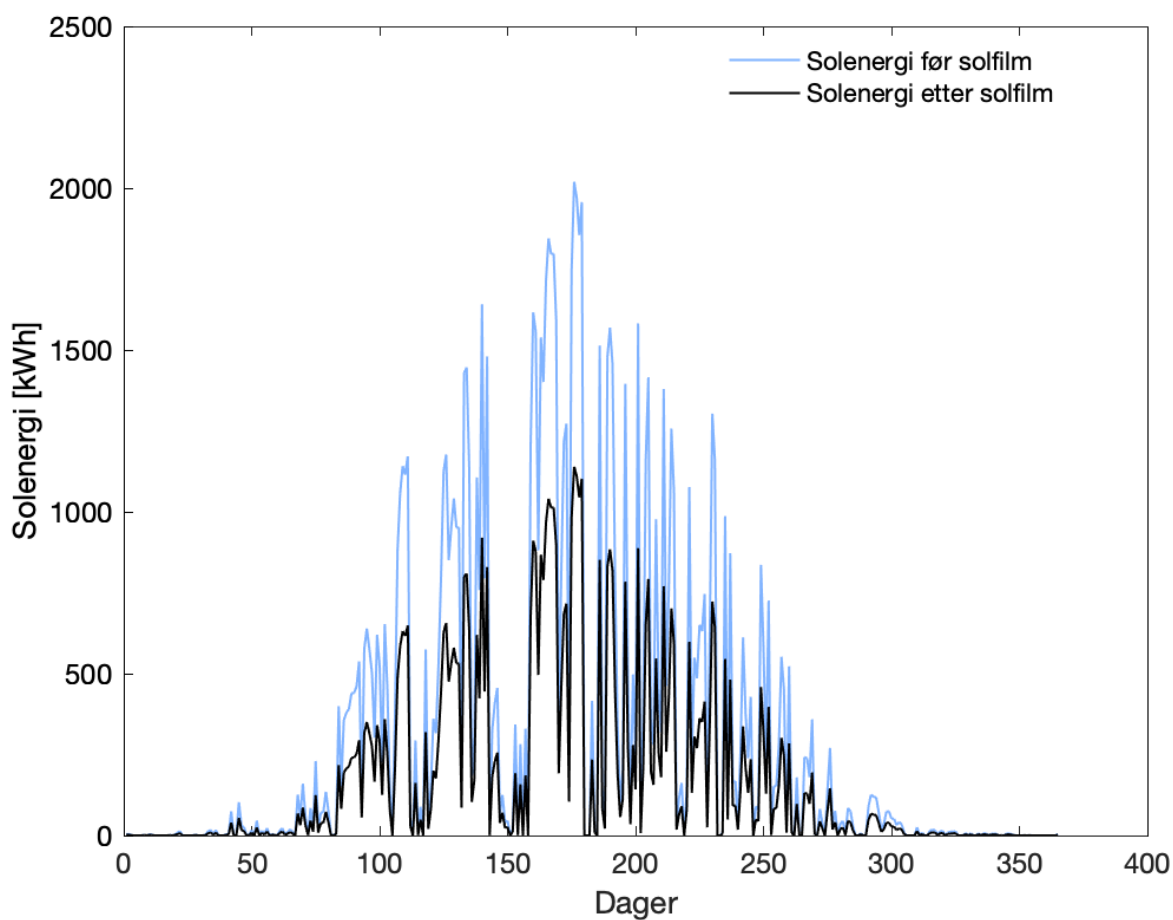
Glassoverflatene på inngangspartiet har en nåværende g-verdi på 0,75. Dette medfører at forbedringen av g-verdien etter implementering av solfilmen er tilsvarende Glass 1 og 3. I Figur 6.3 illustreres det hvordan implementering av solfilmen påvirker solenergien.



Figur 6.3: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 på inngangen til City Syd.

Den nye g-verdien for inngangspartiet til City Syd reduseres til 0,39, med en tilsvarende reduksjon i solenergien som nesten er halvert. Den sørvendte inngangen til City Syd er eksponert for solinnstråling gjennom store deler av året, og implementeringen av solfilmen vil dermed ha en mer betydningsfull effekt gjennom hele året.

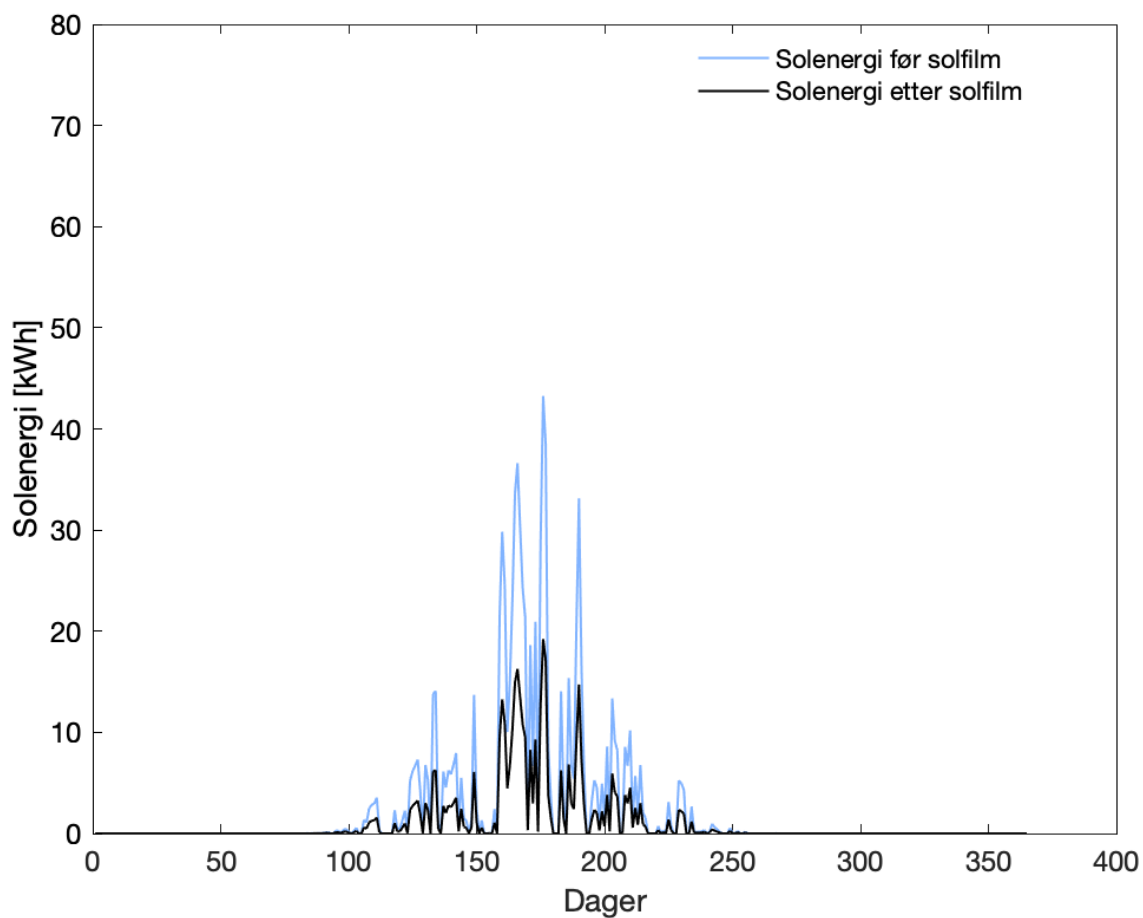
Figur 6.4 illustrerer total solenergi for alle glasspartiene på City Syd, før og etter implementering.



Figur 6.4: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 på City Syd.

Figuren illustrerer at den maksimale påvirkningen av solenergien på City Syd er omtrent 2000 kWh, mens med solfilmen reduseres den maksimale verdien til i overkant av 1000 kWh. Dette representerer en nesten halvering av den høyeste solenergien om sommeren.

På Tiller Torget ble kun glassfasaden for inngangspartiet angitt for installasjon av solfilm. Glassoverflaten har per dags dato en g-verdi på 0,63, og etter implementering av solfilmen reduseres den til 0,28. Fra Figur 6.5 vises solenergi før og etter installasjonen.

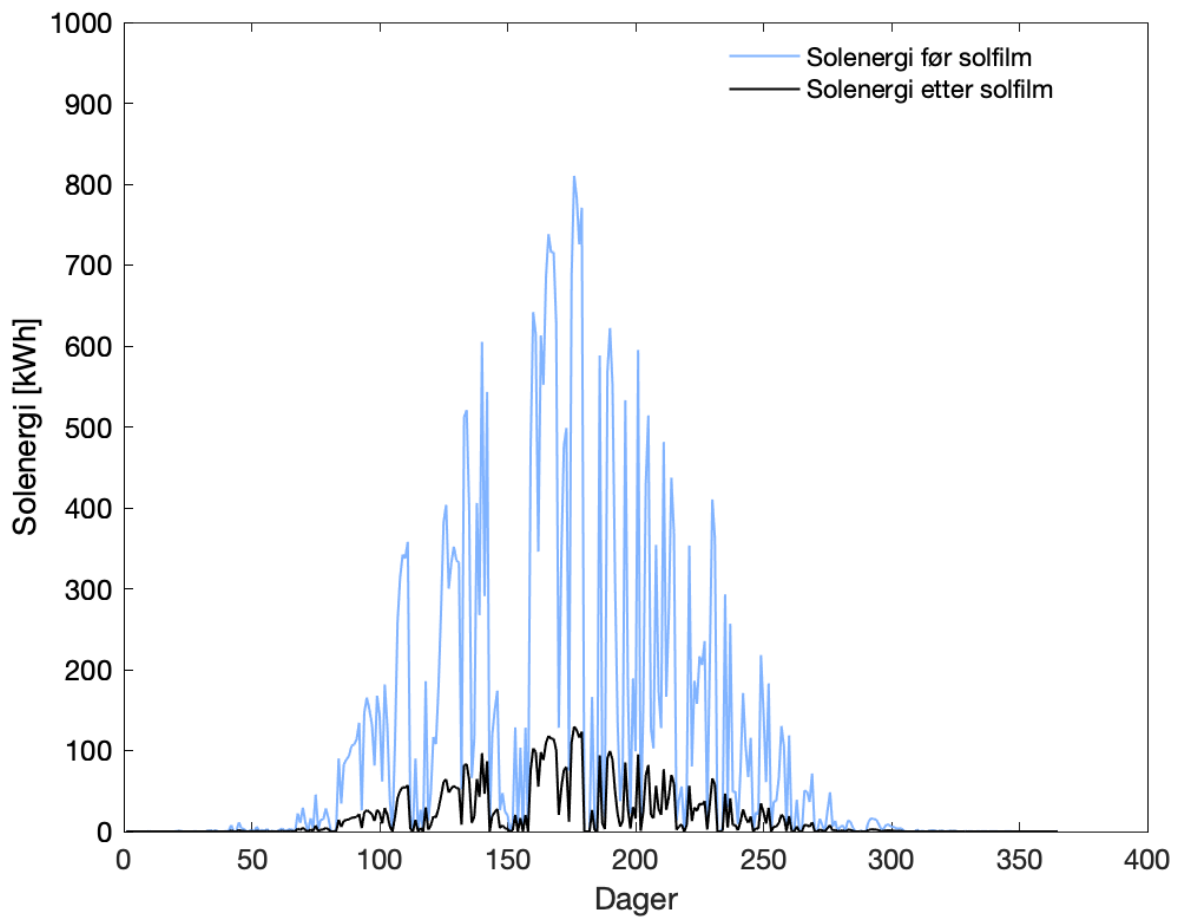


Figur 6.5: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 50 på inngangen til Tiller Torget.

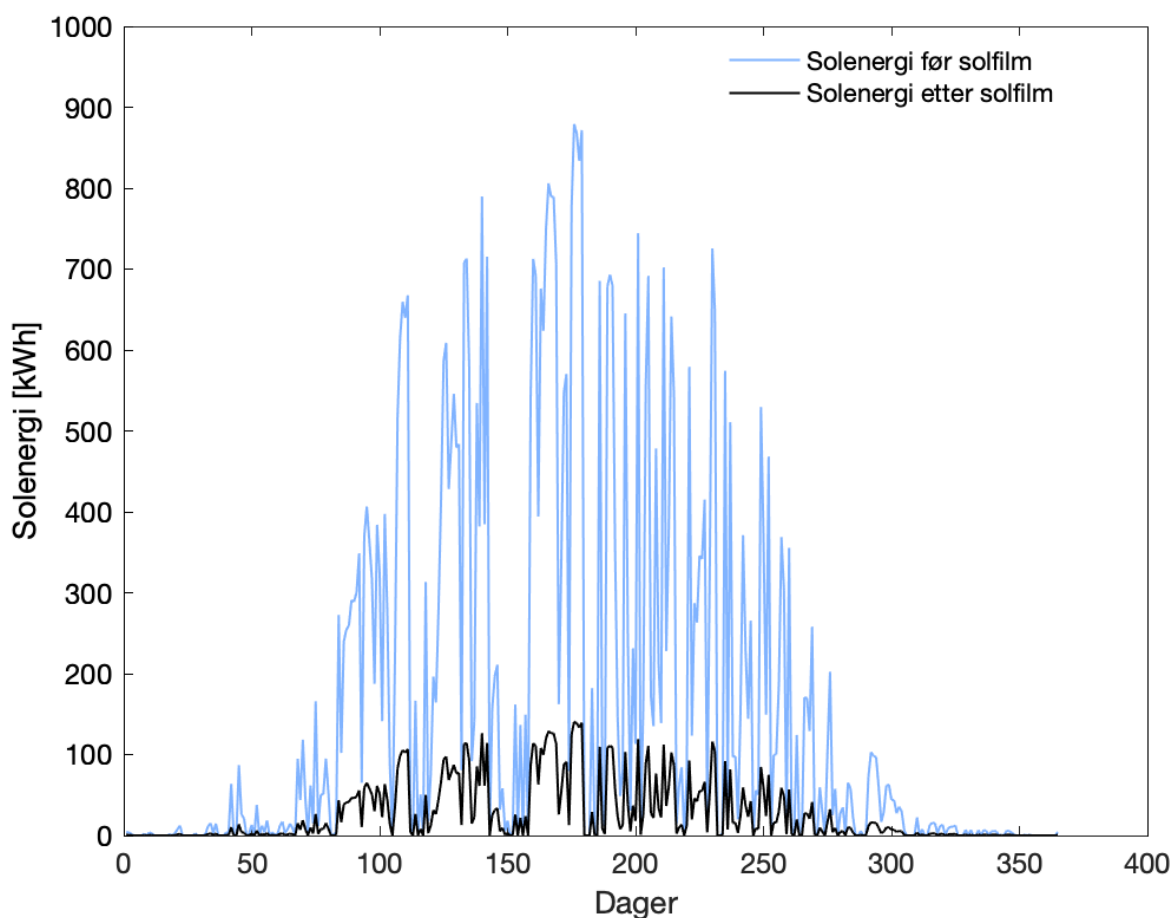
I motsetning til inngangen til City Syd, er inngangen til Tiller Torget nordvendt. Glassoverflaten er derfor hovedsakelig eksponert for solinnstråling om sommeren, som resulterer i en begrenset solenergi på omtrent 50 kWh.

6.1.2 Scenario 2

Scenario 2 involverte installering av solfilm RHE 20 på alle glassoverflatene foruten Glass 2. I kombinasjon med glassoverflater har denne solfilmen stor påvirkning på g-verdien, og dette illustreres i Figur 6.6 og 6.7.



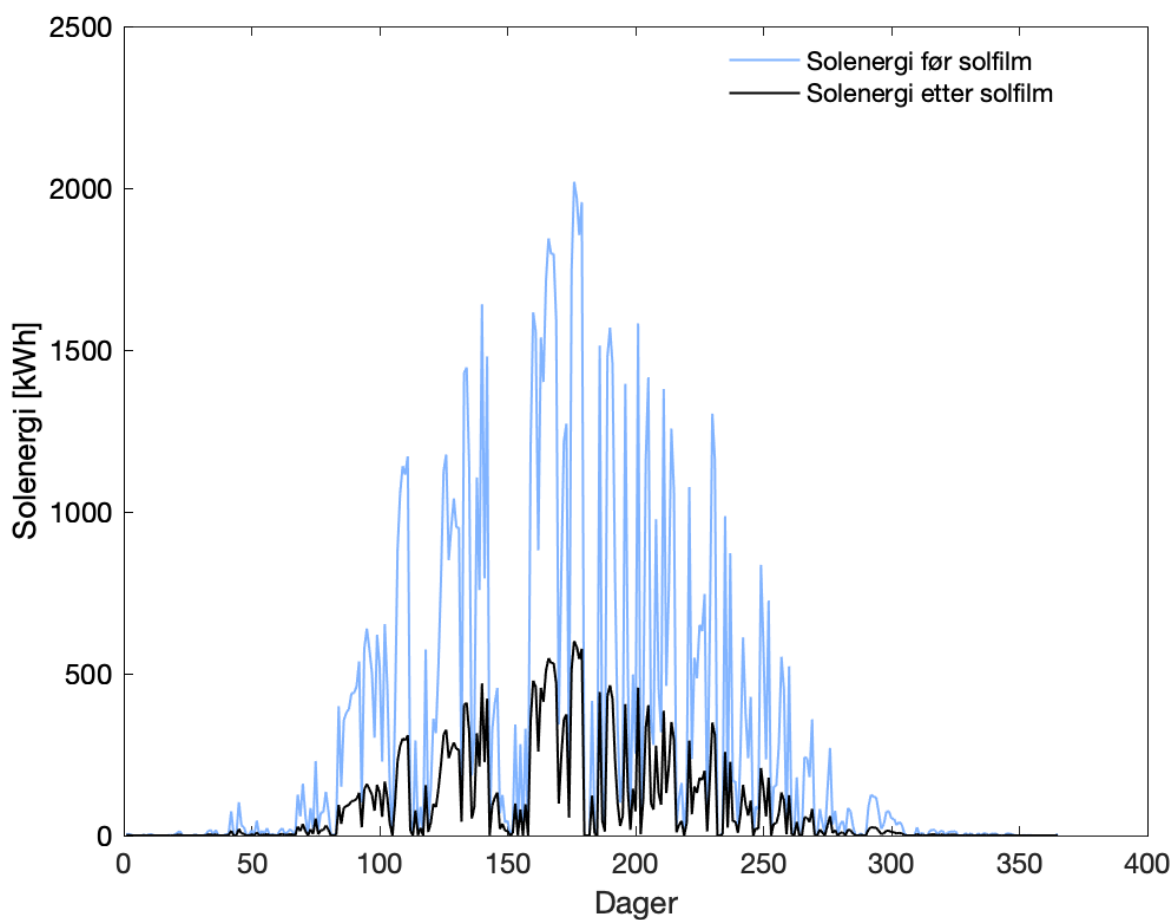
Figur 6.6: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 20 for Glass 1 og 3 på taket til City Syd.



Figur 6.7: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 20 på inngangen til City Syd.

For både inngangspartiet til City Syd og Glass 1 og 3 har g -verdien gått fra 0,75 til 0,12. Med forbedret g -verdi vil den reduserte solenergi være mindre enn en femtedel av den originale solenergien. Resultatene viser at glassoverflaten på taket og inngangspartiet har verdier for maksimal solenergi på opptil henholdsvis 850 kWh og 900 kWh. Etter implementering av solfilm reduseres solenergien til omtrent 100 kWh for de respektive glassene.

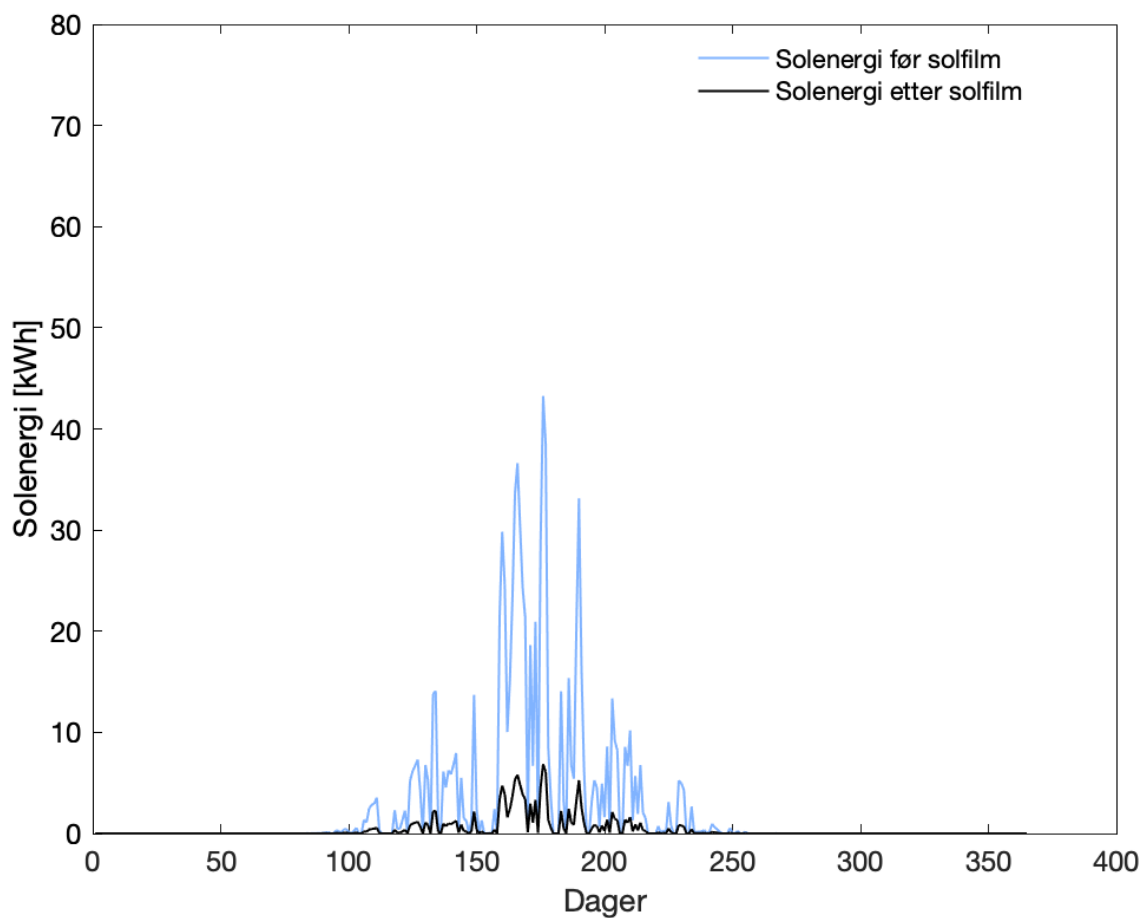
Den nye g -verdien for glassene vil være redusert til 0,12, mens Glass 2 beholder sin nåværende g -verdi på 0,19. Dette representerer lave g -verdier som medfører mindre solenergi gjennom glassoverflatene. I Figur 6.8 er resultatet for den totale solenergien for City Syd representert, inkludert den nåværende effekten på Glass 2.



Figur 6.8: Solenergi før og etter implementering av solfilm RHE 20 på City Syd.

Det fremkommer av figuren en betraktelig reduksjon i solenergien for City Syd, til tross for at det ikke er implementert solfilm på Glass 2.

Implementering av solfilmen på glassfasaden til inngangen på Tiller Torget fører til en reduksjon på g-verdien fra 0,63 til 0,1. Resultatet viser følgelig at solenergien reduseres til en sjettedel, som illustrert i Figur 6.9.

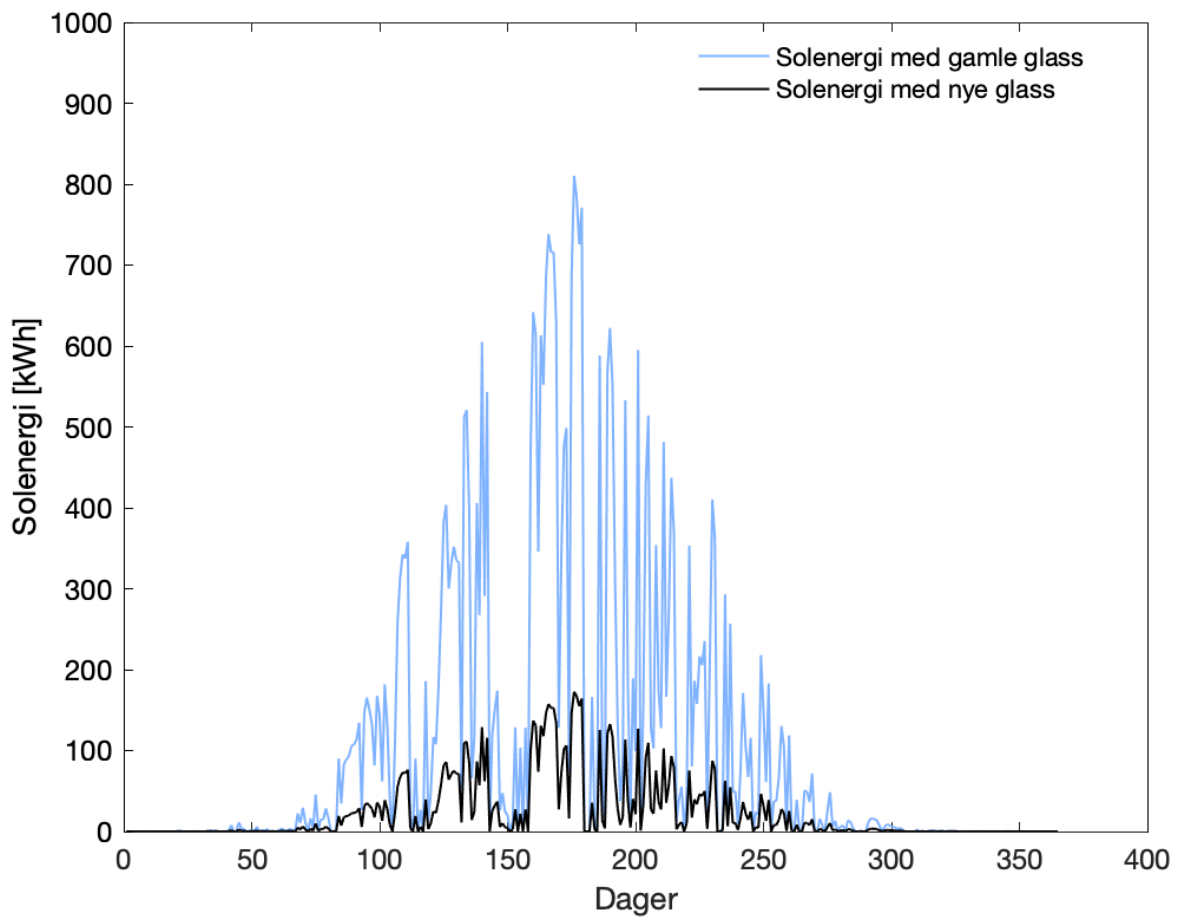


Figur 6.9: Solenergi før og etter implementering av solfilm på inngangen til Tiller Torget.

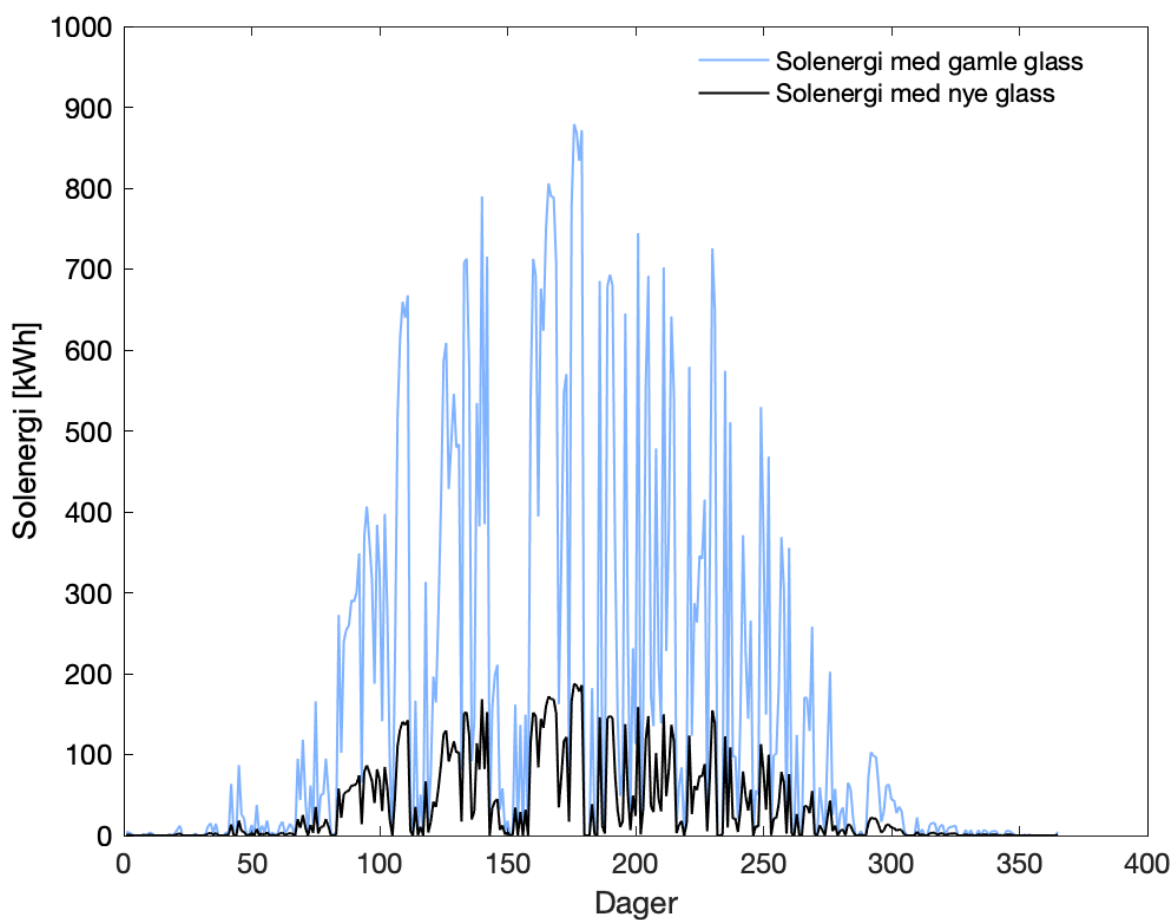
Selv om det fremkommer en relativt betydelig reduksjon fra utgangspunktet på 45 kWh til 10 kWh, er effekten av denne reduksjonen begrenset av de lave initielle verdiene.

6.1.3 Scenario 3

Scenario 3 tar utgangspunkt i utskifting av eksisterende glass, foruten Glass 2. I Figur 6.10 og 6.11 illustreres det hvordan nye glass vil påvirke solenergien gjennom glassoverflatene.



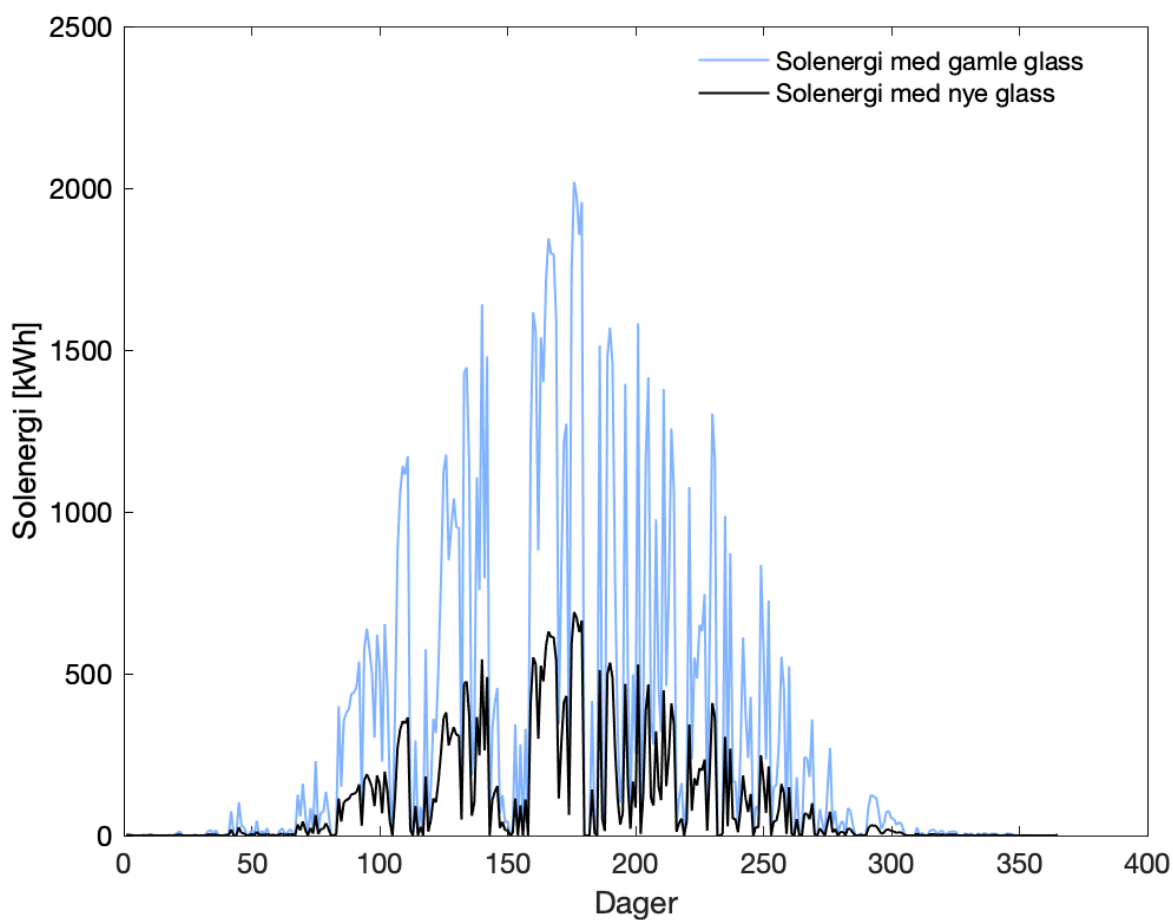
Figur 6.10: Solenergi før og etter utskifting av Glass 1 og 3 på City Syd.



Figur 6.11: Solenergi før og etter utskifting av glassene på inngangspartiet på City Syd.

De nye glassene har en g-verdi på 0,16, og viser til betraktelig minimering av solenergi. Det er større soleksponering på glassoverflatene til inngangen, og utskifting av disse glasspartiene vil derfor ha større påvirkning for den totale solenergien.

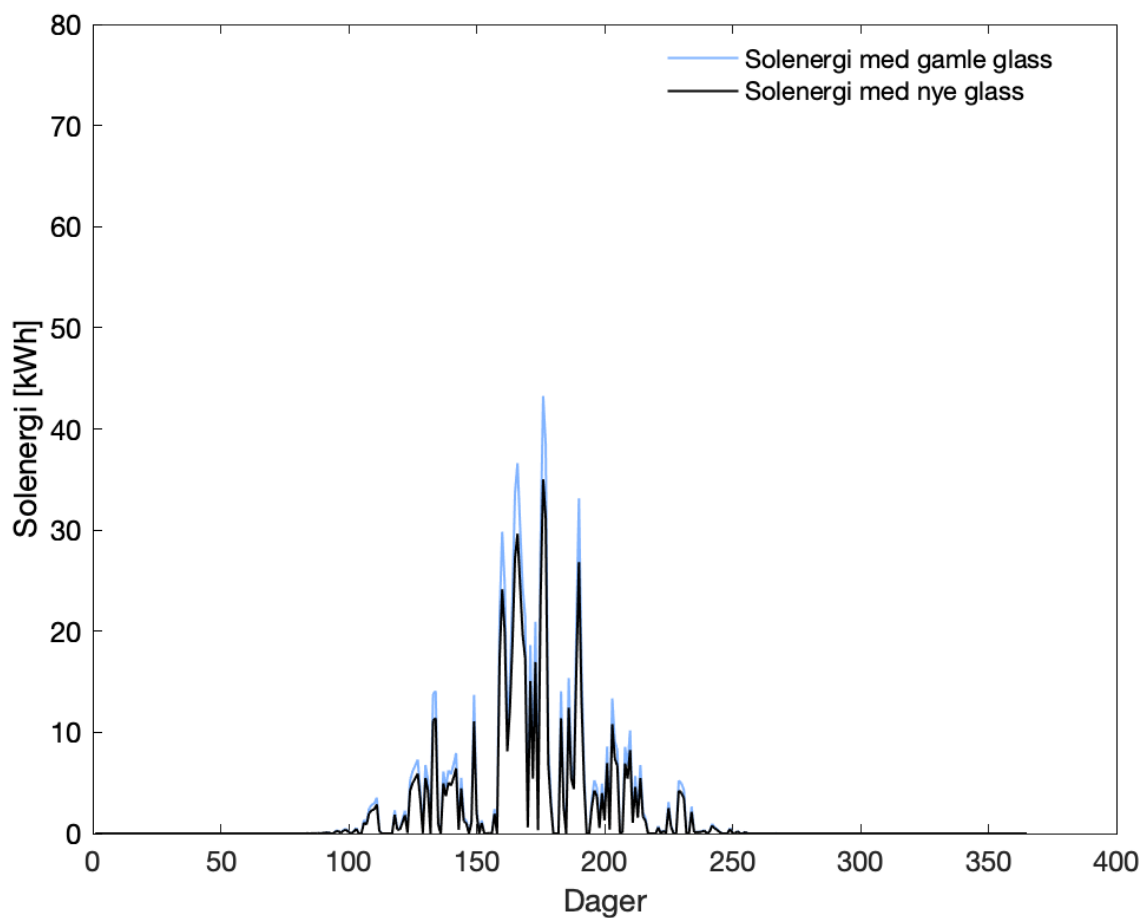
På Figur 6.12 illustreres den totale solenergien før og etter utskifting av glassene på City Syd.



Figur 6.12: Solenergi før og etter utskifting av gamle glass på City Syd.

Mengden solenergi reduseres betydelig ved implementering av nye glass. Når solenergien er på sitt høyeste, reduseres den fra omtrent 2000 kWh til 700 kWh.

På Tiller Torget skal de nåværende glassene med en g-verdi på 0,63 byttes ut med nye glass med en tilhørende g-verdi på 0,51. Påvirkningen av solenergi grunnet nye glass er fremstilt i Figur 6.13.

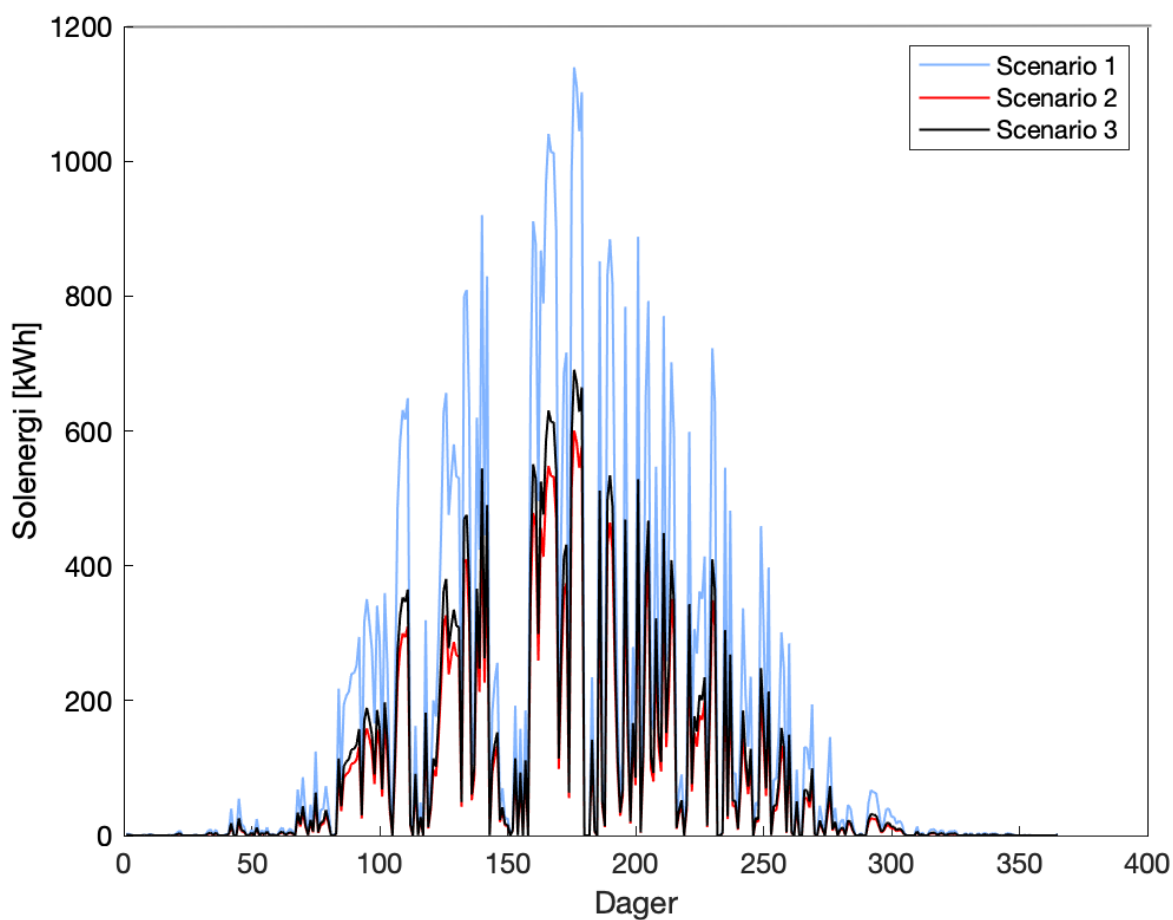


Figur 6.13: Solenergi før og etter utskifting av glassene og inngangspartiet til Tiller Torget.

Fra figuren fremkommer det en minimal endring i solenergien ved utskifting av glasspartiene, grunnet reduksjon i g-verdi på kun 0,12.

6.1.4 Sammenligning

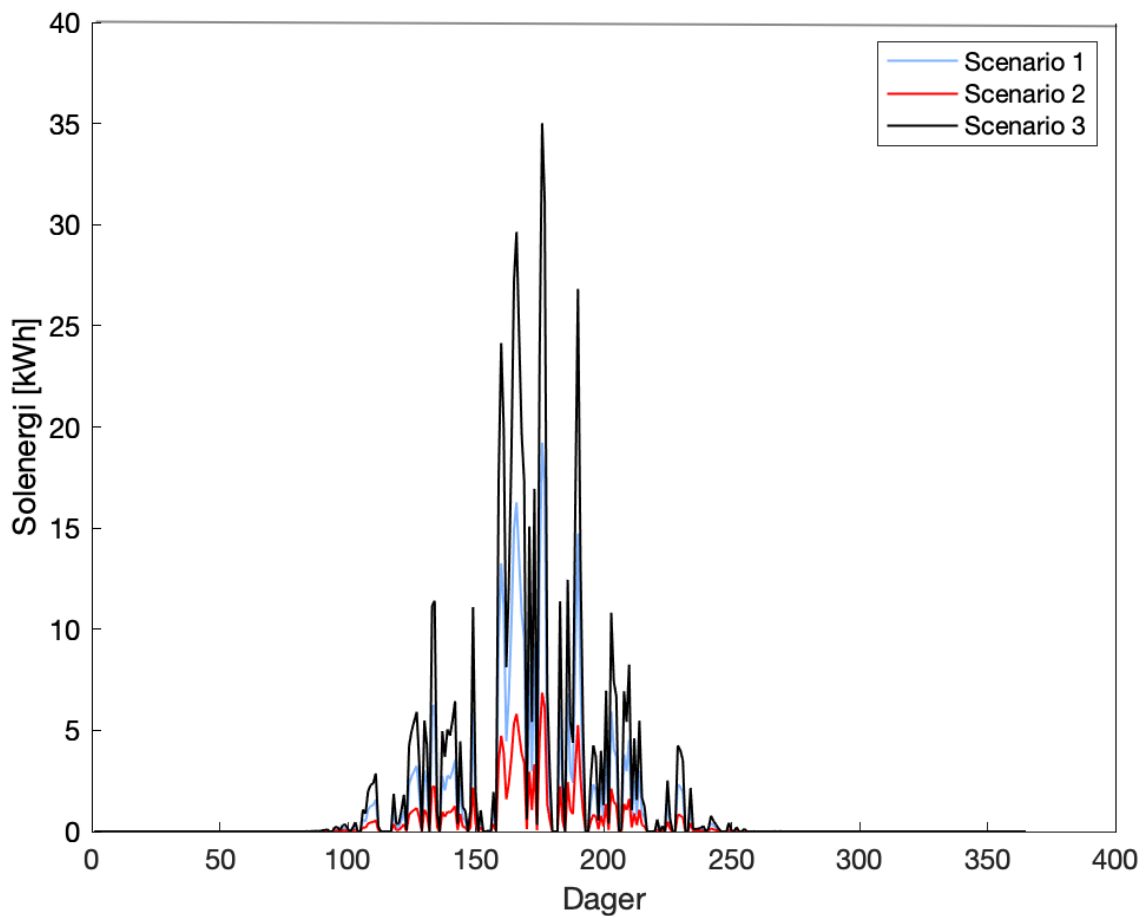
For å oppnå en mer detaljert innsikt i hvilket scenario som fremkommer som det mest gunstige, er den totale solenergien for de tre scenarioene sammenlignet. I Figur 6.14 illustreres det hvordan de forskjellige scenarioene påvirker solenergien på City Syd, hvor fargene blå, rød og svart representerer henholdsvis Scenario 1, 2, og 3.



Figur 6.14: Sammenligning av resultatene for alle scenarioene på City Syd.

Her fremkommer det at Scenario 2 og 3 har en tilsvarende lik reduksjon i solenergi, selv med ett glass uten energisparende tiltak. Dette understreker betydningen g-verdiene har med hensyn til effektiviteten av tiltakene.

For scenarioene på Tiller Torget er det kun tatt hensyn til én glassoverflate der det undersøkes implementering av to forskjellige solfilmer og utskifting av eksisterende glass. Figur 6.15 belyser hvordan de forskjellige scenarioene påvirker solenergien.



Figur 6.15: Sammenligning av solenergi for inngangen til Tiller Torget.

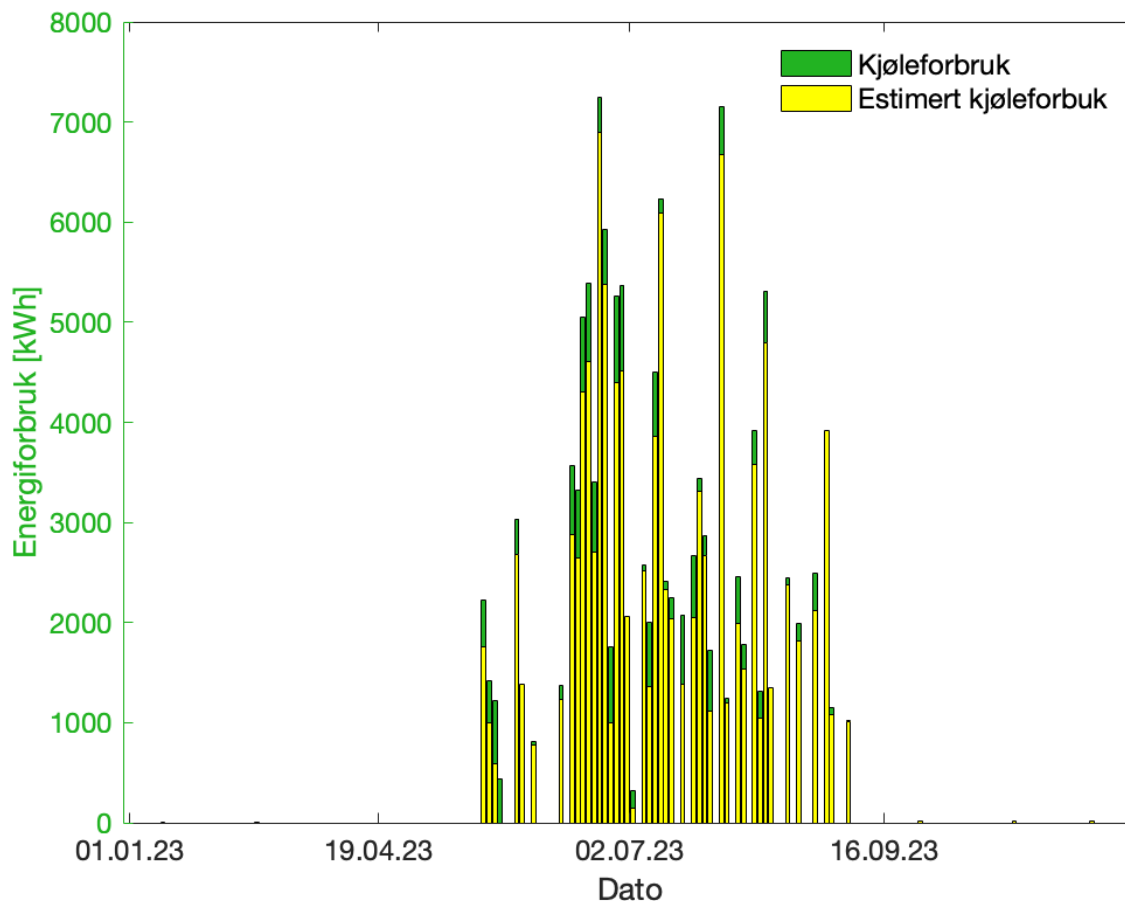
Scenario 2 har en merkbart lavere solenergi enn resterende scenarioer, som underbygger effektiviteten av solfilmen RHE 20 i kombinasjon med eksisterende glass.

6.2 Estimert kjøleforbruk etter installering av energieffektive tiltak

Fra Kapittel 3.2 og 3.3 er det totale kjøleforbruket for begge bygningene oppgitt. Underveis i oppgaven er det undersøkt hvordan redusert solenergi kan påvirke kjølebehovet, og resultatene fra dette blir presentert for hvert scenario. Resultatene er fremledet ved bruk av metoden i Seksjon 5.4.

6.2.1 Scenario 1

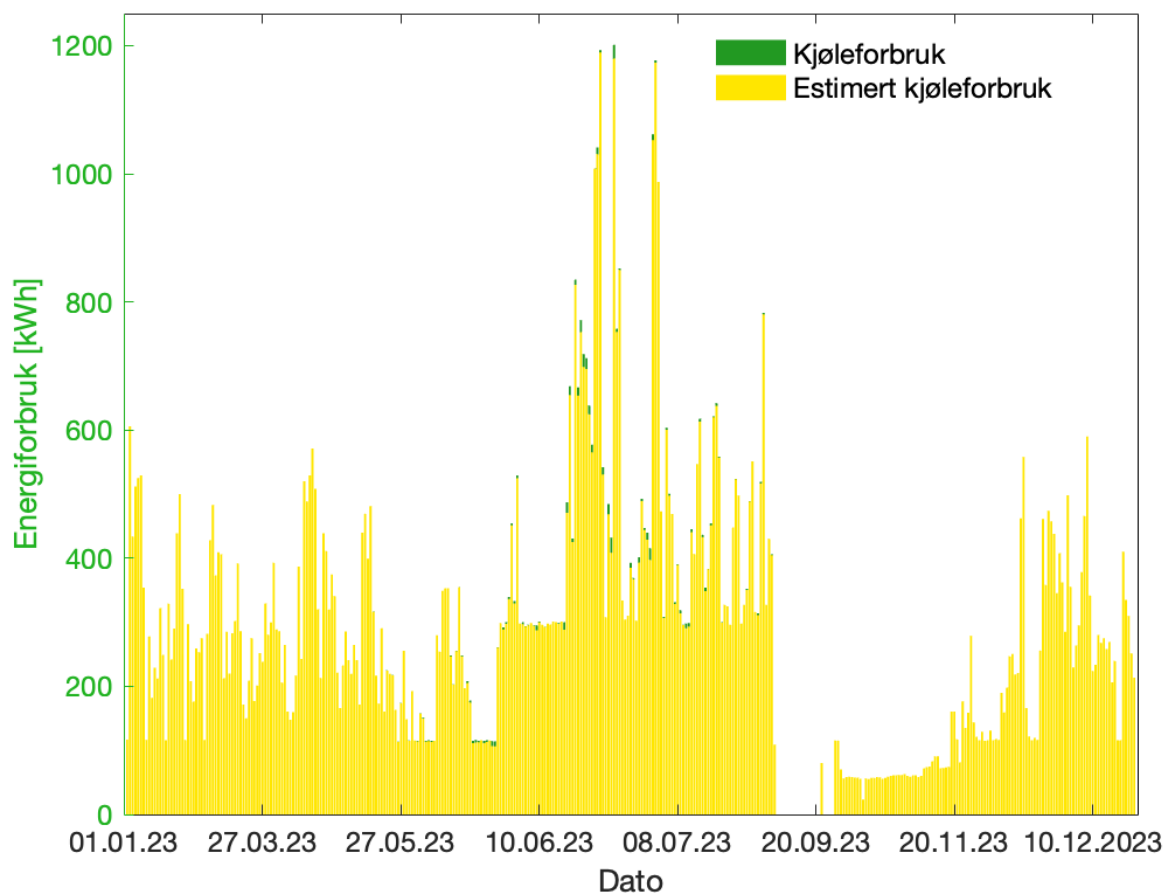
I Scenario 1 med implementering av solfilmen RHE 50 fremkom det en distinktiv reduksjon i solenergi, som førte til reduksjon i kjøleforbruket. Dette er illustrert i Figur 6.16, hvor eksisterende og estimert kjøleforbruket fremstilles.



Figur 6.16: Redusert energiforbruk på City Syd med solfilm RHE 50.

Figuren presenterer både nåværende og nytt kjøleforbruk etter redusert solenergi, hvor differansen som fremkommer av energieffektiviseringstiltak illustreres. Nedgangen i kjøleforbruket for denne perioden førte til en reduksjon på totalt 21 725 kWh, som tilsier 16,6 %. Kjølebehovet blir ikke påvirket av solenergien på dager med skydekke. Dette reflekteres i de enkelte dagene i figuren uten redusert kjøleforbruk.

Den nordvente fasaden til Tiller Torget resulterer i lav soleksponering. Dette reflekteres i kjøleforbruket illustrert i Figur 6.17.

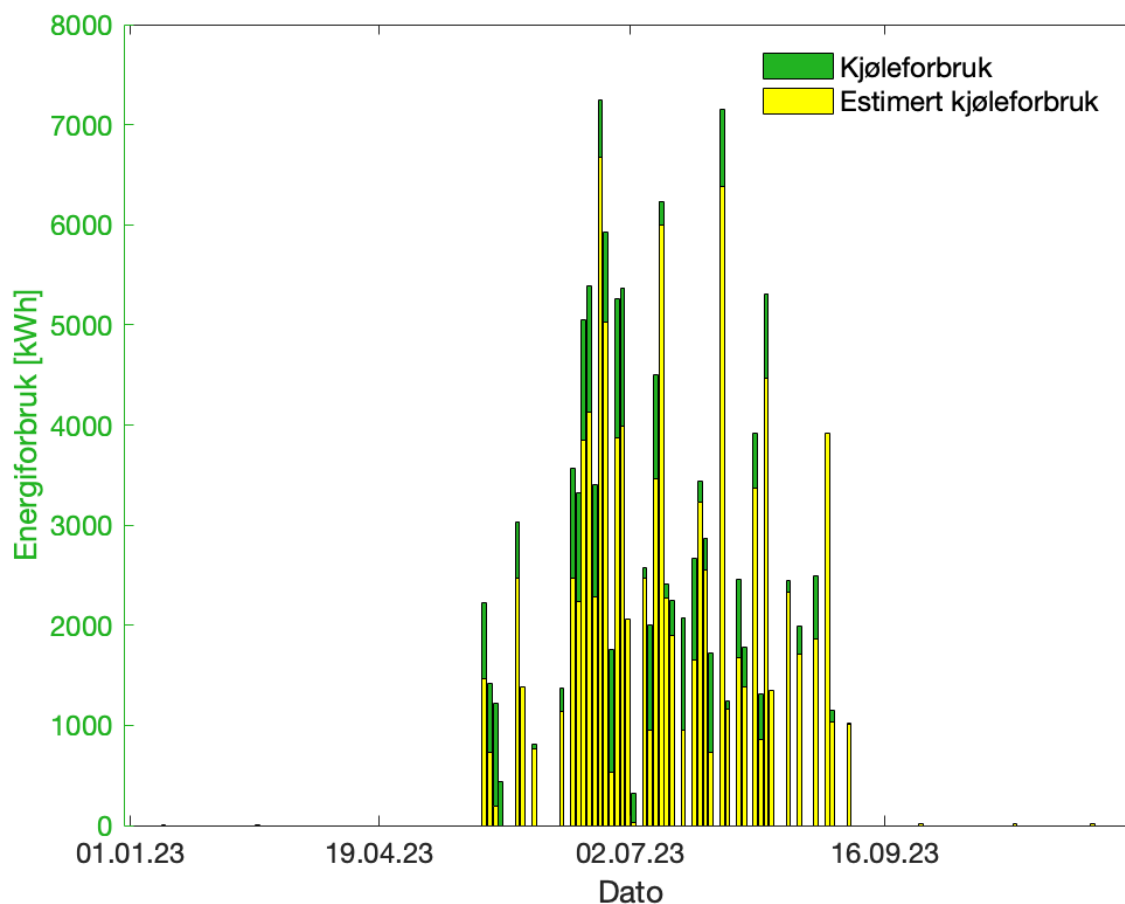


Figur 6.17: Redusert energiforbruk på Tiller Torget med solfilm RHE 50.

Implementering av solfilmen har marginal påvirkning på kjølebehovet til Tiller Torget. De initiale lave verdiene i solenergien gjenspeiles i differansen mellom nåværende og nytt kjøleforbruk. Totalt sett har kjøleforbruket kun blitt redusert med 0,46 %, som er 475 kWh per år.

6.2.2 Scenario 2

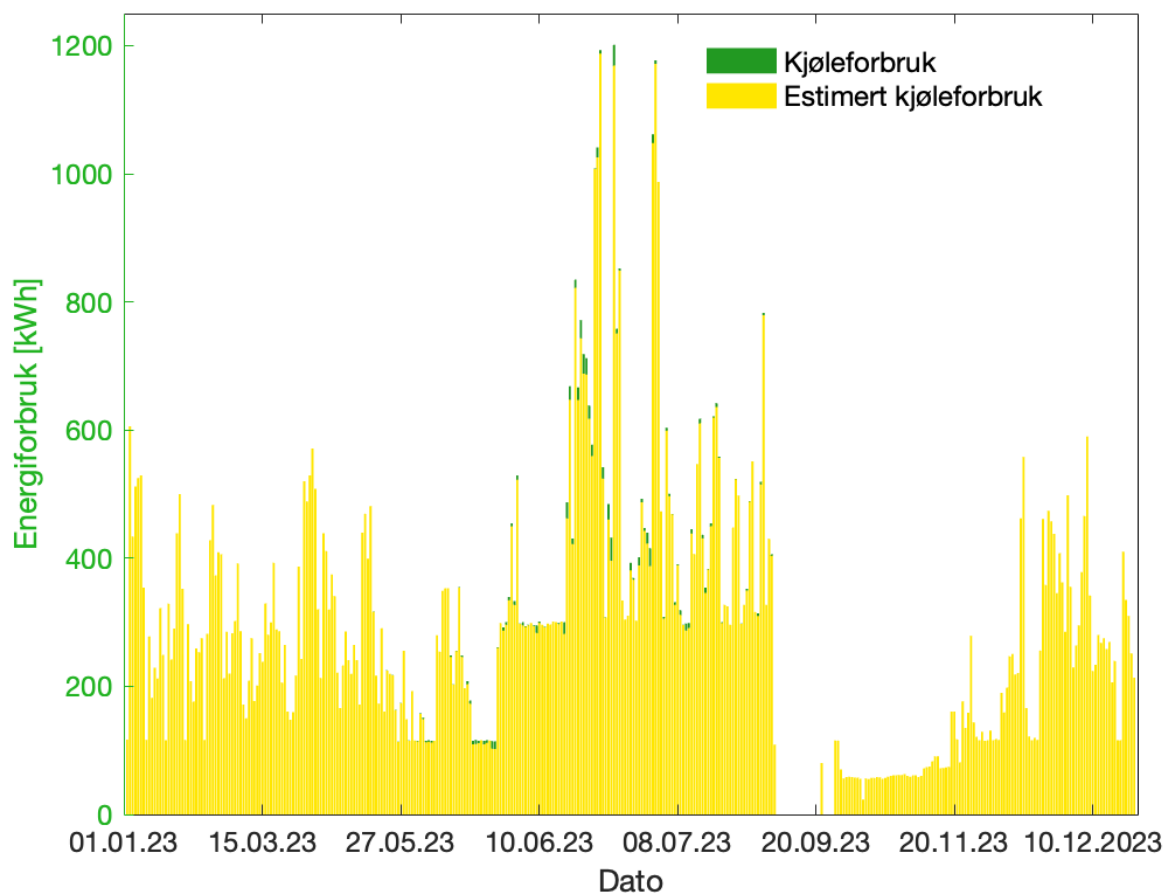
Scenario 2 hadde lavest resultater for solenergi, som vil være av betydning for kjøleforbruket. Det eksisterende og estimerte kjøleforbruket er gjengitt i Figur 6.18.



Figur 6.18: Redusert energiforbruk på City Syd med solfilm RHE 20.

Figuren illustrerer en tydelig påvirkning på kjøleforbruket grunnet implementering av solfilmen. Som et resultat, har kjøleforbruket på dagene med betydelig solenergi, nærmest halvert seg. Totalt vil scenario 2 føre til en energibesparelse på 35 359 kWh per år, som tilsvarer en reduksjon på 27 %.

I likhet med City Syd, hadde Scenario 2 for Tiller Torget minimal solenergi. Dette resulterte i en betydelig nedgang i solenergi, som resulterte i kjøleforbruket fremvist i Figur 6.19.

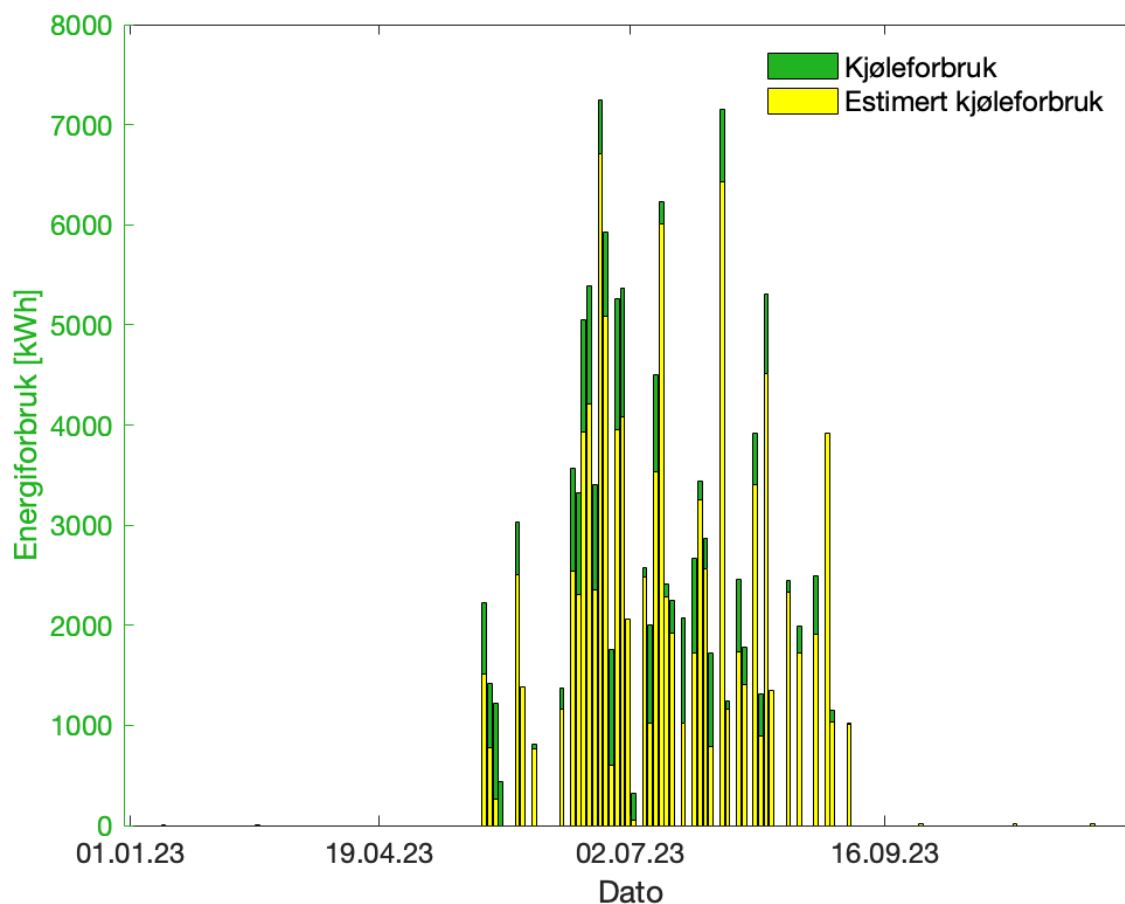


Figur 6.19: Redusert energiforbruk Tiller Torget med solfilm RHE 20.

Tiller Torgets kjøleforbruk viser minimale endringer gjennom året, med tendenser til variasjoner om sommeren. Scenario 2, som har størst reduksjon for kjøleforbruket har kun en reduksjon på 0,7 %, som totalt sett utgjør 719 kWh per år.

6.2.3 Scenario 3

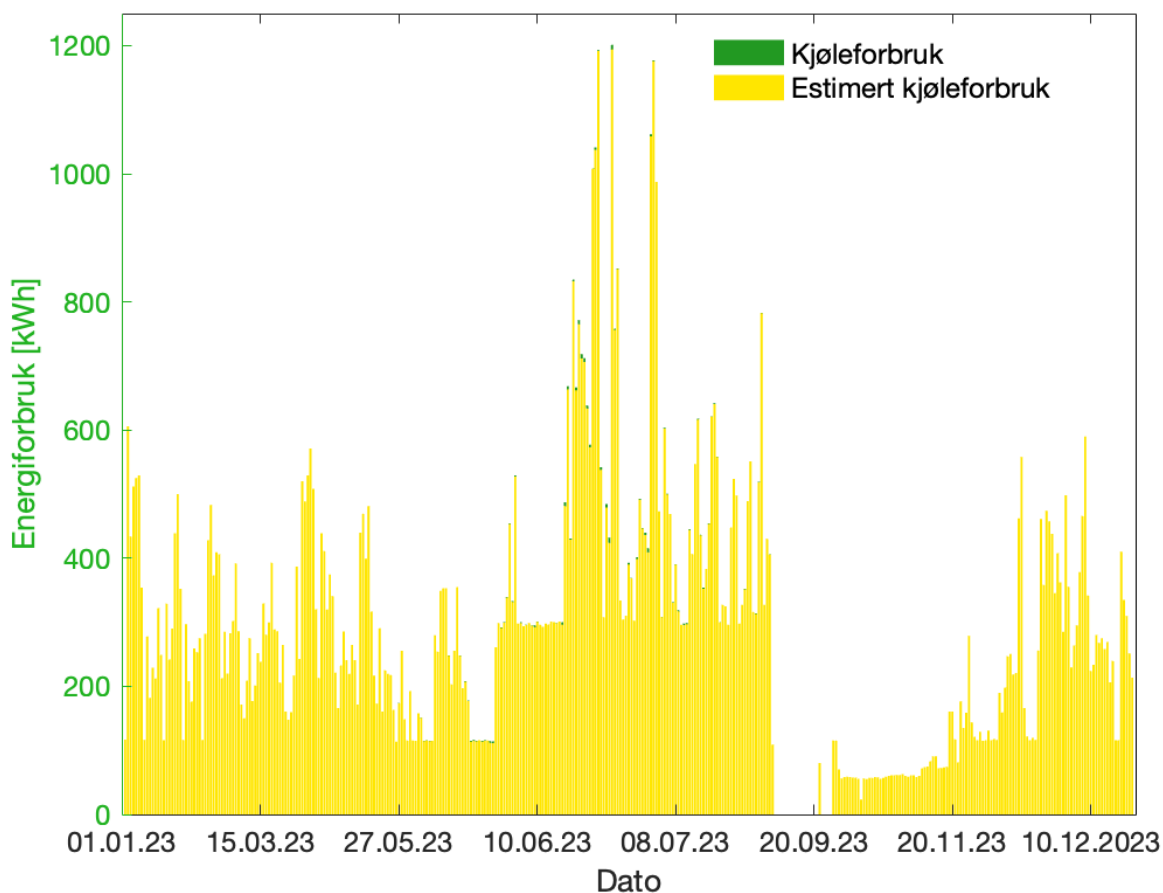
For Scenario 3 ble det undersøkt hvor mye kjøleforbruket kan minimeres ved å skifte ut eksisterende glassoverflater. Dette resulterte i en distinktiv reduksjon av solenergi, og har videre innvirkning på kjøleforbruket, som illustreres i Figur 6.20.



Figur 6.20: Redusert energiforbruk på City Syd med nye glass.

På lignende vis som i Scenario 2, er det flere dager der forbruket nesten halveres. Samlet sett vil utskiftingen av glass føre til en reduksjon i energiforbruket på 33 114 kWh, altså 25,3 %.

I motsetning til City Syd, har utskifting av glassene på Tiller Torget liten påvirkning både for solenergien og energiforbruket. I Figur 6.21 er det illustrert reduksjonen i energiforbruket etter utskifting av glassene.



Figur 6.21: Redusert energiforbruk på Tiller torget med nye glass.

Som vist i figuren, er den totale nedgangen i energiforbruket gjennom året svært ubetydelig. Totalt sett vil scenario 3 kun føre til en reduksjon i energiforbruket på 163 kWh for hele året, som kun utgjør 0,16 % av det totale kjøleforbruket.

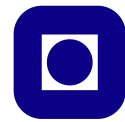
6.2.4 Sammenligning

Det fremkommer av resultatene for de ulike scenarioene at reduksjonen i energiforbruket varierer ut ifra mengden solenergi. I scenarioene der solenergien hadde betydelig reduksjon, førte dette til størst reduksjon for kjøleforbruket. Reduksjon for City Syd kan ses i Tabell 6.1 og reduksjon for Tiller Torget kan ses i Tabell 6.2.

Tabell 6.1: Sammenligning for reduksjon av kjøleforbruk til City Syd

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Totalt kjøleforbruk [kWh/år]	130 875	130 875	130 875
Reduksjon i kjøleforbruk [kWh/år]	21 725	35 359	33 114
Prosentvis reduksjon for kjøleforbruk [%]	16,6	27	25,3

Energieffektive tiltak vil ha merkbar betydning for kjølebehovet. Den laveste reduksjonen oppstår i Scenario 1, hvor det er en reduksjon på 16,6 % som tilsvarer 21 725 kWh spart per år. Scenario 2, som har størst påvirkning på kjølebehovet, har en reduksjon på 35 350 kWh per år. Dette



6 RESULTATER

tilsvarende 27 %, og fra tabellen fremkommer det at alle scenarioene fører til merkbar reduksjon for kjøleforbruket.

Tabell 6.2: Sammenligning for reduksjon av kjøleforbruk til Tiller Torget

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Totalt kjøleforbruk [kWh/år]	102 751	102 751	102 751
Reduksjon i kjøleforbruk [kWh/år]	475	719	163
Prosentvis reduksjon for kjøleforbruk [%]	0,46	0,7	0,16

Tabellen viser at Tiller Torget har minimal energibesparelse, med kun 719 kWh spart, som tilsvarer en reduksjon i kjøleforbruket på 0,7 %. Totalt sett vil alle scenarioene ha minimal innvirkning på energiforbruket til Tiller Torget, spesielt utskiftingen av glass som kun resulterer i en besparelse på 163 kWh per år, som tilsvarer 0,16 %.

6.3 Resultat fra kostnadsvurdering

I Tabell 6.3 er resultatene fra LCOE-analysen presentert, gitt i kr/kWh . Lave verdier er å preferere, da det indikerer at de totale kostnadene ikke overstiger spart energi i stor grad.

Tabell 6.3: Resultater av LCOE-analyse [kr/kWh]

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
City Syd	8,4	2,9	6,2
Tiller Torget	236,6	141,3	1261,2

Fra tabellen kommer det frem at City Syd har lavest resultat med 8,4 kr/kWh , 2,9 kr/kWh og 6,2 kr/kWh i de respektive Scenario 1, 2 og 3. På Tiller Torget er resultatet en del høyere med et resultat på henholdsvis 236,6 kr/kWh , 141,3 kr/kWh og 1261,2 kr/kWh i Scenario 1, 2 og 3.



7 Diskusjon

Formålet i denne seksjonen er å drøfte og evaluere eventuelle feilkilder samt resultatene som er presentert tidligere. Det er nødvendig å undersøke ulike feilkilder og antakelser som potensielt kan ha påvirket resultatene. Videre vurderes energiltakene som er implementert i de ulike scenarioene for begge lokalene. Oppgaven blir evaluert med hensyn til kriteriene for energibesparelse, kostnadseffektivitet og helhetsinntrykk for kjøpesentrene.

7.1 Feilkilder

Gjennomgående i oppgaven er det blitt gjort flere antagelser og avrundinger, som kan være av betydning for resultatene. Feilkildene som oppstår underveis i oppgaven kan være et resultat av både innhentet data og valgt metode for beregninger. Det er nødvendig og adressere dette da det kan påvirke validiteten av metoden og gyldigheten til resultatene.

7.1.1 Innhentet data

Målinger for soltimer og UVB-stråling er hentet fra *Norsk Klimaservicesenter* og *Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet*. De benytter forskjellige måleapparater på ulike lokasjoner, og det ble besluttet å hente verdiene fra nærliggende områder. Soltimene er hentet fra Gløshaugen, mens UVB-verdiene er hentet fra Melhus, der begge områdene ligger i Trondheim kommune. Høyeste målte avvik i avstand fra Tiller er på underkant av 10 km, og det er antatt at klimaet på lokasjonen ikke varierer tilstrekkelig nok til at dette er av stor betydning. Dermed er verdiene benyttet til å gi et rimelig bilde på soltimene og UVB-strålingen på Tiller.

Data over soltimer som er benyttet i beregningen er kun hentet for ett år, 2023. Dette kan medføre et restriktivt bilde på soltimene, siden dette naturligvis varierer fra år til år. En mer nøyaktig metode kunne vært oppnådd ved å innhente data over flere år, for deretter å identifisere skjevheter knyttet til statistiske avvik. Derimot siden implementeringen av tiltakene har en levetid på over 10 år, vil det uansett være vanskelig å anslå hvordan soltimene og klimaet vil være fremover i tid. Videre er det ikke spesifisert hvordan soltimene er målt, for eksempel om total eller diffus stråling er inkludert i målingene. Hvis diffus stråling er inkludert, er det ikke angitt hvor stor andel av den totale solinnstrålingen dette utgjør. Basert på tilgjengelige data er det antatt at målingene kun omfatter direkte stråling, selv om diffus stråling også påvirker solenergien på bygningene. Målingene for UVB-strålingen er utført av *DSA*, og eventuelle feilkilder i disse målingene er ikke kjent.

All uthentet data for kjøleforbruk er basert på empiriske observasjoner og registreringer. Det er mulig at innhentede data kan være feilaktige eller mangelfulle på grunn av ulike faktorer, for eksempel feilaktige registreringer, tekniske problemer eller måleinstrumentets unøyaktighet under datainnsamlingen. Et konkret eksempel på dette fenomenet kan sees i målingene av kjøleforbruket fra Tiller Torget, som er illustrert i Figur 3.7. I løpet av en periode rundt september er det ingen registrerte data tilgjengelige. Årsaken til denne mangelen er ikke kjent, og det kan skyldes flere faktorer, inkludert mulige tekniske problemer med måleutstyret eller andre ukjente variabler som påvirker datainnsamlingen.

Databladene som er benyttet til å innhente opplysninger om den forbedrede g-verdien til glasspartiene med solfilm, kan avvike fra de reelle glassinstallasjonene som eksisterer i kjøpesentrene. Et eksempel på dette kan sees i Vedlegg A, hvor vindusglassene det er tatt utgangspunkt i, er i samsvar med europeiske standarder, spesifikt *EN 410* og *EN 673*. Her



ble effekten til solfilmen beregnet ut ifra en standard glasstype. For å adressere dette, ble det gjort et kompromiss ved å velge g-verdier til glass som var mest lik de som faktisk brukes på kjøpesentrene. Selv om det foreligger et vist avvik mellom standardiserte og faktiske glassinstallasjoner, er det verdt å merke seg at det absolutte avviket for glasstypene ikke overstiger 0,08. Dette kan ha betydning for resultatene da dette påvirker estimert redusert solenergi, men det vil være en minimal avvikskilde.

Estimering av prisene for solfilmene RHE 20 og RHE 50 fra Llummar, har tatt utgangspunkt i pristilbud fra en leverandør, hvor det gjort et overslag på enhetspris per kvadratmeter. Denne prissettingsmetoden bør betraktes med forsiktighet da slike grove overslag kan være sårbare med tanke på variasjoner i faktorer som skiftende markedstrender, mengderabatter og andre variabler som ikke nødvendigvis gjenspeiles i det initielle tilbudet. For å oppnå mer pålitelige estimater på enhetsprisen, kan det være hensiktsmessig å konsultere flere kilder og gjøre grundigere undersøkelser rundt dette.

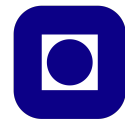
Prisestimat for å bytte kun glass med bruk av eksisterende karmen, er kun et grovt estimat hentet fra anerkjent leverandør av glassfasader. Dette prisestimatet kan variere betydelig avhengig av ulike faktorer ved utarbeiding av et reelt pristilbud. Variabler som kan påvirke den endelige prisen, kan eksempelvis være typen glass, tilstand og kompleksitet av eksisterende karmen samt eventuelle ekstra tjenester. Det er derfor ønskelig med et prosjektspesifikt pristilbud som tar hensyn til disse behovene, og vil gi en mer presis vurdering av kostnadene.

7.1.2 Beregninger for solinnstråling

For å kunne beregne solinnstrålingen til kjøpesentrene var det nødvendig å vite lokasjonen basert på lengde- og breddegrad. Det ble i dette tilfellet tatt utgangspunkt i en felles verdi for begge lokasjonene, for å forenkle beregningene. Dermed ble det benyttet en midtveisapproximasjon for å finne midtpunktet, som en tilstrekkelig tilnærming da byggene ikke ligger mer enn 500 m fra hverandre. Utslaget for dette vil være et minimalt avvik i bredde- og lengdegradene til bygningene.

I beregningene var det ønskelig å undersøke effekten til solinnstrålingen ved glassoverflatene. Effekten til solinnstrålingen ved jordoverflaten fluktuerer konstant grunnet faktorer som tid på året, innfallsvinkel og himmellegemer. De nevnte faktorene ble tatt i betraktning under beregningene for solinnstråling, men ettersom effekten alltid varierer, vil verdiene aldri være helt presise. Det er anerkjent at UV-stråler alene ikke utgjør en presis måling av solinnstrålingseffekten, da dette aspektet er mer komplekst. Likevel gir UV-stråler en indikasjon på solstrålens styrke, og ble derfor anvendt. Solstråler består av både UVA, UVB og UVC-stråler, men det er kun brukt UVB-strålinger i beregningene. Som forklart i seksjon 2.5 har UVB-stråler kortere bølgelengder enn UVA-stråler og har av den grunn høyere effekt per kvadratmeter. I betraktning av ønsket om å finne effekten for solinnstråling per kvadratmeter, ble det valgt å bruke UV-strålingen med høyest effekt. UVB-verdiene gitt fra *DSA* har verdier fra 0 til 1, og verdier ned mot 0 ble ansett som svak effekt, mens 1 ble ansett som full effekt. I realiteten er ikke dette en presis måte å beregne effekten for solinnstråling, men grunnet begrenset ressurser ble dette vurdert som den mest nøyaktige beregningen som gir gode indikasjoner for soleffekten.

Videre er det gjort avrundinger vedrørende kompassretning til byggene og vinklingen av glasspartiene. Slik det vises i Figur 3.1 og 3.2 er inngangspartiene til begge sentrene avrundet, og alle glassoverflatene har dermed ulik kompassretning. For en høyere grad av nøyaktighet er



det nødvendig å konkret måle kompassretningen for hver enkelt glassoverflate. Slike ressurser har ikke vært tilgjengelig, og dermed er det tatt et omtrentlig felles anslag for retningen til glasspartiene. Glassfasadene på taket til City Syd har alle forskjellige helninger, men det ble her gjort en forenkling ved å anta at alle glassoverflatene ligger horisontalt i forhold til underlaget. Forenklingene påvirker andelen sol som treffer flatene, og dermed også resultatene for solenergi. I realiteten vil helningen til glassene påvirke innfallsvinkelen og mengden solinnstråling som treffer arealet.

7.1.3 Estimert nytt kjøleforbruk

Den sentrale utfordringen ved beregning av et nytt kjølebehov ligger i den dynamiske realiteten til energibalansen i bygningene, hvor det kontinuerlig oppstår endringer som enten påvirker energibalansen positivt eller negativt. I denne oppgaven er det kun tatt hensyn til påvirkningen solenergien har på denne balansen og vil resultere i et begrenset perspektiv på den totale energibalansen. Det er gjort en antagelse vedrørende energibalansen, hvor bygningene betraktes med systemgrense rundt bygningskroppen til begge kjøpesentrene. Ved å fokusere utelukkende på solenergi som en ekstern påvirkningsfaktor, blir andre faktorer som påvirker kjølebehovet utelatt. Dette vil føre til feilkilder, ettersom de øvrige faktorene fortsatt er til stede, men utelatt med hensyn til begrensninger den aktuelle problemstillingen. Slik kan solenergi isoleres som en påvirkningsfaktor, og resterende momenter utelukkes i systemet. Denne tilnærmingen gir et grovt estimat av redusert kjølebehov som følge av redusert solenergi.

Tilgangen var begrenset til empiriske feltmålinger av kjøleforbruket i kjøpesentrene, uten ytterligere innsikt i faktorene som påvirker kjølebehovet. Dette førte til at beregningene for det estimerte nye kjøleforbruket ble antatt å være direkte påvirket av redusert solenergi. Det er anerkjent at dette aspektet i virkeligheten er mer komplekst, og at estimatet derfor kun er et grovt anslag.

Ytterligere er kjølepådraget i ventilasjonsanlegget både på City Syd og Tiller Torget styrt av sett-punkter på avtrekkstemperaturen, og dersom innetemperaturen overstiger det forhåndsdefinerte terskelnivået, aktiviseres anlegget. Det er kun tatt utgangspunkt i tiltak som skal redusere kjøleforbruket som resultat av direkte solenergi, og ikke hvordan solenergien opptrer inne i bygningen. Eksempelvis gjennom konveksjon i luften eller påvirkningen direkte stråling har på alle bygningsmaterialene inne i bygningen. Dette hadde medført mange komplekse kalkulasjoner dersom kartlegging av den indre strukturen av kjøpesentrene hadde blitt gjort.

7.2 Evaluering av redusert solenergi og kjøleforbruk på City Syd

For City Syd ble energioptimaliserende tiltak evaluert med fokus på glassarealene på Storebrand-delen ved inngangspartiet og på taket. City Syds sørvendte fasade og omfattende glassflater på taket er av stor betydning for mengden solenergi inn i bygget, som illustrert for hvert scenario i Figur 6.14. Som et resultat vil solskjermingstiltak og utskifting av glass bidra til en markant reduksjon i kjølebehovet.

Resultatene fra Scenario 1 representerer en betydelig reduksjon av solenergi ved å implementere solfilmen RHE 50, som illustrert i Figur 6.4. I Scenario 1 viser Figur 6.1 og 6.2 at Glass 1 og 3 opplevde større reduksjon i solenergi etter implementering av solfilm enn Glass 2. Glass 1 og 3 har et samlet areal på 217,5 m², mens Glass 2 har 350 m². Til tross for det større arealet, slipper Glass 2 gjennom mindre enn halvparten av solenergien på grunn av sin lave initielle g-verdi.



Derfor kan det argumenteres for at effekten til solfilmen ikke er tilstrekkelig til å utgjøre en stor nok forskjell for Glass 2.

I Scenario 2, med implementering av solfilmen RHE 20, ble det observert en enda større reduksjon for solenergi enn for førstnevnte scenario, grunnet solfilmens høyere effektivitet. Fra Seksjon 4 spesifiseres det at solfilmen implementeres for alle glassoverflatene, foruten Glass 2. I forhold til Scenario 1 er det et mindre totalt areal der det implementeres energioptimaliserende tiltak, men likevel er resultatet for Scenario 2 bedre. Dette kan observeres i Figur 6.6 og 6.7. Dette understreker viktigheten av å grundig vurdere behovet for energioptimaliseringstiltak på fasader dersom eksisterende forhold allerede har tilfredstillende utgangspunkt. Derimot for de eldste glassene vil tiltaket være betydningsfullt for å minimere de negative energikonsekvensene for bygget. Imidlertid er det viktig å merke seg at den mørke sølvfargen på solfilmen potensielt kan påvirke estetikken negativt. Dette kan være en viktig faktor å vurdere ettersom fargen kan endre utseende på fasaden samt redusere innsikten både innen og utenfra.

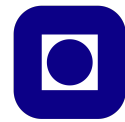
Avslutningsvis viser resultatene fra Scenario 3 at utskiftning av glass bidrar til en stor reduksjon av solenergi på City Syd, som illustrert i Figur 6.12. Reduksjonen i solenergi for dette scenarioet er noe mindre enn for Scenario 2. Derimot er det viktig å merke seg at utskiftning av glass kan medføre at de ulike egenskapene til glasset er forbedret. Utskiftning av glassene vil høyst sannsynlig føre til en lavere u-verdi, som resulterer i bedre isolasjonsevne. Forbedret isolasjon fører til lavere varmetap og varmegjennomtrenging, da en mindre andel varme unnslipper bygningen. Med forbedring av u- og g-verdi kan både kjøle- og oppvarmingsbehovet minimeres. Dette kan bidra til ytterligere positive konsekvenser for energieffektiviteten til bygningen på lang sikt. Sammenlignet med implementering av solfilmer, vil estetikken til bygget ivaretas.

Figur 6.16, 6.18 og 6.20 illustrer den totale reduksjonen i kjøleforbruket for de tre respektive scenarione 1, 2 og 3. Det fremkommer av Tabell 6.1 at ved å redusere solenergien kan kjøleforbruket bli redusert med nesten en tredjedel, i Scenario 2. Den prosentvise reduksjonen i kjøleforbruket illustrerer svært optimale resultater, sett i lys av at dette kun er ett av tiltakene i optimaliseringsprosessen for bygget. I Seksjon 3.2 presenteres energiforbruket til City Syd, og det fremgår at kjøleforbruket utgjør 7 % av det totale energiforbruket, mens oppvarming utgjør 6 %. Kjøpesenteret kan sannsynligvis dra større nytte av å redusere solenergien, ettersom kjøleforbruket er høyere enn oppvarmingsforbruket. I vinterhalvåret kan solenergi fungere som en naturlig oppvarmingskilde, og det bør tas forbehold om at oppvarmingsbehovet dermed kan øke ved å redusere dette. Det er imidlertid viktig å merke seg at oppvarmingen av arealet er basert på fjernvarme, en fornybar energikilde. Derfor vil en eventuell økning i oppvarmingsbehovet ikke nødvendigvis ha en negativ innvirkning på byggets miljøstandard, ettersom fjernvarme er ansett som en grønn energikilde.

7.2.1 Kost-nytte vurdering

Her analyseres de økonomiske aspektene ved ulike scenarier, med fokus på kostnadseffektivitet. Som nevnt tidligere i seksjon 2.3 er det vanlig i yrkesbygg at et selskap står som eier og dermed dekker investeringskostnadene. Dette understreker viktigheten av å undersøke de økonomiske konsekvensene av et optimaliseringsprosjekt.

Resultatene i Tabell 6.3 viser lave verdier for alle de tre scenarioene, som kan indikere at investeringen er økonomisk bærekraftig. For at disse verdiene skal anses som fordelaktige, bør de være lavere enn de gjeldende utgiftene som går til å dekke energiforbruket. Selv om de nøyaktige



kostnadene for energiforbruket er usikre, kan en realistisk vurdering av verdiene gjøres ved å sammenligne dem med kommersielle strømpriser. Den laveste verdien er i Scenario 2 med 2,9 kr per kWh spart. Dette kan anses som tilstrekkelig lavt til at investeringen er lønnsom med hensyn til kostnadseffektivitet.

Scenario 1 hadde høyere investeringskostnader i forhold til Scenario 2 på grunn av optimalisering av et større glassareal, ved å inkludere Glass 2. Resultatet fra LCOE-analysen ble 8,4 kr/kWh og dette understreker betydningen av å vektlegge investeringskostnadene i et optimaliseringsprosjekt. Selv om det intuitivt kan være rimelig å anta at optimalisering av glasspartiene vil føre til høyere energieffektivisering, viser resultatene at ved å ta hensyn til de økte investeringskostnadene, blir den totale effekten mindre gunstig. Effektiviteten til solfilmen i Scenario 1 er ikke tilstrekkelig til å kompensere for høyere kostnader ved å inkludere et større glassareal, noe som gjør dette tiltaket mindre fordelaktig ved å betrakte helheten. Dette fremhever behovet for en balansert vurdering av både energieffektivitet og kostnader i optimaliseringsprosjekter.

Til tross for at Scenario 2 fremstår som det mest gunstige valget av de tre scenarioene når LCOE-resultatene vurderes isolert, bør Scenario 3 vurderes nøye. Det er essensielt å ta hensyn til levetiden til de eksisterende vinduene i bygningene, da de nåværende vinduene fra år 1987 på City Syd nærmer seg sin tekniske levetid, som indikert i Tabell 4.3. I henhold til Tabell 6.3, vil investeringen i nye vinduer i Scenario 3 gi bedre resultater enn for Scenario 1 fra et kost-nytteperspektiv. Med tanke på et bærekraftig standpunkt vil det være behov for tre solfilmer per vindusutskiftning når solfilmene og vinduene har henholdsvis levetid på omtrent 10 og 30 år. Scenario 3 vil ha langsiktige gevinster som følge av forventet lengre levetid, samt andre faktorer som tidligere diskutert.

Dersom målet er å beholde de eksisterende vinduene frem til slutten av deres tekniske levetid, kan det være gunstig på kort sikt å velge en av solfilmene. Spesielt Scenario 2, som har den laveste kostnaden i kr/kWh spart, vil være særlig fordelaktig dersom strømprisene øker.

7.3 Evaluering av redusert solenergi og kjøleforbruk på Tiller Torget

På Tiller Torget ble kun glassarealet ved inngangspartiet vurdert med tanke på energioptimaliserende tiltak. Den nordvendte orienteringen av inngangspartiet er av betydelig relevans for den direkte solenergiens påvirkning på glasspartiet. I Figur 6.15 sammenlignes ulike scenarioer, og det fremgår at solenergi i bygningen kun forekommer i sommerhalvåret. Dette illustreres ved en markert spissere graf, i motsetning til City Syd, hvor grafen har en rundere og mer utstrakt form. Denne spissere formen antyder en kortere eksponeringstid for solinnstrålingen ved inngangspartiet gjennom året. Som en konsekvens av dette vil solskjermingstiltak kun være funksjonelle i en begrenset periode. Videre fremkommer det av figuren at effekten av solenergien aldri overstiger 50 kWh , verken før eller etter implementeringen av scenarioene.

Ved implementeringen av solfilmen RHE 20 i Scenario 2 blir solenergien redusert til et minimum, med den høyeste innstrålte effekten på under 10 kWh , som vist i Figur 6.9. Dermed vil bruken av denne typen solfilm resultere i den største reduksjonen av solenergien. På den andre siden medførte en høyere effekt på solfilmen til en mørkere farge. Dette kan føre til en reduksjon av dagslysinntaket, noe som potensielt kan redusere effekten av den naturlige belysningen i kjøpesenteret. Dette er av særlig betydning, da belysning utgjør en betydelig del av energiforbruket, med opptil 20 %, som illustrert i Figur 3.6.

Resultatene fra Scenario 1 i Figur 6.5 indikerer en reduksjon på omtrent halvparten av



solenergien. Solfilm RHE 50 kan potensielt bidra til et kompromiss mellom funksjonene i solskjermingen, hvor RHE 20 kan bli for intens med tanke på både estetikk og effekt. I dette scenarioet kommer det frem at de høyeste effekttoppene av solenergien reduseres samtidig som solfilmen ikke blir for mørk i fargen. Dette sikrer at både innsyn og dagslys opprettholdes, samtidig som de uønskede effektene av solenergien blir betydelig redusert.

I Scenario 3 ble det besluttet å erstatte glassene på Tiller Torget. Siden inngangspartiet er nordvendt, ble det, som nevnt tidligere, ikke anbefalt å investere i ytterligere solbeskyttelse for glassene. Som følge av dette er reduksjonen av solenergien minimal i Scenario 3, som vist i Figur 6.13. På grunn av den forholdsvis høye g-verdien til den valgte glassarten, er resultatet ikke optimalt. Imidlertid, hvis det er et ønske om ytterligere reduksjon av solenergien, kan en alternativ løsning være å benytte en glassart med en lavere g-verdi. Videre fra Tabell 6.2 er totalt redusert solenergi fra Scenario 1, 2 og 3 på henholdsvis 474, 178 og 162 *kWh*, som er relativt lite i lys av at det er et stort kjøpesenter med generelt høyt energiforbruk. Dette understreker betydningen av å ta byggets lokasjon, orientering og vindusareal i betraktning ved vurdering av behov for solskjerming.

I Figur 3.7 illustreres målt kjøleforbruk på Tiller Torget. Det kan argumenteres for at kjøleforbruket på Tiller Torget øker om sommeren på grunn av utetemperaturen og ikke nødvendigvis på grunn av økt solenergi. Denne antydningen er basert på resultatene fra det redusert kjøleforbruket etter implementering av tiltakene i alle scenarioene. Fra Figurene 6.17, 6.19 og 6.21 illustreres gammelt kjøleforbruk og nytt estimert kjøleforbruk for henholdsvis Scenario 1, 2 og 3. Resultatene viser at det eksisterende kjøleforbruket har toppe som når opptil 1200 *kWh*. Til tross for implementering av tiltakene, har reduksjonen aldri oversteget 50 *kWh* på det høyeste i noen av scenarioene. Gjennomgående for alle resultatene viser at reduksjonen i kjøleforbruket er svært minimal, og effekttoppene er fortsatt tilstede.

Dette kan, med unntak av periodene rundt april og desember som observert i Figur 3.7, understreke påstanden om at kjølebehovet primært påvirkes av økende utetemperaturer fremfor økt solenergi om sommeren. Periodene i april og desember illustrerer tilfeller nevnt i Seksjon 2.4, hvor det ikke alltid er en klar sammenheng mellom utetemperatur og kjølebehovet. Selv med lav utetemperatur, er det et relativt høyt kjøleforbruk. Dette kan eksempelvis skyldes økte indre faktorer og høyere personbelastning. Ytterligere ble estimert nytt kjøleforbruk begrenset til primært reduksjon av solenergien, mens andre faktorer som påvirker innklimaet, ikke er adressert. Det er derfor mulig at en bredere betraktning av flere påvirkningsfaktorer kan potensielt føre til lavere energiforbruk.

Videre er en sentral betraktning innen energieffektivisering å vurdere energiforbruket og behovet som helhet, for å sikre at implementering av tiltak ikke resulterer i motstridende virkninger. Fra Tabell 6.2 fremkommer det at prosentvis reduksjon i kjøleforbruket ikke overstiger 1 %, og dermed kan det argumenteres for at optimaliseringstiltaket ikke er tilstrekkelig nok. Som illustrert i Figur 3.6, utgjør kjøleforbruket kun 2 % av det totale energiforbruket, mens oppvarmingen utgjør hele 10 %. Implementering av solfilm fører til en forbedring av g-verdien, mens utskiftning av glass forbedrer g-verdien og isolasjonsevnen. Det faktum at oppvarmingsbehovet er større enn kjølebehovet indikerer et behov for tiltak som ikke fjerner den naturlige oppvarmingen, slik som varme fra solenergien. Dette understreker nødvendigheten med å nøye vurdere om tiltaket kan resultere i økt oppvarmingsbehov, samtidig som kjølebehovet reduseres svært minimalt.



7.3.1 Kost-nytte vurdering

En analyse av kostnadene kontra fordelene ved oppgradering av glassfasadene på Tiller Torget er avgjørende for å kunne foreta en helhetlig vurdering av de ulike scenarioene. Resultatene fra LCOE-beregningene understreker ineffektiviteten av de implementerte tiltakene for dette kjøpesenteret. Som tidligere forklart, indikerer et lavt LCOE-resultat en ønskelig situasjon, hvor kostnadene ikke overstiger den oppnådde energibesparelsen eller -produksjonen.

Fra resultatet i Tabell 6.3 kommer det frem at Scenario 3 fremstår som minst gunstig med en kostnad på energi spart per kWh på over 1200 kroner. Dette er kun for redusert kjøleforbruk, og det kan tenkes at energibesparelsen blir større hvis oppvarmingsforbruket reduseres som følge av bedre isolasjonsevne. Det fremgår i Tabell 4.3 at inngangspartiet på Tiller Torget fortsatt har 10 år igjen før glasspartiet nærmer seg det korteste intervallet. Basert på resultatene kan det overveies å vente til vinduene nærmer seg sin tekniske levetid før gjennomføring av dette tiltaket.

Videre, når det gjelder implementeringen av solfilm i Scenario 1 og 2, viser kostnadsanalysen at tiltakene ikke har tilstrekkelig effektivitet til å rettferdiggjøre kostnadene. Den oppnådde energibesparelsen i form av redusert kjøleforbruk er ikke nok til å kompensere for kostnadene ved installasjon av solfilmen. Resultatene fra LCOE-beregningen indikerer at kostnaden for energi spart i Scenario 1 og 2 er på henholdsvis 236 kr og 141 kr. Ved vurdering av kun kost-nytte-resultatet, er det tydelig at Scenario 2 er klart mest gunstig. Selv om det kan hevdes at ingen av tiltakene har realistiske verdier i kost-nytte-analysen som støtter lønnsomheten av investeringen, kan fokuset heller rettes mot å redusere energibehovet enn å prioritere lønnsomhet. På den andre siden kan det tenkes at en byggherre ikke ser verdien av tiltaket når det viser seg at investeringskostnaden er for høy i forhold til effekten.

7.4 Videre arbeid

Ved vurdering av energioptimalisering gjennom implementering av solfilm og utskiftning av glass kan det understrekes at byggets lokasjon, utforming og energiforbruk som en helhet bør tas i betraktning. Ved eventuelt videre arbeid med problemstillingen kan en bredere betraktning av alle faktorene som kan medføre til et kjølebehov betraktes, og ytterligere hele energibalansen til kjøpesentrene. Dette sikrer en bredere forståelse av energibehovet til bygningene. Videre kan det være hensiktsmessig å vurdere kjøpesentrene som et dynamisk system og benytte et simuleringstøytøy for å fange opp endringene som skjer over tid.

Som nevnt i Seksjon 3 er denne problemstillingen en del av et større energioptimaliseringsprosjekt. Videre arbeid kan være å undersøke virkningene av flere andre tiltak som er planlagt for å se effekten av et energioptimaliseringstiltak på kjøpesentrene. I Seksjon 2.3 er det presentert ulike energioptimaliseringstiltak som kan være hensiktsmessige for byggdriften, energiforbruket og kostnadene til yrkesbygg. Gjennomgående for driverne som kan være mest effektive for kjøpesentre er å optimalisere driften, både med hensyn på behov og energioppfølging.

Fra Figur 2.2 presenteres reduksjon i energibehov som første steg i en optimaliseringsprosess. Videre blir overvåking og kontroll av energiforbruk presisert som et viktig steg. Ved å implementere en mer målrettet styringsstrategi for kjøling og ventilasjon spesielt på City Syd, kan energiforbruket reduseres. Behovet for dette kan eksempelvis sees i den klare forskjellen i kjøleforbruket mellom ulike deler av senteret, som illustrert i Figur 3.4 og 3.5. En løsning for å optimalisere kjøleforbruket ved overvåking og kontroll, kunne vært en tydelig styringsstrategi



som differensierer mellom de ulike leietakerne, slik at leieareal med høyest kjølebehov kan reguleres uavhengig. Slik kan det unngås at det forekommer unødvendig kjølepådrag hos resterende leieareal gjennom året.

7.5 Oppgavens styrker og svakheter

En styrke ved oppgaven er dens forankring i en reell case innen optimaliseringsprosess av eldre bygninger. Denne tilnærmingen fremmer praktisk anvendelse av teori og gir verdifull innsikt i arbeidslivet, samtidig som den bidrar til å utvide det profesjonelle nettverket gjennom samarbeid med bedrifter. Dette gir verdifull erfaring og muligheten til å observere næringslivets tilnærming til bærekraftige løsninger og målsettinger for et lavutslippssamfunn. Det er imidlertid viktig å bemerke at tidsperioden for oppgaven er begrenset, og medførte at det ikke var mulig å følge optimaliseringsprosessen fra start til slutt.

Problemstillingen i oppgaven er utarbeidet i samarbeid med de eksterne aktører, og er satt av konkrete rammer. Den konkrete problemstillingen medfører til en spesifikk og målrettet tilnærming, som med fordel tydeliggjør retningslinjer og et definert formål for oppgaven. På den annen side gir den avgrensede problemstillingen mindre mulighet til å utforske bredere kunnskapsområder og demonstrere større kunnskapsnivå.



8 Konklusjon

Målsettingen til EU-kommisjonens energipolitikk om å fremme overgangen til et lavutslippssamfunn har også rettet seg mot bygningssegmentet. Prinsippet om økende energieffektivisering medfører at aktører i bygg- og eiendomsbransjen har fått strammere retningslinjer til energiriktig drift og planlegging. I lys av økende press fra ulike instanser som eksempelvis EPBD, stilles det nå høyere krav til byggherrer når det gjelder investering i energieffektiverende tiltak for optimalisering av yrkesbygg.

Bedriftskonsernets initiativ til å igangsette et energioptimaliseringsprosjekt for City Syd og Tiller Torget dannet grunnlaget for problemstillingen. Formålet var å undersøke virkningen på energiforbruket ved å implementere to ulike solfilmer og erstatte eksisterende glassfasader. Gjennom utviklingen av tre scenarioer og utførelse av beregninger for både redusert solenergi og kjøleforbruk, ble de mest optimale løsningene identifisert. Vurderingen av tiltakene baserte seg på kriterier som potensial for reduksjon i energiforbruk, samt bærekraftighet fra både et økonomisk og miljømessig perspektiv.

Målet var å oppnå høyere energieffektivitet samtidig som økonomisk bærekraftighet ble sikret. Redegjørelse av resultatene for City Syd viste at Scenario 2 oppnådde den mest betydelige reduksjonen i kjøleforbruket, estimert til 35 359 kWh per år. Dette scenarioet ble også vurdert som økonomisk mest fordelaktig med en kostnad på 2,9 kr/kWh spart, sammenlignet med de to andre alternativene. Ved vurdering av langsiktig økonomisk og miljømessig bærekraft fremsto Scenario 3, som innebærer utskifting av glass, som den mest fordelaktige løsningen. Dette støttes av den forlengede levetiden til nye glassfasader og et LCOE-resultat på 6,2 kr/kWh spart. Ved en total evaluering av de aktuelle tiltakene, understrekes det betydningen av å ta hensyn til det angitte tidsperspektivet. På kort sikt vil en overordnet anbefaling være Scenario 2, med solfilm RHE 20. På lengre sikt vil imidlertid Scenario 3, med installasjon av nye vinduer, være et godt alternativ både økonomisk og miljømessig.

Resultatene for Tiller Torget fremhever betydningen det nordvendte inngangspartiet har for effektiviteten av implementerte tiltak. Reduksjonen i solenergi er begrenset som følge av lave initielle verdier og medfører til at energibesparelsen i kjøleforbruket ikke overstiger 1 % i noen av scenarioene. Utskiftning av glass fremstår som et mindre aktuelt tiltak på nåværende tidspunkt og kan vurderes på nytt når glasspartiet nærmer seg teknisk levetid, eller hvis det blir aktuelt å vurdere andre nytteverdier av forbedrede glass. Implementering av solfilmene gir ikke nevneverdige fordeler for kjøpesenteret. Kost-nytte-analysen understreker ytterligere at investeringskostnadene er for høye til å kunne rettferdiggjøre tiltaket. Derfor bør det heller legges vekt på alternative tiltak for å redusere bygningens energibehov.

Konklusjonen er basert på resultatene fra analysene gjort i oppgaven. Ved videre undersøkelse av redegjørelsen i denne oppgaven bør feilkildene som er adressert tas i betraktning. En grundigere undersøkelse av energiforbruket og dets komplekse påvirkningsfaktorer anbefales for å oppnå en mer helhetlig forståelse. En slik tilnærming kan styrke validiteten til resultatene, ved å redusere antagelsen om en direkte sammenheng mellom redusert solenergi og kjølebehov uten å ta hensyn til hvordan innetemperaturen blir påvirket.



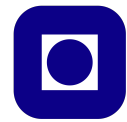
Referanser

- [1] *NOU 2023: 3*. nb-NO. NOU. Publisher: regjeringen.no. Feb. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/> (sjekket 11.05.2024).
- [2] Nina H. Sandberg mfl. “Energisparepotensialet i bygg fram mot 2023 og 2025”. I: (2023), s. 2–60. URL: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3083980/ZEN%2BRapport%2B50.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [3] Birger Bergesen Anne Vera Skrivarhaug. “Analyse av energibruk i forretningsbygg”. I: (2014), s. 2–60. URL: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_01.pdf.
- [4] *Inneklima*. no. URL: <https://hmts.no/fagomraader/inneklima> (sjekket 15.05.2024).
- [5] *421.505 Godt inneklima i yrkesbygninger - Byggforskserien*. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/195/godt_inneklima_i_yrkesbygninger (sjekket 11.05.2024).
- [6] Ivar Rognhaug Ørnes. “Analyse av energibruk og termisk inneklima i næringsbygg med kjøling”. I: (2008), s. 7–31.
- [7] Analyse og Strategi og Entro AS Multiconsult AS. *Analyse av energibruk i forretningsbygg*. Accessed: 10-05-24. URL: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_01.pdf?fbclid=IwZXh0bgNhZWOCMTAAAR0Brtdwyq6Vx_TJTpx-JF0W0zI3lz4AK9fDJDtiGHb881WgOK2j4d7dHAM_aem_AbH66xSWqZHj_X0qhC1JsCQI4zAXL-EgbzI1vcsDsFc64b5eQQnL9p57PT1TbCPD41tDHqYsGtoIrwhTVcGliP0y.
- [8] NVE og Direktoratet for byggkvalitet. *Underlag for langsiktig strategi for energieffektivisering ved reovering av bygninger*. URL: <https://publikasjoner.nve.no/diverse/2022/Underlag.for.langsiktig.strategi.for.energieffektivisering.ved.reovering.av.bygninger2022.pdf> (sjekket 10.03.2024).
- [9] *HVAC Applications — Belimo*. nb-NO. URL: https://www.belimo.com/no/nb_NO/energy-valve/hvac-applications/air-handling-unit (sjekket 19.05.2024).
- [10] NVE. *Kostnader for energieffektivisering i bygg*. URL: https://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2021/eksternrapport2021_06.pdf (sjekket 10.03.2024).
- [11] *Energibruk i bygg - NVE*. URL: <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/energibruk-i-bygg/> (sjekket 10.05.2024).
- [12] Jacob J. Lamb og Bruno G. Pollet. *Energy-Smart Buildings. Design, construction and monitoring of buildings for improved energy efficiency*. IOP Publishing, 2020.
- [13] *U-verdi*. no. Jul. 2019. URL: <https://snl.no/U-verdi> (sjekket 30.04.2024).
- [14] Ida H. Bryn. *Glass i fasader og solskjerming*. Erichsen og Horgen AS. 2015. URL: <http://www.erichsen-horgen.no/media/1140/glass-i-fasader-solskjerming.pdf> (sjekket 29.02.2024).
- [15] – *Det er mulig å kutte opptil 25 prosent av dagens energibruk i næringsbygg*. no. URL: <https://www.gk.no/siste-nytt/2022/-det-er-mulig-a-kutte-opptil-25-prosent-av-dagens-energibruk-i-naeringsbygg> (sjekket 15.03.2024).
- [16] Gunnar Grini og Isak Oksvold. *Kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygg*. URL: <https://www.dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/hvordan-spare-10twh-i-eksisterende-bygg--litteraturstudie.pdf> (sjekket 02.05.2024).
- [17] *Varmepumpe til næringsbygg: en komplett guide*. nb-NO. URL: <https://varmepumpeportalen.no/varmepumpe-til-n%C3%A6ringsbygg> (sjekket 16.05.2024).
- [18] *Fossilt brensel og fornybar elektrisitet*. no. URL: <https://www.dibk.no/byggtekniske-omrader/fossilt-brensel-og-fornybar-elektrisitet> (sjekket 15.05.2024).



REFERANSER

- [19] Direktoratet for byggkvalitet. “Veiledning om tekniske krav til byggverk §13-4. Termisk inneklima”. I: (2012), s. 1–3. URL: https://www.dibk.no/globalassets/endringshistorikk/byggteknisk-forskrift/tek--13-4_01.01.2012-29.03.2012-.pdf.
- [20] Finn E. S. Levy. *luftfuktighet – inneklima*. no. Aug. 2023. URL: https://sml.snl.no/luftfuktighet_-_inneklima (sjekket 15.05.2024).
- [21] *Ultrafiolett (UV) stråling*. Folkehelseinstituttet. 8. mar. 2022. URL: <https://www.fhi.no/kl/straling/ultrafiolett-uv-straling/> (sjekket 07.05.2024).
- [22] *Solstråling - Institutt for biovitenskap*. URL: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/solstraaling.html> (sjekket 24.03.2024).
- [23] *UV - Spørsmål og svar*. URL: <https://uv.nilu.no/faq> (sjekket 07.05.2024).
- [24] *irradians – Store norske leksikon*. URL: <https://snl.no/irradians> (sjekket 21.05.2024).
- [25] Soteris Kalogirou. *Solar energy engineering: processes and systems*. 2nd edition. Amsterdam: Academic Press Elsevier, 2014. ISBN: 978-0-12-397270-5.
- [26] Knut Hofstad. *solenergi*. I: *Store norske leksikon*. 16. feb. 2024. URL: <https://snl.no/solenergi> (sjekket 03.05.2024).
- [27] Manuel Blanco-Muriel mfl. “Computing the solar vector”. I: *Solar Energy* 70.5 (2001), s. 431–441. ISSN: 0038092X. DOI: 10.1016/S0038-092X(00)00156-0.
- [28] *List of formulae for Solar Energy (FENG/FENT/FENA 2021)*.
- [29] Øystein B. Dick. *vårjevndøgn*. I: *Store norske leksikon*. 8. feb. 2024. URL: <https://snl.no/v%C3%A5rjevnd%C3%B8gn> (sjekket 03.05.2024).
- [30] Dominic Ford. *Equation Of Time*. In-The-Sky.org. URL: https://in-the-sky.org/article.php?term=equation_of_time (sjekket 29.04.2024).
- [31] *tidsjevning*. I: *Store norske leksikon*. 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/tidsjevning> (sjekket 02.05.2024).
- [32] *Apparent Solar Time - an overview — ScienceDirect Topics*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/apparent-solar-time> (sjekket 29.04.2024).
- [33] Rolf Hagen og Context As. “Veileder for utforming av glassfasader”. I: (). URL: https://www.enova.no/upload_images/OABDE891450341D6A07E480D5E17A917.pdf.
- [34] *Uknuselige vinduer og glass - Hammerglass*. www.hammerglass.no. URL: https://www.hammerglass.no/no/laer-mer-om-u-verdi-og-g-verdi/?language=nn_NO (sjekket 02.05.2024).
- [35] Schüco Norway AS. *Alt om solskjerming*. URL: <https://www.schueco-knowledge.no/alt-om-solskjerming> (sjekket 22.04.2024).
- [36] *Elektrisk solskjerming: En komplett guide (pris, inne, ute)*. URL: <https://www.boligsmarkt.no/guide/elektrisk-solskjerming> (sjekket 21.05.2024).
- [37] *Business Energy Advisor — Window Film*. URL: <https://esource.bizenergyadvisor.com/article/window-film> (sjekket 09.05.2024).
- [38] Levi Gårseth-Nesbakk. *diskonteringsrente*. no. Jan. 2024. URL: <https://snl.no/diskonteringsrente> (sjekket 03.05.2024).
- [39] Hilde Singsaas. “Veileder i samfunnsøkonomiske analyser”. I: (2018), s. 2–10. URL: <https://dfo.no/sites/default/files/Fagomr%C3%A5der/Utredninger/Veileder-i-samfunnsokonomiske-analyser.pdf>.
- [40] *Kjøling City Syd kjøpesenter - Reftec AS*. URL: <https://www.reftec.no/b/771/kjoling-city-syd-kjopesenter> (sjekket 16.05.2024).
- [41] *Google Earth*. URL: <https://earth.google.com/web/search/Tiller+torget/@63.3582617,10.3749068,152.56410217a,0d,86.63464525y,248.16842055h,95.74758009t,0r/data=CngaThJiCiUweDQ2NmQyZTY4NmUwMGNhNDU6MHhkMzU4ZjgyZDM4MDlkOTU0GZru0A>



REFERANSER

- vSrU9AITc201J9vyRAKg1UaWxsZXIgdG9yZ2V0GAEgASImCiQJ4_jN1M81UEARqyFt6s2wSkAZ YEVC7qTJREAhUmi1ORQTMcAiGgoWVmRyQUYzM1BsQVFyc0hBQUh5U09WZxACOGMKATA (sjekket 18.05.2024).
- [42] Lennart A. Roald, Magnus Østbye og Anniken Mossefin. “Bærekraftsanalyse. Energimål 2030 - City Syd”. I: (2021). (Sjekket 01.05.2024), s. 6.
- [43] *Slik fungerer et SD-anlegg*. no. URL: <https://www.entro.no/aktueltsaker/slik-funger-er-et-sd-anlegg> (sjekket 31.03.2024).
- [44] *Observasjoner og værstatistikk - Seklima*. URL: <https://seklima.met.no/observations/> (sjekket 03.05.2024).
- [45] Lennart A. Roald og Anniken Mossefin. “Bærekraftsanalyse. Energimål 2030 - Tiller Torget”. I: (2021). (Sjekket 01.05.2024), s. 5.
- [46] *Energioppfølgingssystemer (EOS) — Enova Kunnskap*. nb-NO. URL: <https://www.enova.no/kunnskap/eos/> (sjekket 31.03.2024).
- [47] *Trondheim*. URL: <https://kart5.nois.no/trondheim/Content/Main.aspx?layout=trondheim&time=638516446237876991&vwr=asv> (sjekket 18.05.2024).
- [48] *Vinduer og dører*. no. URL: <https://www.byggmakker.no/rad-og-guider/dorer-og-vindu/vinduer-og-dorer> (sjekket 21.05.2024).
- [49] Jan Vincent Thue. *energiglass*. I: *Store norske leksikon*. 22. aug. 2023. URL: <https://snl.no/energiglass> (sjekket 19.05.2024).
- [50] vikiallo. *Bygningsfilm fra LLumar — solfilm, sikkerhedsfilm, energifilm — vikiallo*. da-DK. URL: <https://vikiallo.dk/materialer/solfilm-hos-vikiallo/llumar-bygningsfilm/> (sjekket 14.05.2024).
- [51] Tom Heine Nätt og Knut Sæbjørnsen. *MATLAB*. no. Jan. 2023. URL: <https://snl.no/MATLAB> (sjekket 15.05.2024).
- [52] uvjohnsen. *TRH hourly 2024*. (sjekket 06.05.2024). URL: https://github.com/uvnrpa/Hourly_Data/blob/master/TRH/TRH_hourly_2023.txt.



A Datablad solfilmer

Solar Control & Energy Savings

Reflective Helios Light Silver

RHE 50 SI ER HPR

Performance Data



Technical data according to EN 410 and EN 673*	4 mm single	4/16/4 mm double
Solar Energy Transmission, τ_e	39%	34%
Solar Energy Reflection, ρ_e	28%	29%
Solar Energy Absorbtion, α_e	33%	37%
Visible Light Transmission, τ_v	49%	45%
Visible Light Reflection (External), ρ_{ve}	26%	28%
Visible Light Reflection (Internal), ρ_{vi}	24%	28%
Ultraviolet Transmission, τ_{uv}	<1%	
Ultraviolet Rejection	>99 %	
g value	0.47	0.39
Shading Coefficient	0.54	0.45
Total Solar Energy Rejected	53%	61%
Glare Reduction	45%	
U value, single glazing (W/m ² .K)	5.71	
U value, double glazing, Air filled (W/m ² .K)		2.72
Emissivity, ϵ_n	0.81	
Colour Rendering Index, R_a	93	92
Film Colour / Appearance	Silver	
Installation position	External	
Manufacturer's Limited Warranty**: 10 Years vertical / 5 Years sloping		

Installation Notes: Please follow Technical Bulletin 73 Installation, sealing and splicing guidelines.



4 mm glass

Technical data according to EN 410 and EN 673	4 mm single	4 / 16 / 4 mm double
Corrected emissivity of uncoated glass surface		0.837
Solar Energy Transmission, τ_e	82 %	68 %
Solar Energy Reflection, ρ_e	8 %	13 %
Solar Energy Absorption, a_e	10 %	19 %
Visible Light Transmission, τ_v	89 %	80 %
Visible Light Reflection (External), ρ_{ve}	8 %	15 %
Visible Light Reflection (Internal), ρ_{vi}	8 %	15 %
Ultraviolet Transmission, τ_{UV}		> 40 %
Ultraviolet Rejection		< 60 %
g value	0.84	0.74
Shading Coefficient	0.97	0.85
Total Solar Energy Rejected	16 %	26 %
Glare Reduction	0 %	9 %
U value, single glazing (W/m ² .K)	5.8	-
U value, double glazing, Air filled (W/m ² .K)	-	2.8
Emissivity, ϵ_n		0.89
Colour / Appearance		Clear

* Please check the complete Film to Glass Thermal Stress Compatibility Guidelines before film installation. ** Contact Solutia Performance Films for full details. All values for engineering parameters are determined by the manufacturer and independent testing laboratories.



LLumar® Film to Glass Spectral Performance Analysis†

Spectral Performance*

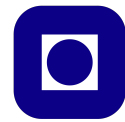
Glazing System	Compatibility	Solar			Visible			Other					
		Solar Energy Transmission	Solar Energy Reflection	Solar Energy Absorption (total)	Visible Light – Transmission	Visible Light Reflection (exterior)	Visible Light Reflection (interior)	UV Transmission	g-value	Shading Coefficient	Total Solar Energy Rejected	Glare Reduction (relative)	g-value improvement
No film	N/A	18%	27%	55%	44%	22%	28%	13%	0.23	0.27	77%	-	-
LLumar® RHE 50	●	10%	34%	57%	25%	31%	32%	<1%	0.15	0.17	85%	43%	35%
LLumar® THE 80	●	14%	11%	75%	39%	19%	28%	<1%	0.20	0.23	80%	11%	13%

Notes:

*These reports are calculated using internationally recognized software, WINDOW and Optics, developed by the Lawrence Berkley National Laboratory. This software utilizes the spectral performance information submitted by glass and window film manufacturers to the International Glazing Database (IGDB). These platforms and databases are supported, used and maintained by the US National Fenestration Rating Council (NFRC) and the US Department of Energy (DOE). Solar spectrum used in WINDOW and Optics: UV 300-380nm, Visible Light 380-780nm, IR 780-2500nm.

Only films with GREEN or YELLOW Compatibility may be used on sun-exposed windows.

●	Film is compatible
●	Caution: be sure to check all Condition Factors on LLumar Film to Glass Chart (window size, shading, etc.) for compatibility
●	Film is not compatible



Film to Glass Performance



System: **Modern Low-e**

Film	Solar		Absorption			Visible Light			Advanced Performance									
	Solar Energy Transmission	Solar Energy Reflection	Solar Energy Absorption (outer pane)	Solar Energy Absorption (inner pane)	Solar Energy Absorption (total)	Visible Light Transmission	Visible Light Reflection, exterior	Visible Light Reflection, interior	UV Transmission (t _{UV})	g value	Shading Coefficient (SC)	Total Solar Energy Rejected (TSER)	Glare Reduction, total	U-Value (W/m ² .K)	g-value Improvement (%) Summer Solar Heat Gain Reduction	Glare reduction (relative %)	Solar Factor	Light to Solar Heat Gain Ratio (LSG)
No Film	50%	18%	24%	8%	32%	77%	11%	12%	29%	0.58	0.67	42%	14%	1.41	0%	0%	58	1.33
RHE20	7%	65%	27%	1%	28%	12%	65%	51%	<1%	0.1	0.11	90%	87%	1.38	83%	85%	10	1.18
RHE35	12%	54%	32%	2%	34%	22%	52%	41%	<1%	0.16	0.18	84%	76%	1.38	72%	72%	16	1.34
RHE50	22%	35%	40%	3%	43%	39%	31%	26%	<1%	0.28	0.32	72%	56%	1.38	52%	49%	28	1.40

These reports are calculated using internationally recognized software, Window and Optics, developed by the Lawrence Berkley National Laboratory. This software utilizes the spectral performance information submitted by glass and window film manufacturers to the International Glazing Database (IGDB). These platforms and databases are supported, used and maintained by the US National Fenestration Rating Council (NFRC) and the US Department of Energy (DoE). Solar spectrum used in WINDOW and Optics: UV 300-380nm, Visible Light 380-780nm, IR 780-2500nm.
 Notice: Although the information and recommendations set forth herein (hereafter "Information") are presented in good faith and believed to be correct as of the date hereof, neither Eastman Chemical Company nor any of its subsidiaries or affiliates (collectively, "Eastman") makes any representations or warranties as to the completeness or accuracy thereof and assumes no obligation to update any of the Information. Information is supplied upon the condition that the persons receiving same will make their own determinations as to its suitability for their purposes prior to use. In no event will Eastman be held responsible for damages or liability of any nature whatsoever, including without limitation, for direct, indirect or consequential loss, business interruption, loss of profits, production, goodwill or contracts, or anticipated savings, resulting from the use of or reliance upon the information or the product to which the information refers. No representations or warranties, either express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose, or of any other nature are made hereunder with respect to information or the product to which information refers.
 LLumar® and the LLumar logo are trademarks of Eastman Chemical Company or one of its wholly owned subsidiaries. The ® used herein denotes registered trademark status in the US; marks referenced herein may also be registered internationally.



WINDOW FILM PERFORMANCE DATA | Architectural: North America



Solar Control Window Film

	% Total Solar Transmittance	% Total Solar Reflectance	% Total Solar Absorptance	% Visible Light Transmittance	% Visible Reflectance (exterior)	% Visible Reflectance (interior)	Winter U-value	Shading Coefficient	% Ultraviolet Ray Protection (wavelengths 300-380nm)	Emissivity	Solar Heat Gain Coefficient	% Total Solar Energy Rejected	Light-to-Solar Heat Gain Ratio (LSG)***	% Summer Solar Heat Gain Reduction***	% Winter Heat Loss Reduction***	% Glare Reduction***
Clear Glass	83	8	9	90	8	8	1.04	0.99	29	0.84	0.86	14	1.05	0	0	0
Reflective Series																
Reflective films feature reflectance on both interiors and exteriors for excellent reduction in summer cooling costs and heat retention in winter. Providing a high level of glare and heat control, they are scratch-resistant, shield 99% of ultraviolet rays, and provide excellent heat rejection.																
RN07G SR CDF (One-Way Mirror)	7	57	36	6	61	14	0.88	0.19	99	0.54	0.16	84	0.38	81	15	93
R15B SR CDF (Bronze)	8	39	53	8	20	62	0.89	0.25	99	0.62	0.22	78	0.36	74	14	91
R15BL SR PS (Blue)	9	42	49	9	27	62	0.93	0.25	>99	0.63	0.22	78	0.41	74	11	90
R15G SR CDF (Gray)	7	36	57	6	13	62	0.92	0.26	99	0.62	0.23	77	0.26	73	12	93
R15GO SR PS (Gold)	10	53	37	13	52	63	0.92	0.23	>99	0.62	0.20	80	0.65	77	12	86
R20 SR CDF (Silver)	11	57	32	15	62	63	0.90	0.22	>99	0.58	0.20	80	0.75	77	13	83
R35 SR CDF (Silver)	21	45	34	28	47	46	0.91	0.35	>99	0.61	0.30	70	0.93	65	13	69
R50 SR CDF (Silver)	39	27	34	49	26	25	0.95	0.55	99	0.67	0.47	53	1.04	45	9	46
Dual-Reflective Series																
Dual-Reflective films are highly reflective on the exterior; lower on the interior, which helps provide clear day and night views. Traditionally specified on commercial buildings. Dual-Reflective films are also popular for sunbelt residential applications. They are scratch-resistant, shield 99% of ultraviolet rays, and provide excellent heat rejection.																
DR05 SR CDF (Warm Gray)*	7	58	35	6	61	16	0.89	0.18	>99	0.56	0.16	84	0.38	81	14	93
DR15 SR CDF (Warm Gray)*	18	38	44	17	37	13	0.92	0.34	99	0.62	0.30	70	0.57	65	12	81
DRN25 SR CDF (Warm Gray)	23	31	46	22	30	12	0.92	0.39	99	0.62	0.35	65	0.63	59	12	76
DRN35 SR CDF (Warm Gray)	33	22	45	35	21	13	0.95	0.52	99	0.67	0.46	54	0.76	47	9	61
Deluxe Series																
Deluxe films are specified for commercial buildings where high levels of heat rejection and glare reduction are needed. Deluxe films are ideal for privacy applications and exterior aesthetics. They are scratch-resistant, reduce 99% of ultraviolet rays, and come in gray and bronze.																
DL05G SR CDF (Gray)	14	26	60	7	11	11	0.95	0.35	>99	0.68	0.31	69	0.23	64	9	92
DL15B SR CDF (Bronze)	27	14	59	14	8	8	0.94	0.51	99	0.72	0.44	56	0.32	49	10	84
DL15G SR CDF (Gray)	27	14	59	16	9	8	0.93	0.51	99	0.71	0.44	56	0.36	49	11	82
DL30GN SR PS (Green)	32	18	50	33	14	14	0.99	0.53	>99	0.75	0.48	52	0.69	44	5	63
Neutral Series																
Neutral films reduce glare, provide moderate heat rejection, and are specified where a soft, neutral appearance is desired. These films are made with sputtered technology, creating a film that allows for very uniform visible light transmission. Neutral films are scratch-resistant and shield 99% of ultraviolet rays.																
N1020 SR CDF (Neutral)	21	27	52	23	30	27	1.03	0.42	>99	0.82	0.37	63	0.62	57	1	74
N1040 SR CDF (Neutral)	34	17	49	37	19	16	1.05	0.56	99	0.85	0.49	51	0.76	43	-1	59
N1050 SR CDF (Neutral)	46	12	42	50	14	11	1.07	0.68	99	0.89	0.59	41	0.85	31	-3	44
N1065 SR CDF (Neutral)	64	9	27	69	10	8	1.07	0.83	99	0.90	0.72	28	0.96	16	-3	23
N1020B SR CDF (Bronze)	13	49	38	21	37	35	0.90	0.27	>99	0.59	0.23	77	0.91	73	13	77
N1035B SR CDF (Bronze)	26	37	37	37	26	23	0.92	0.41	99	0.61	0.36	64	1.03	58	12	59
Exterior Series																
Exterior films are applied to the exterior face of the glazing and provide excellent heat rejection performance.																
NHE20 ER HPR (Neutral)	21	29	50	23	30	26	1.04	0.42	>99	0.86	0.36	64	0.64	58	0	74
NHE35 ER HPR (Neutral)	34	18	48	38	19	16	1.04	0.56	>99	0.86	0.49	51	0.78	43	0	58
RHE20 ER HPR (Silver)	12	63	25	16	62	59	1.04	0.22	>99	0.71	0.20	80	0.80	77	0	82
RHE35 ER HPR (Silver)	21	50	29	29	48	45	1.04	0.35	>99	0.72	0.30	70	0.97	65	0	68
RHE50 ER HPR (Silver)	38	30	32	49	26	24	1.04	0.55	>99	0.79	0.48	52	1.02	44	0	46
THE 80 BL ER (Clear)	41	6	53	78	9	9	1.04	0.66	>99	0.89	0.57	43	1.37	34	0	13
SHE CL ER PS4 (Clear)	82	8	10	89	9	9	1.02	0.97	>99	0.90	0.85	15	1.05	1	2	1
SHE CL ER PS7 (Clear)	81	8	11	89	9	9	1.04	0.97	>99	0.84	0.84	16	1.06	2	0	1



B Beregninger for solinnstråling i MATLAB

```
dager_i_aaret = (1:365) %antall dager i året
timer_i_dogn = (1:24) %antall timer i ett døgn
B = (dager_i_aaret - 81)*(360/364) %brukes for å finne sann soltid
SL = 15 %standard longitude
LL = 10.38 %faktisk longitude
L = 63.36 %latitude
AST_0 = 9.87 .* sind(2.*B)-7.53 .* cosd(B)- 1.5 .* sind(B)
AST_1 = B - 4 * (SL - LL)
```

```
% Preallocate AST array
AST = zeros(numel(timer_i_dogn), numel(AST_0));

% AST for hver time i ett døgn
for i = 1:numel(timer_i_dogn)
    for j = 1:numel(AST_0)
        AST(i, j) = timer_i_dogn(i) + (AST_0(j) / 60);
    end
end

h = (AST - 12) .* 15;

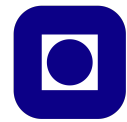
vinkel = 23.45*sind((360/365)*(284+dager_i_aaret))
```

```
soltimer_ny = reshape(soltimer, 24, 365)
solminutt = soltimer_ny./60

%Horisontake glassoverflater
theta_tak_cs = acosd((sind(L).*sind(vinkel)+cosd(L).*cosd(vinkel).*cosd(h)))

%Sørvendt vertikal glassoverflate
Z_sor = 0
theta_inngang_cs = acosd(((-cosd(L).*sind(vinkel).*cosd(Z_sor))+
    sind(L).*cosd(vinkel).*cosd(h).*cosd(Z_sor)+cosd(vinkel).*sind(h).*sind(Z_sor)))

%Nordvent vertikal glassoverflate
Z_nord = 180
theta_inngang_tt = acosd(((-cosd(L).*sind(vinkel).*cosd(Z_nord))+
    sind(L).*cosd(vinkel).*cosd(h).*cosd(Z_nord)+cosd(vinkel).*sind(h).*sind(Z_nord)))
```



B BEREGNINGER FOR SOLINNSTRÅLING I MATLAB

```
styrke_tak_cs = cosd(theta_tak_cs)

styrke_inngang_cs = cosd(theta_inngang_cs)

styrke_inngang_tt = cosd(theta_inngang_tt)

styrke_tak_cs(styrke_tak_cs < 0) = 0
styrke_inngang_cs(styrke_inngang_cs < 0) = 0
styrke_inngang_tt(styrke_inngang_tt < 0) = 0

solstraaling = 1000 %w/m2
solstyrke_taket_cs = ((styrke_tak_cs .* solstraaling)) %kWh/m2
solstyrke_inngangen_cs = ((styrke_inngang_cs .* solstraaling)) %kWh/m2
solstyrke_inngangen_tt = ((styrke_inngang_tt .* solstraaling)) %kWh/m2

solstyrke_tak_cs = (solstyrke_taket_cs.* (solminutt)) %kWh/m2
solstyrke_inngang_cs = (solstyrke_inngangen_cs.* (solminutt)) %kWh/m2
solstyrke_inngang_tt = (solstyrke_inngangen_tt.*(solminutt)) %kWh/m2
```

```
uva = uv_indeks(1:8760, 9);
uvb = uv_indeks(1:8760, 8);

ny_uvb = reshape(uvb, 24, 365) %w/m^2

takstyrke = ny_uvb .* solstyrke_tak_cs
inngang_cs_styrke = ny_uvb .* solstyrke_inngang_cs
inngang_tt_styrke = ny_uvb .* solstyrke_inngang_tt
```

```
%total radiation for alle stedene
innstraaling_tak_cs = (((takstyrke)./1000)).*217.5|
innstraaling_tak_2 = (((takstyrke)./1000)).*350

innstraaling_inngang_cs = ((inngang_cs_styrke/1000)).*350

innstraaling_inngang_tt = ((inngang_tt_styrke./1000)).*568
```



C Beregninger for solenergi

```
%Beregninger for G-verdi uten solfilm
```

```
g_verdi_cs = 0.75;
```

```
g_verdi_glass2 = 0.19;
```

```
g_verdi_tt = 0.63;
```

```
g_tak_cs = g_verdi_cs .* innstraaling_tak_cs
```

```
g_tak_2 = g_verdi_glass2 .* innstraaling_tak_2
```

```
g_inngang_cs = g_verdi_cs .* innstraaling_inngang_cs
```

```
g_inngang_tt = g_verdi_tt .* innstraaling_inngang_tt
```

```
g_tak = sum(g_tak_cs,1);
```

```
g_total_tak = sum(g_tak)
```

```
g_tak2 = sum(g_tak_2);
```

```
g_total_tak2 = sum(g_tak2)
```

```
g_inngang_city = sum(g_inngang_cs,1);
```

```
g_total_inngang_cs = sum(g_inngang_city)
```

```
cs_g_tot = g_inngang_city + g_tak2 + g_tak
```

```
g_inngang_tiller = sum(g_inngang_tt,1);
```

```
g_total_inngang_tt = sum(g_inngang_tiller)
```

```
g_tot = g_total_tak + g_total_inngang_cs + g_total_inngang_tt
```

```
%Beregninger for G-verdi med solfilm, rhe50
```

```
ny_g_verdi_cs = 0.39;
```

```
ny_g_verdi_glass2 = 0.15;
```

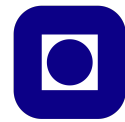
```
ny_g_verdi_tt = 0.28;
```

```
ny_g_tak_cs = ny_g_verdi_cs .* innstraaling_tak_cs
```

```
ny_g_tak_2 = ny_g_verdi_glass2 .* innstraaling_tak_2
```

```
ny_g_inngang_cs = ny_g_verdi_cs .* innstraaling_inngang_cs
```

```
ny_g_inngang_tt = ny_g_verdi_tt .* innstraaling_inngang_tt
```



C BEREGNINGER FOR SOLENERGI

```
ny_g_tak = sum(ny_g_tak_cs,1);
ny_g_total_tak = sum(ny_g_tak)
ny_g_tak2 = sum(ny_g_tak_2,1);
ny_g_total_tak2 = sum(ny_g_tak2)

ny_g_inngang_cs = sum(ny_g_inngang_cs,1);
ny_g_total_inngang_cs = sum(ny_g_inngang_cs)

cs_ny_g_tot = ny_g_inngang_cs + ny_g_tak2 + ny_g_tak

ny_g_inngang_tt = sum(ny_g_inngang_tt,1);
ny_g_total_inngang_tt = sum(ny_g_inngang_tt)

ny_g_tot = ny_g_total_inngang_tt + ny_g_total_inngang_cs +
ny_g_total_tak + ny_g_total_tak2
```

```
%ny g-verdi med solfilm rhe20
g2_verdi_cs = 0.12
g2_verdi_tiller = 0.1

g2_cs = innstraaling_inngang_cs .* g2_verdi_cs
g2_cs_sum = sum(g2_cs)

g2_tak = innstraaling_tak_cs .* g2_verdi_cs
g2_tak_sum = sum(g2_tak)

g2_tiller = innstraaling_inngang_tt .* g2_verdi_tiller
g2_tt_sum = sum(g2_tiller)
cs_g2_tot = + g2_tak_sum + g2_cs_sum + g_tak2

g2_tot = g2_cs_sum + g2_tak_sum + g2_tt_sum + g_tak2
g2_total = sum(g2_tot)
```

```
% g-verdi på nye glass på City Syd
glass_cs = 0.16 %bare gamle
glass_tt = 0.51
n_g_tak = innstraaling_tak_cs .* glass_cs
nye_glass_tak = sum(n_g_tak)
n_g_cs = innstraaling_inngang_cs .* glass_cs
nye_glass_cs = sum(n_g_cs)
cs_glass_tot = nye_glass_tak + nye_glass_cs + g_tak2

n_g_tt = innstraaling_inngang_tt .* glass_tt
nye_glass_tt = sum(n_g_tt)
```




D BEREGNINGER FOR KOSTNADSVURDERINGER I EXCEL

CITYSYD SCENARIO 2						
Investeringskostnad	823308,12					
Energispart	35359	år	Energi		KR	KR/kWh
			1	33999,038	823308,12	
Enhetspris	1450,5		2	32691,383		
			3	31434,022		
r=	4		4	30225,021		
			5	29062,521		
Glass areal m ²	567,6		6	27944,731		
			7	26869,934		
			8	25836,475		
			9	24842,764		
			10	23887,273		
		SUM		286793,16	823308,12	2,8707383

TILLER TORGET SCENARIO 2						
Investeringskostnad	823888,32					
Energispart per år	718,97	år	Energi		KR	KR/kWh
			1	691,31731	823888,32	
Enhetspris	1450,5		2	664,72818		
			3	639,16171		
r=	4		4	614,57857		
			5	590,94093		
Glass areal m ²	568		6	568,21243		
			7	546,35811		
			8	525,34434		
			9	505,13879		
			10	485,71037		
		SUM		5831,4907	823888,32	141,28263

